ISSN 2415-8860 (online)
ISSN 0372-4123 (print)
2025 Vol. 82 No. 6 (491)

УКРАЇНСЬКИЙ БОТАНІЧНИЙ ЖУРНАЛ

UKRAINIAN BOTANICAL JOURNAL

A JOURNAL FOR BOTANY & MYCOLOGY



UKRAINIAN BOTANICAL JOURNAL is a scientific journal publishing articles and contributions on all aspects of botany and mycology, including general issues, taxonomy, floristics, vegetation science, ecology, evolutionary biology, geography, history of flora and vegetation as well as morphology, anatomy, physiology, biochemistry, cell and molecular biology of plants and fungi.

Publication languages: English and Ukrainian

УКРАЇНСЬКИЙ БОТАНІЧНИЙ ЖУРНАЛ публікує статті з усіх напрямів ботаніки та мікології, в тому числі із загальних питань, систематики, флористики, геоботаніки, екології, еволюційної біології, географії, історії флори та рослинності, а також морфології, анатомії, фізіології, біохімії, клітинної та молекулярної біології рослин і грибів.

Статті друкуються англійською та українською мовами

EDITORIAL BOARD

Editor-in-Chief
Sergei L. MOSYAKIN

Associate Editors
Ganna V. BOIKO
Vera P. HAYOVA

Dirk C. ALBACH (Oldenburg, Germany)
Illya I. CHORNEY (Chernivtsi, Ukraine)
Peter J. de LANGE (Auckland, New Zealand)
Yakiv P. DIDUKH (Kyiv, Ukraine)
Mykola M. FEDORONCHUK (Kyiv, Ukraine)
Zigmantas GUDŽINSKAS (Vilnius, Lithuania)
Vasyl P. HELUTA (Kyiv, Ukraine)
Bogdan JACKOWIAK (Poznan, Poland)
Jürgen KELLERMANN (Adelaide, Australia)
Olexander E. KHODOSOVTSEV (Kherson, Ukraine)
Sergey Y. KONDRATYUK (Kyiv, Ukraine)
Iryna V. KOSAKIVSKA (Kyiv, Ukraine)
Karol MARHOLD (Bratislava, Slovakia)
Eviatar NEVO (Haifa, Israel)
Peter RAVEN (St. Louis, USA)
Myroslav V. SHEVERA (Kyiv, Ukraine)
Natalia M. SHYIAN (Kyiv, Ukraine)
Maryna M. SUKHOMLYN (Kyiv, Ukraine)
Susumu TAKAMATSU (Tsu, Japan)
Filip VERLOOVE (Meise, Belgium)
Oxana M. VYNOGRADOVA (Kyiv, Ukraine)
Solomon P. WASSER (Haifa, Israel)
Olena K. ZOLOTAREVA (Kyiv, Ukraine)

Editorial Assistant
Mariya D. ALEINIKOVA

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

Головний редактор
Сергій Л. МОСЯКІН

Заступники головного редактора
Ганна В. БОЙКО
Віра П. ГАЙОВА

Дірк К. АЛЬБАХ (Ольденбург, Німеччина)
Ілля І. ЧОРНЕЙ (Чернівці, Україна)
Пітер Дж. де ЛАНГЕ (Окленд, Нова Зеландія)
Яків П. ДІДУХ (Київ, Україна)
Микола М. ФЕДОРОНЧУК (Київ, Україна)
Зігмантас ГУДЖИНСКАС (Вільнюс, Литва)
Василь П. ГЕЛЮТА (Київ, Україна)
Богдан ЯЦКОВЯК (Познань, Польща)
Юрген КЕЛЛЕРМАНН (Аделаїда, Австралія)
Олександр Є. ХОДОСОВЦЕВ (Херсон, Україна)
Сергій Я. КОНДРАТЮК (Київ, Україна)
Ірина В. КОСАКІВСЬКА (Київ, Україна)
Кароль МАРГОЛЬД (Братислава, Словаччина)
Евіатар НЕВО (Хайфа, Ізраїль)
Пітер РЕЙВЕН (Сент-Луїс, США)
Мирослав В. ШЕВЕРА (Київ, Україна)
Наталія М. ШИЯН (Київ, Україна)
Марина М. СУХОМЛИН (Київ, Україна)
Сусуму ТАКАМАЦУ (Цу, Японія)
Філіп ВЕРЛООВ (Мейсе, Бельгія)
Оксана М. ВИНОГРАДОВА (Київ, Україна)
Соломон П. ВАССЕР (Хайфа, Ізраїль)
Олена К. ЗОЛОТАРЬОВА (Київ, Україна)

Відповідальний секретар
Марія Д. АЛЕЙНІКОВА

Front cover: *Salvia revelata* Mátis & A.Z. Szabó, flowers. Zolotievca, Anenii Noi District, Moldova, 03.05.2024 (see the article by Ghilan on pages 556–566 in this issue).

Photo by © Mihail Ghilan

На обкладинці: *Salvia revelata* Mátis & A.Z. Szabó, квітки. Золотієвка, Аненій-Нойський р-н, Молдова, 03.05.2024 (див. статтю Гілана на стор. 556–566 у цьому номері).

Фото © Михаїл Гілан

NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF UKRAINE
M.G. KHOLODNY INSTITUTE OF BOTANY OF THE NAS OF UKRAINE

UKRAINIAN BOTANICAL JOURNAL

УКРАЇНСЬКИЙ БОТАНІЧНИЙ ЖУРНАЛ

2025
Vol. 82
6 (491)

PUBLISHED BIMONTHLY
SCIENTIFIC JOURNAL
FOUNDED IN 1921
KYIV

CONTENTS

Plant Taxonomy, Geography and Floristics

SORENG R., TASENKEVICH L. Nomenclatural notes on *Poa* (*Poaceae*): *Poa pseudoconcinna*, typification and application to *P. bulbosa* sensu stricto, and application of diploid chromosome counts ascribed to *P. bulbosa* and putatively related taxa 505

KOBIV Y., DMYTRAKH R. *Valeriana dacica* (*Caprifoliaceae*), a Carpathian endemic in Ukraine: distribution, morphology, ecology, population characteristics, and identification issues 524

MIKHAILYUK T., VINOGRADOVA O., NYPORKO S., VASHENIAK I. Algae, bryophytes, and vascular plants of calcareous rocks of the Dumka Cave complex (Dniester Regional Landscape Park, Ukraine) 535

OLSHANSKYI I.G., SHIYAN N.M., ANTONENKO S.I. New nomenclatural combinations in *Cenchrus*, and two new names in *Cenchrus* and *Elymus* (*Poaceae*) 552

Floristic Records

GHILAN M. The first records of the Pontic steppe subendemic *Salvia revelata* (*Lamiaceae*) in the Republic of Moldova: current status and threats 556

ЗМІСТ

Систематика, флористика, географія рослин

СОРЕНГ Р.Д., ТАСЄНКЕВИЧ Л. Номенклатурні нотатки про *Poa* (*Poaceae*): типіфікація назви *P. pseudoconcinna* та її приналежність до *P. bulbosa* sensu stricto, а також таксономічна приналежність диплоїдних хромосомних чисел, що наводилися для *P. bulbosa* та ймовірно споріднених таксонів .. 505

КОБІВ Ю., ДМИТРАХ Р. Карпатський ендемік *Valeriana dacica* (*Caprifoliaceae*) в Україні: поширення, морфологія, екологія, популяційні особливості, проблеми визначення 524

МИХАЙЛЮК Т.І., ВИНОГРАДОВА О.М., НИПОРКО С.О., ВАШЕНЯК Ю.А. Водорості, мохоподібні та судинні рослини вапняків печерного комплексу "Думка" (Дністровський регіональний ландшафтний парк, Україна) 535

ОЛЬШАНСЬКИЙ І.Г., ШИЯН Н.М., АНТОНЕНКО С.І. Нові номенклатурні комбінації у роді *Cenchrus*, а також дві нові назви у родах *Cenchrus* та *Elymus* (*Poaceae*) 552

Флористичні знахідки

ГІЛАН М. Перші знахідки субендеміка понтійських степів *Salvia revelata* (*Lamiaceae*) у Республіці Молдова: сучасний стан і загрози 556

© M.G. Kholodny Institute of Botany, NAS of Ukraine, 2025
© Publisher PH "Akademperiodyka" of the NAS of Ukraine, 2025

Mycological Records

GIREESHMA K.G., GREESHMA S., APARNA S.N., LAKSHMI K.R.K., GAYATRI G.P., SHYAM K.S., MANOJ K.A. First report of *Fulvifomes siamensis* (*Hymenochaetaceae*) from India, with notes on morphology and nrITS–nrLSU-based phylogeny 567

Biotechnology, Physiology and Biochemistry

KOTS S.Ya., STASIK O.O., KIRIZIY D.A., MORGUN V.V. Main trends in applying physiology to plant breeding, yield improvement, and stress resistance in Ukraine 577

BONDARUK S.V., BULAVA S.O., KORZH R.A., LESYK D.S., POLOVYNKO V.V., FEDYK A.V., AL-MAALI G.A. Biotransformation of 2,6-dichloroaniline and 3,5-dichloroaniline by the mycelium of basidiomycetes 594

Мікологічні знахідки

ГІРЕШМА К.Г., ГРЕШМА С., АПАРНА С.Н., ЛАКШМІ К.Р.К., ГАЯТРІ Г.П., ШИЯМ К.С., МАНОДЖ К.А. Перша знахідка *Fulvifomes siamensis* (*Hymenochaetaceae*) в Індії з нотатками про морфологію та філогенію на основі nrITS–nrLSU 567

Біотехнологія, фізіологія, біохімія

КОЦЬ С.Я., СТАСИК О.О., КІРІЗІЙ Д.А., МОРГУН В.В. Основні тенденції використання фізіології у селекції, підвищенні продуктивності та стресостійкості рослин в Україні 577

БОНДАРУК С.В., БУЛАВА С.О., КОРЖ Р.А., ЛЕСИК Д.С., ПОЛОВИНКО В.В., ФЕДИК А.В., АЛЬ-МААЛІ Г.А. Біотрансформація 2,6-дихлораніліну та 3,5-дихлораніліну міцелієм базидіоміцетів 594

Approved by the Academic Council of the M.G. Kholodny Institute of Botany, NAS of Ukraine
(Resolution No. 14 of 16 December 2025)

Editorial office address: M.G. Kholodny Institute of Botany, National Academy of Sciences of Ukraine
2 Tereshchenkivska Str., Kyiv 01601, Ukraine

Tel.: +380 44 235 4182
E-mail: *secretary_ubzh@ukr.net*
Web: https://ukrbotj.co.ua

Media ID (ідентифікатор медіа): R30-03012. Decision of the National Council of Television and Radio Broadcasting of Ukraine of 21.03.2024 No. 890

Technical editor O.Ye. Bondarenko

Layout N.S. Reshetnykova

Submitted for printing on 15.09.2025. Format 84 × 108/16. Typeface. Minion Pro
Conventional printed sheets 11,34. Physical printed sheets 13,49. Circulation 100 copies. Order no. 7781

Publisher PH "Akademperiodyka" of the NAS of Ukraine
4 Tereschenkivska Str., Kyiv 01024, Ukraine

Certificate of entry to the State Register of Publishing Agents
series ДК No. 544 of 27.07.2001

PLANT TAXONOMY, GEOGRAPHY AND FLORISTICS
СИСТЕМАТИКА, ФЛОРИСТИКА, ГЕОГРАФІЯ РОСЛИН

https://doi.org/10.15407/ukrbotj82.06.505
RESEARCH ARTICLE

Nomenclatural notes on *Poa* (*Poaceae*): *Poa pseudoconcinna*, typification and application to *P. bulbosa* sensu stricto, and application of diploid chromosome counts ascribed to *P. bulbosa* and putatively related taxa

Robert J. SORENG [1], **Lydia TASENKEVICH** [2*]

[1] Smithsonian Institution, National Museum of Natural History, Department of Botany, US National Herbarium, 10th Str. & Constitution Ave. NW, Washington, DC 20560, USA

[2] Ivan Franko National University of Lviv, Department of Botany, LW Herbarium, 4 Hrushevsky Str., Lviv 79005, Ukraine

* Author for correspondence: *tasenkevich@gmail.com*

Abstract. The original material of *Poa pseudoconcinna* is evaluated, and LW00213479 described and is designated as the lectotype. The lectotype material appears to be indistinct from *P. bulbosa* s. str. The taxonomic disposition of *P. pseudoconcinna* sensu auct., considered to be a diploid race, subspecies, or variety of *P. bulbosa*, is evaluated, including its relationships to *P. delicatula*, *P. carniolica*, *P. jordanovii*, and *P. perconcinna.* Chromosome count data for *P. bulbosa* and related diploids are summarized, and diploid vouchers are noted. Diploid counts for *P. bulbosa* are doubted. Evidence suggests Nygren's counts for *P. concinna* (≡ *P. perconcinna*) belong to *P. molinerii*. Lectotypes are also designated for the names *P. alpina* var. *multiflora*, *P. concinna*, *P. bulbosa* var. *colorata*, *P. concinna* var. *carniolica*, along with an epitype, and *P. timoleontis*. *Poa badensis* subsp. *molinerii* comb. nov. is validated.

Keywords: *Arenariae*, bulbous bluegrasses, chromosome numbers, lectotypifications, Schur, taxonomy

Introduction

DNA work on the genus *Poa* L. has confirmed the existence of corresponding plastid and nuclear ribosomal clades, including *P. bulbosa* L. and various other species included in *Poa* sect. *Arenariae* (Hegeschw.) Stapf. and *Poa* sect. *Alpinae* (Hegeschw. ex Nyman) Stapf mixed. However, sampling in *P. bulbosa* and its bulbous and non-bulbous relatives needs to be expanded beyond what has been published to date (Soreng et al., 2010, 2020; Cabi et al., 2016, among others). In continental Europe, there are currently up to eight bulbous species of *Poa* accepted by some authors: *P. aitosensis* Kožuharov

ARTICLE HISTORY. Submitted 11 August 2025. Revised 20 November 2025. Published 17 December 2025

CITATION. Soreng R., Tasenkevich L. 2025. Nomenclatural notes on *Poa* (*Poaceae*): *Poa pseudoconcinna*, typification and application to *P. bulbosa* sensu stricto, and application of diploid chromosome counts ascribed to *P. bulbosa* and putatively related taxa. *Ukrainian Botanical Journal*, 82(6): 505–523. https://doi.org/10.15407/ukrbotj82.06.505

© M.G. Kholodny Institute of Botany, NAS of Ukraine, 2025
© Publisher PH "Akademperiodyka" of the NAS of Ukraine, 2025

This is an open access article under the CC BY license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

& Stoeva (= *P. timoleontis* var. *timoleontis* proposed here); ***P. bulbosa*** L. (*widespread); *P. bulbosa* subsp. *bulbosa* var. *bulbosa* (the normal-flowered form of the species); *P. bulbosa* subsp. *pseudoconcinna* (Schur) Domin (≡ *P. pseudoconcinna* Schur, a putative diploid race of *P. bulbosa*); *P. bulbosa* var. *vivipara* Koeler; ***P. carniolica*** (Hladnik ex Mutel) Bech. (a Slovenian taxon of uncertain application); ***P. cephalonica*** H. Scholz (*a narrow endemic of Greece); *P. concinna* Gaudin (≡ *P. perconcinna*); ***P. iconia*** Azn. (common in the Aegean Islands and eastward in the Middle East); *P. iconia* var. *pelasgis* (H. Scholz) Soreng (the normal-flowered form of the species); *P. iconia* var. *iconia* Azn. (the pseudoviviparous form); ***P. jordanovii*** Kožuharov & Stoeva (*endemic to Bulgaria); *P. pelasgis* H. Scholz (≡ *P. iconia* var. *pelasgis*); ***P. perconcinna*** J.R. Edm. (*endemic to the Alps; or also the Carpathians?); ***P. perligularis*** H. Scholz (a dubious, poorly known taxon of Mediterranean Europe and perhaps North Africa); *P. sinaica* Steud. (sensu. auct. = *P. iconia*); ***P. timoleontis*** Heldr. ex Boiss. (*Balkan and Greek Europe and eastward, and in Turkey into the Levant); *P. timoleontis* var. *dshilgensis* Tzvelev (the pseudoviviparous form of the species); *P. timoleontis* var. *timoleontis* (the normal-flowered form). Beyond *P. delicatula* Schrad. of the Transcaucasian region, only those taxa asterisked above have diploid counts in the literature. That said, some names need to be lectotypified, and diploid vouchers assessed for further taxonomic herbaria, field, and laboratory work. Here we have tried to sort out types and diploid vouchers for a few names of taxa centered around the application of the putative diploid taxon supposedly based on *P. pseudoconcinna* Schur. Schur published some 47 names in the genus *Poa*, mostly in 1866, but only a few are accepted today. Twenty-two of them were invalid when published, eight more were homonyms, and most of them have been consistently subsumed in synonymy. However, one name in particular, *P. pseudoconcinna*, has remained in use in the *P. bulbosa* group as a putative diploid race. Here we have tried to sort out its application and misapplication, and relationships to diploid *P. delicatula* and *P. perconcinna* J.R. Edm.

Materials and Methods

Many herbaria were consulted in person by RJS or via digital images of specimens in the development of this paper. Tasenkevich et al. (2024) digitized the main herbarium of Philipp Johann Ferdinand Schur (1799–1878) at LW, which was acquired in 1861. This included original material of *Poa pseudoconcinna* Schur, a name still in use at various ranks for the taxon of bulbous *Poa* considered to be a diploid. Chromosome counts and their vouchers were compiled from the original literature, and checking the CCDB — *Chromosome Counts Database* (https://ccdb.tau.ac.il/home/; Rice et al., 2015), *Flora Europaea checklist and chromosome numbers index* (Moore, 1982), and *Index to plant chromosome numbers* (IPCN) on *Tropicos* (http://legacy.tropicos.org/Project/IPCN). We attempted to track down and obtain images of all diploid vouchers attributed to *Poa bulbosa*. Herbarium acronyms follow continuously updated *Index Herbariorum* (Thiers, 2009–onward).

Discussion on and typification of *Poa pseudoconcinna*

The name *Poa pseudoconcinna* Schur is variously accepted as a subspecies, proles (race), or variety of *P. bulbosa* L. (Ascherson, Graebner, 1900; Hegi, 1907; Podpěra, 1925; Domin, 1936; Dostál, 1989; Scholz in Strid, Tan, 1991; Kubát, 1992; Horváth et al, 1995; Marhold, Hindák, 1998; Poldini, 2006; Valdés, Scholz, 2009; Dimopoulos et al., 2013), or treated as a synonym of the species (Nyman, 1882: 836; Nyman, 1890, Suppl. II: 341; Edmondson, 1980; Portal, 2005; Špryňar, Štěpánek, 2024). Here, we evaluate Schur's original material to determine its taxonomic identity.

Poa pseudoconcinna Schur, Enum. Pl. Transsilv. 773 (no. 3991). 1866 ≡ *P. bulbosa* proles *pseudoconcinna* (Schur) Asch. & Graebn, Syn. Mitteleur. Fl. 2: 392. 1900 ≡ *P. bulbosa* subsp. *pseudoconcinna* (Schur) Domin, Acta Bot. Bohem. 11: 31. 1936 ≡ *Poa bulbosa* subsp. *bulbosa* var. *pseudoconcinna* (Schur) Hegi, Ill. Fl. Mitt.-Eur. 1(part 9): 308. 1907 ≡ *Poa protuberata* Schur, Enum. Pl. Transsilv. 773 (no. 3991). 1866, nom. inval., pro. syn. *P. pseudoconcinna* Schur.

Protologue: "*P. protuberata* Schur herb. Transs." [Transylvania] … "Auf Kalkfelsen des Kapellenberg und der Salomonsfelsen, nicht gemein, bei Kronstadt, 2000'–3000'. Mai, Jun."

The distribution of the taxon accepted as "*Poa bulbosa* subsp. *pseudoconcinna* (Schur) Asch. & Graben." ["proles" was the rank applied between subspecies and variety], was recorded (with published sources cited) in *Euro+Med PlantBase* (Valdés, Scholz, 2009; accessed March 2025) from

Austria (with Liechtenstein), Bulgaria, the Czech Republic, Greece, Hungary, Italy (with San Marino and Vatican City), and Slovakia. However, the accepted circumscription [provided by Ascherson and Graebner (1900) and Podpěra (1925), and followed by others, including Nyárády's annotations of 1930 of Schur's herbarium] does not coincide with the original description or the morphology of available syntype material. The name was subsequently applied to vouchers for diploid chromosome counts in the Pannonian region of Europe. Špryňar and Štěpánek (2024) treated the name for the Czech Republic as a synonym of *Poa bulbosa*. They commented [Google translation, https://translate.google.com/?sl=la&tl=en&op=translate]: "The traditional distinction into two subspecies, subsp. *bulbosa* and subsp. *pseudoconcinna*, is artificial, practically difficult to use, and lacking any ecological or geographical sense." [See Ascherson and Graebner, 1897 (Ascherson, Graebner, 1896–1898), Vorrede p. VII–VIII for the ranks they applied]. Portal (2005) included the name in synonymy of *P. bulbosa* var. *bulbosa*.

Here we identify Schur's original material and select a lectotype from material matching the protologue description and cited material. We describe that material anew and confirm its identity as *Poa bulbosa* s. str. Chromosome counts for *P. bulbosa*, and in particular diploid counts attributed to *P. bulbosa*, *P. concinna* Gaudin ≡ *P. perconcinna* J.R. Edm., *P. pseudoconcinna*, and *P. delicatula*, are explored concerning the taxonomy of the species sensu lato.

Tasenkevich et al. (2024) digitized the main herbarium of Philipp Johann Ferdinand Schur at LW which was acquired in 1861. This includes the original specimens cited by Schur (1853, 1866) from "Transsilvania". BRNU, P, and PC herbaria also have some Schur's type material.

Tasenkevich identified six specimens in Schur's herbarium associated with the name *Poa pseudoconcinna* or *P. protuberata*, and shared their images with Soreng. Schur's original labels on the six specimens are as follows, wherein Kronstadt, in Latin, equals Corona (bold text below), corresponding to the protologue):

LW00213468: *Poa carniolica* Hladn. | an var. minor *P. bulbosa* L. ? | in rupestribus alpium calcar. Transsilv. | in monte Koenigstein [Arpás ?]. 6000'.

LW00213477: ***Poa protuberata*** Schur var. prolifera | in rupestribus prope **Coronam Mai | Salomonsfelsen**. **2000'**.

LW00213478A: *Poa carniolica* Hladn. | an forma *minor* P. *bulbosa* L. ? | *micrantha* Schur | locis sic dictis Szokerák prope **Coronam** | Transsilv. Med **Junio** 1854. **2500'.**

LW00213478B: ***Poa protuberata*** **Schur** var. *micrantha triflora* | in rupestribus calcareis. prope Tusnåd | Trachyt. Juli.

LW00213479: ***Poa protuberata*** **Schur** | in rupestribus calcareis prope **Coronam** | **Kapellenberg**. **Mai.**

LW00213480: *Poa concinna* Gaud. | non Rchb. nec Host | *Poa carniolica* Hladn. | In rupium fissuris mont. Transsilvan | e.g. in monto Arpås. calcar. **Juny** 24/1852 | Elevat. 5000'.

Each of the above six LW specimens has an annotation by Erasmus Julius Nyárády ("Nyárády rev Cluj 1930"), four of which Nyárády determined as *P. bulbosa* subsp. *pseudoconcinna*: LW00213468, LW00213478A, LW00213478B, LW00213480. Although these four were annotated as that and represent Schur collections from Transylvania, they are not cited as original material. The other two sheets, LW00213477 and LW00213479, Nyárády identified as *Poa bulbosa* L. These two were originally named by Schur, respectively, as "*Poa protuberata* Schur var. *prolifera*" and "*Poa protuberata* Schur" (both names being invalidly published), and their original locations were cited. Thus, only these qualify as cited syntypes. The names P. *pseudoconcinna* and "*P. protuberata*" and specimens were not cited in the earlier *Sertum Florae Transsilvaniae* (Schur, 1853) or earlier Schur publications on Siebenbürgen [Transylvania] flora (1850, 1851, 1852). The next step to lectotypification is to compare the original description with the two identified original specimens.

Original Description in Latin:

3991. *P. pseudo-concinna* Schur = *P. protuberata* Schur herb. Trans. — Rhizomate fibroso subcaespitoso. Culmo 6–8 poll., erecto, basi incrassato subtriphyllo. Foliis angustis, linearibus; culmeis brevissimis, infimis prolumque novellium longioribus angustioribus subulato-convolutis. Vaginis inflatis folio suo multo longioribus. Ligula protensa acuta. Panicula ovata, sub anthesi expansa denique conferta; ramis 1–2 pedicellisque scabris. Spiculis subsexfloris. Flosculis oblongis villosulis; infimis lana parca protrahenda cohaerentibus; superioribus liberis. Valvis subaequalibus, livescentibus, ovatis, acutis, dorso scabris, floro infimo dimidio brevioribus. Paleis inferioribus obtusiusculis, obsolete nervosis, viridibus,

antice hyalino margenatis, ante marginem utrinque macula aurea notatis. Media inter *P. bulbosa* et *P. concinna*. — Auf Kalkfelsen des Kapellenberg und der Salomonsfelsen, nicht gemein, bei Kronstadt. 2000'–3000'. Mai, Jun.

[Google translation from Latin to English, modified here]:

3991. *P. pseudo-concinna* Schur = *P. protuberata* Schur herb. Trans. — Fibrous rhizome [roots] laxly cespitose. Culm 16.2–21.6 cm, erect, base thickened in sets of three leaves. Leaves narrow, linear; culm leaves short, the lowest and most of the young leaves are longer and narrower, convolute. The inflated culm sheaths of their leaves much longer. Ligules prolonged and acute. Panicles ovate, expanded in anthesis and finally densely contracted; branches 1–2 and pedicels scabrous. Spikelets subsexflora (< 6-flowered). Florets small, oblong, and villous; the lowest (callus) hairs prolonged and cohering together, upper hairs free. Glumes subequal, bluish-grey, ovate, pointed, scabrous on the back, lower glume shorter. Lemmas obtuse, obsoletely nerved, green, with a hyaline margin at the front, marked with a golden spot on both sides of the front edge. Intermediate between *P. bulbosa* and *P. concinna*. — Auf Kalkfelsen des Kapellenberg und der Salomonsfelsen, nicht gemein [not pseudoviviparous], bei Kronstadt. 2000'–3000'. May, June.

The two specimens, LW00213477 and LW00213479, closely correspond to the original description, although the LW00213477 sheet "var. *prolifera*" has more florets per spikelet. Although *prolifera* is sometimes used for pseudoviviparous taxa, the material shows no evidence of pseudovivipary.

However, subsequent descriptions of *Poa pseudoconcinna* differ from the original description.

Ascherson and Graebner (1900) [Google Translation from German modified here] recognized the taxon as *Poa bulbosa* proles *pseudoconcinna* (Schur) Asch. & Graebn.

[*Poa bulbosa*] II. *pseudoconcinna*. Plant usually small, up to 1.5 dm high, usually clearly grey-green. Stems fairly thin, erect or ascending, usually enclosed up to the panicle with the sheaths at the top, which are slightly inflated. Leaves short, with very thin, threadlike, bristly, rough blades, forming dense, tufted turf. Panicle up to 4 cm long, usually narrow. Spikelets small, 4 mm long, usually 3 to 4 flowers, usually mottled green, violet, and white.

On dry hills only in the area of the Pannonian flora. So far only Moravia: Brno, limestone rocks near Julienfeld (Schur!). Transylvania: limestone rocks of the Kapellenberg and the Solomon's Rocks near Kronstadt. Perhaps also near Mehadia (see p. 394) and Budapest (Borbás Budap. és körn. növ. 49). Bl. April-June.

Podpěra (1925) [Google translation from Czech, modified here] as *Poa bulbosa* Rasse II *pseudoconcinna*:

[*Poa bulbosa*] II. *pseudoconcinna* Asch. et Gr. In small densely bundled bunches. Plants up to 15 cm high, mostly distinct, gray-green. The stem is quite thin, straight or ascending, mostly closed up to the panicle by a somewhat swollen sheath. Leaves short, with a very thin blade, filiform, bristle-like, and rough. Panicle up to 4 cm long, mostly narrow. Spikelets small, 4 mm long, mostly 3- to 4-flowered, mostly green, purple or white spotted.

P. bulbosa Race II. *pseudoconcinna* Asch. et Gr. Son. II, 1. 392, 1900; SUPPORT Accessories Sep. 28, 1914. *P. pseudoconcinna* seu *P. protuberata* Schur Enum. 773, 1866; Nyman Consp. 836, 1882. Suppl. II. 341, 1890.

Brno: Specimens cited (= Kalkfelsen bei Julienfeld Schur loc. class.)!!, Red hill!!, Velatic steppe!!, Žuraň!! Prague. Krumlov: Floriánek!!, Leskoun u Vedrovice!!, Miroslav: Markova hora!! Mohelno, on the serpentine. ["!!" indicated Podpěra collections].

The Ascherson and Graebner's and Podpěra's descriptions differ from Schur's original description in several respects. Ascherson and Graebner indicated that they saw the Moravian Brno Julienfeld specimen of *Schur*! (collected around Brno in the early 1870s, before he moved to Poland, where he died in 1878). The Schur voucher is not in Brno, and we do not know if it is extant, but it is not original material. Podpěra copied the previous description and applied the name to six of his collections (Jiří Danihelka, pers. comm, 2025). Moreover, those newer descriptions do not match well with syntype material in Schur's herbarium at LW, but coincide somewhat more with LW00213478A, or A & B (teste Nyárády annotations of 1930).

These newer descriptions indicate the inflorescences are barely emergent from the upper sheaths, unlike any of the cited LW material. They indicate the leaves are very thin, threadlike, bristly, rough blades, forming dense, tufted turf, whereas the two LW syntypes have flaccid blades that are not rough and do not form dense turf. Again, the spikelets are said to be 3–4 flowered, whereas in the cited LW specimens these are (3–)4–5, (or even 6–7-flowered in Schur's herbarium name "*Poa protuberata* var. *prolifera*" from Salomonsfelsen). The plants are said to be up to 15 cm tall, whereas Schur indicated the species to be 6 to 8 poll. tall (16.2–21.6 cm; pollex = 2.7 cm). The plants in the two cited LW sheets are 17–23 cm in LW00213477 and 19–24 cm tall in LW00213479, within the range slightly taller than Schur's measures, but within tolerance considering the first joint of thumbs differ in length among people, and a pollex provides an imprecise ruler.

The spikelets of the var. "*prolifera*" sample are not typical of pseudoviviparous plants, but do show several otherwise normal spikelets in the tops of the panicles with one or two terminal florets with slightly elongated lemma apices, whereas most of the spikelets are quite normal in appearance with 5–7 florets. More to the point, Schur indicated the species was not pseudoviviparous, "nicht gemein". Thus, his "*prolifera*" presumably referred to the greater number of florets. The few oddly shaped lemmas tips might have resulted from insect or fungal infections (if not incipient development of bulbils in a few spikelets).

The selection of lectotype material should include, among them, specimens named *Poa protuberata* by Schur, and collected at the only two places Schur cited, which happen to be within the elevation range cited (2000'–3000'). LW00213477 and LW00213479 do not disagree with the protologue location or elevation (not indicated on LW00213479, but the location fits the elevation range).

LW00213477 and LW00213479 match the two cited protologue locations, **Salomonsfelsen** and **Kapellenberg**, and bear Schur's determination as *Poa protuberata* Schur. LW00213468 and LW00213480 are from much higher elevations and different locations than cited, and respectively bear Schur's determinations as *P. carniolica* Hladn. and *P. concinna* Gaudin (≡ *Poa perconcinna* J.R. Edm., non R. Br.). However, Nyárády determined the first two as *P. bulbosa* L., and the other four as *P. pseudoconcinna* Schur, apparently aligning his concept with Ascherson and Graebner's and Podpěra's descriptions of the taxon.

LW00213478B (label applicable to the upper plant on the LW 213478 sheet) appears to belong to another species complex, related to *Poa badensis* Haenke ex Willd., the shoots are emergent from a tunic of old sheaths (not from a bulbous base), the leaf blades appear strongly greyish and prominently veined/ridged and somewhat firm, the ligules are long and prominent on the basal leaves (to 3 mm long, and longer on culm leaves), the uppermost culm leaf blades are vestigial, the spikelets are smaller than in the other specimens, barely reaching 3 mm long, and are 2–3 flowered. Nyárády put one annotation label, "*Poa bulbosa* subsp. *pseudoconcinna*", on the sheet near LW00213478B, possibly due to a lack of suitable space, but seemingly applying it to A and B. Perhaps there has been some historical mix-up with the B sample, as it is clearly not intermediate between *P. bulbosa* L. and *P. concinna* Gaudin. Anyway, it must be excluded from consideration as suitable type material.

Description of the *Poa pseudoconcinna* Schur, **lectotype** (**here designated**): LW00213479 [LW 213479] (Fig. 1):

> Perennial. Five tufts, all alike, tufts small, each tuft with one, erect to basally geniculate flowering shoot, each with a few leafy lateral pear-shaped bulbs, bulbs ascending divergently from the flowering shoot at about 10–30° (as is typical of *Poa bulbosa* subsp. *bulbosa*), bulbs short, overlapped by old outer sheaths, the inner sheaths up to 1 cm long, the lower indurate portion 4–6 mm long; new shoots intravaginal; prophylls with retrorse and mixed directional prickle hairs along the keels. Culms 19 to 24 cm tall, smooth, with 1 to 2 nodes elevated, uppermost node at about 1/3 the culm height; leaf sheaths smooth, uppermost sheath 5–7 times longer than its blade, margins fused ca. 1/5 (1/4?) their length; basal leaves short, thin (without thickened margins), abaxially smooth, soon withering, basal blades to 2 cm long, mostly folded, narrow (to 1 mm wide, or 0.5 mm folded), culm blades to 2 cm long, uppermost blade 0.5–1.0 cm long; ligules whitish, smooth to sparsely scabrous abaxially, acute, 1.0–1.4 mm on basal leaves, to 3.4 mm long on culm

leaves. Panicles 3.0–3.5 cm long, ovate in anthesis, to elliptical and contracted, branches 1–2(–3) at lowest node, longest branches to 1.5 cm long with 5–8 spikelets, naked in the lower 2/5–1/2, subflexuous, ascending to appressed, pedicles short and scabrous (noted by Schur). Spikelets ca. 4 mm long, with (3–)4–5 florets; glumes broad, thin, 3-nerved, subequal and shorter than adjacent lemmas by ca. 1 mm; rachilla internodes a little exposed (florets not crowded and divergent as in *P. perconcinna*); lemmas ca. 3 mm long, hairs confined to keel and marginal nerves, appressed, body purplish in distal 1/2–1/3 with a golden brown band above that extending to near the acute apex and a narrow, whitish scarious-hyaline margin; palea keels scabrous; anthers immature.

Any differences between the two cited specimens and *Poa bulbosa* s. str. are obscure and minor at best. The Schur specimens are quite typical of small-tufted *P. bulbosa* s. str. plants and are a good match for the lectotype of that [LINN 87.57 *Poa bulbosa* L.; https://linnean.access.preservica.com/?s=87.57: first-step designation by Meikle (1985); second-step designation by Soreng in Cafferty et al. (2000)].

The US National Herbarium has several sheets originally disseminated with "*pseudoconcinna*" determinations at different ranks. Unlike *Poa delicatula* types, they all have smooth culms, longer and smooth ligules, and 3-nerved lower glumes, and all fit *P. bulbosa* subsp. *bulbosa* var. *bulbosa.*

Poa pseudoconcinna, Hungary, Pest, Comit. Pest. In arena mobili insulae Csepel ad Soroksár. Sol. aren., 80 m, 25 May1904, *A. Degen 270* (US-04071889, US-04071875).

Poa bulbosa subsp. *pseudoconcinna*, Flora Čechoslovenica exsiccata, Moravia australis: montes Pavlovské kopce, Šibeničnik prope urbem Mikulov, solo calcareo, 238 m, 16 May1933, *F. Weber 363* (US-04071880).

Poa bulbosa var. *pseudoconcinna*, Bohemicae Slovenicae, Moravia Centr.: Třebíč, in praeruptis aridis, desertis supra Jihlavka fluvium prope urbem Mohelno, solo serpent., 250 m, 26 May 1926, *F. Novacek 292* (US-04071886).

Poa bulbosa var. *pseudoconcinna*, Bohemicae Slovenicae, Moravia Meridionalis, Mikulov: Svatá hora, in declivio stepposo. Slovakia. Solo calcario, 360 m, 19 May 1923, *G. Sirjaev 86* (US-04071879, US-04071887).

Discussion of diploid chromosome counts sometimes attributed to *Poa bulbosa*

We have attempted to track down all diploid vouchers sometimes attributed to *Poa bulbosa.*

It has been presumed by some that diploid counts for European *Poa bulbosa* (exclusive of *P. perconcinna*) belong to *P. bulbosa* subsp. *pseudoconcinna*, but as noted above, the type of that is *P. bulbosa* s. str.

Poa perconcinna is a close relative for which Duckert-Henroid and Favarge (1978) counted $2n = 14$ for six populations of Switzerland.

A chromosome number $2n = 14$ was reported for European *Poa bulbosa* by Guinochet [1943, Mediterranean Alps, France, "murs en pierres sèches à Roubion", herb. Guin. 4107230014 (VIL?). According to *Index Herbariorum* (Thiers, 2009–onward), the VIL Guinochet collections were dispersed in 1999 to Ville De Nice Direction Des Espaces Verts {n.v.}. Although we have been in touch with the Head of the associated herbaria, NICE and JBVN, by email, we have not yet received confirmation of the presence of the voucher or Guinochet's herbarium. However, as subsp. *pseudoconcinna* is not reported for France in *Euro+Med PlantBase* (Valdés, Scholz, 2009), the *Guinochet* diploid voucher is probably *P. perconcinna*. Portal (2005) noted *P. perconcinna* occurred in the Maritime Alps of France and did not mention $2n = 14$ for *P. bulbosa*.

Kožuharov and Stoeva (1983) reported $2n = 14$ for *P. pseudoconcinna* from Bulgaria, east of Kocherinovo at about 700–800 m. alt., [on leached cinnamon forest soil; translation from 1983, p. 155] (voucher: MC-I40 | Rila, east of Kocherinovo, Defileto, | $2n = 14$ X = 7 | 21.IV 1977 | Leg. *Kožuharov & Stoeva*, SOM [SOM1332 image!]): The voucher looks like the taxon as applied by Ascherson and Graebner (1900), non Schur (1866). Considering the filiform leaves in the voucher, it might be *P. perconcinna*. We wonder if the authors held the opinion that *P. pseudoconcinna* was applicable to *P. concinna* Gaudin (non R. Br.). They also reported $2n = 14$ for *P. jordanovii* Kožuharov & Stoeva, which differs in smaller, delicate, open panicles with spikelets and florets lacking callus hairs, the count coming from the type collection population of Bulgaria: Z. Rodopi, reservat "V. Kolarov" skalisti do r. Suisuza, 28 Aug 1975, Stoeva, MS — No. 120, SOM (SOM1433 image!; Fig. 2).

A diploid number for *P. bulbosa* was reported without infraspecies by Hubbard (1954) without

voucher, and the diploid count was removed from his second edition (Hubbard, 1968).

Phitos (1988) reported 2*n* = 14 from the type locality in Greece of *P. cephalonica* H Scholz as that taxon, and 2*n* = 28 for its (unnamed) viviparous form. This name is treated in the CCDB server as a synonym of *P. bulbosa*, but that is incorrect.

One diploid count was attributed to Caucasian or Transcaucasian plants (Tzvelev, 1976; Tzvelev, Probatova, 2019) called *Poa delicatula* Schrad., or *P. delicatula* Wilhelms ex Tzvelev (1973, nom. illeg., a later homonym) or *P. bulbosa* subsp. *delicatula* Tzvelev (1974, 1976). (At LE, there are specimens annotated by Tzvelev in the 1970s from Dagestan, Armenia, Azerbaijan, and Georgia). Tzvelev (1976) also noted *P. bulbosa* subsp. *delicatula* occurred in Iran, but the taxon was not mentioned in Iran by Kavousi et al. (2015). Sokolovskaya and Probatova (1979) published 2*n* = 14 for subsp. *delicatula* (Azerbaijan, *E.B. Alekseev s.n.*, VLA!). The voucher for the diploid count is a clearly bulbous-based plant, but it includes only vegetative material; it may not belong to *P. delicatula* (Tzvelev, 1976, who only suggested the taxon was diploid). Notably, the greenhouse-grown plant does not appear to be bulbous (but see *A* comment on bulbs under *P. carniolica*).

Voucher: (VLA!). Det. N.S. Probatova. n. 4842 2*n* = 14 (Sok., p, 1979). "On the right are the original plants, on the left are the plants from the greenhouse" (Sokolovskaya, Probatova, 1979) [translated from Russian] (RJS photo USER0340!)

Two other Asian diploid counts for *P. bulbosa* without infraspecies were reported from Armenia and India. The voucher cited by Nazarova and Goukasian (1995, ASIA, Armenia, *Nazarova 2018*, ERE) is in the geographic range of *P. delicatula,* but this name was not mentioned in the *Flora of Armenia* (Takhatajan, 2010, where 2*n* = 14 is noted for *P. bulbosa*), despite Tzvelev's 1970s annotations of material at LE from Armenia. The India diploid report by Mubarik et al. (2017, ASIA, India, *N. Mubarik 29338*, PUN) was not specific to locality. Our several requests for images of the ERE and PUN vouchers have not been answered.

All other *Poa bulbosa* counts tabulated from the literature by Soreng are higher (sometimes reported with +1 or +2 B chromosomes): 2*n* = 21(× 3), 24(× 2), 28(× 49), 31(× 1), 32(× 1), 33(× 7), 34(× 1), 35(× 12), 36(× 2), 37(× 3), 39(× 7), 40(× 2), 41(× 2), 42(× 33), 43(× 2), 44(× 3), 45(× 5), 46(× 4), 47(× 1), 48(× 2), 49(× 4), 50(× 2), 54(× 1), 56(× 2), 58(× 1). So, the species is mainly tetraploid and hexaploid. Multiple triploid and other odd multiples of 7, and dysploid counts (off multiples of the base number of x = 7), are generally indicative of apomixis, but some variation may be attributable to B chromosomes. Some 82 of the higher counts were reported from pseudoviviparous plants, while 17 others [2*n* = 21(× 3), 24(× 1), 28(× 2), 35(× 1), 39(× 1), 42(× 4), 44(× 1), 45(× 1), 46(× 2), 48(× 1] were attributed to subspecies or variety *bulbosa*. Fifty-nine more were reported without infraspecies. Stoeva (1983) evaluated 29 populations of *P. bulbosa* (2*n* = 21 to 54) from Bulgaria and the former Soviet Union (republics of Georgia and Tajikistan), half of which exhibited multiple chromosome numbers within populations. See also Duckert-Henriod and Favarger (1987) and the CCDB database.

Diploid counts for *P. bulbosa* attributed to Holub et al. (1971) were database errors, which were reported as *P. badensis* or *P. crassipes* (fide Jiří Danihelka, pers. comm. 2025, and RJS from Holub's publication). This has now been corrected in the CCDB database.

The *Flora Europaea Checklist and Chromosome Index* (Moore, 1982) listed one diploid report for *Poa bulbosa* from Greece, citing "Edmondson ined". However, Moore's account may have predated Edmondson's (1980) treatment of *Poa* in *Flora Europaea*, where no diploid counts were accepted for that species. Portal (2005: 84), covering *Poa* of Belgium, France, and Switzerland, listed "2*n* = 28, 42 (21, 24, 31–37, 39–46, 48, 49, 59)" under *P. bulbosa* var. *bulbosa*, and noted the numbers were probably the same for var. *vivipara* Koeler (cited as "var. *vivipara* Borkh." nom. nud.). In *Flora Iberica* (*Poa* by Ortega-Olivencia, 2020), 2*n* = 21, 28, and 42 were reported for *P. bulbosa* as Iberian counts, while 2*n* = 14 was noted as from outside the flora area. For Russia (Tzvelev, Probatova, 2019), *P. bulbosa* was reported as 2*n* = 42, and var. *vivipara*, as *P. crispa* Thuill., as *2n* = 28 and 42.

At this point, we are highly skeptical of any diploid counts being applicable to *Poa bulbosa* s. str.

Discussion and lectotypification of *Poa concinna* ≡ *Poa perconcinna*

Poa perconcinna J.R. Edm., Bot. J. Linn. Soc. 76(4): 330. 1978 (published as nom. nov.) ≡ *Poa concinna* Gaudin, Agrost. Helv. 196. 1811 (nom. illeg., non. R. Br., 1810) ≡ *Poa bulbosa* var. *concinna* Posp., Fl. Oesterr. Küstenl. 1: 97. 1881. (nom.



Fig. 1. Lectotype of *Poa pseudoconcinna* Schur (LW00213479), courtesy of the Herbarium, Ivan Franko National University of Lviv, Lviv, Ukraine



Fig. 2. Holotype of *Poa jordanovii* Kožuharov & Stoeva (SOM1433), courtesy of the Institute of Biodiversity and Ecosystem Research, Bulgarian Academy of Sciences

nov. for *P. concinna* Gaudin) ≡ *Poa bulbosa* subsp. *concinna* (Posp.) Hayek, Repert. Spec. Nov. Regni Veg. 30(3): 260. 1933.

Protologue: [Switzerland] Hab. In arenosis Valesiae inferioris, et praecipue Seduni. **Type specimen**. "Schleicher exs. of Cent. II. No. 12. Poa molineri Balb." In aridis circa Branson. (**lectotype**, **here designated** by Soreng & Patrice Descombes: G-DC (G01100147) "12. Poa Molineri Balb. In aridis circa Branson" {printed ticket} "Schleicher" {handwritten} (Fig. 3, RJS IMG-4259); isolectotypes: LAU [LAU31572/Accession: G3169B; plant on left side of part B], W [W18890246843; plant on left]; W [W19240005263]).

The lectotype derives from original material named *Poa molinerii* Balbis sensu de Candolle (1805: 62, misapplied, non Balbis, 1801), as noted by Gaudin (1811), and Mutel (1837). Edmondson (1978) did not cite a type, nor did Portal (2005). Portal wrote that the type was at LAU, but there appear to be two gatherings on the LAU isolectotype and W lectotype sheets. By comparison of these and the DC (G) herbarium sheet, we conclude the smaller plants (syntypes) were gathered by *Thomas f.* "prope Seduni" (that sometimes written in pen on the printed ticket), the larger plants correspond to the "*Schleicher* exs." The separate de Candolle herbarium at G has these on separate sheets, and the taller plant has "Schleicher" written on it. Both forms are *P. perconcinna*.

Poa concinna Gaud., Helvetia in Seduni (ex herbier de L'Abbe Daenen received in 1864) G-DC (RJS image 4260) is a syntype. LAU31572 pp. B, right-hand specimen, corresponds to this smaller form collected by *Thomas f.* prope Sedunam.

Poa perconcinna is considered to be a diploid, dwarfish, bulbous based, close relative of *P. bulbosa*, with a webbed callus (mostly, but sparsely), and lemmas ≤ 2.8 mm long, the species occurring from Switzerland and adjacent western valleys in the Alps of France (Duckert-Henriod, Favarger, 1987; Portal, 2005, with description and illustrations). It differs from *P. bulbos*a, *P. delicatula*, and *P. pseudoconcinna*, in the more compact spikelets (rachilla internodes short, hidden), and florets 4–7(–10), closely imbricated and divergent at a wider angle (see Portal p. 136, middle Fig. 4, {less often like the left Fig. 4}), and with dense tufts of early withering, threadlike [0.3–0.4(–0.7, 1.0) mm wide], basal leaf-blades.

Axel Nygren (1962) reported seven counts of $2n = 14$ as *P. concinna* Gaudin (≡ *P. perconcinna*) from France, Switzerland, and Bulgaria. We tried to track down his voucher material, which he cited in detail with collection numbers. None were found in Sweden's Virtual Herbarium (http://herbarium.emg.umu.se/standard_search.html). Nygren worked nearby Upsala at The Royal Swedish Academy of Agricultural Sciences in Ultuna, but his voucher material is absent there today (Patrik Spånning Westerlund, pers. comm. 2025). We requested images of Nygren's vouchers from GB (where some *Nygren* collections are said to be present, but were not found; Claes Gustafsson, pers. comm. 2025) and also from UPS (no Nygren cytological vouchers were found by Mats Hjertson, pers. comm. 2025). Prof. Anna Rosling continues the search in Uppsala University departments, but nothing has been found (pers. comm. July 2025).

We surmise that Nygren's (1962 and earlier) hundreds of diploid counts (from: Bulgaria, vic Klisura, NW of Sophia; France, St. Jean de Marianne, Savoy, 750 m, vic St. Véran, Hautes-Alpes, 2200–2500 m, vic St. Véran, Hautes-Alpes, 2200–2500 m, vic St. Veran, Hautes-Alpes, 2200–2500 m; Switzerland, Sion, Valais, 800 m) for "*P. concinna*" should at least in part, except the Swiss population, be attributed to *P. molinerii* Balb. It is evident from his Fig. 72 range map that he precisely duplicated the range of *P. molinerii* in Buschmann's well-documented treatment (1942, Karte 1, pp. 94–95) of the *Poa badensis* complex, changing the name to *P. concinna*. Buschmann included "*P. molinerii* s. ampl." as one of "Kleinarten" [small species] of variable morphology and wide geographic range within his *P. badensis* s. l., a taxon complex that does not produce bulbs (Edmondson, 1980; Portal, 2005). Nygren (1962) did not mention bulbs in his paper on the origins of *P. alpina* L., nor did he mention *P. molinerii* (but see Müntzing, Nygren, 1955: 416, where the two authors provisionally equated *P. molinerii* with *P. concinna*). *Poa concinna* (≡ *P. perconcinna*) is not morphologically confusable with *P. molinerii* (although de Candolle did it in 1805). The former taxon has bulbs, compact spikelets with numerous short florets, and tender threadlike leaf-blades with intermittent and weekly developed sclerenchyma bands, the later lacks bulbs and has larger fewer-flowered spikelets, rachilla internodes visible, lemmas (2.8–)3.5–3.8(–4) mm long, and broader and firmer blades usually with sclerenchyma bands below all primary and secondary vascular bundles and more or less thickened margins (Buschmann, 1942; Portal, 2005, as *P. badensis* subsp. *molinerii* (Balb.) Duck.-Henr. &

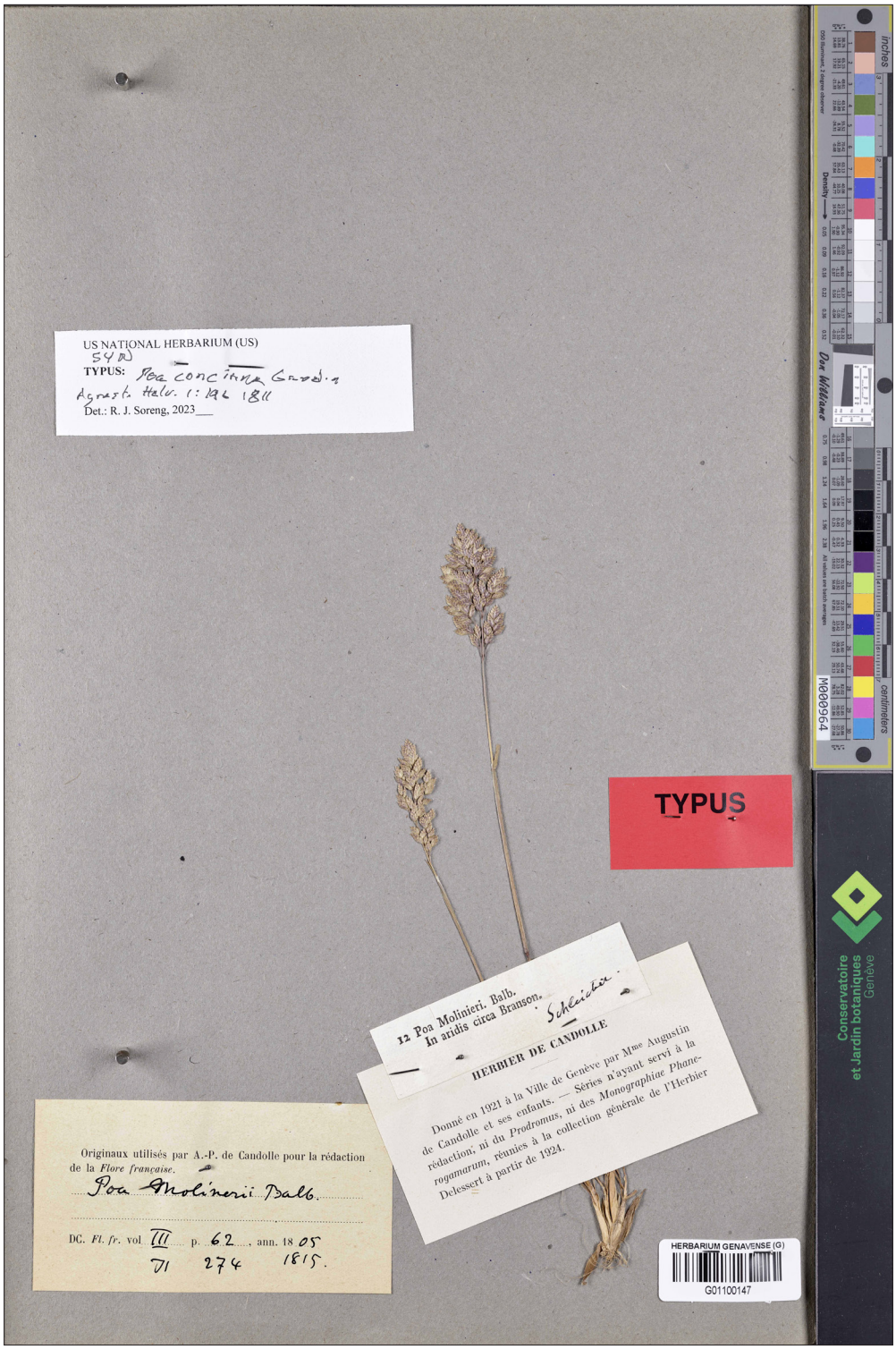


Fig. 3. Lectotype of *Poa concinna* Gaud. (G01100147), courtesy of © Conservatoire et Jardin botaniques de Genève

Favarger). Nygren's misapplication seems to have been noticed by Duckert-Henroid and Favarge (1987) as they did not cite his chromosome reports for *P. perconcinna*, and expressed their doubt (p. 38) concerning his counts under "*P. xerophila*" sensu Nygren. Nygren (1962: 5) mentioned "*P. alpina* subsp. *xerophila*" of Braun-Blanquet as the basis (intended basionym?), but did not effectively make a combination, as there is no clear and direct citation of the place of publication of the basionym (originally *P. alpina* var. *xerophila* Braun-Blanq. [≡ *P. badensis* subsp. *molinerii* (Balb.) var. *xerophila* (Braun-Blanq.) Duck.-Henr. & Favarger, *P. badensis* subsp. *xerophila* (Braun-Blanq.) Kerguélen]. It is clear from Nygren's Fig. 3 (1962) that the voucher is a broad-leaved plant, very unlike bulbous relatives, including *P. perconcinna*, but the precise identity of *P. concinna* (sensu Nygren) in his Fig. 2 is not obvious.

Nomenclature of *Poa badensis* subsp. *molinerii*

Poa badensis Haenke ex Willd. subsp. ***molinerii*** (Balb.) Duckert-Heuriod et Favarger ex Soreng, **comb. et stat. nov.** ≡ *Poa molinerii* Balb., Elenco 85. 1801 [≡ *P. badensis* subsp. *molinerii* (Balb.) Duck.-Henr. & Favarger, 1987, nom. inval., without full and direct citation of the basionym, see Art. 38.13 and 41.5 of the *ICN*: Turland et al., 2025]. **Lectotype** (Buschmann, 1942, p. 113): G ["Ex montib. Tenda, misit Balbis"]; isolectotypes: FI (FI 012615/A: Herb. Webb. 202850, upper middle plant), BM (BM001067238)) ex herb. de Candolle ex herb. Nolte)

= *Poa badensis* var. *multiflora* (Gaudin) Kerguélen, Collection Patrimoines Naturels 8: xv. 1993 ≡ *Poa alpina* var. *multiflora* Gaudin, Flora Helvetica 1: 245–246. 1828. **Type** protologue. "in M. Sempronio ad pylas vallis Ganter" (**lectotype**, **here designated** by Soreng & Descombes: LAU 31563/A: G3165 "Trovee and Point force a entree de la vallee de Ganter sur la route du Simplon, Aug 1809").

Although this taxon is not a bulbous species, we bring it up as the name *Poa molinerii* (sensu DC.) was confused with what is known as *P. perconcinna* by de Candolle (1805) and Nygren (1962). Gaudin (1828), under II *Poa alpina brevifolia* Gaudin (1828: 245) cited "β *multiflora* Gaud. Agr. Helv. 1. p. 194", with description on p. 246, but that name is not present in either *Agrostologia Helvetica* (tomus 1 or 2), nor in their indices. Duckert-Henroid annotated the selected var. *multiflora* lectotype in 1984, as "*Poa badensis* ssp. *molinerii* (Balb.) D.H. et Favarger var. *molinerii*". The subspecies combination is validated here. Kerguélen (1993) treated *Poa molinerii* Balb. as a synonym of his *P. badensis* subsp. *xerophylla* (Braun-Blanq.) Kerguélen (2*n* = 14) var. *multiflora* (2*n* = 28), the inverse of what Duckert-Henroid and Favarge (1987) proposed. The *Poa* epithet *molinerii* is widely applied, whereas that of *xerophylla* is narrowly restricted to diploid populations from close to the type locality Zernez, Chaste Muottas, Switzerland.

Discussion of *Poa carniolica*

Although the names *Poa concinna* var. *carniolica* Hladnik ex Mutel, Fl. Franc. 4: 77. 1837 (≡ *P. carniolica* (Hladnik ex Mutel) Bech., Ber. Schweiz. Bot. Ges., 45: 295. 1936), are sometimes equated with *P. concinna* Gaudin (≡ *P. perconcinna*) (e.g., Pignattii, 1982; Portal, 2005), the original material does not appear to be bulbous based. Mutel (1837) diagnosed the new variety as having culms taller, panicles more lax and elongated, and referred to *P. carniolica* Hladnik and *P. concinna* var. *carniolica* Rchb. {Agrostogr. Germ., 1834 tab. "11" {error for 81} f. 1618. Reichenbach (1834: 34) cited 'Tab. LXXXI f. 1618, var. *carniolica* Hladnik, and "*P. carniolica* Hladnik" | "Bie Lagbach in Karin", without description or diagnosis. (Reichenbach's second edition, 1850, renumbered this as tab. LCIV, f. 384). The Reichenbach figure seems to be the only confirmable original material for typification, and we **here designate** Agrostogr. Germ., 1834, tab. LXXX1, f. 1618 as the **lectotype**.

Karin refers to the former Duchy of Carinthia, which covered parts of southern Austria and adjacent northern Slovenia: Laibach, is an older German name for Ljubljana, Slovenia. There is a sheet S13-29803 in the Agardh herbarium at S (image available on JSTOR Global Plants) labeled TYPUS, with a label "*Poa carniolica* [author illegible] n. sp." | "Prope Laibach" | "[collector illegible]" | noted as "*Hladn*." in a different penciled hand in the upper right corner. Of the five flowering shoots on the Agardh sheet, none is a clear match to Fig. 1618 (which has 30 spikelets, large 7-flowered spikelets). The Agardh specimen panicles are more densely-flowered and more contracted, with 30 to 40 spikelets, and up to 7-flowered spikelets. Otherwise, it is quite like Fig. 1618 in habit. Since we cannot confirm that the Agardh herbarium sheet itself is original material, we **here designate** S13-29803 as

an **epitype** for *P. concinna* var. *carniolica* Hladnik ex Mutel, Fl. Franc. 4: 77. 1837, to interpret Reichenbach's (1834) Fig. 1618. Although Edmondson (1978, p. 330) wrote that the illustration "appears to be merely a variant of *P. bulbosa* L.", and "Attempts to typify the name have been unsuccessful", in his *Poa* treatment in *Flora Europaea*, Edmondson (1980) applied the Reichenbach figure to *P. bulbosa*, and *P. carniolica s. auct*. to *P. perconcinna*. The lectotypification here establishes the figure as the basis of Mutel's name. However, neither the Reichenbach figure, nor the epitype specimen (as far as can be seen online), are bulbous based. We suspect the more open inflorescence in the figure resulted from the illustrator's license to spread the branches. The taxonomic application of *P. carniolica* remains doubtful here, but in our opinion, the name is inapplicable to *P. bulbosa* or *P. perconcinna*, and perhaps not to any bulbous *Poa*.

A comment on bulbs. It is not always possible to be certain of the absence of bulbs in digital images. Even with specimens in hand when bulbs are not obvious (which they usually are), pressing the basal area with a fingertip to feel for a swollen base is usually a good test. Beyond that, a dissection of the base to confirm the presence of thickened, indurate basal sheaths is rarely needed. However, there was a last comment by Ascherson and Graebner (1900: 394) under *P. concinna*: [Google translation] "As Koch (Syn. Ed. 1, 802 {1838}) already noted, the bulbous swelling at the base of the stem (as, incidentally, often also at the previous one {i.e., *P. bulbosa*}) disappears in cultivation." This might account for the absence of bulbs in type and epitype material of *P. carniolica* and type material of *P. delicatula*.

Discussion of type material of *Poa delicatula*

The type specimens of *Poa delicatula* Schrad. and *P. delicatula* Tzvelev material appears to lack bulbs.

Poa delicatula Schrad., in von Schlechtendal, Linnaea 12(4): 448. 1838. **Type**. "H. Petr. pr. com. *P. triv*. 1832 [**lectotype**, designated by Tzvelev in Tzvelev & Probatova, 2019, p. 319): LE-Herb. Schrader | "H. Petr. pr. com. *P. triv*. 1832, LE00019412 p.p. "c" (http://re.herbariumle.ru/00019412); isolectotypes LE00019412 p.p. "a, b", LE-TRIN 2616.01 p.p. "a"] (TRIN = C. B. Trinius Herbarium; Soreng et al., 1995).

= *Poa delicatula* Wilhelms ex Tzvelev, Novosti Sist. Vyssh. Rast. 10: 94. 1973 ≡ *P. bulbosa* subsp. *delicatula* Tzvelev, (Novosti Sist. Vyssh. Rast. 11: 26. 1974 [**holotype**: LE-Cauc. Herb. Ledeb. (RJS image 1899): "Hortus Imperials Petropolitanus | Herb. Ledebour | *Poa delicatula* novo Spec. | Cauc. {"Cauc." penciled in another hand}]", determined in 1917 by Roshevitz as *Poa bulbosa* L.; isotype: US (US04073283) "Ex herbario horti Petropolitani. | *Poa bulbosa* L. | Caucasus | *Wilhelms*")] (Fig. 4).

On the US isotype, the two shoots of p.p. "a" are a perfect match for Tzvelev's *Poa delicatula* holotype, and the lectotype of the Schrader species. Considering the above *comment on bulbs*, we tentatively accept *P. delicatula* as a bulbous species, following Tzvelev and Probatova (2019), as the type material does not match any other species we know of with or without bulbs. More analysis of the taxon will be provided in a separate paper.

Discussion of *Poa bulbosa* var. *colorata*

Poa bulbosa var. *colorata* Hack. ex Asch. & Graebn., Syn. Mitteleur. Fl., 2: 293. 1900. **Type**: C. Baenitz, Herbarium Europaeum (s.n.) *P. bulbosa* L. f. *colorata* Hack. in lit. Flora Hercegovinae: Mostar; Wiese über dem Stolacfelssen, 30/5.97 — 500 m. leg. *C. Baenitz* [**lectotype**, **here designated**: US0472420; isolectotypes: DR058535 [image!], HBG0524299, KFTA0000140 [image!])].

Protologue: Hackel Prosp. Baenitz Herb. Eur. XXXIII (1900) 7 (1899). Distribution: Sardinia and the Balkan Peninsula.

The taxon was effectively described as "Richly flowered, vividly reddish" variety [Google translation from German].

RJS identified one specimen at US (US0472420) as a good match to the Reichenbach Fig. 1618 of *P. concinna* var. *carniolica*. A search of https://JACQ.org revealed three more duplicates of this collection. The KFTA sheet was annotated as "Isotype" of var. *colorata* by Victor Byalt, on 2013-12-23, unpublished. We designate the US sheet as the Lectotype of *P. bulbosa* var. *colorata*. Presumably, this collection was among the material redistributed in additional numbered sets of Baenitz exciccatae. It has tiny bulbs and small tufts of short, slightly withered leaves. It has the broad glumes of *P. bulbosa* and *P. perconcinna*, and compact spikelets with 6–8 divergent florets, with hairs (dense, silky, blunt-tipped) confined to the keel and marginal nerves, palea keels that are scabrous without longer hairs (as is typical of *P. bulbosa* and bulbous allies), anthers 1.2–1.3 mm long, like *P. perconcinna*. It has



Fig. 4. Isotype of *Poa delicatula* Wilhelms ex Tzvelev (US04073283, pp. a), courtesy of the Department of Botany, Smithsonian Institution (pp. b = P. iconia Azn. var. iconia)

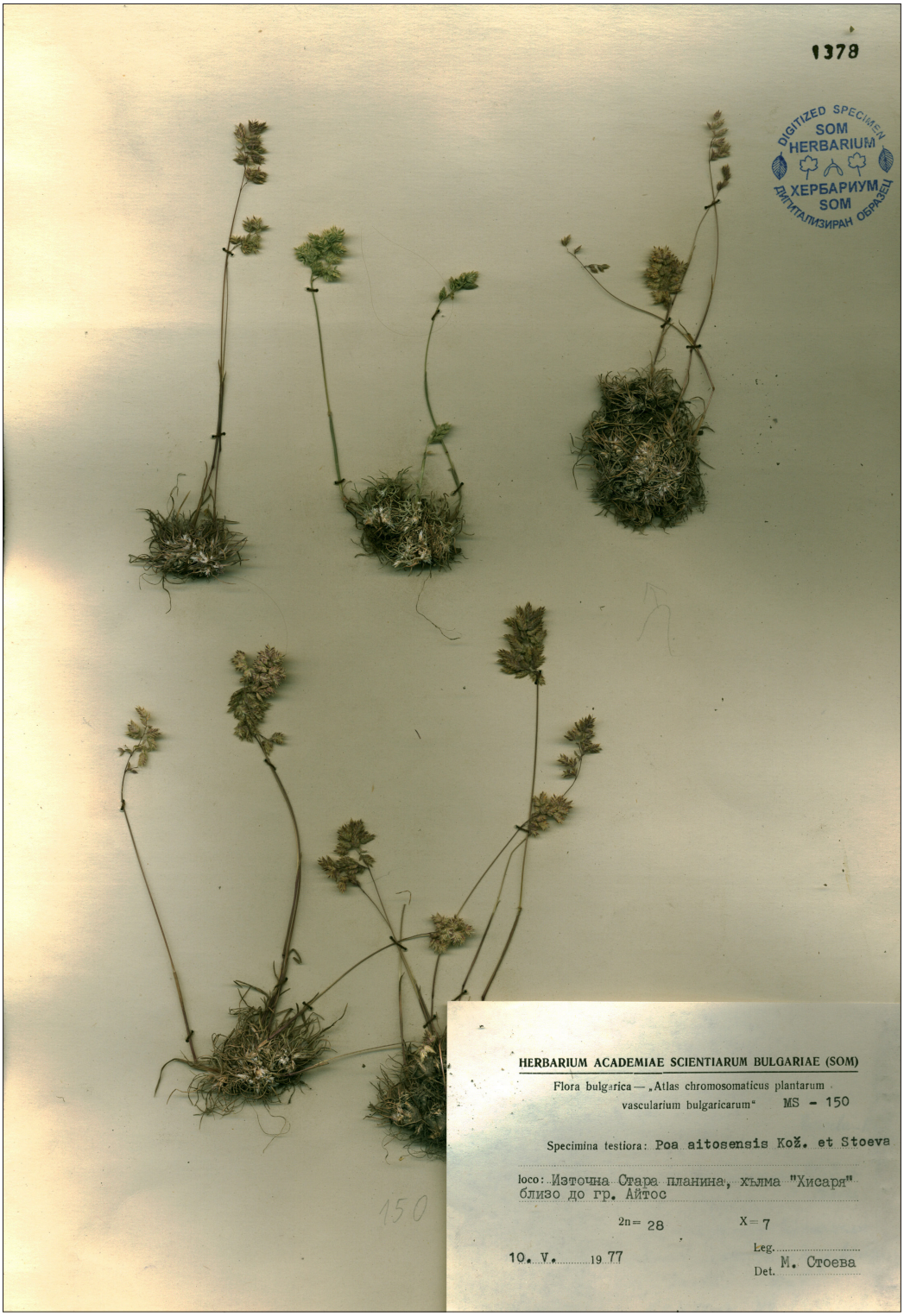


Fig. 5. Holotype of *Poa aitosensis* Kožuharov & Stoeva (SOM1378), courtesy of the Institute of Biodiversity and Ecosystem Research, Bulgarian Academy of Sciences

only 7–22 spikelets (versus 30–40 in the Reichenbach figure of *P. concinna* var. *carniolica*), which, as described, are quite reddish. Previously determined as *P. perconcinna* by RJS, its lemmas are 3 mm long, too long for that, but it also lacks hair on the callus of florets (variably present or absent in *P. perconcinna*), so it does not belong to *P. bulbosa* s. str. nor to *P. pseudoconcinna*. We tentatively accept *P. carniolica* (Mutel) Bech. as a separate species, as done by Valdés and Scholz (2009), and *P. bulbosa* var. *colorata* may belong here.

Lectotype for *Poa timoleontis* and synonymy of *P. aitosensis*

Poa timoleontis Heldr. ex Boiss., Fl. Orient. 5: 607. 1884. **Type specimen**. Attica: in pascuis aridis regionis inferioris a mediae montis Hymentti, alt. 500'–2500', 2 May 1878, *Heldreich 104* [**lectotype**, **here designated**: G (G00382993); isolectotypes: G (G00382992), G-BOIS (G00330289), LE (LE00009716), US (US00731019, ex herb. Hackel, excl. plant on left in early viviparous stage), US (US04072742, ex hb. Hackel)].

= *Poa aitosensis* Kožuharov & Stoeva, Spornik, 90 Godini Akademik Daki Iordanov. 155, f. 6. 1984. **Holotype**: Bulgaria, Vallis Tundzae, supra urbem Aitos, l.d. Hisar, 10 May 1977, *Stoeva MS- No. 150*, SOM1378 (image!) (Fig. 5).

Boissier (1884) cited four collections from Greece and one from Syria of *Poa timoleontis*, a new bulbous species of *Poa*. Although some herbarium sheets have been marked as types or syntypes, to our knowledge, no one has formally published a lectotype. The lectotype selected was received by Boissier in 1883 as *Poa timoleontis* Heldr. spec. nov.

For *Poa timoleontis*, Nygren (1957) published $2n = 14 + 2B$, from a North Macedonia specimen [Topalka Gorge, 200–300 m elev. (misit. W. Koch, Zurich)], and Kožuharov and Stoeva (1983) published $2n = 14$ from a Yugoslavian collection without details. Stoeva and Kožuharov (Löve, 1978) published $2n = 28$ for the species from Bulgaria, but in 1983, they changed the identification of the tetraploid to *P. aitosensis*. They noted their new species differed only in the tetraploid chromosome number from the diploid bulbous taxon *P. timoleontis* Heldr. ex Boiss. The *P. aitosensis* type image has every aspect of the habit, including bulbs, prominent, broadly decurrent, white ligules, and noted absence of a web on the callus, like the later taxon, and we here consider it a synonym of *P. timoleontis*.

Conclusions

In summary, it appears from our study of the lectotype selected here that *Poa pseudoconcinna* Schur s. str. is indistinct from *P. bulbosa* subsp. *bulbosa* var. *bulbosa*. Furthermore, we do not know if it represented a diploid population or not. *Poa delicatula,* as named by Tzvelev (1973), treated as a *P. bulbosa* subspecies in 1974, 1976, or as *P. delicatula* Schrader (1838) by Tzvelev and Probatova (2019), appears to be distinct from *P. bulbosa* s. str. in having smaller spikelets and lemmas. We have attempted to track down all diploid chromosome number voucher material of *P. bulbosa* s. l. and *P. delicatula*. It appears the one confirmed European *P. pseudoconcinna* sensu auct. diploid voucher is distinct from *P. delicatula* as applied to bulbous material, and it might be applied to *P. perconcinna*. The taxonomic disposition of the eastern diploid populations reported as *P. bulbosa* from Armenia and India remains to be seen. Although we have identified and established types and lectotypes here for several taxon names, further study of the diploids of *P. bulbosa* and putative relatives is needed, but we doubt any diploid counts apply to *P. bulbosa* s. str.

Acknowledgments

Among others who have searched herbaria and libraries, we thank Aneta Lambevska-Hristova, Herbarium (SOM), Institute of Biodiversity and Ecosystem Research, Bulgarian Academy of Sciences, for sharing and permission to reproduce images of *Poa jordanovii* and *P. aitosensis* types and their original publication; Patrice Descombes (LAU) for assisting in typifying *P. concinna* Gaudin, and G herbarium staff for providing a DC herbarium image of the lectotype; Jiří Danihelka (BRNU) for discussions of Schur and *P. bulbosa*. This work was greatly facilitated by online resources including: the Biodiversity Heritage Library https://www.biodiversitylibrary.org/; JSTOR Global Plants Global Plants on JSTOR; the JACQ herbarium database https://jacq.org/; Missouri Botanical Garden's Tropicos database https://tropicos.org/home; Wikipedia https://wikipedia.org; Google Books https://books.google.com, and Google Translate app; and Smithsonian Institution resources, including the US National herbarium https://collections.nmnh.si.edu/search/botany/; and visits by RJS to various herbaria over the years. Digitization of Schur's herbaruium specimens in LW was possible due to the generous support provided by The Andrew W. Mellon Foundation.

ETHICS DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

R.J. Soreng https://orcid.org/0000-0002-8358-4915
L. Tasenkevich https://orcid.org/0000-0001-9348-1218

REFERENCES

Ascherson P.F., Graebner K.O.R.P.P. 1896–1898.Vorrede. In: *Synopsis der Mitteleuropaischen Flora.* Vol. 1. Leipzig: Verlag von Wilhem Engelmann, 1–11 pp.

Ascherson P.F., Graebner K.O.R.P.P. 1900. *Gramineae* p. p. *Poa*. In: *Synopsis der Mitteleuropaischen Flora.* Vol. 2(1). Leipzig: Verlag von Wilhem Engelmann, pp. 386–437.

Buschmann A. 1942. Zur Klarung des formenkreises um *Poa badensis* Haenke. *Oesterreichische Botanische Zeitschrift*, 91(2): 83–130.

Cabi E., Soreng R.J., Gillespie L.J., Amiri N. 2016. *Poa densa* (*Poaceae*), an overlooked Turkish steppe grass, and the evolution of bulbs in *Poa*. *Willdenowia*, 46(2): 201–211.

de Candolle A.P. 1805 [1815]. CLXXV. Paturin. *Poa*. In: *Flore Française, ou descriptions succinctes de toutes les plantes qui croissent naturellement en France.* Vol. 3. 3rd ed. Eds J.-B. de Lamarck., A.P. de Candolle. Paris: de l'Imprimerie de Stoupe, pp. 56–66.

Dimopoulos P., Raus T., Bergmeier E., Constantinidis T., Iatroú G., Kokkini S., Strid P.A.K., Tzanoudakis D. 2013. Vascular Plants of Greece. An annotated checklist. *Englera*, 31: 1–372.

Domin K. 1936. Schedae ad Floram Čechoslovenicam exsiccatam, Centuria IV. *Acta Botanica Bohemica*, 11: 3–50.

Dostál J. 1989. *Poa*. In: *Nová Květena ČSSR.* Vol. 2. Bratislava: Academia, pp. 1336–1344.

Duckert-Henriod M.M., Favarger C. 1987. Contribution à la cytotaxonomie et à la cytogéographie des *Poa* (*Poaceae* = *Gramineae*) de la Suisse. *Denkschriften der Schweizerishe Naturforschen Gesellschaft*, 100: 1–130.

Edmondson J.R. 1978. Infrageneric taxa in European *Poa* L. *Journal of the Linnean Society. Botany*, 76: 329–334.

Edmondson J.R. 1980. *Poa*. In: *Flora Europaea.*Vol. 5. Eds T.G. Tutin, V.H. Heywood, N.A. Burges, D.M. Moore, D.H. Valentine, S.M. Walters, D.A. Webb. Cambridge: Cambridge University Press, pp. 159–167.

Gaudin J.F.A.P. 1811. *Agrostologia Helvetica, Definitionem descriptionemque graminum et plantarum eis affinium in Helvetia sponte nascentium complectens.* Vol. 1. Paris; Genevae: J.J. Paschoud, 326 pp.

Gaudin J.F.A.P. 1828. *Flora helvetica; sive, Historia stirpium hucusque cognitarum in Helvetia et in tractibus counterminis aut sponte nascentium aut in hominis animaliumque usus vulgo cultarum continuata.* Vol. 1. Turici: Sumptibus Orellii, Fusslini et Sociorum, xxxii + 515 pp.

Guinochet M. 1943. Recherches de taxonomie expérimentale sur la flore des Alpes et la région méditerranéenne occidentale. I. Notes caryologiques sur quelques Graminées. *Revue de Cytologie et de Cytophysiologie Végétales*, 6: 209–220.

Hegi G. 1907. *Illustrierte Flora von Mittel-Europa.* Band 1. München: Verlag von J.F. Lechmann, clviii + 402 pp.

Holub J., Měsíček J., Javůrková V. 1971. Annotated chromosome counts of Czechoslovak plants (16–30) (Materials for "Flóra ČSSR" — 2). *Folia Geobotanica & Phytotaxonomica*, 6(2): 179–214.

Horváth F., Dobolyi Z. K., Morschhauser T., Lőkös L., Karas L., Szerdahelyi T. 1995. *Flóra adatbázis 1.2. Taxon lista és attribútum állomány*. Vácrátót: MTA Ökológiai és Botanikai Kutatóintézet, 268 pp.

Hubbard C.E. 1954. *Grasses: a Guide to their Structure, Identification, Uses and Distribution in the British Isles.* London: Penguin Books, 402 pp.

Hubbard C.E. 1968. *Grasses: a Guide to their Structure, Identification, Uses and Distribution in the British Isles.* 2nd ed. Harmondsworth, UK: Penguin Books, 480 pp.

Kavousi M., Assadi M., Nejadsattari T. 2015. Taxonomic revision of the genus *Poa* L., new additions to Flora Iranica, and a new identification key. *Turkish Journal of Botany*, 39(1): 105–127.

Kožuharov S.I., Stoeva M.P. 1983. Two new species for section *Bolboforum* Aschers. et Graebn. of the genus *Poa* L. In: *Spornik, 90 Godini Akademik Daki Iordanov.* Livadina: 152–157, f. 1–6.

Koch W.D.J. 1838. *Synopsis der deutschen und schweizer Flora* [...] *Zweite abtheilung*. Frankfurt am Main: Im Verlage von Friedrich Wilmans. ix–lxvi + 529–840 pp.

Kubát K. 1992. *Poa*. In: J. Dostál, M. Červenka (eds.). *Vel'ký kl'úč na určovanie vyšších rastlín II*. Bratislava: Slovenské pedagogické nakladateľstvo, 783 pp.

Löve Á. 1978. IOPB chromosome number reports LXII. *Taxon*, 27(5–6): 519–535. https://doi.org/10.1002/j.1996-8175.1978.tb03875.x

Marhold K., Hindák F. (eds.). 1998. *Zoznam nižších a vyšších rastlín Slovenska* [*Checklist of non-vascular and vascular plants of Slovakia*]. Bratislava: Veda, 688 pp.

Meikle R.D. 1985. *Flora of Cyprus.* Vol. 2. Kew: The Bentham-Moxon Trust Royal Botanic Gardens, 832 pp.

Moore D.M. 1982. *Flora Europaea check-list and chromosome index*. Cambridge: Cambridge University Press, 423 pp.

Mubarik N., Kaur H., Kumari S., Gupta R.C. 2017. IAPT/IOPB chromosome data 25. *Taxon*, 66(5): 2150.

Müntzing A., Nygren A. 1955. A new diploid variety of *Poa alpina* with two accessory chromosomes at meiosis. *Hereditas* (Lund), 41: 405–422.
Mutel P.A.V. 1837. *Poa*. In: *Flore Française destinée aux herborisations.*Vol. 4. Paris; Strasbourg: F.G. Levrault, pp. 72–81.
Nazarova E., Goukasian A. 1995. Reports (528–542). In: Mediterranean chromosome number reports — 5. Eds G. Kamari, G. Felber, F. Garari. *Flora Mediterranea*, 5: 340–345.
Nygren A. 1957. *Poa timoleontis* Heldr., a new diploid species of section *Bolbophorum* A. et G. with accessory chromosomes only in meiosis. *Kungliga lantbrukshögskolans annaler*, 23: 488–495.
Nygren A. 1962. On *Poa badensis*, *Poa concinna*, *Poa pumila*, *Poa xerophila,* and the possible origin of *Poa alpina*. *Annales Academiæ regiae scientiarum Upsaliensis*, 6: 1–29.
Nyman C.F. 1882. *Conspectus florae europaeae (part 4).* Örebro (Sueciae): Typis Officinae Bohlinianae, pp. 677–858.
Nyman C.F. 1890. *Conspectus florae europaeae, Supplementum II*. 2nd ed. Örebro (Sueciae): Typis Officinae Bohlinianae, pp. 255–404.
Ortega-Olivencia A. 2020. *Poa*. In: *Flora Iberica Plantas vasculares de la Peninsula Iberica e Islas Baleares*. Ed. S. Castroviejo Bolíbar. Vol. 19(1). Madrid: Real Jardin Botanico, pp. 113–152.
Phitos D. 1988. Chromosome numbers in some species of the Greek flora. *Botanica Chronika (Patras),* 8: 45–50.
Pignatti S. 1982. *Flora d'Italia*. Vol. 3. Bologna: Edagricole, 1287 pp.
Podpěra J. 1925 [1926]. Květena Moravy ve vztazích systematických geobotanických. Část soustanvná, svazek VI. Část 2: Trávy (*Glumiflorae* Wettst.). *Práce Moravskou přírodovědně-přírodovědné společnosti*, 2(10): 1–512.
Poldini L. 2006. Novità floristiche dal Friuli Venezia Giulia. *Informatore Botanico Italiano*, 38(2): 373–378.
Portal R. 2005. *Poa de France, Belgique et Suisse*. Puy-En-Velay, France: Privately published, 303 pp.
Reichenbach H.G.L. 1834. *Icones florae Germanicae et Helveticae. Agrostographia germanica sistens icones Graminearum et Cyperoidearum quas in Flora germanica recensuit*. Leipzig: Friedrich Hofmeister, [1]: ii–iii, [1]–50, pl. 1–100.
Reichenbach H.G.L. 1850. *Icones florae Germanicae et Helveticae. Agrostographia germanica sistens icones Graminearum quas in Flora germanica recensuit*. 2nd ed. Leipzig: Friedrich Hofmeister, i, [1]–80, pl. 72–191.
Rice A., Glick L., Abadi S., Einhorn M., Kopelman N.M., Salman-Minkov A., Mayzel J., Chay O., Mayrose I. 2015. The Chromosome Counts Database (CCDB) — a community resource of plant chromosome numbers. *New Phytologist*, 206(1): 19–26. https://doi.org/10.1111/nph.13191
von Schlechtendal D.F.L. 1838. Reliquiae Schraderianae. *Linnaea*, 12(4): 353–476.
Scholz H. 1991. *Poa*. In: *Mountain Flora of Greece.*Vol 2. Eds P.A.K. Strid, K. Tan. Edinburgh: Edinburgh University Press, pp. 762–777.
Schur P.J.F. 1850. Verzeichniss der bis jetzt in Siebenbürgen bekannt gewordenen Gräser, Gramineae. *Verhandlungen und Mittheilungen des Siebenbürgischen Vereins für Naturwissenschaften zu Hermannstadt*, 1: 182–187.
Schur P.J.F. 1851. Beitrage sur Kenntniss der Flora von Siebenbürgen. Erster Artikle. Botanische Excursion auf den Fogarascherr Gebirgen Mittle August 1851. *Verhandlungen und Mittheilungen des Siebenbürgischen Vereins für Naturwissenschaften zu Hermannstadt*, 2(10): 167–171.
Schur P.J.F. 1852. Beitrage sur Kenntniss der Flora von Siebenbürgen. Zweiter Artikle Uebersicht der auf den Arpaser Alpeen Ende July 1849 und 50 gesammelten und beobachteten Pflanzen. *Verhandlungen und Mittheilungen des Siebenbürgischen Vereins für Naturwissenschaften zu Hermannstadt*, 3(6): 84–93.
Schur P.J.F. 1853. Sertum Florae Transsilvaniae. *Verhandlungen und Mittheilungen des Siebenbürgischen Vereins für Naturwissenschaften zu Hermannstadt*, 4: 1–94.
Schur P.J.F. 1866. *Enumeratio plantarum Transsilvaniae*. Wien: G. Braumuller, 984 pp.
Sokolovskaya A., Probatova N.S. 1979. Chromosome numbers of some grasses (*Poaceae*) of the flora of the USSR. II. *Botanical Journal*, 64(9): 1245–1258.
Soreng R.J. 2000. *Poa* (254–257). In: Typification of Linnaean plant names in the *Poaceae* (*Gramineae*). Eds S. Cafferty, C.E. Jarvis, N.J. Turland. *Taxon*, 49(2): 2239–2260.
Soreng R.J., Simmons R.H. 2018. Noteworthy Collections, Maryland, Virginia, and North Carolina. *Castanea*, 83(2): 270–271. https://doi.org/10.2179/18-171
Soreng R.J., Bull R.D., Gillespie L.J. 2010. Phylogeny and reticulation in *Poa* based on plastid trnTLF and nrITS sequences with attention to diploids. In: Eds O. Seberg, G. Petersen, A.S. Barfod, I. Davis. *Diversity, phylogeny, and evolution in the Monocotyledons*. Aarhus: Aarhus University Press, pp. 619–644.
Soreng R.J., Peterson P.M., Annable C.R. 1995. *Guide to the microform collection. Trinius Herbarium, Komarov Botanical Institute, St. Petersburg. L.H. Bailey Hortorium, Cornell University, New York.* Zug, Switzerland; Leiden, The Netherlands: Inter Documentation Company, 66 pp.
Soreng R.J., Olonova M.V., Probatova N.S., Gillespie L.J. 2020. Breeding systems and phylogeny in *Poa* L., with special attention to northeast Asia: the problem of *Poa shumushuensis* Ohwi and sect. *Nivicolae* (*Poaceae*). *Journal of Systematics and Evolution*, 58(6): 1031–1058. https://doi.org/10.1111/jse.12647
Špryňar P., Štěpánek J. 2024. *Poa*. In: *Key to the flora of the Czech Republic*. Eds J. Stepánková, Jr. Chrtek, Z. Kaplan Květ. Praha: Academia, pp. 521–546.

Stoeva M.P. 1983. Izmenchivost v khromozomiia broi na lukovichnata livadina (*Poa bulbosa* L.) [Chromosome number variability of *Poa bulbosa* L.]. In: *Spornik, 90 Godini Akademik Daki Iordanov.* Livadina: 86–98.
Takhtajan A.L. 2010. *Flora Armenii*. Vol. 11. Ruggell, Liechtenstein: A.R.G. Gantner Verlag KG, 545 pp.
Tasenkevich L., Skrypets K., Seniv M., Khmil T. 2024. Digitization of the oldest botanical collection in Ukraine (LW Herbarium): a case study. *Biodiversity*: *Research and Conservation*, 75: 1–8. https://doi.org/10.14746/biorc.2024.75.2
Thiers B. 2009–onward. *Index Herbariorum*. A global directory of public herbaria and associated staff. New York Botanical Garden's Virtual Herbarium. Available at: http://sweetgum.nybg.org/science/ih (Accessed March 2025).
Tzvelev N.N. 1973. Notae de gramineis florae URSS, 7. *Novitates systematicae plantarum vascularium*, 10: 79–98.
Tzvelev N.N. 1974. De Genere *Poa* L. in URSS. *Novitates systematicae plantarum vascularium*, 11: 24–41.
Tzvelev N.N. 1976. *Zlaki SSSR* [*Grasses of the USSR*]. Leningrad: Nauka, 788 pp.
Tzvelev N.N., Probatova N.S. 2019. *Zlaki Rossii* [*Grasses of Russia*]. Moscow: KMK Scientific Press, 646 pp.
Valdés B., Scholz H. [With contributions from Raab-Straube E. von & Parolly G.]. 2009. *Poaceae* (pro parte majore). In: *Euro+Med PlantBase — the information resource for Euro-Mediterranean plant diversity*. Available at: https://europlusmed.org/ (Accessed March 2025).

Номенклатурні нотатки про *Poa* (*Poaceae*): типіфікація назви *P. pseudoconcinna* та її приналежність до *P. bulbosa* sensu stricto, а також таксономічна приналежність диплоїдних хромосомних чисел, що наводилися для *P. bulbosa* та ймовірно споріднених таксонів

Р.Д. СОРЕНГ [1], Л. ТАСЄНКЕВИЧ [2]
[1] Смітсонівський інститут, Національний музей природознавства, Вашингтон, Округ Колумбія 20560, США
[2] Львівський національний університет ім. Івана Франка, біологічний факультет, Гербарій LW, вул. Михайла Грушевського 4, Львів 79005, Україна

Розглянуто оригінальний матеріал *Poa pseudoconcinna*; зразок LW00213479 морфологічно охарактеризовано і обрано лектотипом. Очевидно, що цей лектотип не відрізняється від *P. bulbosa* s. str. Розглянуто таксономічну приналежність *P. pseudoconcinna* sensu auct., який вважався диплоїдною расою, підвидом або різновидом *P. bulbosa*, а також співвідношення цієї назви з *P. delicatula*, *P. carniolica*, *P. jordanovii* та *P. perconcinna*. Узагальнено дані щодо кількості хромосом для виду *P. bulbosa* та споріднених з ним диплоїдів, а також вказано контрольні зразки вказівок диплоїдних чисел. Диплоїдні значення для *P. bulbosa* сумнівні. Дані свідчать про те, що хромосомні підрахунки Нюгрена для *P. concinna* (≡ *P. perconcinna*) насправді належать *P. molineiri*. Також обрані лектотипи для назв *P. alpina* var. *multiflora*, *P. concinna*, *P. bulbosa* var. *colorata*, *P. concinna* var. *carniolica* (разом з епітипом), та *P. timoleontis*. Зроблено нову номенклатурну комбінацію *Poa badensis* subsp. *molineiri*, comb. nov.

Ключові слова: *Arenariae*, *Poa*, Schur, хромосомні числа, лектотипіфікація, таксономія

PLANT TAXONOMY, GEOGRAPHY AND FLORISTICS
СИСТЕМАТИКА, ФЛОРИСТИКА, ГЕОГРАФІЯ РОСЛИН

https://doi.org/10.15407/ukrbotj82.06.524
RESEARCH ARTICLE

Valeriana dacica (*Caprifoliaceae*), a Carpathian endemic in Ukraine: distribution, morphology, ecology, population characteristics, and identification issues

Yuriy KOBIV *, **Rostyslava DMYTRAKH**
Institute of Ecology of the Carpathians, National Academy of Sciences of Ukraine,
4 Kozelnytska Str., Lviv 79026, Ukraine
* Author for correspondence: *ykobiv@gmail.com*

Abstract. *Valeriana dacica*, a long-neglected Carpathian endemic species, is widely distributed across the Ukrainian Carpathians; it also slightly penetrates into the adjacent foothills in the Subcarpathian region north-eastwards from the mountains. A map of the species' distribution in Ukraine is presented based on a critical revision of the herbarium data, literature, and the authors' records. A drawing of *V. dacica* and identification tips, which help distinguish it from the closely related species *V. tripteris* are provided. Morphology, ecology, and population characteristics of *V. dacica* are described. The species occurs in moist habitats: stream banks, water springs, micro-depressions in montane woodlands, and herbaceous understory in *Alnion incanae* communities. The altitudinal range of *V. dacica* covers lower and upper montane forest belts and extends into the subalpine zone. While some of its local populations are prone to decline because of the thickening of the shrub-arboreal layer during the restoration succession, others undergo expansion, particularly in the subalpine zone due to climate change.

Keywords: altitudinal range, metapopulation, montane species, Ukrainian Carpathians, *Valeriana montana* group

Introduction

The Carpathian Mountains represent a biodiversity hotspot harboring many endemic taxa of vascular plants (Mráz, Ronikier, 2016; Breman et al., 2020). Though endemic Carpathian taxa have been studied with special attention by many researchers (Pawłowski, 1970; Stoyko, Tasenkevich, 1993; Chorney, 2011; Tasenkevich, 2011; Novikoff, Hurdu, 2015; Kliment et al., 2016), numerous aspects of their taxonomic identity, distribution, and ecological requirements remain understudied and unresolved, which also refers to the Ukrainian part of the mountains (Kobiv, 2024). Studies of these problems can help explain the origin and distribution patterns of endemics. This article aims to shed light on these issues concerning one of the "critical taxa" — *Valeriana dacica* Porcius, a Carpathian endemic with a complicated nomenclatural history whose species' status has been ultimately confirmed only recently (Krahulec et al., 2023). Though our research concerns mostly the Ukrainian Carpathians, this article is also meant to draw

ARTICLE HISTORY. Submitted 30 April 2025. Revised 22 November 2025. Published 17 December 2025
CITATION. Kobiv Y., Dmytrakh R. 2025. *Valeriana dacica* (*Caprifoliaceae*), a Carpathian endemic in Ukraine: distribution, morphology, ecology, population characteristics, and identification issues. *Ukrainian Botanical Journal*, 82(6): 524–534. https://doi.org/10.15407/ukrbotj82.06.524
© M.G. Kholodny Institute of Botany, NAS of Ukraine, 2025
© Publisher PH "Akademperiodyka" of the NAS of Ukraine, 2025
This is an open access article under the CC BY license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

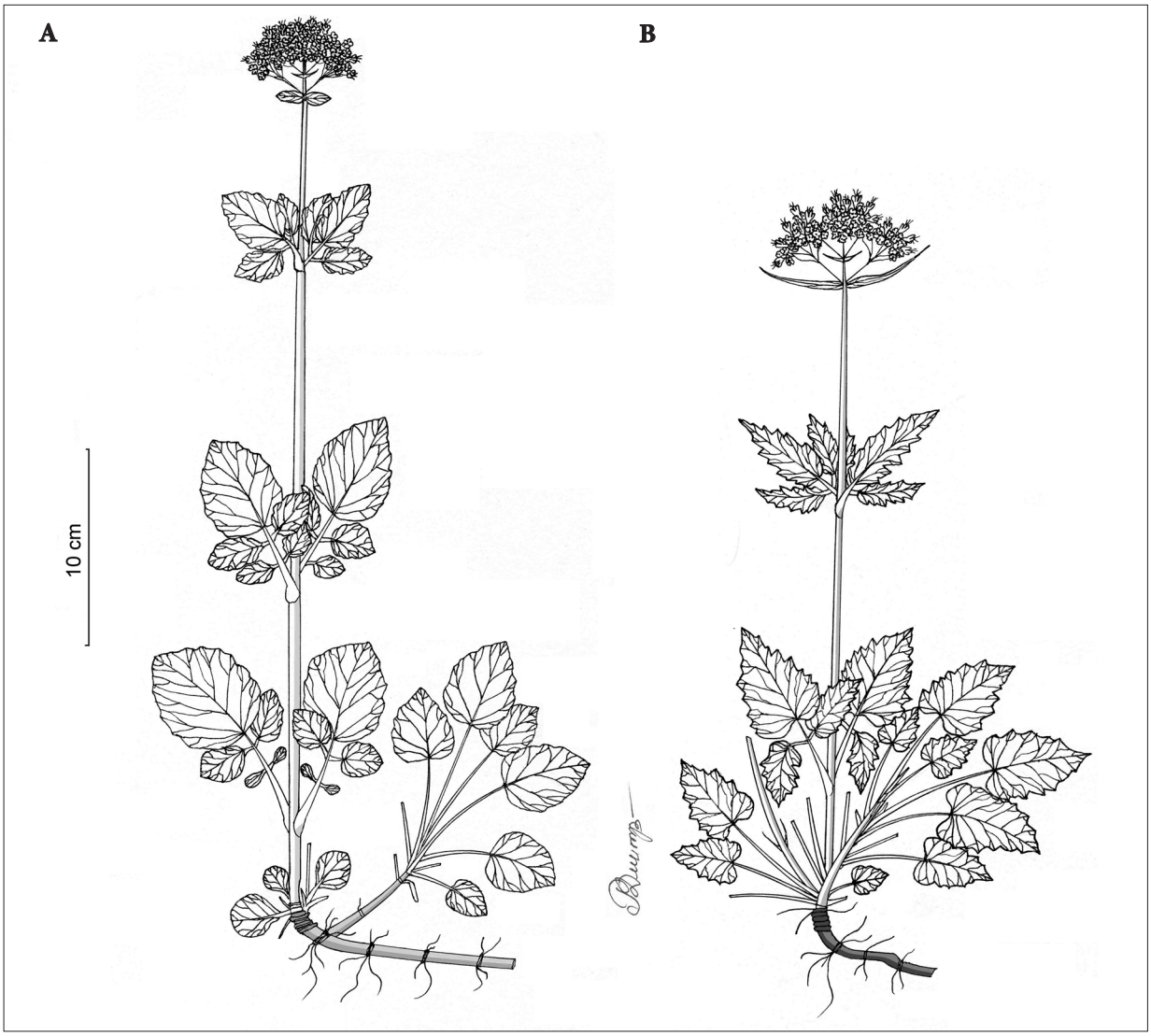


Fig. 1. Habit of *Valeriana dacica* (A) and *V. tripteris* (B). Considering that *V. tripteris* exhibits intraspecific variability throughout its geographic range (Walther, 1949), the illustration refers to the Carpathian plants

attention to *V. dacica* to encourage studies on its distribution in other countries where it occurs.

Materials and Methods

The study species: taxonomy, nomenclatural issues, and general distribution

A Carpathian species *Valeriana dacica* belongs to the *V. montana* group (Ockendon, 1976), also referred to as the infrageneric taxon, *Valeriana* series *Montanae* Höck (1882), which includes several species of *Valeriana* L. distributed in the mountains of Europe (Grubov, 1958; Ockendon, 1976). Two other species of that group also occur in the Carpathians, viz. *V. montana* L. and *V. tripteris* L., whose geographic ranges are rather vast and cover the mountains of Central and Southern Europe (Meusel, Jäger, 1992). In the Carpathians, *V. montana* occurs only in Romania; its previous reports from Slovakia are considered erroneous (Bertová, 1985). Its localities closest to Ukraine are known from the Rodna Mts, Romanian Carpathians (Morariu, 1961).

Valeriana tripteris is much more common in the Carpathians and is distributed across the whole

mountain system (Meusel, Jäger, 1992). According to some authors (Walther, 1949; Bertova, 1985; Mirek et al., 2020), the Carpathian plants are referred to as *V. tripteris* subsp. *austriaca* E. Walther.

Valeriana montana and *V. tripteris* are known as distinctive species with different chromosome numbers: 2n = 32 and 2n = 16, respectively (Ockendon, 1976).

It has also been noticed that some Carpathian plants from that group, though sympatric with *V. tripteris*, differ from that species, particularly by the second pair of the imparipinnate leaflets of the stem leaves (Fig. 1A). The following names have been assigned to such plants (in the chronological order): *Valeriana transsilvanica* (Schur, 1866), *V. sisymbriifolia* (Schur, 1866), *V. tripteris* var. *bijuga* (Simkovics [= Simonkai], 1878), *V. dacica* (Porcius, 1885), *V. cardaminis* (Zapałowicz, 1889), *V. bijuga* (Błocki, 1892), *V. tripteris* var. *heterophylla* (Morariu, 1961), *V. tripteris* subsp. *heterophylla* (Rostański, 1967).

The name "*Valeriana transsilvanica* Schur" for the taxon in question was applied by Błocki (1896) and later accepted in the *Identification manual of Polish plants* (Szafer et al., 1924), *Flora of the Ukrainian SSR* (Katina, 1961), *Identification manual of higher plants of Ukraine* (Opredelitel…, 1987) and used in some recent articles of the Ukrainian authors (Dmytrakh, 2000, 2004, 2012, 2013, 2019, 2021; Tsymbalyuk et al., 2022).

Due to the taxon's similarity to *V. tripteris*, Polish, Hungarian, and Romanian authors mostly treated it as a variety — "var. *bijuga*" (Simkovics, 1878; Raciborski, 1911), "var. *heterophylla*" (Morariu, 1961), or a subspecies — "subsp. *heterophylla*" (Rostański, 1967, 1970; Mirek et al., 2020) of that species. Other publications, e.g. *Flora of the USSR* (Grubov, 1958), *Flora Europaea* (Ockendon, 1976), *Identification manual of plants of the Ukrainian Carpathians* (Vyznachnyk roslyn…, 1977), *Flora of the European part of the USSR* (Voroshilov, 1978), *Illustrated flora of Romania* (Ciocârlan, 2009), *Vascular plants of Romania* (Sârbu et al., 2013), and some internet resources (Euro+Med, 2025–onward; GBIF, 2025–onward) do not recognize its separate taxonomic status and treat it merely as a synonym for *V. tripteris* or its subspecies *V. tripteris* subsp. *austriaca* common in the Eastern Alps, Sudety, and Carpathians (Walther, 1949; Bertová, 1985). Thus, not only nomenclature but also the taxonomic treatment of the taxon of interest has been different among authors until recently.

There is even more confusion due to numerous misidentifications of the herbarium specimens. For example, at the beginning of the 20th century, sets of herbarium vouchers collected in the Eastern Carpathians within *Flora polonica exsiccata* or *Rośliny polskie* (Raciborski, 1911) were distributed among the main European herbaria, where issue #757 allegedly presented *Valeriana tripteris* (e.g., KW013850; LW s.n.), but actually belongs to *V. dacica*, whereas issue #758 originally claimed as *V. tripteris* var. *bijuga*, which is a synonym for *V. dacica* (e.g., KW013851; LW s.n.) proved to be *Valeriana tripteris sensu stricto.* Thus, these issues were confused with each other.

The problem of the correct name for the valerian in question and its taxonomic status has been recently convincingly resolved by Krahulec et al. (2023). A thorough analysis of the abovementioned publications, as well as typification of the corresponding names and examination of authentic herbarium specimens made in that publication, showed that the correct name for the taxon is *Valeriana dacica* Porcius because it has priority over the other names listed above. In addition, the authors determined its chromosome number and described distinguishing characters. They proved that it is tetraploid (2n = 32) vs. diploid (2n = 16) *V. tripteris*, and that it deserves a species status and rank (Krahulec et al., 2023). The authors also hypothesized that *V. dacica* is a stabilized hybridogenous taxon of the *V. tripteris* × *V. montana* parentage. As a result, the name *Valeriana dacica* Porcius is accepted by *Plants of the World Online* (POWO, 2025–onward).

Valeriana dacica is distributed in the Eastern and Southern Carpathians, and the Apuseni Mts (Kliment et al., 2016), which is confirmed by numerous herbarium specimens. In addition, Rostański (1967, 1970) mentioned its localities in Poland up to 35 km westwards from the border of the Eastern Carpathians in the Beskid Niski Mts, which belong to the Western Carpathians. Thus, the species occurs in all main parts of the Carpathian Mountains and can be considered a pan-Carpathian endemic. According to the herbarium data, the main part of the species' range lies in Ukraine and Romania (mostly in the Eastern and Southern Carpathians), though its distribution extends slightly into the Beskid Niski and Bieszczady Mts in Poland (Błocki, 1892; Rostański 1967, 1970) and in the Bukovské Vrchy Mts in Slovakia (Krahulec et al., 2023). However, because the main Polish (Zając, Zając, 2001) and

Slovak (Bertová, 1985) publications on chorology do not recognize its separate taxonomic status, the detailed distribution of *V. dacica* in these countries remains unknown and actually might be wider.

Study region

The Ukrainian Carpathians with an area of about 21 000 km² (Kruhlov, 2008) belong to the Eastern Carpathians and form a 280 km long and 110 km wide stripe that stretches from the north-west to the south-east (Fig. 2). The Ukrainian part accounts for 10.6% of the total area of the Carpathian Mountains (Niewiadomski, 2004) and is the narrowest in that chain. Due to the specific mountain climate and rugged relief, the Carpathian flora and vegetation differ from those in the adjacent plain and lowland regions. Therefore, the Carpathian Mountains, including their Ukrainian part, are an important center of plant diversity in Europe (Centres of plant diversity…, 1994). The Ukrainian Carpathians are medium-high mountains where the high-mountain zone (that includes both subalpine and alpine altitudinal belts) covers only about 1.7% of the area (Kruhlov, 2008) while the rest belongs to the upper and lower montane forest belts. These mountains are built mostly of sandstone flysch, while other types of geological bedrock (e.g. volcanic or limestone) occur along the inner edge of the Carpathian Arch (Kondracki, 1989).

Data collection

To determine the distribution of *V. dacica* in Ukraine we performed a critical revision of the herbarium data on the *Valeriana montana* group in LW, LWS, LWKS, KW, CHER, and UU herbaria (acronyms follow *Index Herbariorum*: Thiers, 2025–onward), which were mostly labelled as *V. tripteris* but contained many specimens of *V. dacica*. We also discovered some specimens of that species among the plants originally identified as "*Valeriana simplicifolia*". In addition, we checked out images of herbarium vouchers and plants *in situ* in the *GBIF* (2025–onward) and the *Ukrainian biodiversity information network* (UkrBin, 2025–onward) datasets. The authors' records were used as well.

Morphological and morphometric data are based on field observations and studying herbarized material, whereas information on ecological and phytocoenotic requirements of *V. dacica* involved the authors' surveys *in situ* and analysis of the herbarium labels and literature (Pawłowski, Walas, 1949; Krahulec et al., 2023).

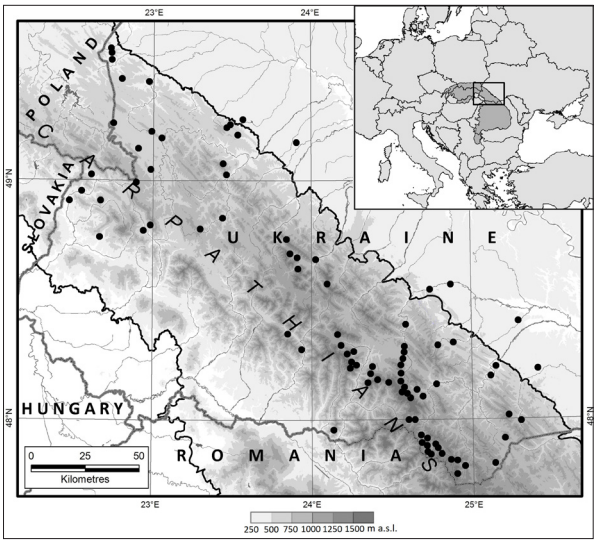


Fig. 2. Distribution of *Valeriana dacica* in Ukraine. Thick black lines — limits of the Carpathian Mountains, thick gray lines — national borders

Phytosociological relevés using Braun-Blanquet's scale (Braun-Blanquet, 1964) were taken at 5 × 5 m plots in different altitudinal belts. Botanical nomenclature follows *Plants of the World Online* (POWO, 2025–onward); delimitation and names of the Carpathian orographic units are in accordance with Breman et al. (2020).

Results and Discussion

Morphological description of *Valeriana dacica*

Valeriana dacica is a herbaceous long-rhizomatous gynodioecious perennial (Fig. 1A). Rhizome long, creeping, branched, 4–6 mm in diameter. Its thin lateral stolon-like branches produce numerous vegetative rosette or single-leaved shoots with long-petiolate leaves rounded, truncate or subcordate at base. Flowering stem 25–65(–80) cm high, unbranched, solitary (rarely 2), ascending, cylindrical, furrowed, glabrate, bearing 3–4(–5) pairs of opposite leaves. Lower and middle cauline leaves compound, imparipinnate, usually with two pairs of unequal in size lateral leaflets (i.e. bijugate) and a wide (20–40 mm) terminal leaflet ovate or orbicular, usually obtusate. Upper cauline leaves bijugate, ternate or simple. Bracts at the inflorescence base usually oblong- or linear-lanceolate, 10–20 mm long, shorter than inflorescence width. Leaf blades glabrous. Lower and middle cauline leaves and especially those in sterile shoots setaceous on margins and petioles. Leaf



Fig. 3. Inflorescence in a hermaphrodite individual of *Valeriana dacica*, the Chornohora Mts, Ukrainian Carpathians, 23 June 2023 (photo by R. Dmytrakh)

margins entire, undulate, crenate or dentate. Inflorescence compound, thyrsoid with cymose branches, dense in female and laxer in hermaphrodite individuals. Calyx teeth poorly developed, inrolled in flower at anthesis and expanding into plumose pappus at fructification. Corolla (wide) infundibular, 4–5 mm long in hermaphrodite and 2.0–2.5 mm long in female flowers. Corolla lobes rounded, light pink (Fig. 3). Stigma and stamens (3) protruding from corolla. Fruit 3.5–5.0 mm long ribbed achene, bearing 4.5–5.5 mm long pappus. Flowering period: late May — June (July at upper elevations).

Valeriana dacica is gynodioecious (Dmytrakh, 2000), which implies the occurrence of both female and hermaphrodite individuals in each population. Gynodioecy is peculiar for many valerians, particularly those of the *Valeriana montana* group (Franzen, 1986).

Although the difference between *V. dacica* and *V. tripteris* is described by Krahulec et al. (2023), we supplemented and summarized the relevant information in Table 1 and illustrated it in Fig. 1A–B, which could be used as additional identification tools. Due to significant variability in the representatives of the *V. montana* group, some differentiating characters "work with only a majority of specimens" (Ockendon, 1976: 54). In addition,

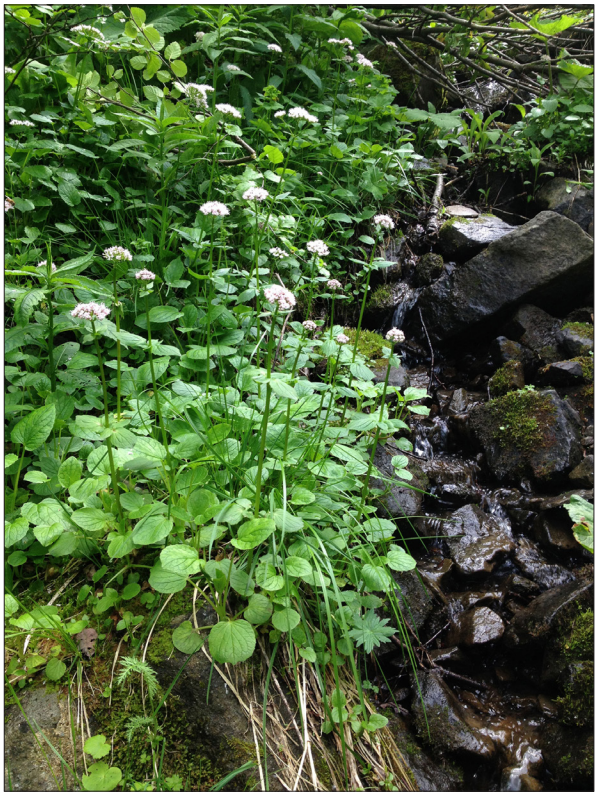


Fig. 4. *Valeriana dacica* in the riparious habitat on Mt. Pozhyzhevska (1400 m a.s.l.) in the Chornohora Mts, Ukrainian Carpathians, 20 June 2018 (photo by R. Dmytrakh)



Fig. 5. *Valeriana tripteris* in the rocky habitat on Mt. Breskul (1700 m a.s.l.) in the Chornohora Mts, Ukrainian Carpathians, 23 June 2018 (photo by R. Dmytrakh)

contrasting habitat preferences of both species are pictured in Figs. 4, 5. It is also worth mentioning

Table 1. **Morphological and habitat characteristics distinguishing between *Valeriana dacica* and *V. tripteris***

Characteristic	*Valeriana dacica*	*Valeriana tripteris**
Morphological characters		
Height of flowering stem (cm)	25–65(–80 at lower elevations)	20–50
Rhizomes in live plants	Greenish or light brown, up to 4–6 mm in diameter	Dark brown, 3–5 mm in diameter
Vegetative mobility (cm/year)	7–15	3–6
Structure of clones	Mat-forming	Separate clones
Number of flowering stems per individual	1(–2)	Numerous
Leaves in sterile shoots	Rounded, truncate or subcordate	Cordate
Number of pairs of cauline leaves	3–4(–5)	2–3
Middle cauline leaves	Mostly bijugate, with wide (ovate to orbicular) obtusate terminal leaflet	Mostly ternate, with lanceolate acuminate terminal leaflet
Leaf margins	Entire, undulate, crenate or dentate	Coarsely dentate
Bracts	Lanceolate, shorter than inflorescence width	Linear, longer than inflorescence width
Inflorescence	Dense thyrse	Lax thyrse
Color of flowers	Light pink	Light pink or dirty white
Female / hermaphrodite individuals ratio	~ 1/3 (Dmytrakh, 2013)	~ 1/1 (Dmytrakh, 2013)
Number of pappus rays per achene	(10–)12(–14)	14(–16)
Habitat requirements		
Preferable habitats	Riparian or semi-shadow moist sites in upper and lower montane forest zones (Fig. 4).	Open mesic sites in high-mountain and upper montane forest zones (incl. rocks, screes, clear-cuts) (Fig. 5).
Altitudinal range, m a.s.l.	(250–)600–1500(–1800)	(900–)1100–2000
Light requirements	Shade-tolerant	Heliophytic (Ellenberg et al., 1992)
Soil moisture requirements	Semi-hygrophytic	Mesophytic (Ellenberg et al., 1992)

* Considering that *V. tripteris* exhibits intraspecific variability throughout its geographic range (Walther, 1949), the data refer to the Carpathian plants.

that in the neighboring habitats, the flowering period in *V. dacica* takes place ca. half a month later than in *V. tripteris*.

Distribution in Ukraine

In the Ukrainian Carpathians, the species is distributed over a considerably wide altitudinal range but most frequently in the lower and upper montane forest belts within 800–1400 m a.s.l. Sporadically it penetrates upwards into the subalpine zone along the streambeds and occurs at 1550–1600 m a.s.l. in the Chornohora and Chyvchyny Mts (Pawłowski, Walas, 1949). Noteworthy, there are multiple herbarium records (Zapyatova, 1947 — KW013845; Smirnova, 1960 — MW0525251; Mosyakin, 1985 — KW013854), which indicate its occurrence in the alpine zone of the Svydovets Mts, viz. on the rocks of Mt. Blyznytsia as high as at 1800–1850 m a.s.l. That altitude is extreme for *V. dacica*, which might be attributed to the high calcium content in the bedrock of that locality. That factor has been reported as essential for adaptation to adverse environmental conditions in many plant species (White, Broadley, 2003).

On the other hand, the lower distribution limit of *V. dacica* in the Ukrainian Carpathians reaches the edge of the mountainous area, which is most apparent on the northeastern boundary of the Carpathian Arch (Fig. 2), where the species' localities occur at 450–600 m a.s.l. Moreover, *V. dacica* also penetrates the territory of Subcarpathia (Prykarpattia). For instance, there are herbarium samples collected within 250–450 m a.s.l. in Lviv Region (here and below, Regions refer to the main administrative regions of Ukraine, *oblasts* in Ukrainian) near Truskavets (Tkachyk, 1980 — LW8384) and Morshyn (Tkachyk, 1980 — LW8385); in Ivano-Frankivsk Region near Lanchyn (Tkachyk, 1978 — LW s.n.), Kniazhdvir (Mykhaylova, 1967 — CHER s.n.), and Rudnyky (Tkachyk, 1979 — LW s.n.); and in Chernivtsi

Region near Lukivtsi (Tkachyk, 1980 — LW s.n.). Whereas most of these localities are situated only a few kilometers away from the edge of the Carpathians (Fig. 2), the one near Rudnyky extends by about 20 km, also being the lowermost. All the Subcarpathian localities are restricted to the hilly relief, where thermal-humidity conditions resemble those in the neighboring mountains. In contrast, on the opposite, Transcarpathian side of the mountains, climatic conditions are more xerophytic (Natsionalnyi atlas…, 2007), which apparently imposes limitations on the species' distribution there.

Valeriana dacica has a wide distribution in the Ukrainian Carpathians (Fig. 2), which embraces most of the main massifs / mountain ridges: the Upper-Dnister Beskydy, Stryi-Sian Verkhovyna, Skole Beskydy, Watershed Ridge, Polonyna Rivna, Polonyna Krasna, Outer Gorgany, Inner Gorgany, Zaprutski Gorgany, Svydovets, Chornohora, Pokuttya-Bukovyna Mts, Hryniava, and Marmarosh (including the Chyvchyny Mts). However, we did not find any data on the species' occurrence in the volcanic part of the Ukrainian Carpathians, i.e., along their south-western edge. The distribution map (Fig. 2) depicts the existing herbarium, literature, and authors' data on the species occurrence, which are not comprehensive, i.e., the lack or, on the contrary, high concentration of the markings might reflect merely the level of floristic exploration of a territory.

Ecology

Valeriana dacica shows a strong affinity for moist habitats (Dmytrakh, 2004; Krahulec et al., 2023), e.g. stream banks (Fig. 4), springs, micro-depressions in montane woodlands, herbaceous understory in the *Alnion incanae* communities, etc. These kinds of habitats are often mentioned on the herbarium labels as well as in the species' protologue (Porcius, 1885).

Pawłowski and Walas (1949) considered "*V. tripteris* var. *bijuga*" (= *V. dacica*) differential for the association *Doroniceto-Cratoneuretum* (*Doronicum carpaticum* et *Cratoneuron commutatum*) Pawłowski et Walas 1949, which they described in the Chyvchyny Mts, Ukrainian Carpathians. The authors argued that this endemic to the Eastern Carpathians hygrophytic community is restricted to alkaline water springs in the forest zone up to 1450 m a.s.l.

Considering the variety of the species' localities in the Ukrainian Carpathians, it often occurs on acidic or subacidic soil with a pH($H_2$0) value within 5.0–6.5, which prevails in the region (Rudneva, 1960).

Valeriana dacica is shade-tolerant and often occurs in semi-shadow moist habitats in montane forests, but it may also inhabit insolated open sites along the streams in the subalpine zone.

The following phytosociological relevés recorded in the habitats of *V. dacica* situated at different altitudinal levels in the Ukrainian Carpathians show which vegetation conditions it requires.

Relevé 1: Ivano-Frankivsk Region, the Chornohora Mts, Mt. Dantsyr, streambank in the green alder krummholz, 48°08'29.7"N, 24°32'03.7"E, 1575 m a.s.l., aspect N, slope 10°, area 25 m², 26 June 2014; E2 (30%): *Alnus alnobetula* (Ehrh.) K. Koch 3; E1 (70%): *Valeriana dacica* 3, *Cardamine amara* subsp. *opizii* (C. Presl & J. Presl) Čelak. 2, *Carex sempervirens* Vill. 2, *Caltha palustris* L. 2, *Deschampsia cespitosa* (L.) P. Beauv. 2, *Heliosperma pusillum* (Waldst. & Kit.) Rchb. 2, *Anthoxanthum nipponicum* Honda 1, *Crepis paludosa* (L.) Moench 1, *Hypericum richeri* subsp. *grisebachii* (Boiss.) Nyman 1, *Pedicularis verticillata* L. 1, *Poa annua* L. 1, *Primula elatior* (L.) Hill 1, *Ranunculus acris* L. 1, *R. carpaticus* Herbich 1, *Alchemilla glabra* Neygenf. 1, *Viola biflora* L. 1, *Achillea distans* Waldst. & Kit. ex Willd. +, *Soldanella hungarica* Simonk. +.

Relevé 2: Ivano-Frankivsk Region, the Chornohora Mts, Mt. Pozhyzhevska, moist site in the spruce forest, 48°09'39.0"N, 24°31'52.5"E, 1410 m a.s.l., aspect N, slope 4°, area 25 m², 13 June 2024; E3 (30%): *Picea abies* (L.) H. Karst. 3; E2 (10%): *Salix silesiaca* Willd. 2, *Picea abies* 1; E1 (80%): *Valeriana dacica* 3, *Caltha palustris* 2, *Deschampsia cespitosa* 2, *Jacobaea subalpina* (W.D.J. Koch) Pelser & Veldkamp 2, *Luzula sylvatica* (Huds.) Gaudin 2, *Petasites albus* (L.) Gaertn. 2, *Chaerophyllum hirsutum* L. 1, *Dryopteris dilatata* (Hoffm.) A. Gray 1, *Senecio ovatus* (G. Gaertn., B. Mey. & Scherb.) Willd. 1, *Viola biflora* 1, *Aposeris foetida* (L.) Less. +, *Vaccinium myrtillus* L. +.

Relevé 3: Lviv Region, the Skole Beskydy Mts, near the settlement of Skhidnytsia, forest edge, moist slope, 49°14'53.4"N, 23°21'14.5"E, 665 m a.s.l., aspect NE, slope 4°, area 25 m², 19 May 2004; E3 (30%): *Alnus incana* (L.) Moench 2, *Fagus sylvatica* L. 2; E2 (50%): *Alnus incana* 2, *Corylus avellana* L. 2, *Salix aurita* L. 2, *Sambucus racemosa* L. 2, *Abies alba* Mill. 1, *Acer pseudoplatanus* L. 1; E1 (70%): *Aegopodium podagraria* L. 3, *Rubus glandulosus* Bellardi 3, *Equisetum sylvaticum* L. 2, *Glechoma hirsuta*

Waldst. & Kit. 2, *Myosotis scorpioides* L. 2, *Petasites kablikianus* Bercht. 2, *Pulmonaria obscura* Dumort. 2, *Valeriana dacica* 2, *Asarum europaeum* L. 1, *Cardamine bulbifera* (L.) Crantz 1, *Carex sylvatica* Huds. 1, *Chaerophyllum aromaticum* L. 1, *Euphorbia amygdaloides* L. 1, *Geum urbanum* L. 1, *Ranunculus lanuginosus* L. 1, *Salvia glutinosa* L. 1, *Actaea spicata* L. +, *Galium intermedium* Schult. +.

Population characteristics

*Valeriana dac*ica is a clonal species, and its populations are replenished mostly due to vegetative propagation *via* rhizome growth with annual increments up to 12–15 cm. The species often forms lax monodominant mats up to 10–20 m², which proves its rather high competitiveness and colonization ability. The density of flowering shoots in such mats mostly varies between 2–6 (Dmytrakh, 2021) but may reach 10 shoots per m². The ratio between generative and vegetative ramets usually accounts for 0.1–0.2. Seed reproduction also takes place, and seedlings occur in many localities, but apparently, it is more important for the longer dispersal and colonization of other suitable habitats. *Valeriana dacica* mostly exhibits a metapopulation pattern of local distribution, i.e., inhabits located nearby but spatially disconnected suitable moist microhabitats. For instance, such microhabitats may form intermittent chains along the streambeds. That suggests that hydrochory could be important for the species' dispersal. The area of local populations mostly varies within 2–50 m² (Dmytrakh, 2004). Their outlines are quite unstable and some of them are prone to decline or extinction because of the thickening of the shrub-arboreal layer in the course of the restoration succession.

For instance, during the last 25 years, we have been witnessing this process at the lower limit of the subalpine belt of the Chornohora Mts as a result of the overgrowth of open localities of *V. dacica* with shrubby vegetation dominated by *Alnus alnobetula* and *Salix* spp. (Dmytrakh, 2019, 2021). On the other hand, throughout the same period we have registered a gradual upward spread of *V. dacica* along the streams in two neighboring glacial cirques (Mt. Dantsyr — Mt. Pozhyzhevska and Mt. Pozhyzhevska — Mt. Breskul) in the Chornohora Mts from 1540 to 1650 m a.s.l. and from 1530 to 1580 m a.s.l., respectively. Apparently, that can be attributed to global warming (Dmytrakh, 2021) and is in line with similar data on the climate-triggered spread of other tall-herb species in the high-mountain zone of the European mountains (Nagy, 2006; Kobiv, Kobiv, 2020).

We have noticed that riparian habitats of *V. dacica* often suffer from floods, whereas those situated on overmoistured slopes are prone to landslides, which can destroy some local populations. On the other hand, the species readily occupies vacated gaps in the vegetation resulting from such disturbances. The colonization process may involve both clonal and seed reproduction. Barren or mossy patches provide suitable microsites for seedling recruitment of *V. dacica*, which is also common for other mountainous plants including some moisture-loving species (Kobiv, 1999, 2016; Kobiv, Nesteruk, 2001).

Conclusion

Valeriana dacica is widely distributed across the Ukrainian Carpathians and slightly penetrates into the adjacent foothills in Subcarpathia north-eastwards from the mountains (Fig. 2). Its altitudinal range is also significant and covers lower and upper montane forest belts, extending into the subalpine zone. The species is related to moist habitats, which is infrequent among the endemic plants (Hobohm et al., 2014). Though some local populations of *V. dacica* are subjected to decline because of the encroachment of shrubs and trees into their habitats in the course of restoration succession, the species cannot be regarded as threatened in any part of the Ukrainian Carpathians where it occurs, and according to the IUCN (2024) criteria its conservation status can be categorized as Least Concern (LC), which agrees with the conclusion of Krahulec et al. (2023).

Acknowledgements

The authors are grateful to the curators of the abovementioned herbaria for their helpful attitude. Special thanks are due to Dr. Roman Kish, Uzhhorod National University, for providing the images from the UU Herbarium.

ETHICS DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Y. Kobiv https://orcid.org/0000-0003-1432-6573
R. Dmytrakh https://orcid.org/0000-0002-5893-6341

REFERENCES

Bertová L. 1985. *Valerianaceae*. In: *Flóra Slovenska*. Vol. 4/2. Ed. L. Bertová. Bratislava: VEDA, pp. 100–133.

Błocki B. 1892. Ein kleiner Beitrag zur Flora von Galizien. *Österreichische Botanische Zeitschrift*, 42: 349–352. https://doi.org/10.1007/BF01794920

Błocki B. 1896. Ein neuer Beitrag zur Flora Galiziens. *Allgemeine Botanische Zeitschrift*, 2: 163–165.

Braun-Blanquet J. 1964. *Pflanzensociologie. Grundzuge der Vegetationskunde*. 3rd ed. Wien, New York: Springer Verlag, 865 pp. http://doi.org/10.1007/978-3-7091-8110-2

Breman E., Hurdu B.I., Kliment J., Kobiv Y., Kučera J., Mráz P., Puşcaş M., Renaud J., Ronikier M., Šibík J., Schmotzer A., Štubňová E., Szatmari P.-M., Tasenkevich L., Turis P., Slovák M. 2020. Conserving the endemic flora of the Carpathian Region: an international project to increase and share knowledge of the distribution, evolution and taxonomy of Carpathian endemics and to conserve endangered species. *Plant Systematics and Evolution*, 306(3): 1–15. https://doi.org/10.1007/s00606-020-01685-5

Centres of plant diversity: a guide and strategy for their conservation. Vol. 1. Europe, Africa, South West Asia, and the Middle East. 1994. Eds S.D. Davis, V.Y. Heywood, A.C. Hamilton. Cambridge, UK: IUCN Publications Unit, 368 pp.

Chorney I.I. 2011. Critical revision of the taxa, mentioned as endemic for flora of Ukrainian Carpathians. *Scientific Notes of Bukovyvian Society of Nature Investigators*, 1(1–2): 23–59. [Чорней І.І. 2011. Критична ревізія таксонів, що наводились як ендемічні для флори Українських Карпат. *Наукові записки Буковинського товариства природодослідників*, 1(1–2): 23–59.]

Ciocârlan V. 2009. *Flora ilustrată a României: â Pteridophyta et Spermatophyta*. 3rd ed. Bucureşti: Ceres, 1141 pp.

Dmytrakh R.I. 2000. Vnutrishnyopopulyatsiynyi polimorfizm vydiv riznostatevykh roslyn. *Scientific Bulletin of UNFU*, 10(3): 226–232. [Дмитрах Р.І. 2000. Внутрішньопопуляційний поліморфізм видів різностатевих рослин. *Науковий вісник НЛТУ України*, 10(3): 226–232.]

Dmytrakh R.I. 2004. Population diversity, distribution peculiarities and protection of the mountain representatives of the genus *Valeriana* L. *Scientific Bulletin of UNFU*, 14(8): 329–334. [Дмитрах Р.І. 2004. Популяційна різноманітність, особливості поширення та охорона монтанних представників роду *Valeriana* L. *Науковий вісник НЛТУ України*, 14(8): 329–334.]

Dmytrakh R.I. 2012. Recruitment of populations of heterosexual species in different natural and anthropogenic conditions. *Scientific Bulletin of UNFU*, 22(13): 76–81. [Дмитрах Р.І. 2012. Самовідновлення популяцій різностатевих видів рослин у мінливих умовах природного та антропогенно зміненого середовища. *Науковий вісник НЛТУ України*, 22(13): 76–81.]

Dmytrakh R. 2013. Intrapopulation organization and perspectives of protection of populations of heterosexual plant species in the Ukrainian Carpathians. *Studia Biologica*, 7(3): 197–204. [Дмитрах Р.І. 2013. Внутрішньопопуляційна організація та перспективи збереження популяцій різностатевих видів рослин в Українських Карпатах. *Studia Biologica*, 7(3): 197–204.]

Dmytrakh R. 2019. The influence of climatic changes on herbaceous plant species populations in current conditions of high-mountain zone of the Ukrainian Carpathians. *Visnyk of Lviv University. Biological Series*, 81: 86–95. [Дмитрах Р.І. 2019. Вплив кліматичних змін на популяції видів трав'яних рослин у сучасних умовах високогір'я Українських Карпат. *Вісник Львівського університету. Серія біологічна*, 81: 86–95.]

Dmytrakh R. 2021. Impact of natural factors on population changes of herbaceous plant species and assessment of their state in present high-mountain conditions of the Ukrainian Carpathians. *Studia Biologica*, 15(1): 67–78. https://doi.org/10.30970/sbi.1501.646

Ellenberg H., Weber H.E., Düll R., Wirth V., Werner W., Paulissen D. 1992. Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. 2nd ed. *Scripta Geobotanica*, 18: 1–248.

Euro + Med. 2025–onward. *Euro + Med plantbase — The information resource for Euro-Mediterranean plant diversity*. Available at: https://europlusmed.org/ (Accessed 14 March 2025).

Franzen R. 1986. The *Valeriana crinii*-group (*Valerianaceae*) in Greece. *Willdenowia*, 15(2): 351–357.

GBIF. 2025–onward. *Global biodiversity information facility*. Available at: https://www.gbif.org (Accessed 14 March 2025).

Grubov V.I. 1958. *Valerianaceae*. In: *Flora SSSR*. Vol. 23. Ed. B.I. Shishkin. Moscow; Leningrad: Izdatelstvo AN SSSR, pp. 585–642. [Грубов В.И. 1958. *Valerianaceae*. В кн.: *Флора СССР*. Т. 23. Ред. Б.И. Шишкин. Москва; Ленинград: Издательство АН СССР, с. 594–640.]

Hobohm C., Janišová M., Jansen J., Bruchmann I., Deppe U. 2014. Biogeography of endemic vascular plants — overview. In: *Endemism in vascular plants. Plant and vegetation*. Vol. 9. Ed. C. Hobohm. Dordrecht: Springer, pp. 85–163. https://doi.org/10.1007/978-94-007-6913-7_5

Höck F. 1882. Beiträge zur Morphologie, Gruppierung und geographischen Verbreitung der Valerianaceen. *Botanische Jahrbücher für Systematik, Pflanzengeschichte und Pflanzengeographie*, 3: 1–73.

IUCN. 2024. *Guidelines for using the IUCN Red List categories and criteria*. Version 16. Available at: https://www.iucnredlist.org/resources/redlistguidelines (Accessed 14 March 2025).

Katina Z.F. 1961. *Valeriana*. In: *Flora URSR*. Vol. 10. Ed. M.I. Kotov. Kyiv: Vydavnytstvo AN URSR, pp. 314–337. [Катіна З.Ф. 1961. *Valeriana*. В кн.: *Флора УРСР*. Т. 10. Ред. М.І. Котов. Київ: Видавництво АН УРСР, с. 314–337.]
Kliment J., Turis P., Janišová M. 2016. Endemic taxa of vascular plants of the Carpathian Mts. *Preslia*, 88(1): 19–76.
Kobiv Y. 1999. *Cortusa matthioli* (*Primulaceae*) in the Chornohora Mts (Ukrainian Carpathians): distribution, ecology, taxonomy and conservation. *Fragmenta Floristica et Geobotanica*, 44(2): 355–374.
Kobiv Y. 2016. *Saxifraga aizoides* (*Saxifragaceae*) in Ukraine. *Polish Botanical Journal*, 61: 65–71. https://doi.org/10.1515/pbj-2016-0004
Kobiv Y. 2024. Typification of *Alopecurus laguriformis* Schur ex Griseb. & Schenk (*Poaceae*) with comments on its supposed occurrence in Ukraine. *Adansonia*, 46(19): 187–195. https://doi.org/10.5252/adansonia2024v46a19
Kobiv Y., Kobiv V. 2020. Impact of environmental change on a rare high-mountain tall-herb species: a case study on *Achillea lingulata* in the Ukrainian Carpathians. *Botany Letters*, 167: 232–240. https://doi.org/10.1080/23818107.2019.1679249
Kobiv Y., Nesteruk Y. 2001. *Pedicularis oederi* (*Scrophulariaceae*) in the Chornohora Mts (Ukrainian Carpathians): distribution, biology, ecology and threat. *Polish Botanical Journal*, 46(2): 241–250.
Kondracki J. 1989. *Karpaty*. Warszawa: Wydawnictwo Szkolne i Pedagogiczne, 262 pp.
Krahulec F., Kirschner J., Krahulcová A. 2023. *Valeriana dacica*, a distinctive tetraploid in the Eastern Carpathians. *Phytotaxa*, 629(3): 210–222. https://doi.org/10.11646/phytotaxa.629.3.3
Kruhlov I. 2008. Delimitation, metrisation and classification of morphogenic ecoregions of the Ukrainian Carpathians. *Ukrainian Geographical Journal*, 3: 59–68. [Круглов І. 2008. Делімітація, метризація та класифікація морфогенних екорегіонів Українських Карпат. *Український географічний журнал*, 3: 59–68.]
Meusel H., Jäger E.J. 1992. *Vergleichende Chorologie der Zentraleuropaischen Flora*. Vol. 3. Jena, Stuttgart, New York: G. Fischer Verlag, 650 pp.
Mirek Z., Piękoś-Mirkowa H., Zając A., Zając M. 2020. *Vascular plants of Poland. An annotated checklist*. Kraków: W. Szafer Institute of Botany, Polish Academy of Sciences, 526 pp.
Morariu I. 1961. *Valerianaceae*. In: *Flora Republicii Populare Romîne*. Vol. 8. Ed. T. Săvulescu. Bucureşti: Editura Academiei Republicii Populare Romîne, pp. 615–629.
Mráz P., Ronikier M. 2016. Biogeography of the Carpathians: evolutionary and spatial facets of biodiversity. *Biological Journal of the Linnean Society*, 119(3): 528–559.
Nagy L. 2006. European high mountain (alpine) vegetation and its suitability for indicating climate change impacts. *Proceedings of the Royal Irish Academy*, 106B(3): 335–341. https://doi.org/10.3318/BIOE.2006.106.3.335
Natsionalnyi atlas Ukrayiny. 2007. Ed. L.G. Rudenko. Kyiv: DNVP Kartografiya, 440 pp. [*Національний атлас України*. 2007. Ред. Л.Г. Руденко. Київ: ДНВП Картографія, 440 с.]
Niewiadomski Z. 2004. The Carpathians as a region of international co-operation. *Europa Regional*, 12(4): 168–172.
Novikoff A.V., Hurdu B.-I. 2015. A critical list of endemic vascular plants in the Ukrainian Carpathians. *Contribuţii Botanice*, 50: 43–91.
Ockendon D.J. 1976. *Valeriana*. In: *Flora Europaea*. Vol. 4. Eds: T.G. Tutin, V.H. Heywood, N.A. Burges, D.M. Moore, D.H. Valentine, S.M. Walters, D.A. Webb. Cambridge: Cambridge University Press, pp. 52–55.
Opredelitel vysshikh rasteniy Ukrainy. 1987. Eds Yu.N. Prokudin, D.N. Dobrochayeva, B.V. Zaverukha, V.I. Chopik, V.V. Protopopova, L.I. Kritskaya. Kyiv: Naukova Dumka, 548 pp. [*Определитель высших растений Украины*. 1987. Ред. Ю.Н. Прокудин, Д.Н. Доброчаева, Б.В. Заверуха, В.И. Чопик, В.В. Протопопова, Л.И. Крицкая. Киев: Наукова думка, 548 с.]
Pawłowski B. 1970. Remarques sur l'endémisme dans la flore des Alpes et des Carpates. *Vegetatio*, 21: 181–243. https://doi.org/10.1007/BF02269663
Pawłowski B., Walas J. 1949. Les associations des plantes vasculaires des Monts de Czywczyn. *Bulletin International de l'Académie Polonaise des Sciences et des Lettres, Classe des Sciences Mathématiques et Naturelles. Serie B*, 1: 117–181.
Porcius F. 1885. Additamenta et corrigenda ad enumerationem plantarum phanerogamicarum districtus quondam Naszódiensis. *Magyar Növénytani Lapok*, 9(102): 125–133.
POWO. 2025–onward. *Plants of the World Online*. Facilitated by the Royal Botanic Gardens, Kew. Available at: https://powo.science.kew.org/ (Accessed 14 May 2025).
Raciborski M. 1911. Rośliny polskie. Flora polonica exsiccata (Nr. 401–800). *Kosmos*, 36: 995–1062.
Rostański K. 1967. *Valerianaceae*. In: *Flora Polski*. Vol. 11. Ed. B. Pawłowski. Warszawa, Kraków: Państwowe Wydawnictwo Naukowe, pp. 338–357.
Rostański K. 1970. Rozmieszczenie gatunków rodzaju *Valeriana* L. w Polsce i na sąsiednich terytoriach ZSRR. *Fragmenta Floristica et Geobotanica*, 16(2): 209–216.
Rudneva E.N. 1960. *Pochvennyi pokrov Zakarpatskoy oblasti*. Moscow: AN SSSR. [Руднева Е.Н. 1960. *Почвенный покров Закарпатской области*. Москва: АН СССР, 226 с.]
Sârbu I., Stefan N., Oprea A. 2013. *Plante vasculare din România: Determinator ilustrat de teren*. Bucureşti: Editura Victor, B. Victor, 1320 pp.
Schur F. 1866. *Enumeratio plantarum Transsilvaniae*. Vindobonae: G. Braumüller, 984 pp. https://doi.org/10.5962/bhl.title.9958

Simkovics L. 1878. Bánsági és Hunyadmegyei utazásom 1874-ben. *Mathematikai és Természettudományi Közlemények*, 16: 479–624.
Stoyko S.M., Tasenkevich L. 1993. Some aspects of endemism in the Ukrainian Carpathians. *Fragmenta Floristica et Geobotanica. Supplementum*, 2(1): 343–353.
Szafer W., Kulczyński S., Pawłowski B. 1924. *Rośliny polskie. Opisy i klucze do oznaczania wszystkich gatunków roślin naczyniowych rosnących w Polsce bądź dziko, bądź też zdziczałych lub częściej hodowanych*. Lwów, Warszawa: Książnica Atlas, 736 pp.
Tasenkevich L. 2011. Endemism in the Carpathian flora — a chorological aspect. In: *Geobotanist and taxonomist. A volume dedicated to Professor Adam Zając on the 70th anniversary of his birth*. Ed. B. Zemanek. Cracow: Institute of Botany, Jagellonian University, pp. 157–168.
Thiers B. 2025–onward. *Index Herbariorum.* A global directory of public herbaria and associated staff. New York Botanical Garden's Virtual Herbarium. Available at: http://sweetgum.nybg.org/science/ih/ (Accessed 14 March 2025).
Tsymbalyuk Z.M., Ivanova D., Bell C.D., Nitsenko L.M. 2022. Pollen morphology of selected taxa of *Valeriana* (*Caprifoliaceae*): taxonomic and evolutionary implications. *Phytotaxa*, 577(1): 57–78.
UkrBin. 2025–onward. *Ukrainian biodiversity information network*. Available at: http://www.ukrbin.com. (Accessed 14 March 2025).
Voroshilov V.N. 1978. *Valeriana*. In: *Flora partis Europaeae URSS*. Vol. 3. Ed. A.A. Fedorov. Leningrad: Nauka, pp. 32–36. [Ворошилов В.Н. 1978. *Valeriana*. В кн.: *Флора Европейской части СССР*. Т. 3. Ред. А.А. Федоров. Ленинград: Наука, с. 32–36.]
Vyznachnyk roslyn Ukrayins'kych Karpat. 1977. Ed. V.I. Chopyk. Kyiv: Naukova Dumka, 435 pp. [*Визначник рослин Українських Карпат*. 1977. Ред. В.І. Чопик. Київ: Наукова думка, 435 с.]
Walther E. 1949. *Valeriana*-Studien I. *Valeriana montana* L. und *Valeriana tripteris* L. *Mitteilungen der Thüringischen Botanischen Gesellschaft*, 1(1): 144–167.
White P.J., Broadley M.R. 2003. Calcium in plants. *Annals of Botany*, 92(4): 487–511.
Zając A., Zając M. 2001. *Atlas rozmieszczenia roślin naczyniowych w Polsce (ATPOL)*. Kraków: Instytut Botaniki Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków, 716 pp.
Zapałowicz H. 1889. Roślinna szata Gór Pokucko-Marmaroskich. *Sprawozdanie Komisyi Fizyograficznej*, 24: 1–390.

Карпатський ендемік *Valeriana dacica* (*Caprifoliaceae*) в Україні: поширення, морфологія, екологія, популяційні особливості, проблеми визначення

Ю. КОБІВ, Р. ДМИТРАХ
Інститут екології Карпат Національної академії наук України,
вул. Козельницька 4, Львів 79026, Україна

Реферат. *Valeriana dacica* — карпатський ендемічний вид, що тривалий час не визнавався. Він широко розповсюджений в Українських Карпатах і незначно проникає у прилеглі передгір'я на Прикарпатті на північний схід від гір. Представлено мапу поширення цього виду в Україні, що базується на критичному перегляді гербарних даних, літературних джерелах і спостереженнях авторів. Подано малюнок *V. dacica*, а також вказівки до визначення цього виду, що дозволяють відрізнити його від спорідненого *V. tripteris*. Описано морфологічні, екологічні та популяційні особливості *V. dacica*. Зазначено, що цей вид приурочений до вогких приструмкових і приджерельних оселищ, западин у гірських лісах і трав'яного ярусу в угрупованнях із союзу *Alnion incanae*. Його висотна амплітуда охоплює нижній і верхній лісові гірські пояси та розповсюджується в субальпійську зону. Деякі локальні популяції регресують через загущення чагарниково-деревного ярусу в ході відновної сукцесії, натомість інші зазнають експансії, зокрема в субальпійській зоні внаслідок кліматичних змін.

Ключові слова: висотна амплітуда, група *Valeriana montana*, метапопуляція, монтанний вид, Українські Карпати

PLANT TAXONOMY, GEOGRAPHY AND FLORISTICS
СИСТЕМАТИКА, ФЛОРИСТИКА, ГЕОГРАФІЯ РОСЛИН

https://doi.org/10.15407/ukrbotj82.06.535
RESEARCH ARTICLE

Algae, bryophytes, and vascular plants of calcareous rocks of the Dumka Cave complex (Dniester Regional Landscape Park, Ukraine)

Tatiana MIKHAILYUK [1]*, Oksana VINOGRADOVA [1], Svitlana NYPORKO [1], Iuliia VASHENIAK [2]

[1] M.G. Kholodny Institute of Botany, National Academy of Sciences of Ukraine, 2 Tereschenkivska Str., Kyiv 01601, Ukraine
[2] Vasyl Stus Donetsk National University, 21 600-richchia Str., Vinnytsia 21000, Ukraine

* Author for correspondence: *t-mikhailyuk@ukr.net*

Abstract. Research on chasmophytic communities of the calcareous cliff of the Dumka Cave complex in the Dniester Regional Landscape Park (Ivano-Frankivsk Region) has revealed diverse vegetation dominated by ferns, bryophytes, and algae. The cave complex was examined in three parts: the so-called "karst bridge" (pile of fragments of a cave vault), limestone blocks at the entrance to the cave, and the walls of the front grotto of the cave. In total, fifty-six species of algae (*Cyanobacteria* — 21 species, *Chlorophyta* — 23, *Charophyta* — 2, *Heterokontophyta* — 9), 25 species of bryophytes (*Marchantiophyta* — 8, *Bryophyta* — 17), and 21 species of vascular plants (*Pteridophytina* — 5, *Spermatophytina* — 16) were found in the studied habitat. The highest species diversity was recorded on the karst bridge and the walls at the entrance to the cave. In both locations, the algal cover was dominated by cyanobacteria and green algae. Algae and bryophytes on the walls of the front grotto were less diverse, vascular plants were completely absent. Cyanobacteria were absent, and trebuxiophycean green algae and diatoms predominated. A comparison of the species composition of algae and bryophytes using the Sørensen-Chekanovsky index showed a certain resemblance between the karst bridge and the walls at the entrance to the cave and the specificity of the front grotto of the cave. Among the discovered species of algae, two are first reported for Ukraine (*Synechococcus sciophilus* and *Synechocystis primigenia*). Several taxa are rare and noteworthy records (*Gloeocapsa coracina*, *Microcoleus vulgaris*, *Scotinosphaera* sp., *Pseudostichococcus undulatus*, etc.). Fifteen species of bryophytes are listed for the first time for the park; among them, *Pedinophyllum interruptum* and *Fissidens gracifolius* are new records for Ivano-Frankivsk Region. For the latter species, this is the second locality in Ukraine. For *Timmia bavarica*, a rare species in the Ukrainian Carpathians, this is the third locality in Ivano-Frankivsk Region. Vascular plants are characteristic of shaded epilithic habitats. Such communities belong to the biotope H32c "Cabonate rocks of the temperate zone, occurring on the plain and in the lower mountain belt", are characterized syntaxonomically as a group of the *Polypodietea* class, and belong to the second category of rarity and require protection. The main threat to the existence of this biotope is deforestation, which leads to increased light levels, heating of rocks, and moisture deficiency, as well as eutrophication due to recreational load.

Keywords: biodiversity, bryophytes, cyanobacteria, Dniester, Dumka karst cave, terrestrial algae, Ukraine, vascular plants

ARTICLE HISTORY. Submitted 13 May 2025. Revised 27 November 2025. Published 17 December 2025

CITATION. Mikhailyuk T., Vinogradova O., Nyporko S., Vasheniak I. 2025. Algae, bryophytes, and vascular plants of calcareous rocks of the Dumka Cave complex (Dniester Regional Landscape Park, Ukraine). *Ukrainian Botanical Journal*, 82(6): 535–551. https://doi.org/10.15407/ukrbotj82.06.535

© M.G. Kholodny Institute of Botany, NAS of Ukraine, 2025
© Publisher PH "Akademperiodyka" of the NAS of Ukraine, 2025
This is an open access article under the CC BY license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Introduction

The Dumka Cave is part of the Odayiv karst cave complex, located in the territory of the Dniester Regional Landscape Park (RLP), Ivano-Frankivsk Region, Ukraine. The cave, which was formed by erosion and weathering in a tectonic fault that emerged during the split of the coastal plateau, is located on the high bank of the Dniester (Dnister) River among a hornbeam-oak forest. This is a large natural karst cavity, which is a cave of linear-horizontal structure. It begins with an entrance grotto and continues with a gallery 170 m long. The cave is embedded in a gypsum layer. Druses of gypsum crystals are observed on the vault and walls of the cave.

The temperature and humidity inside the cave are relatively constant throughout the year and are 13–15 °C, the humidity is moderate. Before the entrance to the cave, 10 m away, there is the so-called "karst bridge", a cluster of boulders that previously formed part of the cave vault, but as a result of rock collapses, remained standing separately, forming a natural arch. The cave is also valuable as an archaeological site. In particular, there is information about the discovery of flint products, tools, and reindeer bones from the Paleolithic age (Dniester…, 2023).

On the limestone cliffs of the cave complex, chasmophyte communities dominated by ferns, bryophytes, and algae develop in the shaded conditions of a hornbeam-oak forest. Such communities are considered a rare biotope and are indexed in Resolution 4 of the Bern Convention as H3.2 Basic and ultrabasic continental cliffs (Convention…, 1979).

Before the beginning of our research, there were no data on vascular plants, algae, and mosses of the Dumka Cave complex. Recently (Nyporko et al., 2023; Mikhailyuk, Vynogradova, 2024) preliminary data on terrestrial algae and bryophytes of the Dniester RLP have been published. About twenty species of mosses were reported in the pertinent literature from the territory that is now part of the park (vicinity of the villages of Nyzhniv, Dibrova, Nezvysko, Chernelytsia, Bukivna, Olesha, Gorodnytsia). Collectors were J. Krupa, A. Rehmann, and M.P. Slobodyan (Bachuryna, Melnychuk, 1987, 1988, 1989, 2003).

Materials and Methods

The material for the study (samples of algae, bryophytes, ferns, and vascular plants) was collected in May 2024 during an expedition to the Dniester Regional Landscape Park (village Odayiv, Tlumatsky [Tlumach] District, Ivano-Frankivsk Region). The Dumka Cave complex was examined in three parts: the so-called "karst bridge" (pile of fragments of a cave vault), calcareous boulders at the entrance to the cave, and the walls of the front grotto of the cave (Fig. 1). Six complete geobotanical descriptions of chasmophytic vegetation were carried out, recording the diversity of vascular plants and bryophytes on an area of 4 m^2, as recommended by Chytrý and Otýpková (2003).

In the laboratory, algal samples were previously studied using direct microscopy and then examined using the method of cultures (Kostikov et al., 2001). To obtain enrichment cultures, fragments of algal crusts were placed in Petri dishes with Bold (1N BBM) agarized medium (Bischoff, Bold, 1963). The cultures were grown under standard laboratory conditions: with a 12-hour alternation of light and dark phases and irradiation of 25 μmol photons • m^{-2} • s^{-1} at a temperature of +20 ± 5 °C. Microscopic observation of enrichment cultures began in the third week of cultivation. Isolated unialgal cultures were cultivated on Bold and BG-11 nutrient media (Stanier et al., 1971).

The identification of algae and bryophytes was carried out using MBS-9 and Olympus BX-53 light microscopes, according to generally accepted methods. Photomicrographs were taken using an Olympus LC30 camera. The frequency of occurrence (F) was defined as the ratio of the number of samples in which the species was detected to the total number of studied samples. The species composition of algae and bryophytes was compared using the Sørensen-Czekanowski floristic similarity index (Shmidt, 1980).

The names and taxonomic position of revealed species of cyanobacteria and algae as well as their ecological characteristics are given according to the compendium *Prodromus of Spore Plants of Ukraine: Algae* (Tsarenko et al., 2024a, 2024b) and *AlgaeBase* (Guiry, Guiry, 2025). The names of bryophyte species are given according to the *Prodromus of Spore Plants of Ukraine: Bryophyta* (Virchenko, Nyporko, 2022). The names of vascular plant species are given according to the *Euro+Med Database* (Euro+Med, 2006–onward). The names of higher syntaxa of chasmophyte vegetation are given according to Mucina et al. (2016).



Fig. 1. Dumka Cave complex. A, B: maps showing the location of the complex; C: karst bridge; D: boulders at the entrance to the cave; E, F: view of the front grotto of the cave

Results and Discussion

As a result of the direct microscopy and cultural studies of the samples from the Dumka Cave complex, 56 terrestrial species from 4 divisions and 7 classes of cyanobacteria and algae were identified (Table 1, Figs 2, 3). Representatives of the divisions *Chlorophyta* (41.4%) and *Cyanobacteria* (37.5%) notably prevailed in the species composition; the share of *Heterokontophyta* (17.8 %) and *Charophyta* (3.6%) in the studied habitats was significantly lower (Table 2). At the class level, *Cyanophyceae* (37.5%) and *Trebouxiophyceae* (28.6%) predominated, followed by *Bacillariophyceae* (14.3%) and *Chlorophyceae* (8.9%).

The generic spectrum of the algal flora of the Dumka complex included 49 genera, of which the vast majority (93.5%) is represented by one species. Seven genera had two species each. The frequency quotients of the identified species varied considerably. Thirty-two species (57.1%) were found in only one sample, and their proportion was different for different divisions. The rarest were yellow-green algae: all of them were found only once. The most common in the studied habitats were *Desmococcus olivaceus* and *Nannochloris* sp. (for both F = 100%). Frequently occurring species were *Bracteacoccus* cf. *minor* (F = 60%), *Gloeocapsa coracina*, *Coccomyxa* cf. *simplex*, and *Humidophila contenta* (F = 50% for each).

Table 1. **Species composition of cyanobacteria and algae of the Dumka Cave complex**
(D — dominating species; * — new species for Ukraine)

Taxon	Karst bridge	Cave entrance	Grotto
CYANOBACTERIA			
Cyanophyceae	**13**	**16**	**0**
Anathece endophytica (W. & G.S. West) Komárek, Kaštovský & Jezberová	+	–	–
**Synechococcus sciophilus* Skuja	+	–	–
**Synechocystis primigenia* N.L. Gardner	+	–	–
Gloeocapsa coracina Kützing	+	+	–
Gloeocapsa kuetzingiana Nägeli ex Kützing	–	+	–
Gloeocapsopsis magma (Brébisson) Komárek & Anagnostidis ex Komárek	+	+	–
Chroococcus helveticus Nägeli	D	+	–
Pseudocapsa dubia Ercegović	+	–	–
Cyanosarcina parthenonensis Anagnostidis	D	+	–
Aphanothece castagnei (Kützing) Rabenhorst	–	+	–
Gloeothece palea (Kützing) Nägeli	–	+	–
Leptolyngbya sp.	+	+	–
Phormidesmis sp.	–	+	–
Timaviella edaphica (Elenkin) O.N. Vinogradova & Mikhailyuk	–	+	–
Stenomitos frigidus (F.E. Fritsch) Miscoe & J.R. Johansen	+	+	–
Potamoline cf. *aerugineocaerulea* (Gomont) M.D. Martins & L.H.Z. Branco	+	+	–
Microcoleus vulgaris Strunecky, Komárek & J.R. Johansen	–	+	–
Desmonostoc muscorum (Bornet & Flahault) Hrouzek & S. Ventura	+	–	–
Nostoc calcicola Brébisson ex Bornet & Flahault	–	+	–
Nostoc edaphicum N.V. Kondrateva	–	+	–
Nodularia sphaerocarpa Bornet & Flahault	+	+	–
CHLOROPHYTA			
Chlorophyceae	**3**	**3**	**2**
Macrochloris dissecta Korshikov	–	+	+
Chlorosarcinopsis sp.	+	–	–

Table 1 (continued)

Taxon	Karst bridge	Cave entrance	Grotto
Bracteacoccus cf. *minor* (Schmidle ex Chodat) Petrová	–	+	D
Coelastrella cf. *rubescens* (Vinatzer) Kaufnerová & Eliás	+	+	–
Spongiochloris sp.	+	–	–
Trebouxiophyceae	**8**	**9**	**7**
Muriella terrestris J.B. Petersen	–	–	+
Desmococcus olivaceus (Persoon ex Acharius) J.R. Laundon	D	D	D
Diplosphaera chodatii Bialosuknia	–	+	–
Stichococcus bacillaris Nägeli	+	+	–
Pseudostichococcus undulatus (Vinatzer) Van & Glaser	–	+	+
Elliptochloris subsphaerica (Reisigl) Ettl & G. Gärtner	+	+	–
Coccomyxa cf. *simplex* Mainx	–	+	+
Coccomyxa cf. *viridis* Chodat	–	–	+
Gloeocystis cf. *vesiculosa* Nägeli	+	–	–
Chloroidium sp.	+	–	–
Parietochloris alveolaris (Bold) S. Watanabe & G.L. Floyd	+	–	–
Trochiscia granulata (Reinsch) Hansgirg	–	–	+
Lobosphaera cf. *tirolensis* Reisigl	–	+	–
Chlorella vulgaris Beijerinck	–	+	–
Chlorella sp.	+	–	–
Nannochloris sp.	+	+	D
Ulvophyceae	**1**	**1**	**1**
Pseudendoclonium cf. *arthopyreniae* (Vischer & Klement) Darienko & Pröschold	+	+	–
Scotinosphaera sp.	–	–	+
CHAROPHYTA			
Klebsormidiophyceae	**1**	**0**	**1**
Klebsormidium nitens (Kützing) Lokhorst	–	–	+
Klebsormidium cf. *subtile* (Kützing) Mikhailyuk, Glaser, Holzinger & Karsten	+	–	–
HETEROKONTOPHYTA			
Xanthophyceae	**0**	**1**	**1**
Botrydiopsis sp.	–	+	–
Heterococcus sp.	–	–	+
Bacillariophyceae	**0**	**5**	**4**
Aerophilia roeseana (Rabenhorst) Danz, Van de Vijver & Kociolek	–	+	–
Humidophila contenta (Grunow) Lowe, Kociolek, Johansen, Van de Vijver, Lange-Bertalot & Kopalová	–	+	+
Humidophila sp.	–	+	–
Achnanthes coarctata (Brébisson ex W. Smith) Grunow	–	–	+
Luticola cohnii (Hilse) D.G. Mann	–	+	–
Luticola nivalis (Ehrenberg) D.G. Mann	–	–	+
Nitzschia sp.	–	+	–
Hantzschia amphioxys (Ehrenberg) Grunow	–	–	+
Number of species, units	**26**	**35**	**16**

The studied sites of the cave complex showed some differences in the species composition and taxonomic structure of the epilithic algal flora (Tables 1, 2). If we compare the total number of species found in each site with the average number of species in the sample, we get the following distribution: karst bridge — 26/17.5, entrance to the cave — 35/15.7, and inside the grotto — 16/6.2 (see Table 2). Indeed, samples from the calcareous boulders of the karst bridge were characterized by high diversity, with an absolute predominance of cyanobacteria (50%) and green algae (46.2%) in the taxonomic structure; representatives of xanthophyceans and diatoms have not been revealed (see Table 2).

As it can be seen from Fig. 1C, the surface of the calcareous cliffs forming the karst bridge is covered with a continuous dark green coating. It was formed by the subaerophytic epilythic cyanobacteria *Chroococcus helveticus* (Fig. 2A), *Pseudocapsa dubia* (Fig. 2B), and *Cyanosarcina parthenonensis* (Fig. 2D) with the participation of the common terrestrial green alga *Desmococcus olivaceus* (Fig. 3D). Other representatives of pro- and eukaryotic algae were observed in insignificant quantities. Only in this part of the Dumka complex we found cyanobacteria *Anathece endophytica*, *Synechococcus sciophilus* (Fig. 2F), *Synechocystis primigenia* (Fig. 2E), *Desmonostoc muscorum*, chlorophytes *Chlorosarcinopsis* sp., *Spongiochloris* sp., *Gloeocystis* cf. *vesiculosa*, *Chloroidium* sp., *Parietochloris alveolaris*, etc., and *Klebsormidium* cf. *subtile* from *Charophyta.*

Calcareous boulders at the entrance to the cave also turned out to be a favorable habitat for the epilithic algal flora. A total of 35 species from three divisions have been identified. The share of cyanobacteria is most significant (45.7%), followed by *Chlorophyta* (37.1%); the diversity of *Heterokontophyta* (17.2%) was mainly due to the representatives of diatoms (14.3%). Charophytes have not been found in this habitat. Although cyanobacteria rank first in terms of the number of species found, unlike the pattern observed on the karst bridge, they did not participate in the formation of the visible cover on the rock surface. At the same time, a number of cyanobacterial species were common to the mentioned sites, namely *Gloeocapsa coracina* (Fig. 2I), *Gloeocapsopsis magma* (Fig. 2C), *Cyanosarcina parthenonensis*. Various species [*G. kuetzingiana*, *Aphanothece castagnei* (Fig. 2G), *Gloeothece palea* (Fig. 2H), *Phormidesmis* sp., *Timaviella edaphica*, *Microcoleus vulgaris* (Fig. 2L), *Nostoc calcicola* (Fig. 2M)] were found exclusively on the boulders at the entrance to the cave. Of *Chlorophyta*, ten species were found at the cave entrance. Abundant bright green cover on the rocks was formed by *Desmococcus olivaceus* (Fig. 3D); other species were registered singly. Those were *Macrochloris dissecta* (Fig. 3A), *Bracteacoccus* cf. *minor* (Fig. 3B), *Coelastrella* cf. *rubescens*, *Stichococcus bacillaris*, *Elliptochloris subsphaerica* (Fig. 2E), etc. Taxa of *Heterokontophyta* were represented by *Botrydiopsis* sp. and diatoms common for terrestrial habitats: *Aerophilia roeseana*, *Humidophila contenta*, *Luticola cohnii*, and *Nitzschia* sp. In general, the species composition of the algal communities at the entrance to the cave was similar to those found on the karst bridge. The main differences are the presence of heterokontophytes, not found on the bridge, and the absence of cyanobacteria among the dominant species.

The walls of the front grotto of the cave were characterized by a significantly lower total diversity of algae. Cyanobacteria were completely absent, green algae (62.5%) led in species richness; the most diverse were trebouxiophyceans (43.8%), among the division *Heterokontophyta* (31.2%), the leading group was diatoms, while xanthophyceans were represented by one species (*Heterococcus* sp.). Macroscopic cover on the rock surface was formed by *Desmococcus olivaceus* (Fig. 3D), sometimes *Nannochloris* sp. (Fig. 3C) or protonema of mosses. *Trochiscia granulata*, *Coccomyxa* cf. *viridis*, and *Klebsormidium nitens* were found only in this locality. Green algae were found singly: *Macrochloris dissecta*, *Bracteacoccus* cf. *minor*, *Muriella terrestris*, *Pseudostichococcus undulatus* (Fig. 3E, F), *Coccomyxa* cf. *simplex*, etc. Diatoms were represented by terrestrial forms: *Humidophila contenta*, *Humidophila* sp. (Fig. 3M), *Achnanthes coarctata*, *Luticola nivalis* (Fig. 3L), and *Hantzschia amphioxys*.

Our comparison of the species composition of algae in different sites of the Dumka Cave complex using the Sørensen-Chekanovsky similarity index showed the grouping of the studied samples into two clusters (Fig. 4): the front grotto of the cave (first cluster) and the karst bridge and the entrance to the cave (second cluster). There is only one exception, sample 49, which entered the cluster of the front grotto of the cave, although it was a sample from the entrance. That indicates the transitional nature of the algal communities of the entrance to the cave, since it has features of both the composition of algae from the karst bridge (predominance of cyanobacteria)

Table 2. **Taxonomic structure of the algal flora of the Dumka Cave complex**

Taxon	Number of species, units (%)			
	Karst bridge	Cave entrance	Grotto	In total
CYANOBACTERIA	**13 (50.0)**	**16 (45.7)**	**–**	**21 (37.5)**
Cyanophyceae	13 (50.0)	16 (45.7)	–	21 (37.5)
CHLOROPHYTA	**12 (46.2)**	**13 (37.1)**	**10 (62.5)**	**23 (41.1)**
Chlorophyceae	3 (11.5)	3 (8.6)	2 (12.5)	5 (8.9)
Trebouxiophyceae	8 (30.8)	9 (25.7)	7 (43.8)	16 (28.6)
Ulvophyceae	1 (3.8)	1 (2.9)	1 (6.3)	2 (3.6)
CHAROPHYTA	**1 (3.8)**	**–**	**1 (6.3)**	**2 (3.6)**
Klebsormidiophyceae	1 (3.8)	–	1 (6.3)	2 (3.6)
HETEROKONTOPHYTA	**–**	**6 (17.2)**	**5 (31.2)**	**10 (17.8)**
Xanthophyceae	–	1 (2.9)	1 (6.3)	2 (3.6)
Bacillariophyceae	–	5 (14.3)	4 (25.0)	8 (14.3)
Number of species, units (%)	**26 (100)**	**35 (100)**	**16 (100)**	**56 (100)**
Average number of species in the sample	**17.5**	**15.7**	**6.2**	**11.3**

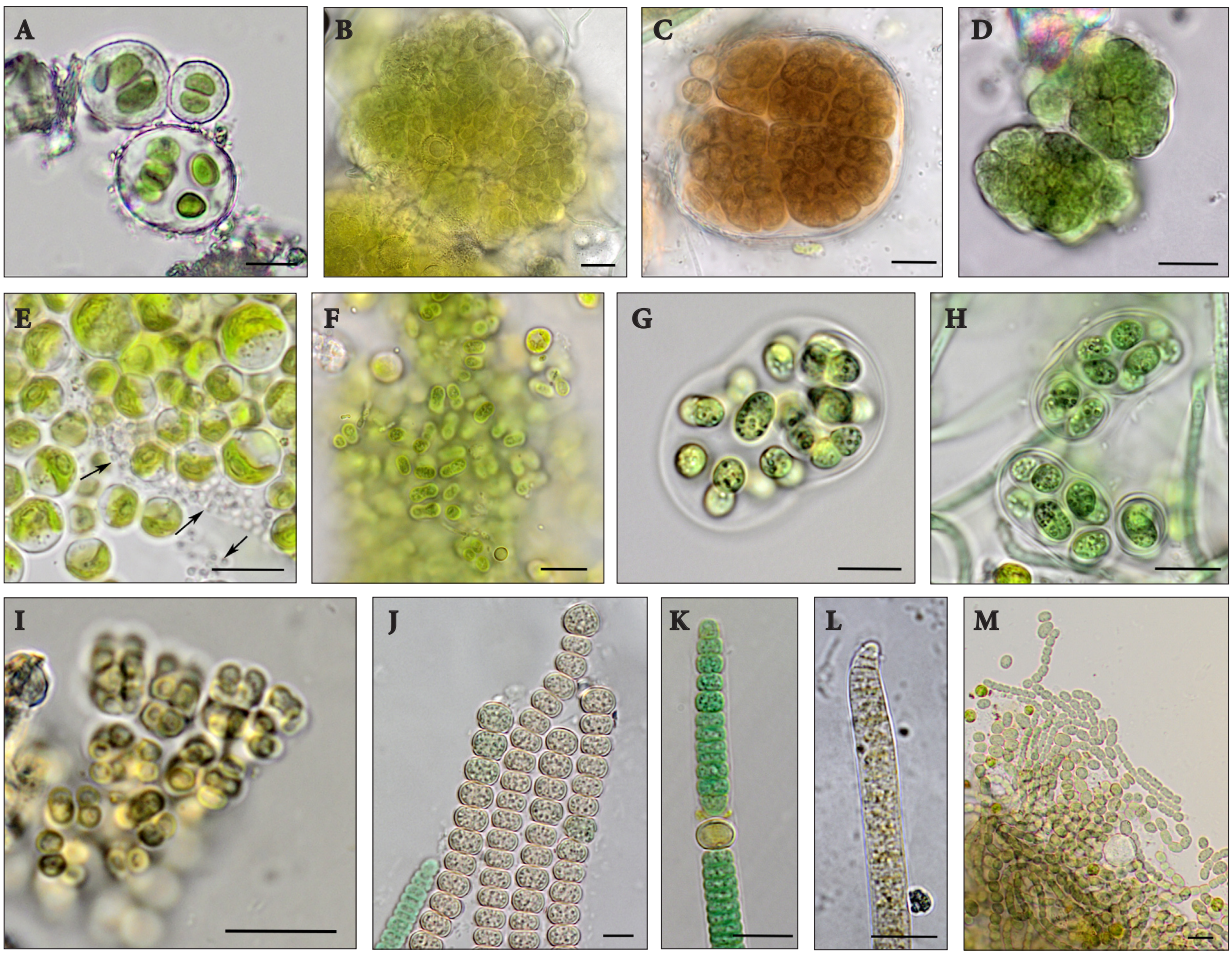


Fig. 2. Cyanobacteria of the Dumka Cave complex. A: *Chroococcus helveticus*; B: *Pseudocapsa dubia*; C: *Gloeocapsopsis magma*; D: *Cyanosarcina parthenonensis*; E: *Synechocystis primigenia* (arrows) among the cells of green alga *Elliptochloris subsphaerica*; F: *Synechococcus sciophilus*; G: *Aphanothece castagnei*; H: *Gloeothece palea*; I: *Gloeocapsa coracina*; J, K: *Nodularia sphaerocarpa* (J: chains of akinetes); L: *Microcoleus vulgaris*; M: *Nostoc calcicola*. Scale bars: 10 μm

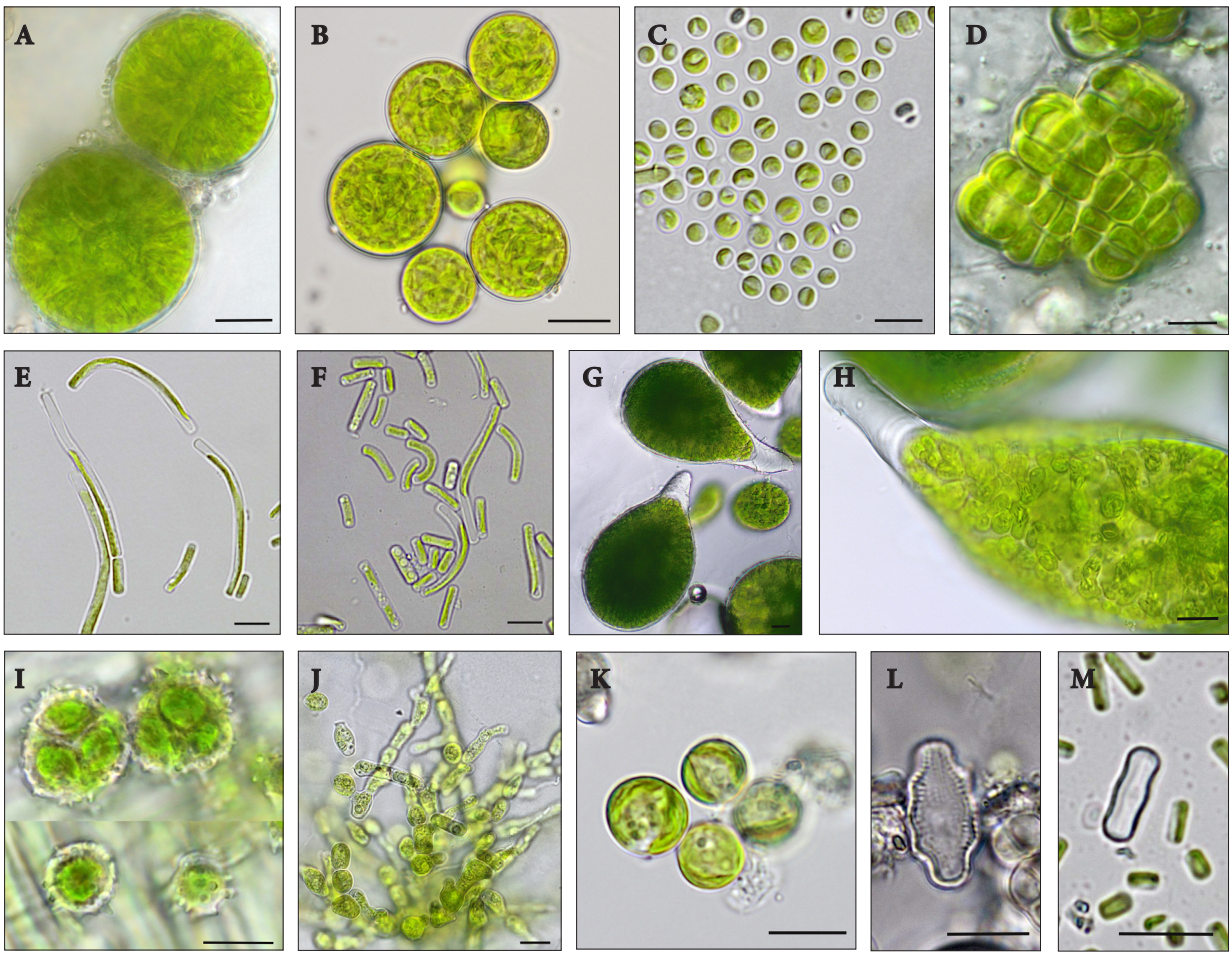


Fig. 3. Eukariotic algae of the Dumka Cave complex. A: *Macrochloris dissecta*; B: *Bracteacoccus* cf. *minor*; C: *Nannochloris* sp.; D: *Desmococcus olivaceus*; E, F: *Pseudostichococcus undulatus*; G, H: *Scotinosphaera* sp.; I: *Trochiscia granulata* (sporangia on top and vegetative cells on bottom); J: *Pseudendoclonium* cf. *arthopyreniae*; K: *Coccomyxa* cf. *viridis*; L: *Luticola nivalis*; M: *Humidophila* sp. Scale bars: 10 μm

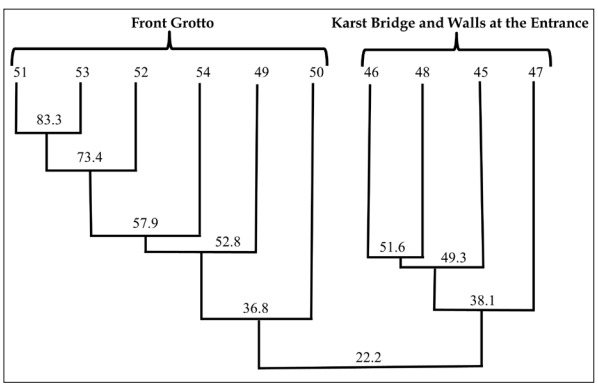


Fig. 4. Dendrite of the floristic similarity of the species composition of algae of the Dumka Cave complex according to the Sørensen-Chekanovsky index (%)

and from the front grotto (exclusive dominance of the green alga *Desmococcus olivaceus*). The species composition of algae on the walls of the front grotto of the cave is most peculiar, probably due to significant shading and more stable temperature and humidity conditions throughout the year.

As it is known (Vinogradova, Mikhailyuk, 2009; Lamprinou et al., 2012), in the speleological literature, three zones are distinguished according to the level of illumination; the present research covered two of them, the "entrance zone" and the "twilight zone". The data we obtained have certain similarities with the algal flora of similar localities in other countries, in particular, Slovakia (Šramková, Kováčik, 2005), Poland (Czerwik-Marcinkowska, Mrozińska, 2011; Czerwik-Marcinkowska et al., 2015), the

Table 3. **Taxonomic structure of the bryoflora of the Dumka Cave complex**

Taxon	Number of species, units (%)			
	Karst bridge	Cave entrance	Grotto	In total
MARCHANTIOPHYTA	**8 (38.0)**	**3 (23.1)**	–	**8 (32.0)**
Jungermanniopsida	5 (23.8)	2 (15.4)	–	5 (20.0)
Jungermanniales	3 (14.2)	2 (15.4)	–	3 (12.0)
Pelliales	1 (4.8)	–	–	1 (4.0)
Porellales	1 (4.8)	–	–	1 (4.0)
Marchantiopsida	3 (14.2)	1 (7.7)	–	3 (12.0)
Marchantiales	3 (14.2)	1 (7.7)	–	3 (12.0)
BRYOPHYTA	**13 (62.0)**	**10 (76.9)**	**2 (100)**	**17 (68.0)**
Bryopsida	13 (62.0)	10 (76.9)	2 (100)	17 (68.0)
Hypnales	8 (38.0)	5 (38.5)	1 (50)	9 (36.0)
Bryales	2 (9.6)	2 (15.4)	–	3 (12.0)
Pottiales	2 (9.6)	1 (7.7)	1 (50)	2 (8.0)
Dicranales	1 (4.8)	–	–	1 (4.0)
Encalyptales	–	1 (7.7)	–	1 (4.0)
Timmiales	–	1 (7.7)	–	1 (4.0)
Total number of species	**21 (100)**	**13 (100)**	**2 (100)**	**25 (100)**

Czech Republic (Wipplingerová et al., 2025), Serbia (Popović et al., 2017; Nikolić et al., 2020), etc. This applies to both species composition and taxonomic structure: in the latter, the greatest similarity is noted with the caves of the Polish Jura (Polish Jurassic Highland, Jura Krakowsko-Częstochowska).

Some species of cyanobacteria and algae revealed on the rocks of the cave complex are new and noteworthy records. In particular, two species of cyanobacteria are first records in Ukraine: *Synechococcus sciophilus* (Fig. 2F) and *Synechocystis primigenia* (Fig. 2E). Both taxa are typical of calcareous rocks, the latter is also found in caves (Komárek, Anagnostidis, 1998). For a number of cyanobacterial species, this is the second record in Ukraine. Among them, *Gloeocapsa coracina*, *Cyanosarcina parthenonensis* (Fig. 2D), and *Microcoleus vulgaris* (Fig. 2L) were reported from the caves and grottoes of the Podilsky Tovtry National Nature Park (Vinogradova, Mikhailyuk, 2010). Aerophyte *Pseudocapsa dubia* (Fig. 2B) was found on the rock in the Carpathian Biosphere Reserve (Kovalenko, Kyslova, 2008). Noteworthy records are cyanobacteria *Chroococcus helveticus* (Fig. 2A) and *Nodularia sphaerocarpa* (Fig. 2J, K), green algae *Coccomyxa* cf. *viridis* (Fig. 3K), *Scotinosphaera* sp. (Fig. 3G, H), *Pseudostichococcus undulatus* (Fig. 3E, F), *Pseudendoclonium* cf. *arthopyreniae* (Fig. 3J), *Macrochloris dissecta* (Fig. 3A), and terrestrial diatoms *Aerophilia roeseana*, *Achnanthes coarctata*, and *Humidophila contenta* (Tsarenko et al., 2024a, 2024b).

In total, 25 species of bryophytes were found in different parts of the cave complex, including eight species of liverworts (*Marchantiophyt*a) and 17 species of mosses (*Bryophyta*; Table 3). *Marchantiophyta* is represented by 2 classes (*Jungermanniopsida*, *Marchantiopsida*), 4 orders and 6 families (*Conocephalaceae* and *Plagiochilaceae* — 2 species each, *Pelliaceae*, *Lophocoleaceae*, *Marchantiaceae*, *Porellaceae* — 1 species each). All discovered representatives of *Bryophyta* belong to the class *Bryopsida*, 6 orders and 9 families (*Brachytheciaceae*, *Mniaceae*, *Plagiotheciaceae* — 3 species each, *Neckeraceae*, *Pottiaceae* — 2 species each, *Fissidentaceae*, *Encalyptaceae*, *Amblystegiaceae*, *Timmiaceae* — 1 species each).

The karst bridge had the highest species richness of bryophytes (21 species), and 13 species were found on the calcareous boulders at the cave's entrance. Due to the low lighting, cave's front grotto walls had extremely low bryophytes (2 species, Table 4).

The karst bridge turned out to be richest in bryophytes. A total of 21 species have been found here. The peculiarity of this site is the diversity of liverworts (8 species) of which only three species were found in other parts of the complex. The richness of the bryo- and hepaticoflora of the karst bridge is probably due to the greater variety of conditions, primarily the surfaces with different exposure and

Table 4. **Species composition of the bryoflora of the Dumka Cave complex**

Taxon	Karst bridge	Cave entrance	Grotto
MARCHANTIOPHYTA	**8**	**3**	**0**
Apopellia endiviifolia (Dicks.) Nebel & D. Quandt	+	–	–
Conocephalum conicum (L.) Dumort.	+	–	–
Conocephalum salebrosum Szweyk., Buczk. & Odrzyk.	+	+	–
Lophocolea heterophylla (Schrad.) Dumort.	+	–	–
Marchantia quadrata Scop.	+	–	–
Pedinophyllum interruptum (Nees) Kaal.	+	+	–
Plagiochila porelloides (Torr. ex Nees) Lindenb.	+	+	–
Porella platyphylla (L.) Pfeiff.	+	–	–
BRYOPHYTA	**13**	**10**	**2**
Anomodon viticulosus (Hedw.) Hook. & Taylor	+	+	–
Brachytheciastrum velutinum (Hedw.) Ignatov & Huttunen	–	+	–
Campylophyllopsis calcarea (Crundw. & Nyholm) Ochyra	+	+	–
Encalypta streptocarpa Hedw.		+	–
Fissidens gracilifolius Brugg.-Nann. & Nyholm	+	–	–
Gymnostomum aeruginosum Sm.	+	+	+
Mnium marginatum (Dicks.) P. Beauv.	+	–	–
Mnium stellare Hedw.	+	+	–
Orthothecium intricatum (Hartm.) Schimp.	+	–	+
Plagiomnium rostratum (Schrad.) T.J. Kop.	–	+	–
Plagiothecium cavifolium (Brid.) Z. Iwats.	+	–	–
Plasteurhynchium striatulum (Spruce) M. Fleisch.	+	–	–
Platydictya jungermannioides (Brid.) H.A. Crum	+	+	–
Pseudanomodon attenuatus (Hedw.) Ignatov & Fedosov	+	+	–
Rhynchostegium murale (Hedw.) Schimp.	+	–	–
Tortula muralis Hedw.	+	–	–
Timmia bavarica Hessl.	–	+	–
Total number of species	**21**	**13**	**2**

different levels of illumination. Only 3 species (*Apopellia endiviifolia*, *Mnium stellare* (Fig. 5B), and *Pseudanomodon attenuatus*) were abundant in both shaded and illuminated places. *Conocephalum salebrosum* (Fig. 5C) dominated only on horizontal and semi-inclined periodically illuminated surfaces. Another species of this genus (*C. conicum*) was found only in shaded conditions of niches and vaults, where it grew as single thalli. *Orthothecium intricatum*, *Gymnostomum aeruginosum*, and *Pedinophyllum interruptum* form small turfs in the niches. *Fissidens gracilifolius* was found only at the foot of the bridge blocks, where a small layer of soil was formed. The most peculiar is the bryoflora of the horizontal surface of the top of the bridge arch. Variable lighting due to sparse tree stands and a thin layer of soil on the rock surface form specific conditions. *Marchantia quadrata* and *Lophocolea heterophylla* were found only here.

The species composition of bryophytes on the rocks near the cave entrance differed from that of the karst bridge, although the composition of dominant species was the same. A total of 13 species of bryophytes were found here. Three species (*Conocephalum salebrosum*, *Pseudanomodon attenuatus*, and *Mnium stellare*) formed expanded turphs on the rocks.

A characteristic feature of the rocks near the entrance was also large-sized turfs of *Timmia bavarica* (Fig. 5A) and *Anomodon viticulosus* (Fig. 5D). These species have relatively large gametophyte and, together with other dominants, create



Fig. 5. Bryophytes of the Dumka Cave complex. A: *Timmia bavarica*; B: *Mnium stellare*; C: *Conocephalum salebrosum*; D: *Anomodon viticulosus*; E: *Fissidens gracilifolius*; F: *Pedinophyllum interruptum*

a very characteristic appearance of almost completely moss-covered calcareous walls. They are joined by small spots of *Encalypta streptocarpa*, *Gymnostomum aeruginosum* with the addition of *Brachytheciastrum velutinum*, *Campylophyllopsis calcarea*, and *Platydictya jungermannioides*.

Table 5. **Taxonomic structure of vascular plants of the Dumka Cave complex**

Taxon	Number of species, units (%)			
	Karst bridge	Cave entrance	Grotto	In total
PTERIDOPHYTINA	**3 (30.0)**	**5 (31.25)**	**–**	**5 (23.8)**
Aspleniaceae	2 (20.0)	3 (18.75)	–	3 (14.2)
Cystopteridaceae	1 (10.0)	1 (6.25)	–	1 (4.8)
Polypodiaceae	–	1 (6.25)	–	1(4.8)
SPERMATOPHYTINA	**7 (70.0)**	**11 (68.75)**	**–**	**16 (76.2)**
Araliaceae	–	1 (6.25)	–	1 (4.8)
Brassicaceae	1 (10.0)	1 (6.25)	–	1 (4.8)
Campanulaceae	–	1 (6.25)	–	1 (4.8)
Caryophyllaceae	–	1 (6.25)	–	1 (4.8)
Celastraceae	–	1 (6.25)	–	1 (4.8)
Asteraceae	–	1 (6.25)	–	1 (4.8)
Crassulaceae	–	1 (6.25)	–	1 (4.8)
Geraniaceae	1 (10.0)	1 (6.25)	–	2 (9.6)
Grossulariaceae	1 (10.0)	–	–	1 (4.8)
Lamiaceae	1 (10.0)	1 (6.25)	–	1 (4.8)
Papaveraceae	1 (10.0)	–	–	1 (4.8)
Poaceae	–	1 (6.25)	–	1 (4.8)
Ranunculaceae	1 (10.0)	–	–	1 (4.8)
Rubiaceae	–	1 (6.25)	–	1 (4.8)
Viburnaceae	1 (10.0)	–	–	1 (4.8)
Total number of species	**10 (100)**	**16 (100)**	**–**	**21 (100)**

The walls of the front grotto of the cave were characterized by a very poor species composition of bryophytes. Only two species (*Orthothecium intricatum* and *Gymnostomum aeruginosum*) have been found here, growing on vertical surfaces in crevices where a thin layer of humus was formed. In general, environmental conditions in caves are quite unfavorable for bryophytes, even for sciophyte species. There is insufficient lighting with limited availability of nutrients, high humidity and relatively small temperature fluctuations. The bryoflora of cave complexes differs significantly from the bryoflora of the surrounding forest vegetation, and is often relict (Rena et al., 2021). Therefore, not many species are known from deep caves in Ukraine (Bachuryna, Melnychuk, 1987, 1988, 1989, 2003; Virchenko, Nyporko, 2022). Of the species that we discovered, only *O. intricatum* is known from other cave complexes in Ukraine. Bryofloras of cave complexes in some European countries are also somewhat similar to the one we discovered (Kubešová, 2001; Mulec, Kubešová, 2010), although they are usually richer at the species level.

A comparison of species composition using the Sørensen-Chekanovsky index showed the greatest uniqueness of the bryoflora of the front grotto of the cave (15%), while the bryoflora of the karst bridge and the cave entrance were quite similar (52%). There are 9 species shared by the karst bridge and the cave entrance. *Orthothecium intricatum* grows on the walls near the entrance and in the front grotto. Only *Gymnostomum aeruginosum* was found in all studied sites.

Some of the revealed bryophytes are noteworthy and rare species. For *Pedinophyllum interruptum* (Fig. 5F) and *Fissidens gracilifolius* (Fig. 5E), this is the second locality in Ivano-Frankivsk Region, and for the latter in Ukraine as well. V.M. Virchenko found *F. gracilifolius* on shaded limestones in Rivne Region (Virchenko, Nyporko, 2022). For *Timmia bavarica*, this is the third locality in Ivano-Frankivsk region. Previous records were dated by 1928 and 1936, and one of them was from the territory of the studied RLP: Tlumatsky District, near Nyzhniv village (Bachuryna, Melnychuk, 1989). Four species are rare for the Forest-Steppe: *Apopellia endiviifolia*, *Porella platyphylla*, *Plagiothecium cavifolium*, and *Plasteurhynchium striatulum* (Boiko, 2010). Fifteen species of bryophytes (*Anomodon viticulosus*,

Table 6. **Species composition of vascular plants of the Dumka Cave complex**

Taxon	Karst bridge	Cave entrance	Grotto
PTERIDOPHYTINA	**3**	**5**	**–**
Asplenium ruta-muraria L.	–	+	–
Asplenium scolopendrium L.	+	+	–
Asplenium trichomanes L.	+	+	–
Cystopteris fragilis (L.) Bernh.	+	+	–
Polypodium vulgare L.	–	+	–
SPERMATOPHYTINA	**7**	**11**	**–**
Lamium galeobdolon (L.) Crantz	+	+	–
Ribes uva-crispa L.	+	–	–
Geranium sanguineum L.	+	–	–
Sambucus nigra L.	+	–	–
Isopyrum thalictroides L.	+	–	–
Chelidonium majus L.	+	–	–
Arabidopsis arenosa (L.) Lawalrée	+	+	–
Geranium robertianum L.	–	+	–
Euonymus verrucosus Scop.	–	+	–
Hylotelephium maximum (L.) Holub	–	+	–
Poa nemoralis L.	–	+	–
Cicerbita muralis (L.) Wallr.	–	+	–
Moehringia muscosa L.	–	+	–
Galium intermedium Schult.	–	+	–
Campanula trachelium L.	–	+	–
Hedera helix L.	–	+	–
Total number of species	**10**	**16**	**–**

Brachytheciastrum velutinum, *Fissidens gracilifolius*, *Marchantia quadrata*, *Mnium marginatum*, *Orthothecium intricatum*, *Pedinophyllum interruptum*, *Plagiomnium rostratum*, *Plagiothecium cavifolium*, *Plasteurhynchium striatulum*, *Platydictya jungermannioides*, *Porella platyphylla*, *Pseudanomodon attenuatus*, *Rhynchostegium murale*, and *Tortula muralis*) are reported for the first time from the territory of the Dniester RLP.

It should be noted that the identified species composition of bryophytes turned out to be somewhat similar to the bryofora of previously studied localities in Western Ukraine, representing shaded forest limestone outcrops (Nyporko, 2021; Didukh et al., 2023; Nyporko, Vasheniak, 2024). These habitats of shaded chasmophyte communities of Ukraine are classified as biotopes H32c (Temperate lowland to montane base rich inland cliff) according to the new EUNIS classification (Chytrý et al., 2020). The communities are rare and have a limited distribution, with low potential for recovery (Didukh et al., 2023). According to our research, *Conocephalum salebrosum*, *Pseudanomodon attenuatus*, *Anomodon viticulosus*, and *Mnium stellare* frequently occur in such communities. Also on limestone shaded cliffs, *Apopellia endiviifolia*, *Gymnostomum aeruginosum*, and *Pedinophyllum interruptum* are common. Other species found in this locality mainly prefer calcium-containing substrates. In Ukraine, *Orthothecium intricatum* is quite common in crevices of limestone rocks, ravines, and caves (Bachuryna, Melnychuk, 2003). Thus, the bryoflora of the Dumka Cave complex is generally calcephytic and sciophytic.

Vascular plants identified in the studied sites of the Dumka Cave complex include five species of *Pteridophytina*; among them, three species of the family *Aspleniaceae* (*Asplenium ruta-muraria*, *A. scolopendrium*, and *A. trichomanes*). In addition, 16 species of *Spermatophytina* are companion

species of the chasmophytic communities, including mainly herbaceous plants of the families *Brassicaceae*, *Campanulaceae*, *Asteraceae*, *Poaceae*, succulents of the family *Crassulaceae* (*Hylotelephium maximum*), shrubs of the families *Celastraceae* (*Euonymus verrucosus*), *Viburnaceae* (*Sambucus nigra*), and *Grossulariaceae* (*Ribes uva-crispa*) (Tables 5, 6).

Among vascular plants, the dominant species are representatives of *Pteridophytina* (*Asplenium scolopendrium*, *Cystopteris fragilis*, *Polypodium vulgare*), which are characteristic of shaded rocky biotopes (Didukh et al., 2023), the projective cover of which is 20%. At the same time, the floristic core of chasmophytic communities is formed by representatives of *Spermatophytina* with a projective cover of 0.1–2%, which are mainly forest species (*Campanula trachelium*, *Hedera helix*, *Lamium galeobdolon*). Sometimes synanthropic species (*Chelidonium majus*, *Moehringia trinervia*) are associated in particular with a certain recreational load of the Dumka Cave complex.

It is worth noting that vascular plants are not calciphiles and do not indicate peculiar conditions of calcareous cliffs of the Dumka Cave complex, unlike mosses and algae. In general, such complexes of vascular plants and mosses can be classified as associations of *Cystopteridetum fragilis* Oberd. 1938 and *Asplenio-Phyllidetum scolopendrii* Redžić et al. 2002 within the class *Polypodietea* Jurko et Peciar ex Boşcaiu, Gergely et Codoreanu in Rațiu et al. 1966, reported for Ukraine (Didukh et al., 2023). They occur in semi-shaded and shaded conditions of hornbeam-oak forests, which occupy quite large areas on the upper terraces of the Dniester River valley. Such communities belong to the biotope H32c "Carbonate rocks of the temperate zone, occurring on the plain and in the lower mountain belt" (Chytrý et al., 2020) and are assessed as rare biotopes belonging to the second category (Didukh et al., 2023).

Conclusions

The study is the first attempt to assess the floristic diversity of chasmophytic communities of calcareous rocks of the Dumka Cave complex in the Dniester RLP. Diverse species and taxonomic composition of cyanobacteria, algae, cryptogamic and vascular plants were revealed: 56 species of cyanobacteria and algae (*Cyanobacteria* — 21, *Chlorophyta* — 23, *Charophyta* — 2, *Heterokontophyta* — 9), 25 species of bryophytes (*Marchantiophyta* — 8, *Bryophyta* — 17), and 21 species of vascular plants (5 — *Pteridophytina*, 16 — *Spermatophytina*). Interesting floristic records were made in the studied biotope. Two species of cyanobacteria (*Synechococcus sciophilus* and *Synechocystis primigenia*) are first reported for Ukraine. *Gloeocapsa coracina*, *Pseudocapsa dubia*, *Cyanosarcina parthenonensis*, and *Microcoleus vulgaris* have only been found in our country once before. Among bryophytes, noteworthy records are *Pedinophyllum interruptum* and *Fissidens gracilifolius*, for which this is the second locality in Ivano-Frankivsk Region, and for the latter in Ukraine as a whole. For *Timmia bavarica* (rare in the Ukrainian Carpathians) this is the third locality in Ivano-Frankivsk Region. On the other hand, among the identified vascular plants there are synanthropic species, which indicates the presence of certain anthropogenic impact. Therefore, further monitoring of the state of the biotope's vegetation is necessary.

The studied communities belong to the biotope H32c "Cabonate rocks of the temperate zone, occurring on the plain and in the lower mountain belt", according to the new classification of biotopes, are syntaxonomically characterized as a group of the *Polypodietea* class, referring to the second category of rarity and needing protection. The main threat to the existence of this biotope is deforestation, which leads to increased light levels, heating of rocks, and moisture deficiency, as well as eutrophication due to recreational load.

Acknowledgements

The authors are grateful to the staff of the Dniester Regional Landscape Park, Iryna Dmytrash-Vatseba and Nadiya Kapets, for their help and support in sampling. Our gratitude is due to Vitaliy Virchenko for consulting on identification of problematic taxa of bryophytes. This project was supported by the European Union's Horizon 2020 research and innovation funding programme, grant agreement No 871072 (TM).

ETHICS DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

T. Mikhailyuk https://orcid.org/0000-0002-7769-2848
O. Vinogradova https://orcid.org/0000-0002-9243-8231
S. Nyporko http://orcid.org/0000-0003-3451-0319
I. Vasheniak https://orcid.org/0000-0003-1020-3007

REFERENCES

Bachuryna H.F., Melnychuk V.M. 1987. *Flora mokhiv Ukrainskoi RSR*. Vol. 1. Kyiv: Naukova Dumka, 180 pp. [Бачурина Г.Ф., Мельничук В.М. 1987. *Флора мохів Української РСР*. Вип. 1. Київ: Наукова думка, 180 с.]

Bachuryna H.F., Melnychuk V.M. 1988. *Flora mokhiv Ukrainskoi RSR*. Vol. 2. Kyiv: Naukova Dumka, 179 pp. [Бачурина Г.Ф., Мельничук В.М. 1988. *Флора мохів Української РСР*. Вип. 2. Київ: Наукова думка, 179 с.]

Bachuryna H.F., Melnychuk V.M. 1989. *Flora mokhiv Ukrainskoi RSR*. Vol. 3. Kyiv: Naukova Dumka, 176 pp. [Бачурина Г.Ф., Мельничук В.М. 1989. *Флора мохів Української РСР*. Вип. 3. Київ: Наукова думка, 176 с.]

Bachuryna H.F., Melnychuk V.M. 2003. *Flora mokhiv Ukrainy*. Vol. 4. Kyiv: Akademperiodyka, 256 pp. [Бачурина Г.Ф., Мельничук В.М. 2003. *Флора мохів України*. Вип. 4. Київ: Академперіодика, 256 с.]

Bischoff H.W., Bold H.C. 1963. Phycological studies. IV. Some soil algae from Enchanted Rock and related algal species. *University Texas Publications*, 6318: 1–95.

Boiko M.F. 2010. Rare bryophytes from plane and mountain landscapes of Ukraine. *Chornomorski Botanical Journal*, 6(3): 294–315. [Бойко М.Ф. 2010. Раритетні види мохоподібних фізико-географічних рівнинних зон та гірських ландшафтних країн України. *Чорноморський ботанічний журнал*, 6(3): 294–315.]

Chytrý M., Otýpková Z. 2003. Plot sizes used for phytosociological sampling of European vegetation. *Journal of Vegetation Science*, 14: 563–570. https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2003.tb02183.x

Chytrý M., Tichý L., Hennekens S.M., Knollová I., Janssen J.A.M., Rodwell J.S., Peterka T., Marcenò C., Landucci F., Danihelka J., Hájek M., Dengler J., Novák P., Zukal D., Jiménez-Alfaro B., Mucina L., Abdulhak S., Aćić S., Agrillo E., Attorre F., Bergmeier E., Biurrun I., Boch S., Bölöni J., Bonari G., Braslavskaya T., Bruelheide H., Campos J.A., Čarni A., Casella L., Ćuk M., Ćušterevska R., De Bie E., Delbosc P., Demina O., Didukh Y., Dítě D., Dziuba T., Ewald J., Gavilán R.G., Gégout J.-C., Giusso del Galdo G.P., Golub V., Goncharova N., Goral F., Graf U., Indreica A., Isermann M., Jandt U., Jansen F., Jansen J., Jašková A., Jiroušek M., Kącki Z., Kalníková V., Kavgaci A., Khanina L., Korolyuk A.Yu., Kozhevnikova M., Kuzemko A., Küzmič F., Kuznetsov O.L., Laiviņš M., Lavrinenko I., Lavrinenko O., Lebedeva M., Lososová Z., Lysenko T., Maciejewski L., Mardari C., Marinšek A., Napreenko M.G., Onyshchenko V., Pérez-Haase A., Pielech R., Prokhorov V., Rašomavičius V., Rodríguez Rojo M.P., Rūsiņa S., Schrautzer J., Šibík J., Šilc U., Škvorc Ž., Smagin V.A., Stančić Z., Stanisci A., Tikhonova E., Tonteri T., Uogintas D., Valachovič M., Vassilev K., Vynokurov D., Willner W., Yamalov S., Evans D., Lund M.P., Spyropoulou R., Tryfon E., Schaminée J.H.J. 2020. EUNIS Habitat Classification: expert system, characteristic species combinations and distribution maps of European habitats. *Applied Vegetation Science*, 23: 648–675. https://doi.org/10.1111/avsc.12519

Convention on the Conservation of European Wildlife and Natural Habitats. 1979. Bern. Available at: www.coe.int/en/web/bern-convention

Czerwik-Marcinkowska J., Mrozińska T. 2011. Algae and cyanobacteria in caves of the Polish Jura. *Polish Botanical Journal*, 56(2): 203–243.

Czerwik-Marcinkowska J., Wojciechowska A., Massalski A. 2015. Biodiversity of limestone caves: aggregations of aerophytic algae and cyanobacteria in relation to site factors. *Polish Journal of Ecology*, 63: 481–499. https://doi.org/10.3161/15052249PJE2015.63.4.002

Didukh Ya., Chorney I., Budzhak V., Vasheniak I., Bezsmertna O., Gleb R., Nyporko, S. 2023. Rare shady chasmophytic habitat communities (8210) in Ukraine. *Hacquetia*, 22(2): 143–160. https://doi.org/10.2478/hacq-2022-0022

Dniester regional landscape park named after Serhiy Didych. 2023. Ed. I.I. Dmytrash-Vatseba. Ivano-Frankivsk: Lileya-NV, 240 pp. [*Дністровський регіональний ландшафтний парк імені Сергія Дідича*. 2023. Ред. І.І. Дмитраш-Вацеба. Івано-Франківськ: Лілея-НВ, 240 с.]

Euro+Med. 2006–onward. *Euro+Med PlantBase — the information resource for Euro-Mediterranean plant diversity*. Available at: http://www.europlusmed.org (Accessed 10 April 2025).

Guiry M.D., Guiry G.M. 2025. *AlgaeBase.* World electronic publication. National University of Ireland. Galway. Available at: http://www.algaebase.org/ (Accessed 10 April 2025).

Komárek J., Anagnostidis K. 1998. *Cyanoprokaryota 1 Teil: Chroococcales.* In: *Süsswasserflora Von Mitteleuropa*. Bd 19/1. Heidelberg, Berlin: Spektrum Akademischen Verlag, 548 pp.

Kostikov I.Yu., Romanenko P.O., Demchenko E.M., Darienko T.M., Mikhailyuk T.I., Rybchinskiy O.V., Solonenko A.M. 2001. *The soil algae from Ukraine (history and methods of investigation, classification system, floristics).* Kyiv: Phytosociocenter, 300 pp. [Костіков І.Ю., Романенко П.О., Демченко Е.М., Дарієнко Т.М., Михайлюк Т.І., Рибчинський О.В., Солоненко А.М. 2001. *Водорості ґрунтів України (історія та методи дослідження, система, конспект флори).* Київ: Фітосоціоцентр, 300 с.]

Kovalenko O.V., Kyslova O.A. 2008. To the study of blue-green algae (*Cyanoprokaryota*) of the Ugolsky Forestry of the Carpathian Biosphere Reserve (Ukraine). In: *Proceedings of scientific conference "Creation of cadastres of phytodiversity of protected areas, botanical gardens and arboretums" (October 13–15, 2008, Kaniv)*. Kyiv: Phytosociocenter, pp. 22–23. [Коваленко О.В., Кислова О.А. 2008. До вивчення синьозелених водоростей (*Cyanoprokaryota*) Угольского лісництва Карпатського біосферного заповідника (Україна). В зб.: *Матеріали наукової конференції "Створення*

кадастрів фіторізноманіття заповідних територій, ботанічних садів та дендропарків" (13–15 жовтня 2008, Канів). Київ: Фітосоціоцентр, с. 22–23.]

Kubešová S. 2001. Bryophyte flora at lamps in public caves in the Moravian Karst (Czech Republic). *Acta Musei Moraviae, Scientiae biologicae (Brno)*, 86: 195–202.

Lamprinou V., Danielidis D.B., Economou-Amilli A., Pantazidou A. 2012. Distribution survey of *Cyanobacteria* in three Greek caves of Peloponnese. *International Journal of Speleology*, 41: 267–272. https://doi.org/10.5038/1827-806X.41.2.12

Mikhailyuk T., Vynogradova O. 2024. Terrestrial algae of Dumka karst cave (Dniester Regional Landscape Park, Ukraine). Dniester readings. In: *Materials of the international conference of the Dniester Regional Landscape Park (October 18, 2024, Tlumach, Ivano-Frankivsk Region, Ukraine)*. Eds I. Dmytrash-Vatseba, T. Mykytyn, N. Kapets, A. Kravets. Odesa: Oldi+, pp. 152–154. [Михайлюк Т.І., Виноградова О.М. 2024. Наземні водорості карстової печери "Думка" (Дністровський РЛП, Україна). В зб.: *Матеріали міжнародної конференції Дністровського регіонального ландшафтного парку (18 жовтня 2024, м. Тлумач, Івано-Франківська область, Україна)*. Ред. І. Дмитраш-Вацеба, Т. Микитин, Н. Капець, А. Кравець. Одеса: Олді+, с. 152–154.]

Mucina L., Bültmann H., Dierßen K., Theurillat J.-P., Dengler J., Čarni A., Šumberová K., Raus T., di Pietro R., Gavilán García R., Chytrý M., Yakushenko D., Schaminée J.H.J., Bergmeier E., Santos Guerra A., Daniëls F.J.A., Ermakov N., Valachovic M., Pignatti S., Rodwell J. S., Pallas J., Capelo J., Weber H.E., Lysenko T., Didukh Y.P., Capelo J., Weber H., Solomeshch A., Dimopolous P., Aguiar C., Freitag H., Hennekens S.M., Tichý L. 2016. Vegetation of Europe: hierarchical floristic classification system of vascular plant, bryophyte, lichen and algal communities. *Applied Vegetation Science*, 19(1): 3–264. https://doi.org/10.1111/avsc.12257

Mulec J., Kubešová S. 2010. Diversity of bryophytes in show caves in Slovenia and relation to light intensities. *Acta Carsologica*, 39(3): 587–596. https://doi.org/10.3986/ac.v39i3.86

Nikolić N., Zarubica N., Gavrilović B., Predojević D., Trbojević I., Subakov Simić G., Popović S. 2020. Lampenflora and the entrance biofilm in two show caves: comparison of microbial community, environmental, and biofilm parameters. *Journal of Cave and Karst Studies*, 82(2): 69–81. https://doi.org/10.4311/2018EX0124

Nyporko S.O. 2021. Mosses of Kuziy tract (Carpathian Biosphere Reserve). In: *Proceedings of International Scientific Conference "Actual problems of bryology and its perspectives"* (*25 Novembe, 2021, Lviv, Ukraine*). Lviv, pp. 24–26. [Нипорко С.О. 2021. Мохоподібні урочища Кузій (Карпатський біосферний заповідник). В кн.: *Матеріали міжнародної наукової конференції "Актуальні проблеми бріології та її перспективи" (25 листопада 2021 року, Львів, Україна)*. Львів, с. 24–26.]

Nyporko S., Vasheniak I. 2024. A new record of *Cololejeunea rossetiana* (*Marchantiophyta*, *Lejeuneaceae*) in the Transcarpathian Region. *Scientific Bulletin of the Uzhhorod University. Series Biology*, 56: 34–37. [Нипорко С., Вашеняк Ю. 2024. Нова знахідка *Cololejeunea rossetiana* (C. Massal.) Schiffn. (*Marchantiophyta*, *Lejeuneaceae*) в Закарпатській області. *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія Біологія*, 56: 34–37.]

Nyporko S.O., Mikhailyuk T.I., Burova O.V., Raida O.V., Vasheniak I.A., Kapets N.V., Demchenko E.M. 2023. Bryophytes, algae and lichens of travertine waterfalls from the Dniester Regional Landscape Park. *Materials of the round table from the 30th century of the Dniester Regional Landscape Park (20 October 2023, Tlumach, Ivano-Frankivsk Reg., Ukraine)*. Eds I.V. Skilskyi, I.I. Dmytrash-Vatseba, O.V. Vasylyuk. Tlumach; Chernivtsi: Druck Art, pp. 45–48. [Нипорко С.О., Михайлюк Т.І., Бурова О.В., Райда О.В., Вашеняк Ю.А., Капець Н.В., Демченко Е.М. 2023. Мохоподібні, водорості та лишайники травертинових водоспадів Дністровського регіонального ландшафтного парку. *Матеріали круглого столу з нагоди 30-річчя Дністровського регіонального ландшафтного парку (20 жовтня 2023 р., м. Тлумач, Івано-Франківська обл., Україна)*. Ред. І.В. Скільський, І.І. Дмитраш-Вацеба, О.В. Василюк. Тлумач; Чернівці: Друк Арт, с. 45–48.]

Popović S., Subakov Simić G., Stupar M., Unković N., Krunić O., Savić N., Ljaljević Grbić M. 2017. Cave biofilms: characterization of phototrophic cyanobacteria and algae and chemotrophic fungi from three caves in Serbia. *Journal of Cave and Karst Studies*, 79(1): 10–23. https://doi.org/10.4311/2016MB0124

Rena H., Wanga F., Yea W., Zhanga Q., Hana T., Huanga Y., Chua G., Huic D., Guod Q. 2021. Bryophyte diversity is related to vascular plant diversity and microhabitat under disturbance in karst caves. *Ecological Indicators*, 120: 106947. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106947

Shmidt V.M. 1980. *Statistical methods in comparative floristics*. Leningrad: Leningrad University Press, 176 pp. [Шмидт В.М. 1980. *Статистические методы в сравнительной флористике*. Ленинград: Издательство Ленинградского университета, 176 с.]

Šramková K., Kováčik L. 2005. Výskyt cyanobaktérií a rias v nárastoch "lampenflóry" v šiestich sprístupnených jaskyniach na Slovensku. *Bulletin Slovenskej Botanickej Spoločnosti*, 27: 17–21.

Stanier R.Y., Kunisawa R., Mandel M., Cohen-Bazire G. 1971. Purification and properties of unicellular blue-green algae (order *Chroococcales*). *Bacteriological Reviews*, 35: 171–205.

Tsarenko P.M., Vinogradova O.M., Burova O.V., Bryantseva Yu.V., Borysova O.V., Lilitska G.G., Raida O.V., Beresovska V.Yu., Kryvosheia-Zakharova O.M., Sadogurska S.S. 2024a. *Prodromus of spore plants of Ukraine: algae*. Book 1. Ed. P.M. Tsarenko. Kyiv: Naukova Dumka, 879 pp. [Царенко П.М., Виноградова О.М., Бурова О.В., Брянцева Ю.В., Борисова О.В., Ліліцька Г.Г., Райда О.В., Березовська В.Ю., Кривошея-Захарова О.М., Садогурська С.С. 2024а.

Продромус спорових рослин України: водорості. Книга 1. Ред. П.М. Царенко. Київ: Наукова думка, 879 с.] https://doi.org/10.15407/ 978-966-00-1870-9

Tsarenko P.M., Mikhailyuk T.I., Burova O.V., Borysova O.V., Lilitska G.G., Demchenko E.M. 2024b. *Prodromus of spore plants of Ukraine: algae*. Book 2. Ed. P.M. Tsarenko. Kyiv: Naukova Dumka, 679 pp. [Царенко П.М., Михайлюк Т.І., Бурова О.В., Борисова О.В., Ліліцька Г.Г., Демченко Е.М. 2024b. *Продромус спорових рослин України: водорості*. Книга 2. Ред. П.М. Царенко. Київ: Наукова думка, 679 с.] https://doi.org/10.15407/978-966-00-1954-6

Vinogradova O.N., Mikhailyuk T.I. 2009. Algal flora of the caves and grottoes of the National Nature Park "Podilsky Tovtry" (Ukraine). *International Journal on Algae*, 11(3): 289–304. https://doi.org/10.1615/InterJAlgae.v.11.i3.80

Vinogradova O.M., Mikhailyuk T.I. 2010. New and noteworthy records of algae from the caves and grottoes of the National Nature Park "Podilsky Tovtry". *Ukrainian Botanical Journal*, 67(4): 596–610. [Виноградова О.М., Михайлюк Т.І. 2010. Нові та рідкісні для України водорості з печер і гротів Національного природного парку "Подільські Товтри". *Український ботанічний журнал*, 67(4): 596–610.]

Virchenko V.M., Nyporko S.O. 2022. *Prodromus of spore plants of Ukraine: bryophytes*. Kyiv: Naukova Dumka, 176 pp. [Вірченко В.М., Нипорко С.О. 2022. *Продромус спорових рослин України: мохоподібні*. Київ: Наукова думка, 176 с.]

Wipplingerová M., Pokorný J., Kaštovský J. 2025. Cyanobacteria and algae from Chýnov and Koněprusy caves (Czech Republic). *International Journal of Speleology*, 54(1): 2514. https://doi.org/10.5038/1827-806X.ijs2514

Водорості, мохоподібні та судинні рослини вапняків печерного комплексу "Думка" (Дністровський регіональний ландшафтний парк, Україна)

Т.І. МИХАЙЛЮК [1], О.М. ВИНОГРАДОВА [1], С.О. НИПОРКО [1], Ю.А. ВАШЕНЯК [1,2]

[1] Інститут ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України,
вул. Терещенківська 2, Київ 01601, Україна

[2] Донецький національний університет ім. Василя Стуса,
вул. 600-річчя 21, Вінниця 21000, Україна

Реферат. Досліджено хазмофітні угруповання вапнякових скель печерного комплексу "Думка" в Дністровському регіональному ландшафтному парку (Івано-Франківська область). Виявлено різноманітну рослинність, в якій домінували папороті, мохоподібні та водорості. Комплекс досліджували у трьох частинах: так званий "карстовий міст" (нагромадження уламків склепіння печери), вапняки біля входу до печери та стіни переднього гроту печери. Загалом у печерному комплексі виявлено 56 видів водоростей (*Cyanobacteria* — 21 вид, *Chlorophyta* — 23, *Charophyta* — 2, *Heterokontophyta* — 9), 25 видів мохоподібних (*Marchantiophyta* — 8, *Bryophyta* — 17) та 21 вид судинних рослин (*Pteridophytina* — 5, *Spermatophytina* — 16). Найвище видове різноманіття зареєстровано на карстовому мості та стінах при вході до печери. В обох місцезростаннях у водоростевому покриві домінували представники ціанобактерій і зелених водоростей. Водорості та мохоподібні на стінах переднього гроту були менш різноманітними, судинні рослини та ціанобактерії — взагалі відсутні, тут переважали требуксієфіцієві зелені водорості та діатомеї. Порівняння видового складу водоростей та мохоподібних за коефіцієнтом Сьоренсена-Чекановського показало певну спорідненість карстового міста і брил біля входу до печери та специфічність переднього гроту печери. Серед виявлених видів водоростей 2 види — *Synechococcus sciophilus* та *Synechocystis primigenia* — є новими для флори України, решта — рідкісними та вартими уваги таксонами (*Gloeocapsa coracina*, *Microcoleus vulgaris*, *Scotinosphaera* sp., *Pseudostichococcus undulatus* та ін.). 15 видів мохоподібних наводяться вперше для території парку. Для Івано-Франківської області вперше наводяться 2 види — *Pedinophyllum interruptum* та *Fissidens gracilifolius*, знахідка останнього є другою для території України. Для рідкісного в Українських Карпатах *Timmia bavarica* це третій локалітет в Івано-Франківській області. Судинні рослини є характерними для затінених епілітних місцезростань. Такі угруповання належать до біотопу H32c "Кабонатні скелі помірного поясу, що трапляються на рівнині та у нижньому гірському поясі", синтаксономічно характеризуються як угруповання класу *Polypodietea* і належать до другої категорії рідкісності та потребують охорони. Основною загрозою для існування цього біотопу є вирубування лісів, яке призводить до підвищення рівня освітленості, нагрівання скель та дефіциту вологи, а також евтрофікація, яка є результатом рекреаційного навантаження.

Ключові слова: біорізноманіття, Дністер, карстова печера "Думка", мохоподібні, наземні водорості, судинні рослини, Україна, ціанобактерії

PLANT TAXONOMY, GEOGRAPHY AND FLORISTICS
СИСТЕМАТИКА, ФЛОРИСТИКА, ГЕОГРАФІЯ РОСЛИН

https://doi.org/10.15407/ukrbotj82.06.552
RESEARCH ARTICLE

New nomenclatural combinations in *Cenchrus*, and two new names in *Cenchrus* and *Elymus* (*Poaceae*)

Ihor G. OLSHANSKYI *, Natalia M. SHIYAN, Svitlana I. ANTONENKO
M.G. Kholodny Institute of Botany, National Academy of Sciences of Ukraine,
2 Tereshchenkivska Str., Kyiv 01601, Ukraine
* Author for correspondence: *olshansky1982@ukr.net*

Abstract. Three new combinations are proposed in two genera of *Poaceae* following the recent phylogenetic data: *Cenchrus beckeroides* (Leeke) Olshanskyi, comb. nov., *Cenchrus exiguus* (Mez) Olshanskyi, comb. nov., and *Cenchrus ledermannii* (Mez) Olshanskyi, comb. nov. Two replacement names are validated: *Cenchrus hochstetteri* Olshanskyi, nom. nov. (= *Pennisetum humile* Hochst. ex A. Rich), honoring Christian Ferdinand Friedrich Hochstetter, a German botanist, and *Elymus* ×*irynae* Olshanskyi, Shiyan & Antonenko, nom. nov. (= *Elymus* ×*karakabinicus* (Kotukhov) Olshanskyi, nom. illeg., ×*Elymotrigia altaica* Kotukhov), honoring Iryna Korotchenko, a Ukrainian botanist and conservationist.

Keywords: *Cenchrus*, ×*Elymotrigia*, *Elymus*, *Elytrigia*, hybrid, nothotaxon, *Pennisetum*, species

Introduction

The family *Poaceae* Barnhart includes ca. 780 genera and ca. 12 000 species (Christenhusz, Byng, 2016). The system of this family is now dynamically changing, especially in response to new molecular phylogenetic data, which is reflected, in particular, in new or updated circumscriptions of genera and nomenclature of many taxa. For example, species earlier placed in *Hierochloë* were transferred to *Anthoxanthum* L., and *Pennisetum* Rich. is now merged into *Cenchrus* L. (see Donadio et al., 2009; Chemisquy et al., 2010; Verloove, 2012; de Lange, James, 2024, etc.). Previously, we have already made several nomenclatural combinations in *Poaceae* and other families of monocots (Danylyk et al., 2017; Olshanskyi, 2023; Danylyk, Olshanskyi, 2024). Also, we propose here some new nomenclatural solutions for taxa worth to be accepted and placed in the proper genera. We found it necessary to make some of these nomenclature decisions partly thanks to *POWO* (2025–onwards). In this source, some names are listed as "nom. ined.", a practice used to discover synonyms and subsequently put them under the correct name (de Lange, James, 2024; Sandoval-Ortega, Zumaya-Mendoza, 2025, etc.).

ARTICLE HISTORY. Submitted 28 July 2025. Revised 28 November 2025. Published 17 December 2025

CITATION. Olshanskyi I.G., Shiyan N.M., Antonenko S.I. 2025. New nomenclatural combinations in *Cenchrus*, and two new names in *Cenchrus* and *Elymus* (*Poaceae*). *Ukrainian Botanical Journal*, 82(6): 552–555. https://doi.org/10.15407/ukrbotj82.06.552

© M.G. Kholodny Institute of Botany, NAS of Ukraine, 2025
© Publisher PH "Akademperiodyka" of the NAS of Ukraine, 2025
This is an open access article under the CC BY license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Nomenclature

***Cenchrus beckeroides* (Leeke) Olshanskyi, comb. nov.**

Basionym: *Pennisetum beckeroides* Leeke, Z. Naturwiss. 79: 30. 1907.

Type citation (Leeke, 1907): "Abessinien".

Type (Leeke, 1907; Phillips, 1995: 273, as "holo[type]"): FEDERAL DEMOCRATIC REPUBLIC OF ETHIOPIA: "Debra Eski, *Schimper 38*" (**lectotype**, **designated here**): B100167866 [https://herbarium.bgbm.org/object/B100167866]; isolectotypes: G, K, P, S).

Note. Here and below, in formally designating the lectotype, we follow the advice of McNeill (2014: 1113).

***Cenchrus hochstetteri* Olshanskyi, nom. nov.**

Replaced synonym: *Pennisetum humile* Hochst. ex A. Rich., Tent. Fl. Abyss. 2: 383. 1850.

Type citation (Richard, 1850): "in pratis prope Entchetkab, in provincia Semiene, mense Julio (*Schimper*)".

Type (Richard, 1850; Phillips, 1995: 269, as "holo[type]"): FEDERAL DEMOCRATIC REPUBLIC OF ETHIOPIA: "Semien, Entchetkab [Enschedcap], *Schimper 1372*" (**lectotype**, **designated here**): P00442921 [https://plants.jstor.org/stable/10.5555/al.ap.specimen.p00442921]; isolectotypes: BR, G, GOET, HAL, K, KW, LG, M, MPU, P, REG, S, STU, TUB, US, W).

Etymology: The new name honors Christian Ferdinand Friedrich Hochstetter (1787–1860), a German botanist.

Notes. The new replacement name was necessary because of the already existing name *Cenchrus humilis* Hitchc. (Contr. U.S. Natl. Herb. 24: 488. 1927). During the preparation of this article, we discovered an additional original specimen (isolectotype) of *Pennisetum humile* Hochst. ex A. Rich. in the historical collection of Nikolai Turczaninow (KW-TURCZ), which is kept at the National Herbarium of Ukraine (KW001003700).

Pennisetum humile is listed at present in *Plants of the World Online* (https://powo.science.kew.org/taxon/urn:lsid:ipni.org:names:415067-1) as "*Cenchrus nanus* (Engl.) ined.", a provisional nomenclatural combination based on "*Pennisetum humile* var. *nanum* Engl., Hochgebirgsfl. Afrika: 123 (1892)". Since an epithet has priority only in its rank, we decided to provide a new name.

***Cenchrus exiguus* (Mez) Olshanskyi, comb. nov.**

Basionym: *Pennisetum exiguum* Mez, Bot. Jahrb. Syst. 57(2): 190. 1921.

Type citation (Mez, 1921): "Madagascar (*Loher*)".

Type: REPUBLIC OF MADAGASCAR: "[Madagascar] *Loher*" (**lectotype**, **designated here**, or perhaps holotype): B100167865 [https://herbarium.bgbm.org/object/B100167865]; isolectotypes: M).

***Cenchrus ledermannii* (Mez) Olshanskyi, comb. nov.**

Basionym: *Pennisetum ledermannii* Mez, Bot. Jahrb. Syst. 57(2): 191. 1921.

Type citation (Mez, 1921): "Kamerun (*Ledermann 2776*)".

Type: REPUBLIC OF CAMEROON: "Kamerun, Pass Tchäpe, 27 Febr 1909, *C. Ledermann 2776*" (**lectotype**, **designated here**, or perhaps holotype): B100167849 [https://herbarium.bgbm.org/object/B100167849]).

***Elymus* ×*irynae* Olshanskyi, Shiyan & Antonenko, nom. nov.**

Replaced synonym: ×*Elymotrigia karakabinica* Kotukhov, Bot. Zhurn. (Moscow & Leningrad) 75(12): 1755. 1990.

Type citation (Kotukhov, 1990): "Altaj Australis, jugum Tarbagataj, depressio Karakabinesis, 1700 m s. m., tumili herbosi morenici, prata graminosa sicca, 3 VIII 1985, *J. Kotuchov*".

Type (Kotukhov, 1990): REPUBLIC OF KAZAKHSTAN: "Altaj Australis, jugum Tarbagataj, depressio Karakabinesis, 1700 m s. m., tumili herbosi morenici, prata graminosa sicca, 3 VIII 1985, *J. Kotuchov* [Южн. Алтай, хр. Тарбагатай, Каракабинская впадина, 1700м над ур. м., задерненные моренные бугры, суходольные злаковые луга, 3 VIII 1985, Ю. Котухов]" (holotype: LE; isotype: AA).

Hybrid formula: *Elymus fedtschenkoi* Tzvelev × *Elymus repens* (L.) Gould. [in Kotukhov (1990): *Elymus fedtschenkoi* Tzvelev × *Elytrigia repens* (L.) Nevski s. l.].

Synonyms (Olshanskyi, 2023): *Elymus* ×*karakabinicus* (Kotukhov) Olshanskyi, Ukrayins'k. Bot. Zhurn. 80(2): 130 (2023), nom. illeg. (non *Elymus karakabinicus* Kotukhov, Bot. Zhurn. (Leningrad) 77(6): 89. 1992); ×*Elymotrigia altaica* Kotukhov, Turczaninowia 1(1): 16. 1998.

Etymology: The new name honors Iryna Korotchenko (1973–2022), a Ukrainian botanist and

conservationist. Iryna Korotchenko's scientific interests included biodiversity conservation, phytosociology, plant ecology, and geography (see Mosyakin et al., 2022).

Note: A nomenclatural combination in *Elymus* based on ×*Elymotrigia altaica* Kotukhov was impossible because of the pre-existing earlier name *Elymus altaicus* A. Spreng. (Tent. Suppl.: 5. 1828).

Acknowledgments

The authors are grateful to Sergei L. Mosyakin (M.G. Kholodny Institute of Botany, NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine) for discussion and editing.

ETHICS DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

I.G. Olshanskyi https://orcid.org/0000-0002-8615-7054
N.M. Shiyan https://orcid.org/0000-0001-8144-5623
S.I. Antonenko https://orcid.org/0009-0009-0956-3372

REFERENCES

Chemisquy M.A., Giussani L.M., Scataglini M.A., Kellogg E.A., Morrone O. 2010. Phylogenetic studies favour the unification of *Pennisetum*, *Cenchrus* and *Odontelytrum* (*Poaceae*): a combined nuclear, plastid and morphological analysis, and nomenclatural combinations in *Cenchrus*. *Annals of Botany*, 106(1): 107–130. https://doi.org/10.1093/aob/mcq090

Christenhusz M.J.M., Byng J.W. 2016. The number of known plants species in the world and its annual increase. *Phytotaxa*, 261(3): 201–217. https://doi.org/10.11646/phytotaxa.261.3.1

Danylyk I.M., Olshanskyi I.G. 2024. New combinations in *Carex* (*Cyperaceae*). *Phytoneuron*, 2024-23: 1–2. Available at: https://www.phytoneuron.net/wp-content/uploads/2024/05/23PhytoN-CarexNames.pdf

Danylyk I.M., Olshanskyi I.G., Zhygalova S.L. 2017. A new nomenclatural combination in *Schoenoplectiella* (*Cyperaceae*). *Phytotaxa*, 299(1): 138–140. https://doi.org/10.11646/phytotaxa.299.1.14

de Lange P.J., James C.J. 2024. New combinations in *Anthoxanthum* (*Poaceae*) for Aotearoa / New Zealand taxa earlier placed in *Hierochloe*. *Ukrainian Botanical Journal*, 81(4): 259–262. https://doi.org/10.15407/ukrbotj81.04.259

Donadio S., Giussani L.M., Kellogg E.A., Zuloaga F.O., Morrone O. 2009. A preliminary molecular phylogeny of *Pennisetum* and *Cenchrus* (*Poaceae-Paniceae*) based on the *trnL-F*, *rpl16* chloroplast markers. *Taxon*, 58(2): 392–404. https://doi.org/10.1002/tax.582007

Kotukhov Ju.A. 1990. The new species of the hybridogenous genus ×*Elymotrigia* (*Poaceae*) from the Western Kazakhstan. *Botanicheskii Zhurnal*, 75(12): 1753–1757. [Котухов Ю.А. 1990. Новые виды гибридогенного рода ×*Elymotrigia* (*Poaceae*) из Восточного Казахстана. *Ботанический журнал*, 75(12): 1753–1757].

Leeke P. 1907. Untersuchungen über Abstammung und Heimat der Negerhirse [*Pennisetum americanum* (L.) K. Schum.]. *Zeitschrift für Naturwissenschaften*, 79: 1–108. Available at: https://www.biodiversitylibrary.org/page/34974502#page/15/mode/1up (Accessed 10 January 2025).

McNeill J. 2014. Holotype specimens and type citations: General issues. *Taxon*, 63(5): 1112–1113. https://doi.org/10.12705/635.7

Mez C. 1921. Gramineae africanae. XIV. *Botanische Jahrbücher für Systematik, Pflanzengeschichte und Pflanzengeographie*, 57(2): 185–201.

Mosyakin S.L., Didukh Y.P., Shiyan N.M. 2022. Devotion to plant conservation. In memory of Iryna A. Korotchenko (12.05.1973–06.09.2022). *Ukrainian Botanical Journal*, 79(5): 343–346. [Мосякін С.Л., Дідух Я.П., Шиян Н.М. 2022. Відданість справі охорони фіторізноманіття. Пам'яті Ірини Андріївни Коротченко (12.05.1973–06.09.2022). *Український ботанічний журнал*, 79(5): 343–346].

Olshanskyi I.G. 2023. ×*Kengdoroegneria*, nothogen. nov., and new nomenclatural combinations in *Triticeae* (*Poaceae*). *Ukrainian Botanical Journal*, 80(2): 128–132. https://doi.org/10.15407/ukrbotj80.02.128

Phillips S. 1995. *Poaceae* (*Gramineae*). In: *Flora of Ethiopia and Eritrea*. Vol. 7. Eds. I. Hedberg, S. Edwards. Addis Ababa: EMPDA, pp. 1–420.

POWO. 2025–onward. *Plants of the World Online*. Facilitated by the Royal Botanic Gardens, Kew. Available at: https://powo.science.kew.org/ (Accessed 04 August 2025).

Richard A. 1850. *Tentamen Florae Abyssinicae seu Enumeratio Plantarum hucusque in plerisque Abyssiniae*. Vol. 2. Paris, 518 pp.

Sandoval-Ortega M.H., Zumaya-Mendoza S. 2025. Type designations for three names applicable to Mexican species of *Dysphania* (*Chenopodiaceae* s. str. / *Amaranthaceae* s. l.), and a new combination. *Ukrainian Botanical Journal*, 82(2): 81–89. https://doi.org/10.15407/ukrbotj82.02.081

Verloove F. 2012. New combinations in *Cenchrus* (*Paniceae*, *Poaceae*) in Europe and the Mediterranean area. *Willdenowia*, 42(1): 77–78. https://doi.org/10.3372/wi.42.42108

**Нові номенклатурні комбінації у роді *Cenchrus*,
а також дві нові назви у родах *Cenchrus* та *Elymus* (*Poaceae*)**

І.Г. ОЛЬШАНСЬКИЙ, Н.М. ШИЯН, С.І. АНТОНЕНКО
Інститут ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України,
вул. Терещенківська 2, Київ 01601, Україна

Реферат. Родина *Poaceae* включає близько 780 родів і 12 000 видів. Система цієї родини динамічно змінюється, особливо згідно результатів молекулярно-філогенетичних досліджень. Зокрема, види роду *Hierochloë* були переведені в рід *Anthoxanthum*, а види роду *Pennisetum* — у *Cenchrus*. Раніше ми зробили кілька номенклатурних комбінацій у родині *Poaceae* та деяких інших родинах однодольних рослин. У цій статті ми запропонували ще деякі номенклатурні рішення. Так, ми зробили три нові номенклатурні комбінації: *Cenchrus beckeroides* (Leeke) Olshanskyi, comb. nov., *Cenchrus exiguus* (Mez) Olshanskyi, comb. nov., *Cenchrus ledermannii* (Mez) Olshanskyi, comb. nov. Також, запропоновано дві замінні назви: *Cenchrus hochstetteri* Olshanskyi, nom. nov. (= *Pennisetum humile* Hochst. ex A. Rich.), на честь німецького ботаніка Християна Фердинанда Фрідріха Хохштеттера [Гохштеттера] і *Elymus* ×*irynae* Olshanskyi, Shiyan & Antonenko, nom. nov. (= *Elymus* ×*karakabinicus* (Kotukhov) Olshanskyi, nom. illeg., ×*Elymotrigia altaica* Kotukhov), на честь Ірини Коротченко, українського ботаніка та природоохоронця.

Ключові слова: *Cenchrus*, ×*Elymotrigia*, *Elymus*, *Elytrigia*, *Pennisetum*, вид, гібрид, нототаксон

FLORISTIC RECORDS
ФЛОРИСТИЧНІ ЗНАХІДКИ

https://doi.org/10.15407/ukrbotj82.06.556
RESEARCH ARTICLE

The first records of the Pontic steppe subendemic *Salvia revelata* (*Lamiaceae*) in the Republic of Moldova: current status and threats

Mihail GHILAN
Faculty of Biology, "Alexandru Ioan Cuza" University of Iași,
11 Carol I Ave., Iași 700506, Romania
Address for correspondence: *mihaighilan30@gmail.com*

Abstract. This article reports an addition to the flora of the Republic of Moldova — *Salvia revelata*, Pontic sage, a recently described Pontic steppe subendemic species, which previously has been confused with the similar vicariant *S. austriaca*, Austrian sage. The fieldwork during the flowering seasons of 2023–2025 has revealed 12 locations where the species occurs in the Republic of Moldova. Locally, the flowering individuals have been recorded from the first third of May until the second decade of June, but regional data from neighboring countries demonstrate that multiannual weather variability within the current climate change conditions can expand this timespan. The typical habitats of this species are rich steppe areas, but several individuals have also been found in natural or artificial clearings of thermophilous downy oak forests. During the study, main threats for conservation of *S. revelata* were identified, especially large-scale agriculture, overgrazing, pasture abandonment, invasive shrubs, and population isolation by habitat fragmentation. Also, several direct actions, such as halting afforestation (particularly with allochthonous species), rehabilitating grasslands, and promoting sustainable grazing, have been recommended to protect Pontic sage and other steppe subendemics within the Republic of Moldova.

Keywords: distribution, new species, phenology, *Salvia revelata*, steppe vegetation, threats

Introduction

The peculiar geography of the Republic of Moldova, especially combined with insufficient botanical field research, enables the list of local vascular plant species to enlarge yearly. During the last eight years, at least 29 new taxa (22 species, four subspecies, one variety, and two nothospecies) belonging to 20 families, have been discovered or confirmed as new records for the Republic of Moldova (Pînzaru, 2021a, 2023; Cassir, 2022, 2023; Sfeclă et al., 2023). Moreover, a new species, *Thymus coldeae* Pînzaru, which is believed to be endemic to the Middle Sarmatian limestone outcrops of the Republic of Moldova, was described (Pînzaru, 2021b).

The purpose of the present article is to highlight the presence of the recently described species, *Salvia revelata* Mátis & A.Z. Szabó (*Lamiaceae*),

ARTICLE HISTORY. Submitted 15 June 2025. Revised 23 November 2025. Published 17 December 2025
CITATION. Ghilan M. 2025. The first records of the Pontic steppe subendemic *Salvia revelata* (*Lamiaceae*) in the Republic of Moldova: current status and threats. *Ukrainian Botanical Journal*, 82(6): 556–566. https://doi.org/10.15407/ukrbotj82.06.556
© M.G. Kholodny Institute of Botany, NAS of Ukraine, 2025
© Publisher PH "Akademperiodyka" of the NAS of Ukraine, 2025
This is an open access article under the CC BY license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)



Fig. 1. Flowers of *Salvia revelata* with the vertical staminal lever mechanism. Zolotievca, Anenii Noi District, 03.05.2024

found for the first time in the Republic of Moldova, and to establish its current distribution pattern in the country. This cryptic species was described in October 2022 and recognized as representing a lineage distinct from Austrian sage, *S. austriaca* Jacq., with which it can be easily confused (Mátis et al., 2022). These two species can be correctly identified in the field by analyzing the position of the stamens, or the staminal lever mechanism, which is lateral in *S. austriaca* and vertical in *S. revelata* (Fig. 1). Thus far, little is known about the distribution, ecology, and biology of the latter species. Distribution-wise, it is accepted that its range is limited to the true Steppe zone of the Pontic Steppe, with few exceptional occurrences in the westernmost and northernmost limits (Mátis et al., 2022). In addition to identifying the distribution

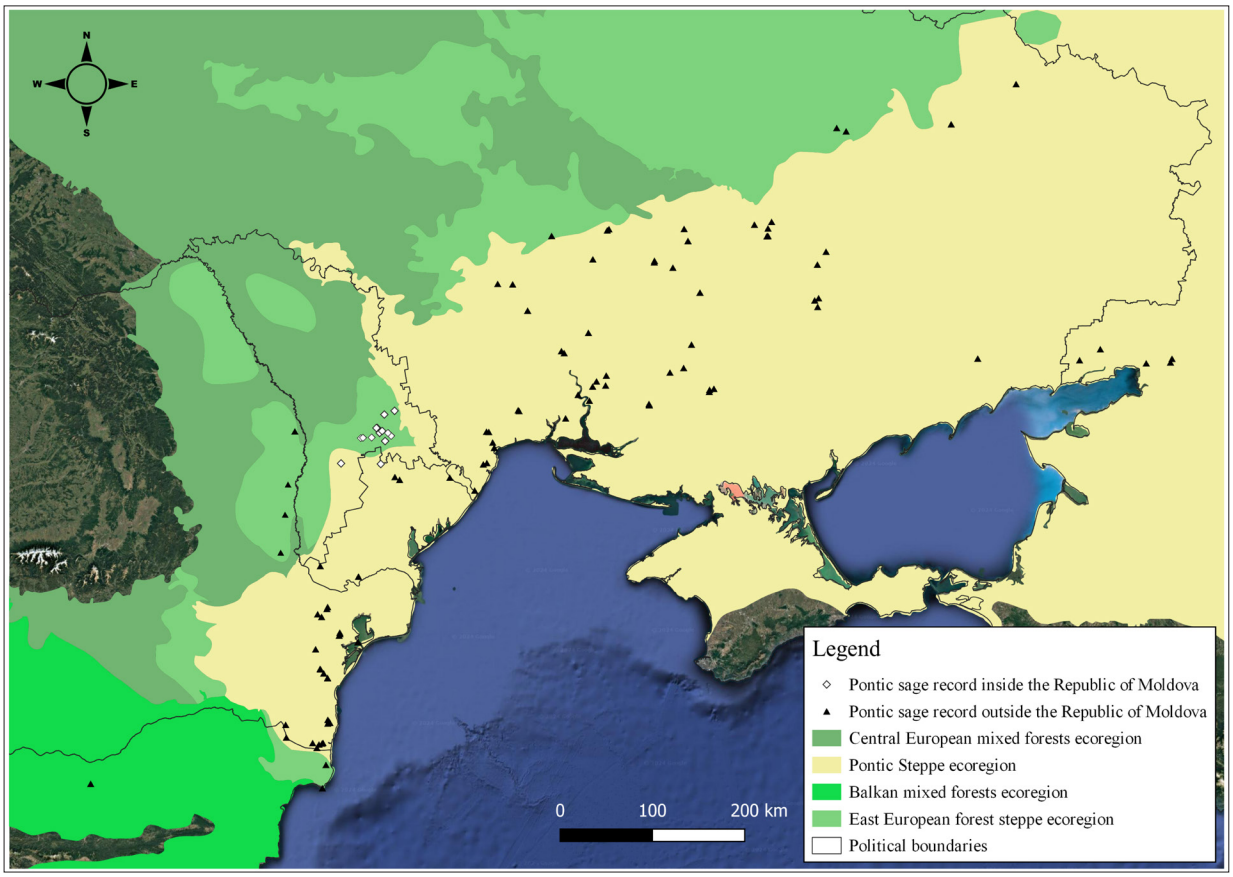


Fig. 2. Global known distribution of *Salvia revelata*. The current distribution classifies the species as a Pontic Steppe subendemic, judging from the majority of presence points that are located inside the Pontic Steppe ecoregion, or almost entirely inside the Steppic Bioregion (EEA, 2024–onward). White rhombi represent the known locations of Pontic sage in the Republic of Moldova, while black triangles represent the known locations according to Mátis et al. (2022), Mátis, pers. comm. 2025, and some more recent observations from *iNaturalist* platform (2024–onward). The ecoregions were classified and delimited following OneEarth (2024)

pattern of *S. revelata* in Moldova, this study also contributes new insight into the global distribution of the species, which is currently known only in four other countries surrounding the Black Sea (Bulgaria, RF, Romania, and Ukraine) (Fig. 2). Furthermore, it can provide opportunities to compare the species ranges of *S. revelata* and *S. austriaca* in Moldova and to find out if there is any distribution overlap and potential interactions between the two species in sympatry. Additionally, this study aims to highlight some identified limiting factors that may potentially threaten the local and regional populations of *S. revelata*.

Material and Methods

The fieldwork for this study has been carried out in June 2023, May–June 2024, and May–June 2025. The timing of the field trips has been planned according to personal observation of *Salvia* sp. on 15 June 2021 near Zaim village (originally identified as *S. austriaca*, but later re-identified as *S. revelata*), and to other observations recorded in the *iNaturalist* (2024–onward) online resource by users from Ukraine and Romania. Therefore, the surveys took place during multiple days. On 3 May 2024, a dedicated trip was made in order to collect four herbarium specimens, now deposited at the "Anastasie Fătu" Botanical Garden in Iași (specimen voucher IAGB47914), "Alexandru Ioan Cuza" University in Iași, Faculty of Biology (specimen voucher 207229), Moldova State University, and "Al. Ciubotaru" Botanical Garden in Chișinău (specimen vouchers 240414 and 240415, respectively) (Fig. 3). The first trip was set to reconfirm the presence of the species in the vicinity of Zaim village. Some of the survey locations have been selected using Google Earth satellite imagery, in order to match the habitat near Zaim village, which represents poorly or totally ungrazed pastures. Several proper habitats have been surveyed in the following districts: Căușeni, Anenii Noi, Ștefan Vodă, and Ceadîr-Lunga. The transect sampling method has been used for efficiently finding the target species and for estimating the relative abundance of *S. revelata* in the studied areas. For spotting the species from greater distances, a pair of 10 × 42 Zeiss binoculars has been used. The maps have been created using QGIS v.3.28 (https://qgis.org/) software. All figures are original and prepared by the author.



Fig. 3. Herbarium specimen of *Salvia revelata* deposited at the Herbarium of the "Al. Ciubotaru" Botanical Garden in Chișinău

Results

During multiple field trips, pastures in four districts (Căușeni, Anenii Noi, Ștefan Vodă, and Ceadîr-Lunga) have been surveyed in order to find the target species. As a result, *S. revelata* has been recorded in the following 12 locations described below.

The first observation of the species on 15 June 2021 was reconfirmed on 2 June 2023 (46.610024, 29.298758) on an abandoned pasture 1 km away from the locality of Zaim, Căușeni District, close to the geological and paleontological site "Zaim Quarry" (David et al., 2016). This grazing-excluded and abandoned pasture was almost entirely invaded by the alien species *Elaeagnus angustifolia* L. (oleaster), which has negative influence on the distribution and density of *S. revelata*. In areas where oleaster was absent, the density of Pontic sage was the highest, up to hundreds of flowering individuals per hectare. In the dense shrubbery dominated by *E. angustifolia*, only several or no individuals of

ISSN 2415-8860. *Ukrainian Botanical Journal*. 2025. 82 (6)



Fig. 4. Typical habitats of *Salvia revelata*. A, C: rich steppes with little woody vegetation (A — Ucrainca, Căușeni District, 02.06.2024; C — Zolotievca, Anenii Noi District, 02.06.2024); B, D: abandoned/poorly grazed steppe, invaded mainly by *Elaeagnus angustifolia* (B — Baccelia, Căușeni District, 18.05.2024; D — Zaim, Căușeni District, 02.06.2023)

S. revelata were observed. Across the R26 road bordering the studied pasture in the northern limit, an overgrazed pasture is located, with no individuals of the species found, evidently due to the anthropogenic limiting factor of overgrazing.

The second site (46.729835, 29.178485) where *S. revelata* was recorded is located near Zolotievca village in Anenii Noi District. On 3 June 2023, many individuals were observed on a hilly pasture (Fig. 4C) used for cattle grazing. The local grass vegetation allows the species to develop large patches of flowering individuals. Due to the lack of bushy habitat, the local population of this species exceeds a few hundred flowering individuals. On 24 June 2023, the observed plants in the site near Zolotievca were already dried up. It is not clear yet if the drying phenomenon is a normal pattern of the species' phenology in the area, or if dry weather in late June affected the local population.

The third site (46.848221, 29.282815) was discovered north of Hîrbovățul Nou village in Anenii Noi District on 9 June 2023. The local vegetation was composed almost exclusively of herbaceous plants, while the trees and shrubs were identified only at the edges of the pasture. Unfortunately, only a single patch of a few flowering individuals was found. It is suggested that grazing might have affected the local population, although no grazing animals were seen during the survey. However, this site is one of the northernmost sites, being 26 km away from the first location in Zaim and 15 km from the second one in Zolotievca (Fig. 5). This area is located at the edge of the northern limit of the Bugeac (also Budjak or Budzhak) Steppe in Moldova (Postolache,

1995, and references therein). Thus, it is possible that the local population here is close to the edge of the species distribution range.

The fourth (46.683645, 29.222132) and fifth (46.701477, 29.254407) locations were found on the same day, 18 May 2024, close to Florica village and 3 km away, near Baccelia village (Căușeni District). These two locations are totally isolated by large agricultural areas of monocultures between and around them. The pasture near Florica village is used for grazing by livestock, mainly sheep, and many plants were visibly affected by the grazing. On the other pasture, with shrubs spreading easily due to almost no grazing, the vegetation cover was taller and denser (Fig. 4B).

On 19 May 2024, a rather unusual population was discovered in the middle of a forest dominated by downy oak (*Quercus pubescens* Willd.), north-east of Hîrbovăț village, Anenii Noi District (46.883636, 29.418432, Fig. 6). The plants of *S. revelata* were found in two different spots in opened microhabitats, such as the middle of forest tracks (Fig. 6B, C) and wooded meadows (Fig. 6A). Our observations of the species in dry and sparse native forest habitats confirm earlier reports by Mátis et al. (2022) of its occurrence in similar semi-open forested ecosystems. This is the northernmost site within the study area.

The seventh location (46.401296, 29.236471), documented on 2 June 2024, is near the border with Ukraine, south-west of Ucrainca village, Căușeni District (Fig. 4A). The plants were found growing on a rich and hilly steppe with very few invading oleasters.

The next two locations in Căușeni District are dated by 16 May 2025, one south of Baccelia village (46.675597, 29.293918) and another east of Marianca Nouă village (46.650093, 29.328093). Both populations are small and affected to different degrees by afforestation.

The tenth location was revealed on 18 May 2025 next to Cîrnățenii Noi railway, Căușeni District, along an abandoned car track. The site's vegetation is mainly woody, with the trail being the only open area suitable for a few individual plants.

The last two locations were found on pastures south of Căinari town, Căușeni District, on 30 May 2025 (46.660366, 29.053656; 46.655644, 29.022108). Due to their proximity, they probably formed once a single connected population, but following afforestation actions, the steppe habitat was fragmented and converted into woodland. Less than 10 flowering individuals were observed in both locations combined.

Discussion

Distribution aspects

Although the global distribution of *Salvia revelata* is currently insufficiently understood, the present data from Romania, Ukraine, RF, and Bulgaria suggests that its distribution is strongly correlated with the true Steppe zone of the Pontic Steppe (Fig. 2), with a very few exceptions (Mátis et al., 2022). So far, this rule also applies to the Republic of Moldova, but more data is needed about the species distribution. The currently known distribution in the country is restricted to Căușeni and Anenii Noi districts (Fig. 5), and Găgăuzia Autonomous Territorial Unit close to Bugeac Nature Reserve (https://www.inaturalist.org/observations/280473673, record from *iNaturalist* platform). It is highly probable that *S. revelata* is also present in the nearby districts, such as Ștefan Vodă, Ialoveni, Criuleni, Cimișlia, and Basarabeasca. The species may also occur in other southern districts — Hîncești, Leova, Cantemir, Cahul, and Taraclia. Although it is difficult to predict how far its range extends to the north, it is unlikely that the species will ever be found in the districts located further north from the ones previously mentioned, due to the forest-steppe character of central Moldova.

In further research, two aspects that would expand the knowledge about the distribution of *S. revelata* could be studied. One is the extent of the distribution pattern of the species in the Republic of Moldova. This is a matter of fieldwork, combined with bibliographical search in publications on the steppe vegetation in southern Moldova. In other words, some reports of *S. austriaca* from the southern districts might in fact turn out to be those of *S. revelata*, because so far it is widely accepted that these two species are vicariant, and the Austrian sage has not yet been recorded in the Pontic Steppe region (Mátis et al., 2022). Also, it would be very interesting to study how far north does *S. revelata* extend its range, and if it overlaps there with the range of *S. austriaca*.

Overall, the distribution of *S. revelata* in the Republic of Moldova is limited to the southern third of the country's territory. We expect the species to be relatively widespread in the mentioned area, but locally rare, and very restricted by some limiting

factors determined in Căușeni and Anenii Noi districts (Fig. 3D), where the species was registered. These limiting factors can be found in the rest of the country, and even at a regional level in the neighboring countries.

Phenology aspects

Judging by the limited data we have so far about the phenology of *S. revelata*, we can conclude that typically the flowering season in the Republic of Moldova lasts from the first decade of May until the second decade of June. However, the actual flowering season can span from the second decade of April to the second decade of July, depending on the meteorological conditions of each year that can induce earlier or later flowering. This statement is based on observations from Romania and Ukraine, recorded on the *iNaturalist* online platform during 2020–2024.

In 2024, the species was recorded very early by more users. The earliest observation was on 19 April 2024 in Kropyvnytskyi city, Kirovohrad Region (Oblast), Ukraine (https://www.inaturalist.org/observations/208134041, record from *iNaturalist*). On the same day, another observation of a flowering plant came near Târgușor, Constanța county, Romania (https://www.inaturalist.org/observations/208433170, record from *iNaturalist*). More observations were recorded in the second and third decade of April 2024, in Zaporizhzhia, Odesa, Kherson, and Dnipropetrovsk regions (oblasts) (iNaturalist, 2024–onward). We also recorded and collected the first flowering individuals on 3 May 2024, near Zolotievca, Anenii Noi District, Republic of Moldova, although few by number compared to the observation on 3 June 2023. On 23 April 2024, one *iNaturalist* user managed to find a flowering individual (https://www.inaturalist.org/observations/210651717, record from *iNaturalist*). These early sightings might be caused by the abnormal temperatures during the winter and spring of 2024. In the Republic of Moldova, the winter of 2023–2024 was characterized by very high temperatures that were 3.9–4.9 °C higher than the long-term average for this period (HSS, 2024–onward).

Consequently, these high values of the average temperatures might have caused an earlier end to the flowering season. The latest flowering individual recorded in the region, in that particular flowering season, was seen near the locality of Veseli Bokoven'ky, Kirovohrad Region (Oblast), Ukraine, on June 1 (https://www.inaturalist.org/observations/220410289, record from *iNaturalist*). Our last personal observation for 2024 was recorded in the study area on June 2, between the locality of Ucrainca (Moldova) and Chervone (Ukraine). The latest record for any year was registered on 13 July 2020 in Kyr'yakivka, Mykolaiv Region (Oblast), Ukraine (https://www.inaturalist.org/observations/92800073, record from *iNaturalist*). A simple analysis of regional records proves that on average an earlier starting flowering season tends to end earlier too, with the average flowering time span being 44 days per season. Another factor that could influence the recorded start of the flowering season, is the simple fact that people now are more capable of correctly identifying this newly described species.

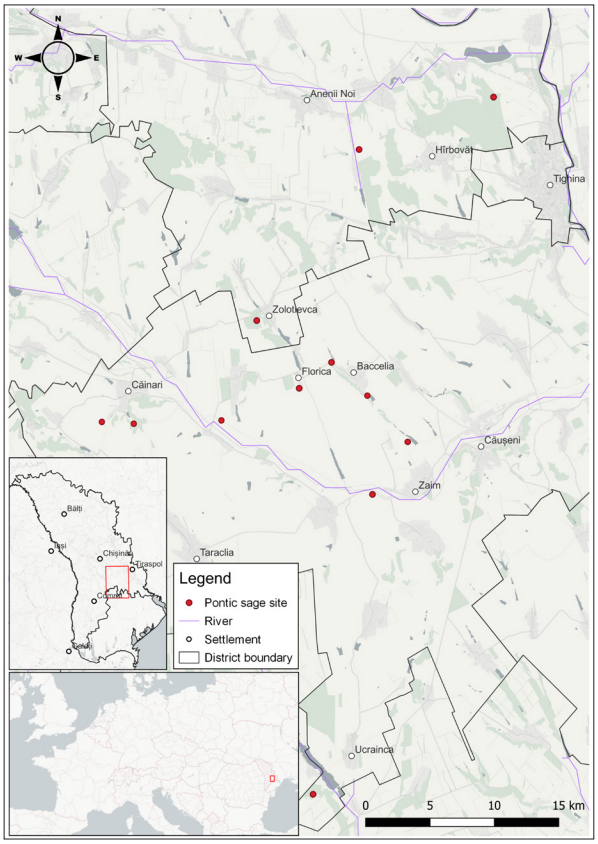


Fig. 5. Distribution map of the sites of *Salvia revelata* reported in this study (9 locations in Căușeni District and 3 in Anenii Noi District)

Threats and current status

During the fieldwork, a few observations were made about the state of the habitats, and also about some



Fig. 6. *Salvia revelata* in forested habitats. A: native downy oak forest with natural clearings suitable for the species; B, C: forest tracks made by lodging trucks, an artificial clearing of the forest, apparently also suitable for the species. Hîrbovăț Landscape Reserve, Anenii Noi District, 19.05.2024

limiting factors that affect the distribution and density of *Salvia revelata* in the studied area. The factors are mentioned in order from the most to the least pressing in two categories — fast-acting limiting factors (*FALF*) and slow-acting limiting factors (*SALF*). The following IUCN classification threats (Salafsky et al., 2024) will be described in the next paragraphs: 2.1 — Annual & perennial non-timber crops; 2.2 — Wood & pulp plantations; 2.3 — Terrestrial animal farming, ranching & herding; 7.6 — Removing / reducing human management (i.e. Grazing abandonment); 8.1 — Invasive non-native/ alien species.

***FALF* — fast-acting limiting factors.** Agriculture plays an immense role in limiting the local distribution through habitat fragmentation. Nowadays, the large areas of monocultures can be considered huge geographical barriers between distant populations of many native plant species. The percentage of land used for agriculture in Căușeni and Anenii Noi districts is 76.4%, and 60.58%, respectively, of total land area. In 2025, a substantial part of the prime steppe habitat near Zaim village, which is known to host a significant population of *S. revelata*, was ploughed. This observation supports the hypothesis that agriculture is an important limiting factor for the species.

Overgrazing drastically affects the local vegetation, allowing only some ruderal plants to survive in severely affected plots. According to the official site of Căușeni District (CDC, 2024–onward), in 2022 a total of 36 732 grazing animals were registered, from which 32 812 were sheep and goats (mostly sheep), 3 775 bovines, and 145 horses. This large number of domestic grazing mammals on 12 912 hectares of pastures results in about 0.35 hectares of pasture for each animal, or 0.56 GLU (Grazing Livestock Unit) per ha, which exceeds the carrying capacity of any

xeric steppe pasture, making the land management non-sustainable (Maruşca et al., 2014). Although the available area of pasture per grazing mammal is already too small for sustainable grazing, we have to keep in mind that more than half of pasture area is invaded by allochthonous species such as *Elaeagnus angustifolia*, meaning that these pastures are unavailable for grazing. The presence of oleaster in high density also proves the abandonment of grazing in recent decades, allowing this species to thrive undisturbed by livestock. In the end, a significant area of local pastures is very degraded by overgrazing, meaning that such species as Pontic sage have no chance to inhabit these ecosystems.

Another common threat to the grassland is the intentional afforestation of the steppes, mostly with allochthonous invasive species, usually with black locust (*Robinia pseudoacacia* L.). This practice is very common in the steppe zone of the country, where primary forests are rare, in order to increase the woodland surface, mainly for firewood.

***SALF* — slow-acting limiting factors.** Although complete abandonment of grazing for a short term is beneficial for vegetation recovery, it is a practice that leads to significant changes in the structure of vegetation, with shrubs eventually colonizing the area and taking over. In some places the abandonment of pastures can lead to a 60% loss in grassland plant species (Peco et al., 2006). Currently, in the Republic of Moldova, all of the pastures that have been abandoned in the last decades now experience a fast colonization by the invasive *E. angustifolia*. Initially planted to minimize soil erosion and to create windbreaks, the oleaster eventually managed to escape the plantations and colonize nearby non-grazed pastures. The same process was observed and studied in the nearby Kherson Region of Ukraine by Sudnik-Wójcikowska et al. (2009). With this phenomenon occurring, the local vegetation is rapidly changing, and many typical species of the grasslands are now threatened. In the current state of rapid oleaster colonization, Pontic sage as a heliophyte is prone to local declines and even local extirpation/extinction events. According to Bartha and Csiszár (2008), the fast spreading of *E. angustifolia* over natural grassland habitats can cause declines of typical or rare steppe plant species, creating more favorable conditions for colonization by mesophilous species. Also, it is concluded that the colonization by *E. angustifolia* contributes to the persistence of allochthonous and weedy species, by increasing the amount of nitrogen in the soil (Sudnik-Wójcikowska et al., 2009).

Population isolation by habitat fragmentation should also be taken into account, since during the period of the study the only 12 locations known with certainty to host *S. revelata* were located far away from each other. Generally speaking, these places act like islets where steppe species remain isolated in a "sea" of man-made ecosystems, and thus these locations could be considered more or less recent relics of a landscape before intensive agriculture. Continuous and linked spans of grassland habitats are rarely found in this region of the country; therefore, it is a matter of time before these small and isolated patches of steppe will not be suitable anymore for the survival of *S. revelata*. In the studied area, the cross-pollination of *S. revelata* can only occur with other sages from the same isolated population, a factor that could lead to slow local extinction events, similarly to the case of the meadow sage (*Salvia pratensis* L.) discussed by Ouborg & Van Treuren (1995). As the authors mention, long-term isolation of a small population could lead to inbreeding depression over time. It is also very probable that these small patches of appropriate habitat could easily change in the next few years, in favor of afforestation, agriculture, intensive grazing, or invasion of allochthonous species. In the future, we recommend that more studies should be carried out in Moldova to assess the distribution at the national level, frequency, and density of *S. revelata*, and in order to determine its exact conservation status. Also, *S. revelata* should be included in the 4th edition of the *Red Data Book of the Republic of Moldova* with a proper status, according to the IUCN criteria. Regarding this status, it is not generally enough to assess the level of concern with so little data about the distribution and population fluctuations, but if all the given limiting factors would be taken into account, it is safe to assume that most steppe plant species from Moldova are evaluated regionally either as Critically Endangered [CR], or Endangered [EN]. For the conservation of *S. revelata* and other Pontic steppe subendemics/endemics on the long term, official actions from the authorities should be taken in order to minimize the impact of invasive species such as *Elaeagnus angustifolia*, *Robinia pseudoacacia*, *Ailanthus altissima* Mill., and other landscape transformers, or at least halt the active afforestation schemes with such species on rich steppe habitats. After persistent clearing of



Fig. 7. A viable population of *Salvia revelata* in a steppe ecosystem near Zolotievca village, with only a few pioneering individuals of *Elaeagnus angustifolia* in the background and with a moderate amount of grazing livestock, 03.06.2023

the woody plants, the respective abandoned and invaded pastures are to be given back to sustainable and ecological grazing, resulting in an increase of grazing surface that would lead to a lower and more sustainable density of grazers per hectare, similar to the grasslands near Zolotievca village (Fig. 7).

Conclusion

A new species for the Republic of Moldova, *Salvia revelata*, has been recorded in the territory between the Dnister / Nistru and Prut rivers, along with some data about its known and expected distribution. The Republic of Moldova is now the fifth and probably the last country in the list to host this Pontic Steppe subendemic species. In total, 12 locations of *S. revelata* from Căușeni and Anenii Noi districts are known, but its actual distribution is thought to spread over the whole southern third part of the country, perfectly following the general Pontic Steppe range. However, the range is most probably very fragmented, with many populations being isolated by vast agricultural lands. In the Republic of Moldova, limited data about the flowering season is available, and now we know that the species is in bloom as early as the first decade of May and as late as the second decade of June. If we apply more data recorded on the *iNaturalist* online platform from nearby regions of neighboring countries, we can safely assume that the flowering season in the Republic of Moldova can last anywhere from the second decade of April to the second decade of July, depending on climatic factors that differ annually. Some limiting factors have been identified in the study area, and were categorized into fast-acting limiting factors (*FALF*) and slow-acting limiting factors (*SALF*). The identified *FALF* were agriculture on a large scale and overgrazing. On the other hand, the recorded *SALF* were abandonment of grazing, leading to fast colonization by invasive plant species, such as the *Elaeagnus angustifolia*, which are able to alter completely the local native phytocoenoses. The last limiting factor is the population isolation by

habitat fragmentation, which could lead to vulnerability in the face of agriculture, overgrazing, invasive species, and even inbreeding depression. These limiting factors can easily be identified on the whole territory of the country, and even in the neighboring countries (Romania and Ukraine). A series of actions, such as more research of the distribution and state of the species, are recommended. Additionally, *S. revelata* should be added to the 4th edition of the *Red Data Book of the Republic of Moldova* with a proper status, according to the IUCN criteria. For long-term conservation of this species and other Pontic Steppe subendemics/endemics, official actions from the authorities should be taken to minimize the impact of invasive plant species. Invaded pastures are to be given back to ecological grazing, according to their livestock carrying capacity, and this way a more sustainable land use can be achieved by increasing grazing surface, therefore lowering the average density of grazers per hectare.

Acknowledgements

The author of the article is grateful to everyone who contributed to this study, from the original discoverers of the species, Mátis et al. (2022), to the researchers from the "Al. Ciubotaru" Botanical Garden in Chișinău, Veaceslav Ghendov and Olga Ioniță, for receiving and preserving the deposited specimens. Special thanks are due to Attila Mátis for reviewing and improving the manuscript before the final submission. Last but not least, the author extends his gratitude to the kind peer reviewers and editor for taking their time in order to improve this work.

ETHICS DECLARATION

The author declares no conflict of interest.

ORCID

M. Ghilan https://orcid.org/0009-0003-6715-9059

REFERENCES

Bartha D., Csiszár A. 2008. Russian olive. In: *The most important invasive plants in Hungary*. Hungarian Academy of Sciences, Institute of Ecology and Botany, pp. 85–93. https://doi.org/10.13140/2.1.3391.1361

Cassir P., Izverscaia T., Ghendov V. 2022. *Lathyrus cicera* L. (*Fabaceae*) new species for the flora of Republic of Moldova. *Journal of Botany*, 25(2): 70–75. https://doi.org/10.52240/1857-2367.2022.2(25).01

Cassir P., Izverscaia T., Ghendov V. 2023. *Eclipta prostrata* L. (*Asteraceae*) — new species for the flora of Republic of Moldova. *Studia Universitatis Moldaviae*, 171(1): 146–150. https://doi.org/10.59295/sum1(171)2023_19

CDC. 2024–onward. Economic Growth 2022. *Căușeni District Council*. Available at: https://causeni.md/raionul-causeni/economie/(Accessed 10 October 2024).

David A., Pascari V., Nicoară I., Begu A., Sandu M., Ursu A., Postolache G. 2016. *Ariile naturale protejate din Moldova*. Vol. 1. *Monumente ale naturii: geologice, paleontologice, hidrologice, pedologice*. [*Protected area from the Republic of Moldova*. Vol. 1. *Nature monuments: geological, paleontological, hydrological, pedological*]. Chișinău: Știința, 174 pp.

EEA. 2025–onward. *European Environmental Agency*. Available at: https://www.eea.europa.eu/en/analysis/maps-and-charts/biogeographical-regions-in-europe-2?activeTab=265e2bee-7de3-46e8-b6ee-76005f3f434f (Accessed 16 May 2025).

HSS. 2024–onward. *Meteorological and agrometeorological conditions of winter 2023–2024*. Hydrometeorological State Service of Moldova. Available at: https://www.meteo.md/images/uploads/clima/winter_%202023-24_rom.pdf (Accessed 10 October 2024).

iNaturalist. 2024–onward. Available at: https://www.inaturalist.org/ (Accessed 26 July 2024).

Maruşca T., Mocanu V., Haş E.C., Tod M.A., Andreoiu A.C., Dragoş M.M., Blaj V.A., Ene T.A., Silistru D., Ichim E., Zevedei P.M., Constantinescu C.S., Tod S.V. 2014. *Ghid de întocmire a amenajamentelor pastorale*. Brașov: Editura Capolavoro, 250 pp.

Mátis A., Malkócs T., Kuhn T., Laczkó L., Moysiyenko I., Szabó A., Bădărău S. A., Sramkó G. 2022. Hiding in plain sight: Integrative analyses uncover a cryptic *Salvia* species in Europe. *Taxon*, 72(1): 78–97. https://doi.org/10.1002/tax.12818

OneEarth. 2024–onward. *Bioregions. OneEarth*. Available at: https://www.oneearth.org/bioregions/ (Accessed 26 July 2024).

Ouborg N.J., Van Treuren R. 1995. Variation in fitness-related characters among small and large populations of *Salvia pratensis*. *Journal of Ecology*, 83(3): 369–380. https://doi.org/10.2307/2261591

Peco B., Sánchez A.M., Azcárate F.M. 2006. Abandonment in grazing systems: consequences for vegetation and soil. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 113(1–4): 284–294. https://doi.org/10.1016/j.agee.2005.09.017

Pînzaru P. 2021a. *Centaurea ruthenica* Lam. (*Asteraceae* Dumort.) in the flora of the Republic of Moldova. *Journal of Plant Development*, 28: 169–174. https://doi.org/10.47743/jpd.2021.28.1.885

Pînzaru P. 2021b. *Thymus coldei* Pînzaru sp. nova (*Lamiaceae*) in the flora of the Republic of Moldova. *Journal of Plant Development*, 28: 175–183. https://doi.org/10.47743/jpd.2021.28.1.890

Pînzaru P. 2023. *Flora vasculară din Republica Moldova (lista speciilor și ecologia)* [*Vascular flora from the Republic of Moldova*]. Ministerul Educației și Cercetării al Republicii Moldova, Grădina Botanică Națională (Institut) "Alexandru Ciubotaru" a USM. Chișinău: Catedra Biologie Vegetală a UPS "Ion Creangă", 226 pp.
Postolache G. 1995. *Vegetația Republicii Moldova* [*Vegetation of the Republic of Moldova*]. Chișinău: Știința, 340 pp.
Salafsky N., Relton C., Young B.E., Lamarre P., Böhm M., Chénier M., Cochrane E., Dionne M., He K.K., Hilton-Taylor C., Latrémouille C., Morrison L., Raymond C.V., Seddon M., Suresh V. 2024. Classification of direct threats to the conservation of ecosystems and species 4.0. *Conservation Biology*, 39(3): e14434. https://doi.org/10.1111/cobi.14434
Sfeclă V., Sfeclă I., Ghendov V. 2023. *Epipactis leptochila* (Godfery) Godfery (*Orchidaceae*) — specie nouă pentru flora Republicii Moldova [*Epipactis leptochila* (Godfery) Godfery (*Orchidaceae*) — new species for the flora of the Republic of Moldova]. *Revista Pădurilor*, 138(2): 37–48.
Sudnik-Wójcikowska B., Moysienko I.I., Slim P.A., Moraczewski I.R. 2009. Impact of the invasive species *Elaeagnus angustifolia* L. on vegetation on the Pontic desert steppe zone (southern Ukraine). *Polish Journal of Ecology*, 57(2): 269–281.

Перші знахідки субендеміка понтійських степів *Salvia revelata* (*Lamiaceae*) у Республіці Молдова: сучасний стан і загрози

М. ГІЛАН
Ясський університет ім. А.Й. Кузи, Ясси, Румунія

Реферат. У статті наводиться новий вид для флори Республіки Молдова — *Salvia revelata*, шавлія понтійська. Це нещодавно описаний субендемік понтійських степів, який раніше помилково не відрізняли від подібного вікаріантного виду *S. austriaca*, шавлії австрійської. Під час польових досліджень протягом сезонів цвітіння виду у 2023–2025 рр. виявлено 12 локалітетів *S. revelata* в Республіці Молдова. На місцевості особини з квітками реєструвалися з першої третини травня до другої декади червня, але регіональні дані з сусідніх країн свідчать про те, що багаторічна мінливість погоди в умовах сучасних змін клімату може розширити цей часовий проміжок цвітіння виду. Типовими біотопами цього виду є флористично багаті степи, але кілька особин також було знайдено на лісових галявинах або на вирубках у термофільних дубових лісах. Під час досліджень було визначено основні загрози для збереження *S. revelata*, зокрема інтенсивне землеробство, надмірний випас худоби, занедбання пасовищ, інвазійні деревні види та ізоляція популяцій через фрагментацію біотопів. Для збереження шавлії понтійської та інших степових субендеміків у Республіці Молдова запропоновано й декілька інших рекомендацій, таких як припинення заліснення (особливо чужорідними видами), відновлення травяних екосистем та сприяння сталому випасу худоби.

Ключові слова: *Salvia revelata*, загрози, новий вид, поширення, степова рослинність, фенологія

MYCOLOGICAL RECORDS
МІКОЛОГІЧНІ ЗНАХІДКИ

https://doi.org/10.15407/ukrbotj82.06.567
RESEARCH ARTICLE

First report of *Fulvifomes siamensis* (*Hymenochaetaceae*) from India, with notes on morphology and nrITS–nrLSU-based phylogeny

K.G. GIREESHMA [1], Sathish GREESHMA [1], Nair S. APARNA [1], Krishna R.K. LAKSHMI [1], G.P. GAYATRI [1,2], Kumar S. SHYAM [1], Kumar A. MANOJ [1,2]*

[1] Postgraduate and Research Department of Botany, Government College for Women, Thiruvananthapuram, Kerala 695014, India
[2] Centre for Applied Mycology & Lichenology, Government College for Women, Thiruvananthapuram, Kerala 695014, India

* Author for correspondence: *manojtbgri@gmail.com*

Abstract. *Fulvifomes siamensis* was initially described from Thailand and has been reported from several parts of Southeast Asia. In the present study, basidiomata of *F. siamensis* were collected during macrofungal surveys conducted in Thiruvananthapuram District of Kerala, India. The specimens were found growing on *Peltophorum pterocarpum*. Identification was based on detailed macro- and micromorphological characters, as well as molecular phylogenetic analyses using the nrITS and nrLSU gene regions. The Indian collections were confirmed to be conspecific with *F. siamensis*. This study presents the first report of *F. siamensis* from India, supported by comprehensive morphological descriptions, illustrations, nrITS–nrLSU-based phylogenetic analysis, and comparisons with closely related taxa.

Keywords: *Basidiomycota*, *Hymenochaetaceae*, India, morphology, nrITS, nrLSU, phylogeny, taxonomy

Introduction

The family *Hymenochaetaceae* Donk (*Basidiomycota*) comprises wood-decaying fungi, predominantly known for their perennial, resupinate to pileate basidiomata, dimitic hyphal system, presence of setae, brown, thick-walled basidiospores, and contains both poroid and non-poroid genera (Liu et al., 2025). Globally, 32 poroid genera with 672 species are recognized in this family, and the actual diversity is believed to be significantly higher (Wu et al., 2022). Integrative approaches combining morphological data with multilocus phylogenetic analyses have led to major taxonomic revisions within the family, resulting in the identification of new genera and clarification of species complexes (Wu et al., 2022; Liu et al., 2025).

The genus *Fulvifomes* Murrill (Murrill, 1914) is distinguished by its perennial basidiomata, which may or may not possess a crust on the pileal surface. It exhibits a monomitic to dimitic hyphal system and may show the presence or absence of dark

ARTICLE HISTORY. Submitted 21 June 2025. Revised 29 November 2025. Published 20 December 2025

CITATION. Gireeshma K.G., Greeshma S., Aparna S.N., Lakshmi K.R.K., Gayatri G.P., Shyam K.S., Manoj K.A. 2025. First report of *Fulvifomes siamensis* (*Hymenochaetaceae*) from India, with notes on morphology and nrITS–nrLSU-based phylogeny. *Ukrainian Botanical Journal*, 82(6): 567–576. https://doi.org/10.15407/ukrbotj82.06.567

© M.G. Kholodny Institute of Botany, NAS of Ukraine, 2025
© Publisher PH "Akademperiodyka" of the NAS of Ukraine, 2025

This is an open access article under the CC BY license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

lines in the context. The basidiospores are yellowish, subglobose to ellipsoid in shape, sometimes flattened on one side, and typically darken in potassium hydroxide (KOH) solution (Zhou, 2014; Salvador-Montoya et al., 2018, 2022). Historically, *Fulvifomes* was long regarded as a synonym of *Phellinus* sensu lato or a subgenus within *Phellinus* (Dai, 1999). However, molecular phylogenetic analyses later confirmed its status as a separate and well distinguished genus (Wagner, Fisher, 2001, 2002).

Fulvifomes siamensis T. Hatt., Sakay. & E.B.G. Jones was described initially from Thailand on the root or butt of *Xylocarpus granatum* J. Koenig (*Meliaceae*) (Sakayaroj et al., 2012). Subsequent reports from Southeast Asia documented this species on other hardwood hosts (Hong et al., 2023), indicating a broader host range in tropical forest ecosystems.

During macrofungal surveys conducted in the tropical evergreen forests of Thiruvananthapuram District, Kerala, basidiomata of *Fulvifomes* were collected from *Peltophorum pterocarpum* (DC.) Backer ex K. Heyne (*Fabaceae*). Morphological examination, combined with phylogenetic analyses based on nuclear ribosomal ITS and LSU gene sequences, confirmed the identity of the specimens as *F. siamensis*. This constitutes the first report of *F. siamensis* from India. The present study provides detailed morphological description, photographic documentation, and molecular phylogenetic evidence to support this new record.

Materials and Methods

Study area and specimen collection

Basidiomata of *Fulvifomes siamensis* were collected during a macrofungal survey conducted in the Thiruvananthapuram District, Kerala, India (2023–2025). The specimens grew on the trunks of a living *Peltophorum pterocarpum* tree. Collected specimens were documented *in situ*, photographed, and deposited at the Mycological Herbarium of Jawaharlal Nehru Tropical Botanic Garden and Research Institute, Thiruvananthapuram [TBGT(M)].

Morphological analysis

Each basidioma was individually tagged with pertinent information, including locality, habitat, host, collection number, date of collection, and the type of rot observed. Detailed macromorphological characteristics — such as the basidiomata size, shape, and color, including features of the pileal surface, context, tubes, pores, and dissepiments — were documented. Pore density was determined by counting the number of pores per millimeter. Color notations were standardized using the color chart of Kornerup and Wanscher (1978). Microscopic analysis was conducted using freehand sections mounted in a range of diagnostic reagents: 1% Congo Red (to highlight cell wall structures), 5% KOH (to test for xanthochroic reactions), Melzer's reagent (to identify dextrinoid or amyloid reactions), and Cotton Blue (to detect cyanophilic structures), following the methodology of Ryvarden (1991). For spore measurements, 20 basidiospores were measured for length and width to determine size range, and the spore quotient (Q = L/W) was calculated. All measurements (n = 20) were performed in 5% aqueous KOH. Observations were made using an Olympus CX43 optical microscope (Olympus, Japan), and microphotographs were captured using a Magcam DC10 digital camera mounted on the same microscope.

DNA extraction, PCR amplification, and sequencing

Genomic DNA was extracted from fresh basidiome tissue following the protocol of Izumitsu et al. (2012). The nuclear ribosomal large subunit (nrLSU) and internal transcribed spacer (nrITS) regions were amplified and sequenced for the studied species. PCR amplification of the nrITS region was carried out using the primer pair ITS1 and ITS4 (White et al., 1990), while LR0R and LR7 primers (Vilgalys, Hester, 1990) were used for the nrLSU region. PCR amplification and sequencing procedures followed the methodology described by Kumar et al. (2018). The newly generated sequences have been deposited in GenBank (nrITS — PV030183, nrLSU — PV034407).

Sequence alignment and phylogenetic analysis

The molecular phylogenetic analysis was conducted using both the nrITS and nrLSU sequences. A combined data matrix was constructed, comprising the newly generated nrITS and nrLSU sequences of *F. siamensis* from India, along with 70 nrITS and 64 nrLSU sequences representing 33 taxa (including the outgroup; Table 1) retrieved from GenBank. The sequences were selected based on their similarity indices and the sequences of *Fulvifomes* used in the previous phylogenetic

analyses (Sakayaroj et al., 2012; Hattori et al., 2014; Hong et al., 2023). *Phellinus populicola* Niemelä and *Phellinotus neoaridus* Drechsler-Santos & Robledo (current name *Fomitiporella neoarida* (Drechsler-Santos & Robledo) Y.C. Dai & F. Wu) were chosen as the outgroup for rooting purposes following Crous et al. (2023). The sequence data matrix with default settings was aligned using the online web tool MAFFT (www.ebi.ac.uk/Tools/msa/mafft/). The aligned data matrix was then imported into BioEdit v7.2.6.1 (Hall, 1999) for manual modification. Maximum likelihood (ML) analysis was performed in the web platform http://iqtree.cibiv.univie.ac.at (Trifinopoulos et al., 2016) with 1000 ultrafast bootstrap replicates. The transition model with equal frequency (TNe+G4) was automatically selected as the best-fit substitution model per the BIC score in the same web platform. Bootstrap values ≥ 60% (Jeewon, Hyde, 2016) were considered significant. The phylogram inferred from ML analysis is displayed with MEGA XI (Tamura et al., 2021).

Table 1. **List of species, sources, GenBank accession numbers of nrITS and nLSU sequences used in the molecular analysis**

No.	Species	Voucher / Strain no.	GenBank no. nrITS	GenBank no. nrLSU	Geographical location
1	*Fulvifomes azonatus*	Dai 17203	MH390419	MH390397	China
2	*F. azonatus*	Dai 17470	MH390418	MH390395	China
3	*F. azonatus*	Cui 8452	MH390417	MH390396	China
4	*F. caligoporus*	Dai 17668	MH390420	MH390390	China
5	*F. caligoporus*	Dai 17660	MH390421	MH390391	China
6	*F. centroamericanus*	JV 0611_III	KX960763	KX960764	Guatemala
7	*F. coffeatoporus* (as *F. krugiodendri*)	JV0904_1	KX960762	KX960765	USA/Florida
8	*F. coffeatoporus* (as *F. krugiodendri*)	JV0312_24.10J	KX960760	KX960766	USA/Florida
9	*F. coffeatoporus* (as *F. krugiodendri*)	JV1008_21	KX960761	KX960767	USA/Florida
10	*F. costaricense*	JV 1607/103	MH390414	MH390386	Costa Rica
11	*F. costaricense*	JV 1407/87	MH390412	MH390387	Costa Rica
12	*F. dracaenicola*	Dai 22093	MW559799	MW559804	China
13	*F. dracaenicola*	Dai 22097	MW559800	MW559805	China
14	*F. elaeodendri*	CMW 47808	MH599093	MH599131	South Africa
15	*F. elaeodendri*	CMW 47825	MH599094	MH599134	South Africa
16	*F. elaeodendri*	CMW 47909	MH599096	MH599132	South Africa
17	*F. elaeodendri*	CMW 48154	MH599097	MH599135	South Africa
18	*F. elaeodendri*	CMW 48610	MH599095	MH599133	South Africa
19	*F. fastuosus*	Dai 18292	MH390411	MH390381	Vietnam
20	*F. fastuosus*	LWZ 20140731-13	KR905674	KR905668	Thailand
21	*F. fastuosus*	LWZ 20140728-29	KR905673	–	Thailand
22	*F. floridanus*	JV 0904/65	MH390422	–	USA
23	*F. floridanus*	JV 0312/23.1	MH390423	–	USA
24	*F. floridanus*	JV 0904/76	MH390424	MH390388	USA
25	*F. halophilus*	JV 1502/4	MH390427	MH390392	USA
26	*F. imbricatus*	LWZ 20140728-16	KR905677	KR905670	Thailand
27	*F. imbricatus*	LWZ 20140729-26	KR905679	KR905671	Thailand
28	*F. jawadhuvensis*	MUBL4011	MW040079	MW048886	India
29	*F. karaiensis*	MUBL4016	ON333609	ON326580	India
30	*F. karaiensis*	CRKK2/2A	OP028976	OP028972	India

Table 1 (continued)

No.	Species	Voucher / Strain no.	GenBank no. nrITS	GenBank no. nrLSU	Geographical location
31	*F. kawakamii*	CBS 428.86	–	AY059028	USA
32	*F. kawakamii*	PPT152	MH048095	–	Brazil
33	*F. lloydii*	Dai 11978	MH390430	MH390380	China
34	*F. lloydii*	Dai 10809	MH390428	MH390378	China
35	*F. lloydii*	Dai 9642	MH390429	MH390379	China
36	*F. malaiyanurensis*	CAL 1681	MF155651	MW048883	India
37	*F. mangroviensis*	MUBL4012	MW040083	MW048909	India
38	*F. mangroviensis*	KSM-MP12a	OM897221	OM897222	India
39	*F. maritimus*	MUBL1095	OR520888	OR512084	India
40	*F. merrillii*	6Kout	MH390416	MH390383	Thailand
41	*F. merrillii*	Dai 12094	MH390415	MH390382	China
42	*F. natarajanii*	MUBL1047	–	OQ608722	India
43	*F. natarajanii*	MUBL1048	–	OQ608723	India
44	*F. nilgheriensis*	URM 3028	MH390431	MH390384	Brazil
45	*F. nilgheriensis*	CBS 209.36	AY558633	AY059023	USA
46	*F. pannaensis*	MUBL4017	MW040080	OP028971	India
47	*F. pannaensis*	PRF32/2	OP028975	MW048890	India
48	*F. rigidus*	Dai 17507	MH390433	MH390399	China
49	*F. rigidus*	Dai 17496	MH390432	MH390398	China
50	***F. siamensis***	**TBGT(M)GWC-05**	**PV030183**	**PV034407**	**India**
51	*F. siamensis*	S2T26M1	JX104707	JX104754	Thailand
52	*F. siamensis*	Dai 18309	MH390434	MH390389	Vietnam
53	*F. siamensis*	KBXG3	JX104706	JX104753	Thailand
54	*F. siamensis*	XG3	JX104710	JX104757	Thailand
55	*F. siamensis*	YF166FB1	OQ558847	–	Singapore
56	*F. siamensis*	YF166FB2	OQ558849	–	Singapore
57	*F. siamensis*	SM135DT	OQ558846	–	Singapore
58	*F. siamensis*	YF157FB	OQ558848	–	Singapore
59	*F. siamensis*	YF156FB	OQ558850	–	Singapore
60	*F. subazonatus*	MUBL1046	OR502858	OR502859	India
61	*F. subazonatus*	AT03	OR502858	OR502859	India
62	*F. subindicus*	Dai 17743	MH390435	MH390393	China
63	*F. subindicus*	Cui 13908	MH390436	MH390394	China
64	*F. submerrillii*	Dai 17917	MH390406	MH390372	China
65	*F. submerrillii*	Dai 17911	MH390405	MH390371	China
66	*F. subramanianii*	MUBL 4019	OM912447	OM909042	India
67	*F. subthailandicus*	MUBL4025	OQ064102	OQ062657	India
68	*F. subthailandicus*	MEII2_2	PP827158	PP816284	India
69	*F. thiruvannamalaiensis*	MUBL4013	MZ221598	MZ221600	India
70	*F. tubogeneratus*	GXU2468	MT580805	MT580800	China
71	*F. tubogeneratus*	GXU2478	MT580806	MT580801	China
72	*Phellinotus neoaridus* (Outgroup)	URM 80362	KM211294	KM211286	Brazil
73	*Phellinotus populicola* (Outgroup)	CBS 638.75	MH860960	MH872729	Finland

Results

Molecular phylogeny

The phylogeny inferred from the combined nrITS and nrLSU dataset, shown in Fig. 1, places *F. siamensis* [TBGT(M)GWC-05] from the present study within a strongly supported clade (100% bootstrap) comprising isolates of *F. siamensis* from Thailand and Singapore. The Indian isolate forms a well-resolved lineage within this clade, indicating high genetic similarity and confirming its conspecificity with *F. siamensis*. The close phylogenetic proximity of TBGT(M)GWC-05 to other Southeast Asian isolates, without any significant divergence, suggests a genetically stable and geographically widespread species.

Taxonomy

***Fulvifomes siamensis* T. Hatt., Sakayaroj & E.B.G. Jones**, Mycoscience 55(5): 346 (2014) — Figs. 2, 3.

Basidiocarps perennial, sessile, broadly attached, resupinate to effused-reflexed or pileate in form, solitary or in coalesced imbricate clusters. *Pileus* dimidate, flabelliform to irregular, applanate to convex, projecting up to 10 cm, up to 13.5 cm wide and 4 cm thick. *Pileus surface* slightly velutinous in young specimens, broadly zonate, becoming irregular, indistinctly sulcate, nodulose, glabrous on maturity, without a distinct crust, rust brown (6E8) to dark brown (7F8). *Pileus margin* entire, acute to obtuse, off-white to yellowish white (4A2). *Context* woody to corky, tough, yellowish brown (5E8) to brown (6E7), up to 6 mm thick. *Tubes* stratified, woody, dark brown (8F6). *Pores* round, 6–7 mm. *Dissepiments* thin and entire. *Pore surface* yellowish brown to brown (6E7–7F5), with yellowish to amber colored non-sticky, odorless exudates in the early morning. *Hyphal system* dimitic. *Generative hyphae* thin- to slightly thick-walled, occasionally branched, septate without clamp-connections, hyaline to light brown, up to 3.5 µm wide. Skeletal hyphae thick-walled, unbranched, aseptate, light brown to brown, up to 4 µm wide. Setae absent. *Basidia* clavate, four-sterigmate, thin-walled, hyaline, 8.5–17.5 × 5–6.5 µm. Basidioles clavate, thin-walled, hyaline, 9.0–15.5 × 5–6 µm. *Basidiospores* subglobose, thick-walled, smooth, yellow in water, turning rust-brown in KOH, (3.8–)4.2–5.0 (–5.5) × (3.4–)4.0–4.8(–5.2) µm (Lm = 4.5 ± 0.32, Wm = 4.3 ± 0.13); Q = 1.05–1.15; Qm = 1.10, CB^-, IKI^-.

Specimens examined: India, Kerala, Thiruvananthapuram, Government College for Women, 12.64°54'19.1" N, 79°18'33" E, 24 November 2023, Manoj TBGT(M)GCW-05; *ibid*., 6 June 2024, Manoj TBGT(M)GCW-13; *ibid*., 28 June 2024, Manoj TBGT(M)GCW-17; *ibid*., 7 October 2024, Gireeshma TBGT(M)GCW-20; *ibid*., 26 November 2024, Aparna TBGT(M)GCW-24; *ibid*., 30 April 2025, Gireeshma TBGT(M)GCW-30; *ibid*., 2 May 2025, Greeshma TBGT(M)GCW-31; *ibid*., 8 May 2025, Lakshmi TBGT(M)GCW-39; *ibid*., 7 June 2025, Aparna TBGT(M)GCW-43; *ibid*., 8 July 2025, Gireeshma TBGT(M)GCW-88; *ibid*., 8 July 2025, Aparna TBGT(M)GCW-89; *ibid*., 10 July 2025, Manoj TBGT(M)GCW-91.

Habitat: on the stem of a living angiosperm tree *Peltophorum pterocarpum* (DC.) Backer ex K. Heyne (*Fabaceae*).

Remarks: *Fulvifomes siamensis* was originally described from Thailand on the roots and butt of a mangrove tree, *Xylocarpus granatum* (Hattori et al., 2014), based on both morphological and molecular evidence. This study was based on the original materials collected by Sakayaroj et al. (2012). In a metagenomic survey of wood decay fungi in the urban trees of Singapore by Hong et al. (2023), the presence of *F. siamensis* OTUs were detected in soil, fruiting bodies, and diseased tissues of several host plants, including *Peltophorum pterocarpum*. Based on the morphology and molecular phylogenetic analysis (combined nrITS and nrLSU dataset), the Indian specimen of *F. siamensis* is clearly affiliated with the *F. siamensis* clade originally described from Thailand (Sakayaroj et al., 2012; Hattori et al., 2014). The Indian and Thai specimens of *F. siamensis* share many core morphological and microscopic characteristics but exhibit subtle differences that reflect geographic and possibly ecological variation within the species. Both exhibit perennial, sessile basidiocarps that are broadly attached and occur solitary or in imbricate clusters. The pileus in Indian collections is dimidiate, flabelliform to irregular, and zonate with a rust to dark brown color. In contrast, the Thai specimens have a semicircular to irregular, applanate to convex pileus that becomes rimose and almost black with age. The Indian specimens are slightly larger in pileus dimensions (up to 13.5 cm wide) and more prominently zonate and nodulose, while the Thai material is up to 12 cm wide and lacks distinct zoning. Microscopic comparisons show that both are dimitic in trama, but the Thai context is monomitic, whereas the Indian material remains dimitic throughout. Generative

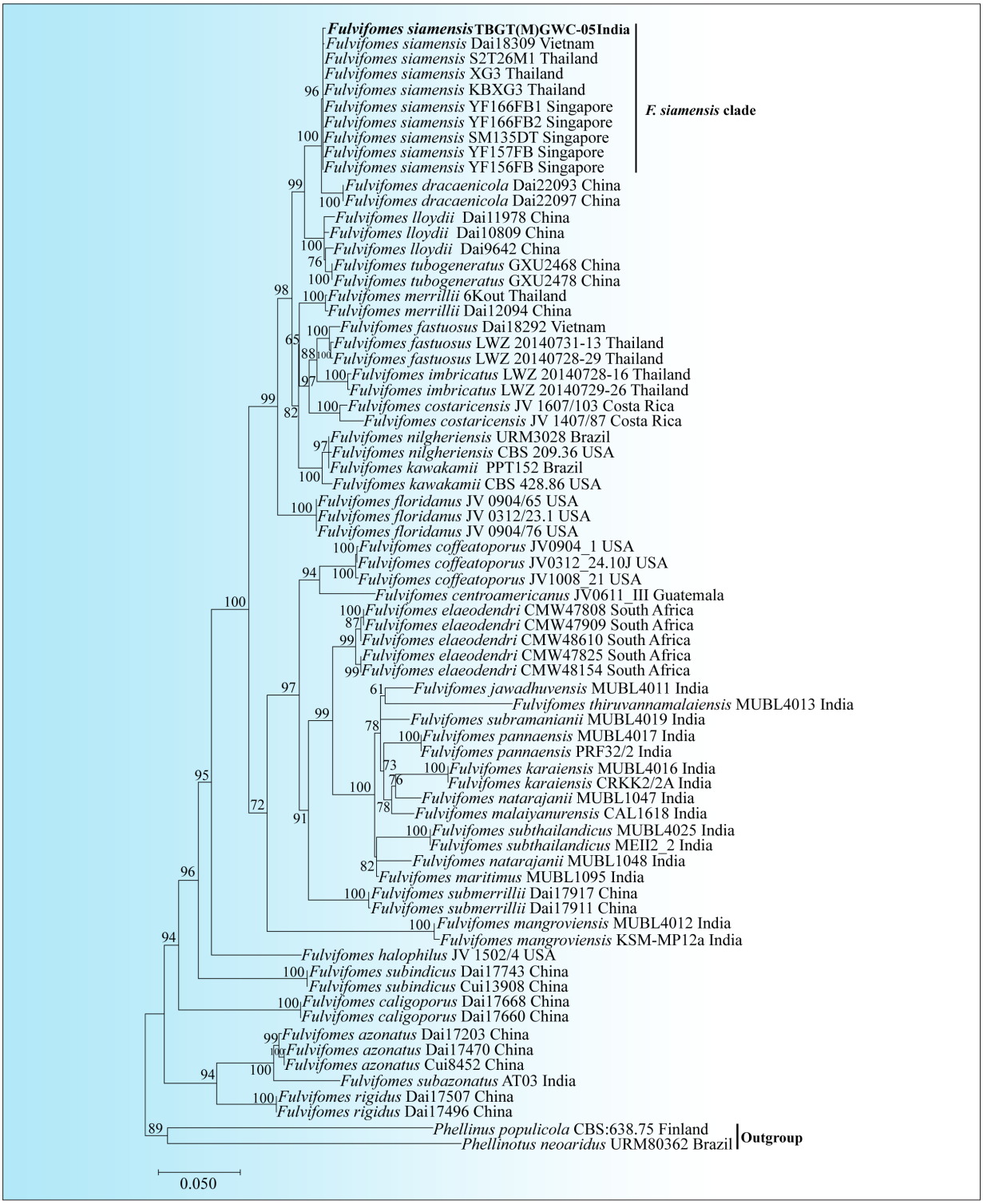


Fig. 1. Phylogenetic analysis of *Fulvifomes* species based on combined nrITS and nrLSU sequences. Bootstrap values (ML > 50%) are shown above or below the branches. Voucher / Strain numbers and geographic locations of the taxa are listed following the species names. The newly recorded *Fulvifomes siamensis* accession from India is in bold font



Fig. 2. *Fulvifomes siamensis*. A–C, E, H: habit *in situ*; D, F: habit — lower surface showing pore surface; G: pore surface enlarged; H: basidioma showing exudates. Scale bars: A–F, H — 10 mm; G — 5 mm. Photos by K.A. Manoj

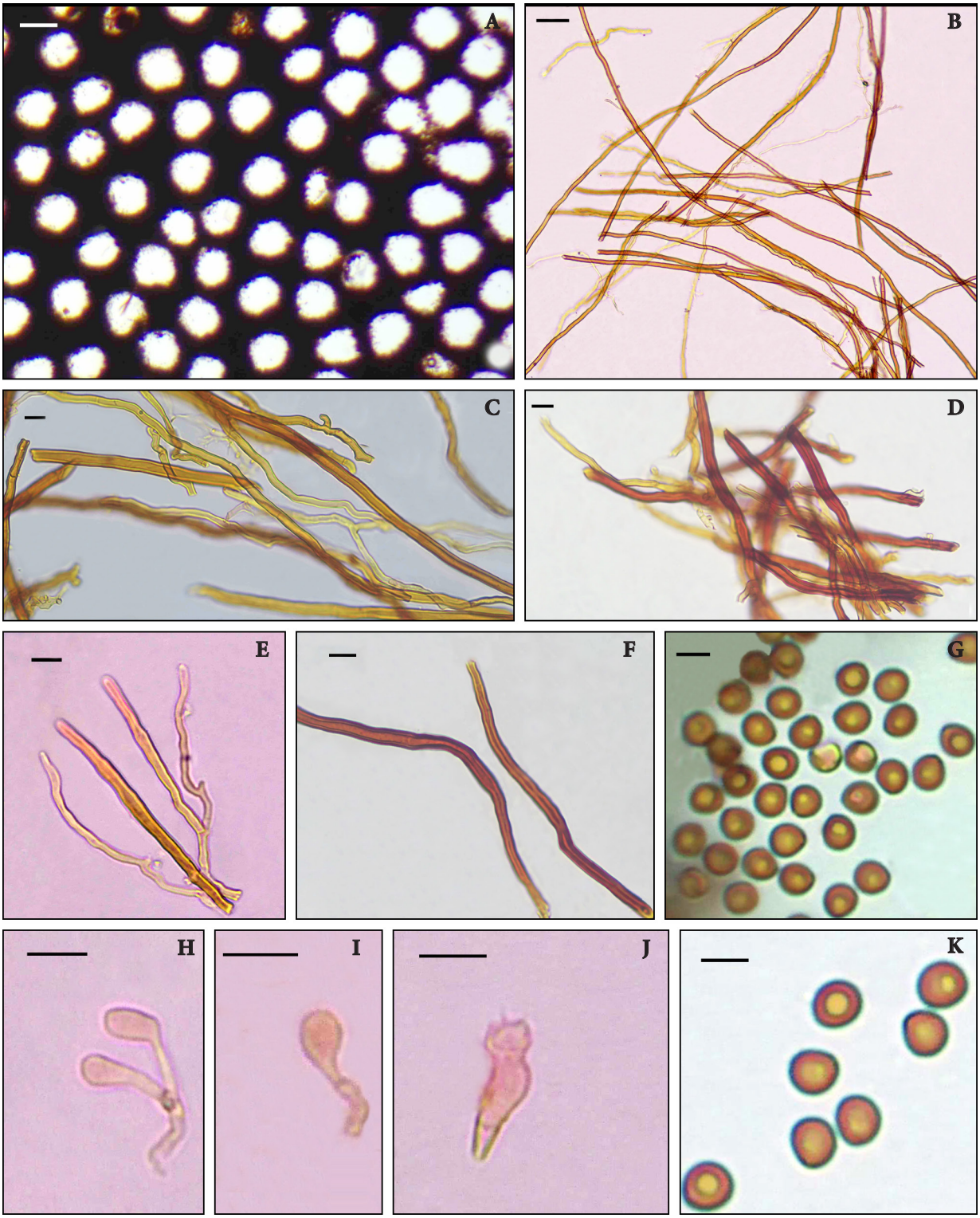


Fig. 3. *Fulvifomes siamensis*. A: pores on lower surface; B, C, E: generative hyphae of context; D, F: skeletal hyphae of trama; G, K: basidiospores; H, I: basidioles; J: basidium. Scale bars: A — 100 µm, B — 50 µm, C–K — 10 µm. Photos by K.A. Manoj

and skeletal hyphae are similar in wall thickness and color, though the hyphae in the Thai collections are slightly broader. Basidia and basidioles were observed in the Indian specimen but not in the Thai type. Basidiospores in both are subglobose, thick-walled, and yellowish, but those in the Indian collection are slightly smaller [(3.8–)4.2–5.0(–5.5) × (3.4–)4.0–4.8(–5.2) μm] compared to those from Thailand (4.5–6.0 × 4–5 μm). Despite these differences, both specimens share diagnostic features such as the absence of setae, stratified tubes, and thick-walled spores that react similarly in chemical reagents (CB–, IKI–). These results confirm that the Indian specimen is conspecific with *F. siamensis* from Thailand, but the observed slight variations, including spore size, likely reflect environmental influences or natural infraspecific variability. Hence, the Indian collection represents a new regional record of *F. siamensis* and broadens the known morphological and geographic distribution of the species.

Conclusion

The present study reports *F. siamensis* from India for the first time, based on morphological and molecular evidence (nrITS and nrLSU sequences). The discovery expands the known geographic and host range of *F. siamensis*, underlining the rich but underexplored fungal diversity of the Western Ghats. Notably, *F. siamensis* has been associated with stem and butt rot of *Xylocarpus granatum* in Thai mangrove ecosystems, where it was frequently isolated from decayed trunks and roots. The fungus exhibits traits consistent with wood-decaying pathogens in the family *Hymenochaetaceae*, causing internal decay that weakens structural integrity. Its occurrence on living trees and capacity to cause extensive heartwood degradation suggest its potential pathogenicity in natural forest systems. The detection of *F. siamensis* in India raises concerns about its possible impact on tree species, emphasizing the need for further pathological studies to assess its host range, virulence, and ecological role in Indian forests.

Acknowledgements

The authors thank DST-CURIE Project, Government of India, for research funding.

ETHICS DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

K.G. Gireeshma https://orcid.org/0009-0006-8897-5508
Sathish Greeshma https://orcid.org/0009-0008-3273-4750
Nair S. Aparna https://orcid.org/0009-0000-4325-7373
Krishna R.K. Lakshmi https://orcid.org/0009-0005-3665-0229
G.P. Gayatri https://orcid.org/0000-0002-5770-1751
Kumar S. Shyam https://orcid.org/0000-0002-7571-7140
Kumar A. Manoj https://orcid.org/0000-0002-5926-6730

REFERENCES

Crous P.W., Costa M.M., Kandemir H., Vermaas M., Vu D., Zhao L., Arumugam E., Flakus A., Jurjević Ž., Kaliyaperumal M., Mahadevakumar S., Murugadoss R., Shivas R.G., Tan Y.P., Wingfield M.J., Abell S.E., Marney T.S., Danteswari C., Darmostuk V., Denchev C.M., Denchev T.T., Etayo J., Gené J., Gunaseelan S., Hubka V., Illescas T., Jansen G.M., Kezo K., Kumar S., Larsson E., Mufeeda K.T., Piątek M., Rodriguez-Flakus P., Sarma P.V.S.R.N., Stryjak-Bogacka M., Torres-Garcia D., Vauras J., Acal D.A., Akulov A., Alhudaib K., Asif M., Balashov S., Baral H.O., Baturo-Cieśniewska A., Begerow D., Beja-Pereira A., Bianchinotti M.V., Bilański P., Chandranayaka S., Chellappan N., Cowan D.A., Custódio F.A., Czachura P., Delgado G., De Silva N.I., Dijksterhuis J., Dueñas M., Eisvand P., Fachada V., Fournier J., Fritsche Y., Fuljer F., Ganga K.G.G., Guerra M.P., Hansen K., Hywel-Jones N., Ismail A.M., Jacobs C.R., Jankowiak R., Karich A., Kemler M., Kisło K., Klofac W., Krisai-Greilhuber I., Latha K.P.D., Lebeuf R., Lopes M.E., Lumyong S., Maciá-Vicente J.G., Maggs-Kölling G., Magistà D., Manimohan P., Martín M.P., Mazur E., Mehrabi-Koushki M., Miller A.N., Mombert A., Ossowska E.A., Patejuk K., Pereira O.L., Piskorski S., Plaza M., Podile A.R., Polhorský A., Pusz W., Raza M., Ruszkiewicz-Michalska M., Saba M., Sánchez R.M., Singh R., Śliwa L., Smith M.E., Stefenon V.M., Strasiftáková D., Suwannarach N., Szczepańska K., Telleria M.T., Tennakoon D.S., Thines M., Thorn R.G., Urbaniak J., van der Vegte M., Vasan V., Vila-Viçosa C., Voglmayr H., Wrzosek M., Zappelini J., Groenewald J.Z. 2023. Fungal Planet description sheets: 1550–1613. *Persoonia*, 51: 280–417. https://doi.org/10.3767/persoonia.2023.51.08

Dai Y.C. 1999. *Phellinus* sensu lato (*Aphyllophorales, Hymenochaetaceae*) in East Asia. *Acta Botanica Fennica*, 166: 43–103.

Hall T.A. 1999. Bio Edit: a user-friendly biological sequence alignment editor and Windows 95/98/NT analysis program. *Nucleic Acids Symposium Series*, 41: 95–98.

Hattori T., Sakayaroj J., Jones E.B.G., Suetrong S., Preedanon S., Klaysuban A. 2014. Three species of *Fulvifomes* (*Basidiomycota*, *Hymenochaetales*) associated with rots on mangrove tree *Xylocarpus granatum* in Thailand. *Mycoscience*, 55(5): 344–354. https://doi.org/10.1016/j.myc.2014.01.001

Hong Y., Tan J.Y., Xue H., Chow M.L., Ali M., Ng A., Leong A., Yeo J., Koh S.M., Tang M. S.Y., Lee Y.Y., Choong A.M.F., Lee S.M.L., Delli Ponti R., Chan P.M., Lee D., Wong J.Y., Mutwil M., Fong Y.K. 2023. A metagenomic survey of wood decay fungi in the urban trees of Singapore. *Journal of Fungi*, 9(4): 460. https://doi.org/10.3390/jof9040460

Izumitsu K., Hatoh K., Sumita T., Kitade Y., Morita A., Gafur A., Ohta A., Kawai M., Yamanaka T., Neda H., Ota Y., Tanaka C. 2012. Rapid and simple preparation of mushroom DNA directly from colonies and fruiting bodies for PCR. *Mycoscience*, 53(5): 396–401. https://doi.org/10.1007/s10267-012-0182-3

Jeewon R., Hyde K.D. 2016. Establishing species boundaries and new taxa among fungi: recommendations to resolve taxonomic ambiguities. *Mycosphere*, 7(11): 1669–1677. https://doi.org/10.5943/mycosphere/7/11/4

Kornerup A., Wanscher J.H. 1978. *Methuen Handbook of colour.* 3rd ed. London: Methuen & Co. Ltd., 252 pp.

Kumar A.M., Vrinda K.B., Pradeep C.K. 2018. Two new species of *Crepidotus* (*Basidiomycota*, *Agaricales*) from peninsular India. *Phytotaxa*, 372: 67–78. https://doi.org/10.11646/phytotaxa.372.1.5

Liu Z.B., Yuan Y., Dai Y., Liu H.G., Vlasák J., Zeng G.Y., He S.H., Wu F. 2025. Global diversity and systematics of *Hymenochaetaceae* with non-poroid hymenophore. *Fungal Diversity*, 131(1): 1–97. https://doi.org/10.1007/s13225-025-00552-3

Murrill W.A. 1914. *North American Polypores*. New York: The New Era Printing Company, 64 pp.

Ryvarden L. 1991. Genera of polypores. Nomenclature and taxonomy. *Synopsis Fungorum*, 5: 1–363.

Sakayaroj J., Preedanon S., Suetrong S., Klaysuban A., Jones E.G., Hattori T. 2012. Molecular characterization of basidiomycetes associated with the decayed mangrove tree *Xylocarpus granatum* in Thailand. *Fungal Diversity*, 56: 145–156. https://doi.org/10.1007/s13225-012-0195-4

Salvador-Montoya C.A., Martínez M., Drechsler-Santos E.R. 2022. Taxonomic update of species closely related to *Fulvifomes robiniae* in America. *Mycological Progress*, 21, 95. https://doi.org/10.1007/s11557-022-01843-8

Salvador-Montoya C.A., Popoff O.F., Reck M., Drechsler-Santos E.R. 2018. Taxonomic delimitation of *Fulvifomes robiniae* (*Hymenochaetales*, *Basidiomycota*) and related species in America: *F. squamosus* sp. nov. *Plant Systematics and Evolution*, 304(3): 445–459. https://doi.org/10.1007/s00606-017-1487-7

Tamura K., Stecher G., Kumar S. 2021. MEGA11: Molecular Evolutionary Genetics Analysis Version 11. *Molecular Biology and Evolution*, 38(7): 3022–3027. https://doi.org/10.1093/molbev/msab120

Trifinopoulos J., Nguyen L.T., von Haeseler A., Minh B.Q. 2016. W-IQ-TREE: a fast online phylogenetic tool for maximum likelihood analysis. *Nucleic Acids Research*, 44(W1): W232–W235. https://doi.org/10.1093/nar/gkw256

Vilgalys R., Hester M. 1990. Rapid genetic identification and mapping of enzymatically amplified ribosomal DNA from several *Cryptococcus* species. *Journal of Bacteriology*, 172: 4238–4246. https://doi.org/10. 1128/jb.172.8.4238-4246.1990

Wagner T., Fischer M. 2001. Natural groups and a revised system for the European poroid *Hymenochaetales* (*Basidiomycota*) supported by nLSU rDNA sequence data. *Mycological Research*, 105(7): 773–782. https://doi.org/10.1017/s0953756201004257

Wagner T., Fischer M. 2002. Proceedings towards a natural classification of the worldwide taxa *Phellinus* s. l. and *Inonotus* s. l., and phylogenetic relationships of allied genera. *Mycologia*, 94(6): 998–1016. https://doi.org/10.1080/15572536.2003.11833156

White T.J., Bruns T., Lee S., Taylor J. 1990. Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics. In: *PCR protocols: a guide to methods and applications*. Eds M.A. Innis., D.H. Gelfand, J.J. Sninsky, T.J. White. New York: Academic Press, pp. 315–322. https://doi.org/10.1016/b978-0-12- 372180-8.50042-1

Wu F., Zhou L.W., Vlasák J., Dai Y.C. 2022. Global diversity and systematics of *Hymenochaetaceae* with poroid hymenophore. *Fungal Diversity*, 113(1): 1–192. https://doi.org/10.1007/s13225-021-00496-4

Zhou L.W. 2014. *Fulvifomes hainanensis* sp. nov. and *F. indicus* comb. nov. (*Hymenochaetales*, *Basidiomycota*) evidenced by a combination of morphology and phylogeny. *Mycoscience*, 55(1): 70–77. https://doi.org/10.1016/j.myc.2013.05.006

Перша знахідка *Fulvifomes siamensis* (*Hymenochaetaceae*) в Індії з нотатками про морфологію та філогенію на основі nrITS–nrLSU

К.Г. ГІРЕШМА, С. ГРЕШМА, С.Н. АПАРНА, К.Р.К. ЛАКШМІ, Г.П. ГАЯТРІ, К.С. ШИЯМ, К.А. МАНОДЖ
Державний жіночий коледж, Тіруванантапурам, штат Керала, Індія

Реферат. Гриб *Fulvifomes siamensis*, уперше описаний з Таїланду, відомий також із кількох місцезнаходжень у Південно-Східній Азії. Базидіоми *F. siamensis* було зібрано на *Peltophorum pterocarpum* під час досліджень макроміцетів у районі Тіруванантапурам штату Керала, Індія. Гриб було ідентифіковано на основі детальних макро- і мікроморфологічних ознак та молекулярно-генетичного аналізу з використанням nrITS і nrLSU. Було встановлено, що індійські зразки є конспецифічними з *F. siamensis*. Це перше повідомлення про знахідку *F. siamensis* в Індії, підтверджене детальними морфологічними описами, ілюстраціями, філогенетичним аналізом на основі nrITS–nrLSU та наведеним порівнянням із близькоспорідненими таксонами.

Ключові слова: *Basidiomycota*, *Hymenochaetaceae*, nrITS, nrLSU, Індія, морфологія, таксономія, філогенія

BIOTECHNOLOGY, PHYSIOLOGY AND BIOCHEMISTRY
БІОТЕХНОЛОГІЯ, ФІЗІОЛОГІЯ, БІОХІМІЯ

https://doi.org/10.15407/ukrbotj82.06.577
REVIEW ARTICLE

Основні тенденції використання фізіології у селекції, підвищенні продуктивності та стресостійкості рослин в Україні

Сергій Я. КОЦЬ, Олег О. СТАСИК, Дмитро А. КІРІЗІЙ *, Володимир В. МОРГУН
Інститут фізіології рослин і генетики НАН України,
вул. Васильківська 31/17, Київ 03022, Україна
* Автор для листування: *kiriziy@gmail.com*

Реферат. Висвітлено основні тенденції щодо використання досягнень фізіології рослин в селекції та внесок науковців Інституту фізіології рослин і генетики НАН України у вирішення проблем підвищення продуктивності та стресостійкості рослин. Зокрема, в результаті багаторічних досліджень генотипових особливостей морфології та функціонування фотосинтетичного апарату широкої вибірки сортів пшениці на рівнях організації від хлоропласту до агроценозу виявлено ряд фізіологічних і морфологічних ознак, які рекомендовано до використання в якості фенотипових маркерів при селекції цієї найважливішої сільськогосподарської культури на продуктивність і посухостійкість. Також проведено низку досліджень фізіолого-біохімічних особливостей генетично модифікованих рослин пшениці із підвищеним вмістом проліну як за нормальних умов, так і впливу посухи. Зроблено висновок про перспективність їхнього залучення у селекційні програми з підвищення стійкості до абіотичних стресових чинників. Селекціоновано широкий спектр високоефективних штамів бульбочкових бактерій, комплементарних до низки провідних бобових культур, у тому числі із використанням транспозонового мутагенезу. Розроблено нові технології їхнього використання в складі інокулятів з урахуванням генетичних особливостей культури, які сприяють максимальній реалізації потенціалу продуктивності бобово-ризобіального симбіозу та захищають від негативного впливу біотичних і абіотичних стресових чинників. Також розроблено технології застосування сумішей спеціально селекціонованих штамів асоціативних та вільноіснуючих азотофіксувальних мікроорганізмів для інтенсифікації вирощування різних сортів пшениці. Відомо, що для розкриття повного генетичного потенціалу продуктивності сучасних сільськогосподарських культур необхідно розробити нові або істотно поліпшити вже існуючі технології їхнього вирощування та подбати про захист від хвороб, шкідників і бур'янів. Для цього розроблено технології з підвищення ефективності використання азоту сучасними високоінтенсивними сортами пшениці. Науково обґрунтовано і впроваджено у практику застосування бакових сумішей для позакореневого підживлення рослин разом із засобами захисту та регуляторами росту, що має значний економічний ефект. Отже, фізіологи рослин і генетики Інституту тісно співпрацюють як у фундаментальних наукових дослідженнях, так і на благо аграрного сектора у цілях зміцнення продовольчої безпеки України.

Ключові слова: нові технології, продовольча безпека, продуктивність, селекція, стресостійкість, фізіологічні маркери, фізіологія рослин

ARTICLE HISTORY. Submitted 26 June 2025. Revised 28 November 2025. Published 22 December 2025

CITATION. Kots S.Ya., Stasik O.O., Kiriziy D.A., Morgun V.V. 2025. Main trends in applying physiology to plant breeding, yield improvement, and stress resistance in Ukraine. *Ukrainian Botanical Journal*, 82(6): 577–593. https://doi.org/10.15407/ukrbotj82.06.577

© M.G. Kholodny Institute of Botany, NAS of Ukraine, 2025
© Publisher PH "Akademperiodyka" of the NAS of Ukraine, 2025
This is an open access article under the CC BY license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Вступ

Ще з прадавніх часів людина усвідомила залежність свого існування від рослин. Введення рослин у культуру, особливо хлібних злаків, стало важливим етапом розвитку людської цивілізації на Землі (Araus et al., 2007; Abbo, Gopher, 2020; Katamadze et al., 2023). Зародившись ще за часів античності, наука про рослини під загальною назвою "ботаніка" розвивалася до другої половини XVIII ст. переважно як описова. Вагомий внесок у систематизацію ботанічних знань зробив Карл Лінней, який в середині XVIII ст. запровадив бінарну номенклатуру рослин і одним з перших зробив спробу класифікації рослинного світу (Stafleu, 1971). Винахід мікроскопа, успішні досягнення в хімії, фізиці, техніці створили умови для розвитку експериментальних досліджень рослин і наприкінці XVIII ст. — на початку XIX ст. фізіологія рослин виокремилась у самостійну науку, яка на початку XX ст. була визнана як наукова основа землеробства і рослинництва. Вона стала позиціонуватися як наука про функціональні системи рослин, їхню організацію, інтеграцію та саморегуляцію (Pessarakli, 2021).

Разом із тим, багато аспектів фізіології та біохімії рослин тісно переплітаються з ботанікою, адже біохімічні та фізіологічні особливості рослин можуть використовуватися як таксономічні ознаки, та бути цікавими для систематиків рослин. Ці особливості також мають надзвичайно важливе значення для розуміння проблем геоботаніки та екології, ботанічної географії, економічної ботаніки тощо. Генетика та молекулярна біологія рослин зазвичай розглядаються як розділи загальної генетики, хоча деякі їхні аспекти також тісно пов'язані із систематикою.

Головними напрямами фізіології рослин були і залишаються такі, як: розробка підходів до керування продукційним процесом та якістю рослинної продукції; вивчення впливу абіотичних і біотичних чинників навколишнього середовища на рослини; пошук засобів підвищення врожайності. У XX ст. сформувався ще один важливий напрям — інтеграція із селекцією, дослідження ключових фізіологічних ознак, які були змінені в результаті селекції різних видів культурних рослин на продуктивність, визначення резервів і шляхів їхнього подальшого поліпшення та розробка рекомендацій із включення цих ознак у селекційний процес як фізіологічних маркерів (Reynolds et al., 2022; Roychowdhury et al., 2024).

Важливим завданням фізіологів є виявлення лімітувальних ланок продукційного процесу та пошук шляхів їхньої оптимізації фізіолого-генетичними методами для отримання бажаних результатів. Тому для цього необхідна спільна співпраця фізіологів рослин, молекулярних біологів, генетиків та селекціонерів для вирішення нагальної проблеми продовольчої кризи, яка дедалі загострюється у зв'язку із невпинним ростом населення Землі та глобальними змінами клімату (Condon, 2020; Neupane et al., 2022). Вчені Інституту фізіології рослин і генетики НАН України (ІФРГ НАН України) роблять свій вагомий внесок у вирішення цих актуальних проблем.

Дослідження фотосинтетичних показників як маркерів для селекції на продуктивність і стресостійкість

Оскільки близько 95% органічної маси рослини утворюється в процесі фотосинтезу, з моменту його відкриття і до наших днів проблема "Фотосинтез і продуктивність рослин" викликає значний теоретичний і практичний інтерес. Як наукова проблема вона має декілька аспектів, серед яких набувають особливого значення агрофізіологічний і фізіолого-генетичний (Stasik et al., 2021). Перший з них пов'язаний з дослідженням фотосинтезу на різних рівнях його організації (від молекулярного до ценотичного) з метою пошуку шляхів підвищення продуктивності сільськогосподарських культур і розробки способів управління продукційним процесом. Другий — із вивченням молекулярно-генетичних механізмів організації та функціонування процесу фотосинтезу і визначенням можливостей його генетичного поліпшення. Ці два аспекти важливі в прикладному значенні, оскільки успішне їхнє розкриття надасть можливість подальшого підвищення продуктивності сільськогосподарських культур для забезпечення харчових потреб населення Землі.

Основою підтримання глобальної продовольчої безпеки є пшениця — найбільш поширена сільськогосподарська культура, оскільки вона забезпечує п'яту частину калорійності харчового раціону людства (Pequeno et al., 2021). Тому для вирішення продовольчої проблеми особливо важливим є подолання кризи в подальшому

підвищенні її врожайності. На думку експертів Міжнародного консорціуму з врожайності пшениці (Wheat Yield Consortium, WYC), уповільнення темпів зростання врожайності пов'язане із вичерпанням можливостей її підвищення за рахунок факторів, що забезпечили різке збільшення продуктивності пшениці в результаті "Зеленої революції" (Parry et al., 2011; Slafer et al., 2023). Досягнення останньої базуються на поліпшенні розподілу біомаси рослини на користь більшого колоса і підвищення відносної частки зерна у масі надземної частини за рахунок укорочення стебла, а також зростання площі листків, що дозволяє формувати посіви з високими показниками поглинання сонячної радіації. Однак величини господарської ефективності врожаю і листкового індексу посівів у сучасних сортів вже досягли гранично можливих показників, перевищення яких негативно впливає на продуктивність. Тому серед науковців утвердилося спільне бачення, відповідно до якого одним із найважливіших чинників подальшого підвищення потенціалу продуктивності пшениці й інших зернових культур, є збільшення активності фотосинтезу та ефективності використання світлової енергії посівами (Faralli, Lawson, 2020; Araus et al., 2021; Stasik et al., 2021; Murchie et al., 2023). Важливо відзначити, що стратегія подальших успіхів у селекції пшениці на продуктивність розглядає активізацію фотосинтезу в комплексі зі змінами процесів росту і розвитку рослини, наголошуючи на необхідності поглиблення існуючих уявлень про їхні взаємозв'язки та інтегрованість у продукційному процесі (Stasik et al., 2021, Reynolds et al., 2022).

На сьогодні в ІФРГ НАН України, як і в багатьох провідних наукових закладах різних країн світу, ведуться пошуки відносно простих фізіологічних показників, пов'язаних із врожайністю пшениці в широкому діапазоні умов вирощування, які були б корисними для прискорення селекційного процесу з метою підвищення продуктивності цієї стратегічної сільськогосподарської культури. При цьому дуже важливою є ідентифікація фізіологічних ознак, які б свідчили одночасно про високу потенційну продуктивність і стійкість до несприятливих чинників. Це дало би змогу створити нові сорти з високою пластичністю, здатні давати високі врожаї у широкому діапазоні умов вирощування та агротехнічного забезпечення (Morgun et al., 2016b).

Останні 15 років основний акцент робиться на вивченні особливостей регуляторних механізмів в системі фотосинтез–продукційний процес у нових високоінтенсивних сортів озимої пшениці. Дослідження недавно створених в Інституті фізіології рослин і генетики НАН України високоінтенсивних сортів, здатних формувати рекордні врожаї на поліпшених фонах мінерального живлення, порівняно із сортами, селекціонованими значно раніше, мають велике наукове значення для з'ясування основних закономірностей формування агроценозів із підвищеною фотосинтетичною продуктивністю та виявлення структурно-функціональних параметрів, що забезпечують високу продуктивність, і прогнозування нових тенденцій в селекційно-генетичному поліпшенні культури (Priadkina et al., 2022, 2024).

Виявлено, що нові високоінтенсивні сорти озимої пшениці характеризуються вищою інтенсивністю фотосинтезу прапорцевого листка під час цвітіння і тривалішим збереженням його функціональної активності протягом наливу зерна, ніж менш продуктивні сорти більш ранньої селекції. Відзначено важливу роль інтенсифікації фотосинтезу для підвищення продуктивності пшениці; дана ознака пропонується для використання в якості додаткового критерію при селекції сортів пшениці з високим потенціалом продуктивності (Stasik et al., 2021). Сучасні високопродуктивні сорти мають потужніший фотосинтетичний апарат, що зумовлено більшими площею та питомою масою листків, вмістом хлорофілу, тривалістю активного функціонування листкової поверхні протягом вегетації, порівняно зі старими сортами. Зокрема, виявлено тісний кореляційний зв’язок між зерновою продуктивністю та хлорофільним потенціалом рослин озимої пшениці різних генотипів (Stasik et al., 2021; Priadkina et al., 2024).

Генотипи з високою зерновою продуктивністю характеризуються великою кількістю хлоропластів у клітинах, підвищеним вмістом хлорофілу в одному хлоропласті порівняно з менш продуктивними. Вища інтенсивність фотосинтезу в рослин високопродуктивного сорту порівняно з менш продуктивним, а також у рослин, краще забезпечених мінеральним живленням у період наливу зерна, зумовлюється повільнішою деградацією головного ферменту асиміляції CO_2 — Рубіско і збереженням

більшого його вмісту в листках (Morgun et al., 2016a). Збереження високої активності фотосинтетичного апарату на завершальних етапах репродуктивного розвитку (ремонтантний фенотип) є необхідним чинником формування високої зернової продуктивності в сучасних високоінтенсивних сортів із підвищеною озерненістю колоса. У нових високопродуктивних сортів озимої пшениці виявлено підвищену інтенсивність фотосинтетичної асиміляції CO_2 в розрахунку на одиницю поверхні листка і фотохімічну активність фотосистеми II на світлі, меншу частку нефотохімічних втрат поглиненої світлової енергії порівняно з менш продуктивними сортами більш ранньої селекції (Priadkina et al., 2023).

Отримані результати свідчать, що можливості поліпшення ефективності роботи фотосинтетичного апарату та його продуктивності селекційно-генетичним шляхом ще далеко не вичерпані. Відбір на високу інтенсивність фотосинтезу можна проводити непрямими методами, наприклад за величиною продихової провідності чи за градієнтом зниження температури поверхні посіву внаслідок транспірації, або відбираючи зразки з посиленим відтоком асимілятів у колос (Faralli, Lawson, 2020; Araus et al., 2021; Zhu et al., 2022). Очікується, що останній захід має збільшити активність фотосинтетичного апарату через зворотну регуляцію запитом на асиміляти. Подальші успішні дослідження в цьому напрямі призведуть до збільшення як загальної біологічної продуктивності посіву, так і врожаю зерна. Велику роль може відіграти збільшення інтенсивності наростання площі листкової поверхні на ранніх фазах росту і прискорення змикання листкового покриву агроценозу, а також підвищення ефективності асиміляційної діяльності листків нижніх ярусів, що функціонують за умов зниженої освітленості (Slattery, Ort, 2021; Murchie et al., 2023).

Забезпечення колоса асимілятами до та під час цвітіння має вплив на кількість життєздатних зав'язей, та, відповідно, і зернівок у колосі, що є одним із чинників, які визначають його атрагувальну здатність у період наливання зерна. Зростання продуктивності пшениці можна також очікувати від збільшення фонду резервних вуглеводів, які накопичуються в стеблах до та під час цвітіння, забезпечуючи стабілізацію початкового етапу росту зернівок і, відповідно, підвищення їхньої виживаності після запліднення, а також як джерело вуглецю для подальшого наливу зерна (Morgun et al., 2022; Tarasiuk, Stasik, 2021, 2022; Kandić et al., 2023). При цьому значимість фотосинтетичної активності та забезпеченості рослин асимілятами в період наливу зерна для формування високої зернової продуктивності істотно підвищується у сучасних високоінтенсивних сортів пшениці внаслідок збільшення озерненості колоса. Крім того, висока депонувальна ємність стебла дозволяє підтримувати високий рівень фотосинтетичної асиміляції в фази колосіння і цвітіння в період ще слабкого запиту з боку основного акцептора асимілятів — колоса (Morgun et al., 2022).

Отримані дані свідчать про те, що здатність депонувати водорозчинні вуглеводи у стеблі до початку наливання зернівок є важливим фактором, який забезпечує формування врожаю і може слугувати фізіологічним маркером високої продуктивності. Показано, що найбільшу депонувальну ємність мають міжвузля середньої частини стебла — друге і третє зверху (Tarasiuk, Stasik, 2022). Тому з метою спрощення і полегшення методичних процедур для оцінки великої кількості зразків, наприклад у селекційній практиці, можна рекомендувати показник кількості водорозчинних вуглеводів у цих міжвузлях як характеристику депонувальної здатності стебла в цілому. При відборі зразків для визначення депонувальної здатності стебла пшениці слід враховувати особливості часової динаміки накопичення водорозчинних вуглеводів за дії стресових чинників, особливо на початку репродуктивного періоду, оскільки внаслідок пригнічення фотосинтезу істотно прискорюється ремобілізація водорозчинних вуглеводів і скорочується період їхнього накопичення (Liu et al., 2020; Morgun et al., 2024; Ntawuguranayo et al., 2024). Рекомендовано використовувати показник вмісту вуглеводів у стеблі після цвітіння в якості селекційного критерію для стабілізації продуктивності зернових злаків за змінних умов довкілля.

На відміну від вуглеводів, основним джерелом яких за нормальних умов під час наливання зерна є прапорцевий листок, а резерви стебла виконують допоміжну роль, перерозподіл азотовмісних сполук у донорно-акцепторній системі рослин має власні особливості. З огляду на те, що білковість зерна є одним із ключових

чинників його ринкової вартості, а білки є азотовмісними сполуками, то генотипові особливості поглинання та розподілу азоту в рослинах пшениці є предметом наукового інтересу. У загальних рисах відомо, що понад 60–70% азоту стиглого зерна забезпечується завдяки ремобілізації цього елемента, накопиченого у вегетативних органах рослини перед цвітінням (Gaju et al., 2013). Згідно з сучасними дослідженнями, підвищення ефективності використання азоту є необхідною умовою створення нових сортів пшениці (Tian et al., 2024). Для цього пропонується зменшити конкуренцію між вегетативними і генеративними органами за азот після цвітіння та посилити його поглинання (Stasik, Kiriziy, 2011).

Відомо, що за оптимальних умов вирощування потенційна врожайність посівів культурних рослин значною мірою залежить від надходження сумарної сонячної радіації впродовж вегетації, кількості поглинутої фотосинтетично активної радіації та ефективності її перетворення на біомасу (Slattery, Ort, 2021). Оцінка можливостей підвищення кожної з цих складових для пшениці показала, що одним із реальних шляхів підвищення врожайності залишається збільшення ефективності використання поглиненої радіації (ЕВР) на створення рослинної біомаси. Виявлено, що у різних за врожайністю сортів озимої пшениці значення ЕВР у період від цвітіння до молочної стиглості були меншими, ніж у період молочна–молочно-воскова стиглість. Встановлено також, що на низькому фоні мінерального живлення міжсортові особливості за показниками ЕВР у контрастних за продуктивністю сортів були незначними. Проте на високому фоні живлення у сучасного більш продуктивного сорту в обох досліджених періодах значення ЕВР були вищими, ніж у менш врожайного старого сорту. Поліпшення показників ЕВР при утворенні рослинної біомаси за підвищених доз азотного живлення відбувається за рахунок збільшення вмісту фотосинтетичних пігментів і площі поглинання світла посівом. Отже, наявність генотипних відмінностей за цими показниками за високого рівня мінерального живлення свідчить про те, що рослини сучасних генотипів здатні до ефективнішого засвоєння сонячної енергії (Priadkina et al., 2020; Stasik et al., 2021).

Серед найбільш перспективних шляхів для підвищення засвоєння вуглецю посівом вважають посилення експресії генів, пов'язаних з ефективнішим використанням світла (Slattery, Ort, 2021; Leister, 2023). Зокрема, показано, що у високопродуктивного сорту озимої пшениці регуляція енергетичного балансу фотосинтетичного процесу ефективніша, ніж у менш продуктивного сорту (Priadkina, Morgun, 2016). Вважається, що збільшення швидкості перетворення зеаксантину на віолаксантин за рахунок збільшення експресії генів, пов'язаних із пігментами віолаксантинового циклу, є істотним резервом підвищення ефективності фотосинтезу та продуктивності посіву. Поліпшення механізмів регулювання використання поглиненої фотосинтетичним апаратом енергії сонячної радіації може сприяти більшій ефективності її перетворення на біомасу і, в кінцевому підсумку, збільшенню продуктивності рослин (Slattery, Ort, 2021).

Виявлено тісну позитивну кореляцію показників потужності розвитку фотосинтетичного апарату посіву (маси листків рослин з одиниці площі і хлорофільного індексу) в репродуктивний період з урожайністю сортів і ліній озимої пшениці (Priadkina et al., 2024). Отримані результати свідчать про те, що показники потужності розвитку асиміляційної поверхні — маса листків рослин з одиниці площі посіву і хлорофільний індекс у фазу молочно-воскової стиглості — можуть бути використані в якості маркерів зернової продуктивності озимої пшениці, а також для розробки критеріїв селекції та оцінки генотипів озимої пшениці на високу продуктивність.

Відомо, що кліматичні зміни є істотним чинником стагнації рівня врожайності пшениці у світі в останні два десятиліття. Однією зі стратегій подальшого збільшення виробництва пшениці, необхідність якого диктується значним ростом споживання в глобальному масштабі, вважають створення не тільки високоврожайних, а й високопосухостійких сортів із використанням у процесі селекції фізіологічних ознак — маркерів посухостійкості (Bapela et al., 2022; Raza et al., 2025). При цьому необхідно знати, які фізіологічні механізми важливі для підтримання продукційного процесу за умов водного стресу задля поліпшення їх при застосуванні генетико-селекційниих методів (Senapati et al., 2019; Adel, Carels, 2023). Проте, така робота ускладнюється тим, що посухостійкість

— комплексна ознака, яка характеризує здатність рослинного організму зберігати основні функції за умов дефіциту вологи, і в першу чергу, максимально реалізувати генетичний потенціал врожайності (Alsamman et al., 2021; Zahra et al., 2023).

Реакція рослин на посуху включає низку процесів на молекулярному, клітинному, організменому та ценотичному рівнях і залежить від виду й сорту рослин, тривалості та жорсткості посухи, фази онтогенетичного розвитку тощо. Складність і багатокомпонентність реакції рослинного організму на посуху зумовлює значні труднощі селекції на посухостійкість (Farooq et al., 2024). Пряма селекція на продуктивність за умов посухи ускладнюється полігенністю ознаки та як результат — низькою її успадковуваністю, епістатичною взаємодією генів, значною залежністю від взаємодії генотип–середовище. Тому в останні роки значний інтерес викликають дослідження можливостей селекції за фізіологічними ознаками, що визначають або тісно корелюють із продуктивністю за умов посухи (Bapela et al., 2022; Raza et al., 2025). При цьому зростає актуальність порівняльних досліджень контрастних за стійкістю сортів (фенотипування) з метою виявлення фізіологічних показників, що визначають посухостійкість і мають стійкий кореляційний зв'язок із зерновою продуктивністю за умов посухи (Furbank et al., 2019; Wasaya et al., 2021).

Виходячи із загальнофізіологічних міркувань, найбільш перспективними є показники функціонального стану фотосинтетичного апарату, оскільки саме фотосинтез визначає продуктивність рослини. Численні експериментальні дані свідчать про те, що фотосинтетичні показники корелюють із продуктивністю озимої пшениці як за оптимальних, так і несприятливих умов вирощування (Priadkina, Morgun, 2016; Stasik et al., 2021). Показано існування значної міжсортової варіабельності стійкості фотосинтетичного апарату рослин пшениці до посухи, яка відображає генетично зумовлену здатність рослинного організму адаптуватися та підтримувати фотосинтетичну активність за дефіциту зволоження.

Фотосинтетична фіксація CO_2 і транспірація — найчутливіші до зниження вологості ґрунту чи повітря процеси, проте внутрішні причини зниження їхньої інтенсивності різняться залежно від тривалості та жорсткості посухи (Bandurska, 2022; Zahra et al., 2023). Тому дослідження останнім часом зосереджені на з'ясуванні особливостей функціонування фотосинтетичного апарату пшениці різних генотипів за дії посухи з метою розкриття захисних механізмів, які пом'якшують її негативний вплив і таким чином сприяють реалізації генетичного потенціалу продуктивності за змінних умов довкілля. Особлива увага приділяється пошуку фізіологічних маркерів високої продуктивності та стійкості до дії стресора, які можуть бути використані у селекційних програмах.

Виявлено, що на підставі сукупності результатів вимірювання вмісту хлорофілу й газообміну прапорцевих листків рослин за дії посухи та у відновний період різні сорти пшениці можна ранжувати за ступенем стійкості до нестачі вологи в ґрунті та високої температури (Kedruk et al., 2021). В умовах вегетаційного досліду за дії помірної посухи в період колосіння–цвітіння виявлено тісний позитивний кореляційний зв'язок між вмістом хлорофілу, інтенсивністю транспірації і фотосинтезу прапорцевого листка та зерновою продуктивністю колоса сортів озимої пшениці (Morgun et al., 2016b, 2019). Отже, зміни фотосинтетичних показників за помірної ґрунтової посухи характеризують стійкість сорту і можуть слугувати маркерами посухостійкості (Kiriziy et al., 2024a).

Аналіз морфологічних показників фотосинтетичного апарату засвідчує, що окрім безпосереднього впливу цього стресового чинника на площу асиміляційної поверхні рослини, він впливає на поглинання та ефективність перетворення світлової енергії на біомасу, а також на ремобілізацію фотосинтетично асимільованого вуглецю з нелисткових органів пшениці (Priadkina et al., 2020). Висвітлено роль антиоксидантних ферментів хлоропластів, які запобігають спричиненому дією посухи накопиченню активних форм кисню і тим самим запобігають структурним і функціональним порушенням у хлоропластах і деградації хлорофілу (Priadkina et al., 2022). Аналіз літературних даних і власних результатів показав, що толерантність фотосинтетичного апарату рослин пшениці різних генотипів до посухи зумовлена багатьма механізмами. Тому перспективною стратегією підвищення стійкості посівів пшениці до посухи

може бути поєднання кількох механізмів в одному генотипі.

Розроблено методичні підходи до скринінгу генотипів пшениці на посухостійкість за фізіологічними ознаками. Виходячи з того, що існує певна міжсортова різниця за показниками газообміну прапорцевих листків за нормальних умов, а також їхнім варіюванням протягом онтогенезу рослин, абсолютні значення досліджуваних параметрів за стресових умов не завжди адекватно можуть відображати специфіку реакції окремих сортів на дію стресора. Тому для оцінки стрестолерантності сортів доцільно використовувати розрахунки відносних змін фізіологічних показників за стресових умов порівняно із контрольними значеннями окремо для кожного сорту та періоду вимірювання. Наприклад, зміни вмісту хлорофілу в прапорцевому листку після 7 діб посухи корелювали зі змінами маси зерна з рослини з коефіцієнтом 0,92. Отже, цей фізіологічний показник можна використовувати в якості селекційного критерію для оцінки стресотолерантності генотипів (Morgun et al., 2016b; Stasik et al., 2021).

Узагальнюючи результати цих досліджень, можна стверджувати, що підтримання фотосинтетичної функції рослини за умов недостатнього вологозабезпечення завдяки мінімізації падіння оводненості листків, вмісту хлорофілу, інтенсивності фотосинтезу, посиленню активності антиоксидантних ферментів відіграє визначальну роль у зменшенні втрат зернової продуктивності. Відносні зміни цих фізіологічних показників у підданих посусі рослин можуть слугувати маркерами посухостійкості конкретного генотипу, а їхнє поліпшення селекційним та біотехнологічним шляхом сприятиме створенню нових більш посухотолерантних сортів пшениці. В узагальненому вигляді результати обговорюваних вище досліджень представлені у табл. 1.

Серед сучасних перспективних підходів у селекції нових форм сільськогосподарських рослин (зокрема, пшениці), стійких до біотичних та абіотичних стресових чинників довкілля, є застосування методів генетичної інженерії, які дозволяють підвищити ефективність створення нових генотипів, стійких до посухи (El-Mouhamady et al., 2023; Raza et al., 2025). Упродовж останнього часу було досягнуто певного прогресу у визначенні основних регуляторів посухостійкості пшениці, а також за допомогою різних методів трансформації створено трансгенні рослини зі зміненою експресією генів, що відповідають за посухостійкість (Khan et al., 2019; Kiriziy et al., 2024c, and references therein).

Одним із найбільш перспективних підходів до створення посухостійких генотипів пшениці є використання генів, які контролюють синтез і катаболізм проліну (Dubrovna et al., 2022). У ряді випадків доведена кореляція між вмістом проліну та підвищенням рівня стійкості фотосинтетичного апарату трансгенних рослин (Kiriziy et al., 2021). Так, проведено порівняльні дослідження фізіологічних показників фотосинтетичного апарату трансформованих рослин пшениці, що містять дволанцюговий РНК-супресор гена проліндегідрогенази (створених генетиками ІФРГ НАН України), та вихідного генотипу як за умов посухи, так і в період відновлення, а також зернової продуктивності рослин. Останні характеризуються підвищеним вмістом проліну порівняно з диким типом як за нормальних умов, так і дії стресора внаслідок інгібування його катаболізму. Виявлено, що водний дефіцит і вміст хлорофілів у листках трансформантів за посухи практично не змінювались (Kiriziy et al., 2024c). Інтенсивність асиміляції CO_2 у листках дослідних трансформованих рослин за умов посухи та в період відновлення була істотно вищою, ніж у дослідних рослин вихідної лінії. Показано, що при однаковій продиховій провідності інтенсивність фотосинтезу в листках трансформантів перевищувала показники вихідної лінії. Відповідно, перші були більш ефективні у використанні води при фотосинтезі як за умов посухи, так і в період відновлення оптимальної вологості ґрунту. За майже однакових рівнів активності головних антиоксидантних ферментів — супероксиддисмутази та аскорбатпероксидази — хлоропластів у рослин обох досліджених генотипів за стресових умов, у період відновлення у листках трансформантів вона поверталася до контрольного рівня швидше, ніж у рослин вихідної лінії. Семидобова посуха в критичний для пшениці період колосіння–цвітіння негативно позначилася на продуктивності рослин обох генотипів, але внаслідок зазначених вище переваг фотосинтетичного апарату листків у рослин трансформантів ступінь цього впливу проявився значно менше, ніж у вихідної лінії. Маса зерна у рослин трансформантів,

Таблиця 1. **Фізіологічні та морфологічні ознаки, рекомендовані як фенотипові маркери при селекції пшениці на продуктивність, а також на посухостійкість за їхніми відносними змінами за стресових умов порівняно із контрольними значеннями**

Table 1. **Physiological and morphological traits recommended as phenotypic markers in wheat breeding for productivity, as well as for drought resistance, according to their relative changes under stress conditions compared with control values**

Рівень організації	Фізіологічні та морфологічні ознаки	Посилання
Молекулярно-клітинний	Велика кількість хлоропластів у клітинах; підвищений вміст хлорофілу в одному хлоропласті; високі фотохімічна активність фотосистеми II в хлоропластах та карбоксилазна активність Рубіско; менша частка нефотохімічних втрат поглиненої світлової енергії; повільніша деградація Рубіско і збереження більшого його вмісту в листках протягом наливання зерна; інтенсифікація функціонування антиоксидантних ферментів хлоропластів; ефективні механізми регулювання використання поглиненої фотосинтетичним апаратом енергії сонячної радіації	Morgun et al., 2016b; Slattery, Ort, 2021; Stasik et al., 2021; Priadkina et al., 2022, 2023; Leister, 2023
Органний	Підвищені площа та питома маса листків, вміст хлорофілу на одиницю маси, тривалість активного функціонування листкової поверхні протягом вегетації	Faralli, Lawson, 2020; Araus et al., 2021; Zhu et al., 2022
Організмений	Збільшення фонду резервних вуглеводів, які накопичуються в стеблах до та під час цвітіння; підвищення ефективності використання азоту за рахунок зменшення конкуренції між вегетативними і генеративними органами за азот після цвітіння та посилення його поглинання	Tarasiuk, Stasik, 2022; Morgun et al., 2022, 2024; Kandić et al., 2023; Ntawuguranayo et al., 2024; Tian et al., 2024
Ценотичний	Інтенсивне наростання площі листкової поверхні на ранніх фазах росту та пришвидшене змикання листкового покриву агроценозу; висока ефективність асиміляційної діяльності листків нижніх ярусів; збільшення хлорофільного індексу та хлорофільного фотосинтетичного потенціалу в репродуктивний період.	Slattery, Ort, 2021; Murchie et al., 2023; Priadkina et al., 2024

підданих посусі, була майже на третину більшою, ніж у вихідної лінії (Kiriziy et al., 2024c).

Отже, дослідження фізіолого-біохімічних особливостей генетично трансформованих рослин пшениці з підвищеним вмістом проліну, зокрема реакції їхнього фотосинтетичного апарату на ґрунтову посуху, довели перспективність їхнього залучення у селекційний процес для створення посухостійких сортів (табл. 2).

Таким чином, аналіз літературних і наших власних даних свідчить про те, що значні успіхи в підвищенні врожайності сільськогосподарських культур, і зокрема пшениці, за останні десятиліття пов'язані з поліпшенням характеристик фотосинтетичного апарату. Основою для подальшого генетичного вдосконалення нових сортів озимої пшениці може слугувати підвищення активності фотосинтетичного апарату на рівні листка і посіву в тісному взаємозв'язку з оптимізацією росту та розподілу біомаси між органами рослини з урахуванням онтогенетичної динаміки продукційного процесу.

Фізіолого-генетичні дослідження з підвищення ефективності функціонування бобово-ризобіального симбіозу

Окрім пшениці, значне місце у світовому землеробстві посідають бобові культури, які забезпечують отримання переважної кількості рослинного білка та олії. Їх вирощують на всіх континентах, оскільки вони відіграють вирішальну роль у зерновому, харчовому та кормовому балансах та поліпшують родючість ґрунту. Разом із підвищенням в останні десятиліття врожайності бобових зросла необхідність підтримання високого рівня білка в рослинній масі та зерні, що у свою чергу посилило потребу рослин в азоті. Відомо, що завдяки біологічній фіксації азоту з повітря бобові рослини забезпечують 40–70% необхідного азоту, а решту — з доступного мінерального азоту ґрунту (Kots, 2016).

Практика інокуляції насіння азотофіксувальними бактеріями бобових культур давно успішно запроваджена в усьому світі, оскільки покращує азотфіксацію та врожайність. Це

Таблиця 2. **Фізіолого-біохімічні особливості генетично модифікованих рослин пшениці із підвищеним вмістом проліну внаслідок часткової супресії гена проліндегідрогенази**

Table 2. **Physiological and biochemical features of genetically modified wheat plants with increased proline content due to partial suppression of the proline dehydrogenase gene**

Рівень організації	Фізіолого-біохімічні особливості	Посилання
Тканинний	Підвищений в 1,5–2,0 раза вміст проліну порівняно з диким типом як за нормальних умов, так і дії стресора; краща гомеостатична регуляція активності антиоксидантних ферментів хлоропластів	Kiriziy et al., 2021; 2024c; Dubrovna et al., 2022
Органний	Стабілізація водного режиму і вмісту хлорофілів за посухи; вища інтенсивність асиміляції CO_2 у листках трансформованих рослин як за умов посухи, так і в період відновлення; за однакової продихової провідності інтенсивність фотосинтезу та ефективність використання води в листках трансформантів вища, ніж у вихідної лінії	Kiriziy et al., 2021, 2024c
Організмений	Підтримання зернової продуктивності у підданих посусі рослин-трансформантів на вищому рівні, ніж у вихідної лінії	Kiriziy et al., 2021, 2024c;

доступне, екологічно чисте та високоефективне джерело азоту в сільськогосподарських ґрунтах. Застосування препаратів на основі бульбочкових бактерій, селекціонованих за ознаками конкурентоспроможності, активності асиміляції атмосферного азоту, генетичної спорідненості до виду і сорту рослин, толерантності до біотичних чинників довкілля сприяє підвищенню активності азотфіксації у кореневих бульбочках протягом вегетації рослин, а також зростанню інтенсивності фотосинтезу, збільшенню врожаю та вмісту білка в рослинній продукції (Kots, 2016, 2021).

В ІФРГ НАН України виконано багаторічні дослідження фізіолого-біохімічних та молекулярно-генетичних особливостей формування й функціонування азотофіксувальних систем бобові рослини–бульбочкові бактерії, злакові рослини–асоціативні мікроорганізми та розроблено заходи щодо інтенсифікації біологічного зв'язування молекулярного азоту.

Виведено низку високопродуктивних сортів сої з підвищеною азотофіксувальною активністю. Методами аналітичної селекції, гібридизації й транспозонового мутагенезу створено високоактивні конкурентоспроможні штами бульбочкових бактерій сої, гороху, люпину, сочевиці, козлятнику, люцерни і конюшини (Kots, 2021). Зокрема, методом неспецифічного транспозонового мутагенезу з використанням плазміди pSUP2021::Tn5, що несе транспозон Tn5 (Reznikoff, 2008), створено високоефективні конкурентоспроможні штами бульбочкових бактерій гороху, люцерни та конюшини. Вперше доведено можливість застосування цієї плазміди для транспозонового мутагенезу штамів *Bradyrhizobium japonicum* 646, 614a, 71т з частотою транспозиції 10^{-6}–10^{-7}. Встановлено, що використання плазміди pSUP5011::Tn5 ефективніше для інсерції Tn5-транспозону в геном повільнорослих бактерій штамів *B. japonicum* 646, М634б і дає змогу отримати широкий спектр Tn5-мутантів. Виявлено наявність фрагменту гена неоміцинфосфотрансферази у Tn5-мутантів *B. japonicum*, що підтверджує інтеграцію в їх геном транспозону Tn5 (Kots, 2021).

За допомогою векторної плазміди pSUP2021::Tn5 було отримано низку мутантів різних штамів бульбочкових бактерій люпину, зокрема штамів 10, 168, 359a, при цьому частота утворення канаміциностійких клонів становила 10^{-7}–10^{-9}. Також проведено мутагенез низки штамів *Rhizobium galegae* за допомогою плазмідного вектора pSUP5011::Tn5*mob* (Vorobey et al., 2017). У результаті селекції Tn5-мутантів *R. galegae* за ознаками "вірулентність", "азотфіксація", "ефективність симбіозу" відібрано генетично марковані ризобії з поліпшеними властивостями. Отримані дані вказують на можливість створення ефективних симбіотичних систем *Galega orientalis* L.–Tn5-мутанти *R. galegae* (Vorobey, Kots, 2018).

Базуючись на аналізі відомих методів відбору активних штамів ризобій розроблено стратегію первинного скринінгу бульбочкових бактерій сої *Bradyrhizobium japonicum* за симбіотичними властивостями в умовах модельних вегетаційних дослідів. Рослини сої інокулювали отриманими методом транспозонового мутагенезу мутантами *B. japonicum*, з використанням плазмідного вектора pSUP5011::Tn5. За

господарсько-корисними властивостями (азотофіксувальна активність, вірулентність, нодуляція, стимуляція росту надземної маси рослин сої) проведено селекцію ризобій. Виявлено відмінності між транспозоновими мутантами *B. japonicum* щодо здатності викликати утворення бульбочок на коренях рослини-хазяїна, а також динаміки та інтенсивності асиміляції атмосферного азоту симбіотичними системами соя–ризобії (Kots, 2021). Вказано на доцільність проведення селекції мікросимбіонтів не лише на ранніх етапах формування симбіотичних систем сої, а й у найактивнішу фазу їхнього функціонування. Це дозволяє відібрати штами з різними типами динаміки азотофіксувальної активності, включно з найбільш агресивними та високовірулентними на етапі становлення симбіозу. Було відібрано (табл. 3) Tn5-мутанти з поліпшеним симбіотичним фенотипом порівняно зі штамом-контролем *Bradyrhizobium japonicum* 634б (Vorobey, Kots, 2018).

Іншим важливим напрямом стали дослідження механізму біологічного зв'язування молекулярного азоту атмосфери за симбіотичних взаємовідносин бобових рослин і бульбочкових бактерій, пошук важелів інтенсифікації цього процесу, розробка заходів з оптимізації умов для максимальної реалізації генетично закладеного азотофіксувального потенціалу макро- і мікросимбіонтів — бобових рослин і бульбочкових бактерій (Kots, Gryshchuk, 2019; Kots, Mykhalkiv, 2019).

Встановлено, що в бактероїдах люпину відповідальний за фіксацію молекулярного азоту фермент нітрогеназа складається з двох білкових компонентів — залізовмісного і молібденозалізовмісного. Доведено, що нітрогеназа бактероїдів люпину за багатьма фізико-хімічними параметрами подібна до нітрогенази, виділеної з інших мікроорганізмів-азотфіксаторів. Виявлено також, що чисті культури бульбочкових бактерій здатні синтезувати нітрогеназу та фіксувати молекулярний азот (Kots, 2016, 2021).

Значущими для ризобій також є кореневі виділення бобових рослин, які містять низку речовин, що здатні суттєво впливати на популяції симбіотичних азотфіксаторів у екотопі, стимулювати або пригнічувати їхню активність. Було показано, що умови вирощування бобових, зокрема внесення в субстрат різних доз азотних добрив, значною мірою впливають на процес ексудації у рослин (Kots, 2016, 2021). Доведено, що ексудати насіння бобових можуть стимулювати ростову активність ризобій та впливати на здатність специфічних бульбочкових бактерій формувати симбіотичні взаємовідносини з рослинами. Спрямованість дії ексудатів насіння визначається їхньою концентрацією, тривалістю періоду проростання насіння, сортом рослин, симбіотичними характеристиками штамів-інокулянтів.

При дослідженні особливостей лектинів бобових рослин і полісахаридів ризобій показано, що ці сполуки не лише беруть безпосередню участь у процесах взаємного розпізнавання симбіонтами один одного на первинних етапах утворення та розвитку симбіотичних відносин між рослиною-хазяїном і бульбочковими бактеріями, а й виконують роль сигнальних молекул і біологічно активних речовин, що сприяє подальшому формуванню та функціонуванню азотофіксувальної симбіотичної системи. Встановлено специфічність модуляторного впливу лектинів на формування і подальше функціонування симбіозу, що виявляється в стимулюванні гомологічним лектином партнерів симбіозу та здебільшого нейтральній або супресорній дії лектину, невідповідного цим симбіонтам. Отримані результати засвідчують, що лектини як рецепторні молекули беруть участь не лише на перших етапах взаємодії ризобій із коренями рослини-хазяїна, а й виконують роль сигнальних молекул і біологічно активних речовин у подальшому формуванні та функціонуванні азотофіксувальної симбіотичної системи. Вперше встановлено пряму залежність між лектиновою та азотофіксувальною активностями бульбочок люпину і сої, що вказує на безпосередню участь лектинів у роботі азотофіксувального апарату (Kots, 2016, 2021).

Серед численних наукових доробок у галузі лектинології особливе місце належить вивченню біологічної активності отриманих із різних сортів і видів бобових рослин лектинів, що належать до однієї групи вуглеводної специфічності та таких, що мають певні відмінності щодо ступеня їхньої взаємодії з окремими вуглеводами. Дослідження особливостей ефекторної дії таких лектинів показало, що гемаглютиніни по різному впливають на формування бульбочок на головному та бічних коренях рослин, а також на активність розвитку симбіозу на ранніх етапах його становлення (Kots, 2016, 2021).

Таблиця 3. **Нові високоефективні конкурентоздатні штами азотофіксувальних мікроорганізмів, селекціоновані в Інституті фізіології рослин і генетики НАН України**

Table 3. **New highly efficient competitive strains of nitrogen-fixing microorganisms, selected at the Institute of Plant Physiology and Genetics of the NAS of Ukraine**

Штам	Метод селекції	Зелена маса		Зерно		Примітка
		прибавка до базового штаму		прибавка до базового штаму		
		ц/га	%	ц/га	%	
Rhizobium leguminosarum bv. *trifolii* BN9, високовірулентний, високотехнологічний, із підвищеною азотфіксувальною активністю	Гібридизація (міжродова кон'югація із *Escherichia coli* jC5466)	34–40	14–16	–	–	Патент на корисну модель № 21785 (Україна). Опубл. 10.04.2007. Бюл. № 4
Rhizobium leguminosarum bv. *viciae* M1, із підвищеною азотфіксувальною активністю	Транспозоновий мутагенез (*E. coli* pSUP2021::Tn5)	–	–	3,6–5,2	11–15	Патент на винахід № 81577 (Україна). Опубл. 10.01.2008. Бюл. № 5
Bradyrhizobium japonicum B20 (B-7538), азотостійкий, із розширеним спектром комплементарності до різних сортів сої	Транспозоновий мутагенез *B. japonicum* 646 (базовий) із *E. coli* (pSUP 2021::Tn5)	–	–	3,2–5,4	12,1–23,7	Патент на корисну модель №126060 (Україна). Опубл. 11.06.2018. Бюл. № 11
Sinorhizobium meliloti AC08 (B-7411), азотостійкий	Аналітична селекція (виділення із кореневих бульбочок)	42,6–59,5	11,3–14,2	–	–	Патент на винахід №111391 (Україна). Опубл. 25.04.2016. Бюл. № 8
Rhizobium galegae K50 (B-7551), адаптований до ґрунтово-кліматичних умов Лісостепу України	Транспозоновий мутагенез *Rhizobium galegae* MC1 (базовий) із *E. coli* (pSUP 5011::Tn5*mob*)	16,3–67,4	13,4–20,4	–	–	Патент на корисну модель №138542 (Україна). Опубл. 25.11.2019. Бюл. № 22
Rhizobium leguminosarum bv. *viciae* T2 (B-7837), конкурентоздатний, із підвищеною азотфіксувальною активністю	Аналітична селекція (виділення із кореневих бульбочок)	–	–	2,1–2,5	11,3–13,9	Патент на корисну модель №142382 (Україна). Опубл. 10.06.2020. Бюл. № 11
Sinorhizobium meliloti IMB B-7539, конкурентоздатний, ефективний за недостатнього вологозабезпечення	Аналітична селекція (виділення із кореневих бульбочок)	32,5–43,6	11,7–16,5	–	–	Патент на винахід №126191 (Україна). Опубл. 25.08.2022. Бюл. № 34
Bradyrhizobium japonicum B78, конкурентоздатний, азотостійкий	Транспозоновий мутагенез *B. japonicum* 646 (базовий) із *E. coli* (pSUP 5011::Tn5*mob*)	–	–	2,2–3,9	12,0–13,6	Підготовлено до патентування
Bradyrhizobium japonicum D87, конкурентоздатний, азотостійкий	Транспозоновий мутагенез *B. japonicum* 646 (базовий) із E. coli (pSUP 5011::Tn5*mob*)	–	–	2,9–4,4	12,8–15,2	Підготовлено до патентування

Виявлено, що концентрація лектину великою мірою визначає характер його впливу на формування та функціонування симбіотичних систем. Активність азотфіксації, бульбочкоутворення та формування надземної маси рослин сої збільшується або зменшується у

випадку внесення бінарних композицій лектинів насіння сої та гороху в культуру ризобій. На основі отриманих результатів теоретично та експериментально обґрунтовано створення нового класу лектин-бактеріальних композицій, доведено ефективність їхньої дії за передпосівної обробки насіння сільськогосподарських рослин як біотехнологічних елементів екологічного землеробства (Kots, 2016, 2021).

Зроблено вагомий внесок у вивчення взаємозв'язків азотфіксації, фотосинтезу та дихання, впливу мінерального азотного живлення, регуляторів росту рослин і фунгіцидів на інтенсивність цих процесів у бобових культур (Kots et al., 2022; Kiriziy et al., 2024b). У результаті проведених досліджень розроблено заходи щодо інтенсифікації процесу симбіотичної азотфіксації з метою підвищення продуктивності зернобобових культур і багаторічних бобових трав за рахунок біологічного азоту (Kots, 2016, 2021).

Важливим напрямом досліджень є вивчення реакції рослинно-бактеріальних систем на дію різноманітних чинників довкілля, зокрема недостатнього водозабезпечення, та пошук шляхів оптимізації їхнього функціонування за несприятливих умов (Lopez et al., 2019). Експериментально доведено можливість підвищення продуктивності бобових за посушливих умов внаслідок регуляції процесів становлення симбіотичних взаємовідносин між рослинами та мікроорганізмами за допомогою фізіологічно активних речовин, а також інтенсифікації функціонування азотофіксувальних систем (Kiriziy et al., 2022). Показано підвищення за обробки лектином інтенсивності асиміляції CO_2 та вмісту фотосинтетичних пігментів у рослинах сої, як за умов оптимального вологозабезпечення, так і за посухи, причому максимальний ефект цей білок виявляв як компонент інокуляційної суспензії.

Розроблено та впроваджено у виробництво мікробні препарати нового покоління — ризостим, ризостим-М та азолек на основі комплексу штамів азотофіксувальних мікроорганізмів і природних біополімерів, які за технологічністю й ефективністю перевершують вітчизняні та зарубіжні аналоги (Kots, 2016, 2021). Створено одну з найбільших в Україні унікальну колекцію штамів симбіотичних та асоціативних азотофіксувальних мікроорганізмів, яка підтримується у життєздатному стані, налічує понад 880 культур і визнана національним надбанням.

Фізіологія як науково-практичне підґрунтя розвитку технологій для максимального розкриття генетичного потенціалу продуктивності культурних рослин

Відомо, що для максимального розкриття генетичного потенціалу продуктивності культурних рослин необхідно створити певні умови шляхом застосування високоефективних систем їхнього живлення та захисту. Тому в ІФРГ НАН України велика увага приділяється генетичним і молекулярним аспектам регуляції мінерального живлення рослин, розробці та впровадженню інтегрованих систем живлення і захисту високопродуктивних сортів озимої пшениці та інших культур. Фізіолого-біохімічне обґрунтування передпосівного збагачення насіння мікроелементами останнім часом розвинуто в напрямі інтеграції систем забезпечення доступними пулами макро- та мікроелементів із сучасними препаратами для захисту посівів від сходів до збору врожаю, в тому числі й синергічними комплексами протруйників. Вивчаються також питання стійкості рослин до забруднення навколишнього середовища важкими металами та радіонуклідами, захисту культурних рослин від хвороб, шкідників та бур'янів (Schwartau, Mykhalska, 2016, 2022).

У рамках розвитку цього напряму обґрунтовано фізіологічні основи живлення та захисту сільськогосподарських культур, у тому числі й високопродуктивних сортів озимої пшениці, що є науковим фундаментом створення високоефективних технологій у рослинництві України. Встановлено механізми регуляції активності пестицидів за впливу фону живлення, синергістів та антидотів (Schwartau, Mykhalska, 2016).

Для нарощування продуктивності й рентабельності зерновиробництва за дії біотичних стресів створено технології живлення зернових культур із високою ефективністю використання азоту. Розроблено спосіб покриття гранульованого карбаміду для підвищення ефективності використання азоту з добрив рослинами, в тому числі й за нестачі вологи.

Для запобігання виникнення резистентності збудників шкодочинних хвороб до пестицидів створено системи контролювання альтернаріозів і фузаріозів зернових культур композиціями фунгіцидів та добрив. Впроваджено системи живлення хлором для протидії утворенню фізіологічних плямистостей листків рослин і

втрати хлорофілу в період наливання зерна в посівах зернових колосових культур. Для посівів соняшника, сої та інших борозалежних культур розроблено технології основного живлення, які забезпечують рослини бором від сходів до збору врожаю та істотно підвищують урожайність культур (Schwartau, Mykhalska 2016).

Розроблено технології синергічного посилення активності сучасних ретардантів на посівах зернових колосових культур. Виявлено зміни концентрації внутрішньоклітинного кальцію як першочергову реакцію у механізмі дії сучасних ретардантів. Фундаментальні дослідження основ іонного гомеостазу та механізму дії пестицидів дали змогу розробити високоефективні інтегровані системи живлення та захисту, які широко впроваджуються багатьма провідними сільськогосподарськими підприємствами України.

Висновки

Високорозвинуте аграрне виробництво є запорукою продовольчої безпеки будь-якої держави. З цього погляду Україна не тільки забезпечує власні потреби в основних продуктах харчування, а й робить вагомий внесок у вирішення даної проблеми в глобальному масштабі. Вона впевнено посідає місце серед провідних агропромислових держав світу і частка аграрного сектора в її економіці та експортному потенціалі невпинно зростає. Виклики воєнного часу, зокрема скорочення посівних площ через ведення бойових дій, вимагають інтенсифікації використання тих, що залишилися в обороті, тобто підвищення збору продукції з одиниці площі та зменшення її втрат від впливу несприятливих абіотичних і біотичних чинників.

Запорукою отримання високих врожаїв сільськогосподарських культур є високоінтенсивні сорти, стійкі до впливу стресових чинників довкілля, і технології, які сприяють максимальному розкриттю їхнього генетичного потенціалу продуктивності. Наведені в огляді дані свідчать про те, що фізіологія рослин є важливою складовою досліджень, спрямованих на генетичне поліпшення рослин і розробку нових технологій їхнього вирощування. Незважаючи на труднощі сучасної соціально-економічної і воєнно-політичної ситуації, вітчизняні фізіологія рослин разом із генетикою і селекцією утворюють фундамент, на якому ґрунтується аграрне виробництво країни і без якого неможливий його подальший прогрес.

ДОТРИМАННЯ ЕТИЧНИХ НОРМ

Автори повідомляють про відсутність будь-якого конфлікту інтересів.

ORCID

С.Я. Коць https://orcid.org/0000-0002-3477-793X
О.О. Стасик https://orcid.org/0000-0001-5023-2529
Д.А. Кірізій https://orcid.org/0000-0001-6079-893X
В.В. Моргун https://orcid.org/0000-0001-5842-6328

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

Abbo S., Gopher A. 2020. Plant domestication in the Neolithic Near East: The humans-plants liaison. *Quaternary Science Reviews*, 242: art. 106412. https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2020.106412

Adel S., Carels N. 2023. Plant tolerance to drought stress with emphasis on wheat. *Plants*, 12: 2170. https://doi.org/10.3390/plants12112170

Alsamman A.M., Bousba R., Baum M., Hamwieh A., Fouad N. 2021. Comprehensive analysis of the gene expression profile of wheat at the crossroads of heat, drought and combined stress. *Highlights in BioScience*, 4: 1–14. https://doi.org/10.36462/H.BioSci.202104

Araus J.L., Ferrio J.P., Buxo R., Voltas J. 2007. The historical perspective of dryland agriculture: lessons learned from 10000 years of wheat cultivation. *Journal of Experimental Botany*, 58(2): 131–145. https://doi.org/10.1093/jxb/erl133

Araus J.L., Sanchez-Bragado, R., Vicente R. 2021. Improving crop yield and resilience through optimization of photosynthesis: panacea or pipe dream? *Journal of Experimental Botany*, 72(11): 3936–3955. https://doi.org/10.1093/jxb/erab097

Bandurska H. 2022. Drought stress responses: coping strategy and resistance. *Plants*, 11: 922. https://doi.org/10.3390/plants11070922

Bapela T., Shimelis H., Tsilo T., Mathew I. 2022. Genetic improvement of wheat for drought tolerance: Progress, challenges and opportunities. *Plants*, 11: 1331. https://doi.org/10.3390/plants11101331

Condon A.G. 2020. Drying times: plant traits to improve crop water use efficiency and yield. *Journal of Experimental Botany*, 71(7): 2239–2252. https://doi.org/10.1093/jxb/eraa002

Dubrovna O.V., Mikhalska S.I., Komisarenko A.G. 2022. Using of proline metabolism genes in plant genetic engineering. *Cytology and Genetics*, 56(4): 361–378. https://doi.org/10.3103/S009545272204003X

El-Mouhamady A., El-Hawary M., Habouh M. 2023. Transgenic wheat for drought stress tolerance: a review. *Middle East Journal of Agriculture Research*, 12(1): 77–94. https://doi.org/10.36632/mejar/2023.12.1.7

Faralli M., Lawson T. 2020. Natural genetic variation in photosynthesis: an untapped resource to increase crop yield potential? *The Plant Journal*, 101: 518–528. https://doi.org/10.1111/tpj.14568

Farooq M., Wahid A., Zahra N., Hafeez M.B., Siddique K.H.M. 2024. Recent advances in plant drought tolerance. *Journal of Plant Growth Regulation*, 43: 3337–3369. https://doi.org/10.1007/s00344-024-11351-6

Furbank R.T., Jimenez-Berni J.A., George-Jaeggli B., Potgieter A.B., Deery D.M. 2019. Field crop phenomics: enabling breeding for radiation use efficiency and biomass in cereal crops. *New Phytologist*, 223: 1714–1727. https://doi.org/10.1111/nph.15817

Gaju O., Vincent A., Martre P., Le Gouis J., Moreau D., Bogard M., Hubbart-Edwards S., Foulkes M. 2013. Nitrogen partitioning and remobilization in relation to leaf senescence, grain yield and grain nitrogen concentration in wheat cultivars. *Field Crops Research*, 155: 213–223. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2013.09.003

Kandić V., Savić J., Raňcić D., Dodig D. 2023. Contribution of agro-physiological and morpho-anatomical traits to grain yield of wheat genotypes under post-anthesis stress induced by defoliation. *Agriculture*, 13: 673. https://doi.org/10.3390/agriculture13030673

Katamadze A., Vergara-Díaz O., Uberegui E., Yoldi-Achalandabaso A., Araus J. L., Vicente R. 2023. Evolution of wheat architecture, physiology, and metabolism during domestication and further cultivation: lessons for crop improvement. *The Crop Journal*, 11(4): 1080–1096. https://doi.org/10.1016/j.cj.2023.06.006

Kedruk A.C., Kiriziy D.A., Sokolovska-Sergienko O.G., Stasik O.O. 2021. Response of the photosynthetic apparatus of winter wheat varieties to the combined action of drought and high temperature. *Plant Physiology and Genetics*, 53(5): 387–405. [Кедрук А.С., Кірізій Д.А., Соколовська-Сергієнко О.Г., Стасик О.О. 2021. Реакція фотосинтетичного апарату сортів озимої пшениці на комбіновану дію посухи та високої температури. *Фізіологія рослин і генетика*, 53(5): 387–405.] https://doi.org/10.15407/frg2021.05.387

Khan S., Anwar S., Yu S., Sun M., Yang Z., Gao Z. 2019. Development of drought-tolerant transgenic wheat: achievements and limitations. *International Journal of Molecular Sciences*, 20: 3350. https://doi.org/10.3390/ijms20133350

Kiriziy D.A., Kedruk A.S., Sokolovska-Sergiienko O.G., Dubrovna O.V., Stasik O.O. 2021. Responses of photosynthetic apparatus of genetically modified wheat plants containing a double-stranded RNA suppressor of the proline dehydrogenase gene to drought and high temperature. *Plant Physiology and Genetics*, 53(6): 532–549. https://doi.org/10.15407/frg2021.06.532

Kiriziy D., Kots S., Rybachenko L., Pukhtaievych P. 2022. Inoculation of soybean seeds by rhizobia with nanometal carboxylates reduces the negative effect of drought on N_2 and CO_2 assimilation. *Plant, Soil and Environment*, 68(11): 510–515. https://doi.org/10.17221/287/2022-PSE

Kiriziy D.A., Kedruk A.S., Sokolovska-Sergiienko O.G., Makharynska N.M., Stasik O.O. 2024a. Features of light induction of gas exchange in wheat leaves under drought of different duration and during the recovery period. *Plant Physiology and Genetics*, 56(3): 230–253. [Кірізій Д.А., Кедрук А.С., Соколовська-Сергієнко О.Г., Махаринська Н.М., Стасик О.О. 2024а. Особливості світлової індукції газообміну листків пшениці за впливу посухи різної тривалості та в період відновлення. *Фізіологія рослин і генетика*, 56(3): 230–253.] https://doi.org/10.15407/frg2024.03.230

Kiriziy D., Kots S., Stasik O., Pukhtaievych P., Kukol K., Rybachenko L. 2024b. Effect of inoculation with diazotrophs and treatment with solution of trace elements obtained by nanotechnology on wheat. *Journal of Central European Agriculture*, 25(1): 110–119. https://doi.org/10.5513/JCEA01/25.1.3970

Kiriziy D.A., Stasik O.O., Dubrovna O.V., Sokolovska-Sergiienko O.G., Holoboroda A.S. 2024c. Effect of drought on the leaf photoassimilation activity and productivity of genetically modified wheat plants with partial suppression of the proline dehydrogenase gene. *Plant Physiology and Genetics*, 56(6): 495–514. [Кірізій Д.А., Стасик О.О., Дубровна О.В., Соколовська-Сергієнко О.Г., Голоборода А.С. 2024с. Вплив посухи на фотоасиміляційну активність листків та продуктивність генетично модифікованих рослин пшениці з частковою супресією гена проліндегідрогенази. *Фізіологія рослин і генетика*, 56(6): 495–514.] https://doi.org/10.15407/frg2024.06.495

Kots S.Ya. 2016. The study of biological nitrogen fixation at the Institute of Plant Physiology and Genetics of NAS of Ukraine. *Plant Physiology and Genetics*, 48(3): 215–231. [Коць С.Я. 2016. Дослідження біологічної фіксації азоту в Інституті фізіології рослин і генетики НАН України. *Фізіологія рослин і генетика*, 48(3): 215–231.] https://doi.org/10.15407/frg2016.03.215

Kots S.Ya. 2021. Biological nitrogen fixation: achievements and prospects. *Plant Physiology and Genetics*, 53(2): 128–159. [Коць С.Я. 2021. Біологічна фіксація азоту: досягнення і перспективи розвитку. *Фізіологія рослин і генетика*, 53(2): 128–159.] https://doi.org/10.15407/frg2021.02.128

Kots S.Ya., Gryshchuk O.O. 2019. Phytohormonal regulation of legume-rhizobium symbiosis. *Plant Physiology and Genetics*, 51(1): 3–27. [Коць С.Я., Грищук О.О. 2019. Фітогормональна регуляція бобово-ризобіального симбіозу. *Фізіологія рослин і генетика*, 51(1): 3–27.] https://doi.org/10.15407/frg2019.01.003

Kots S.Ya., Mykhalkiv L.M. 2019. Nitrate reductase and its role in legume-rhizobia symbiosis. *Plant Physiology and Genetics*, 51(5): 371–387. [Коць С.Я., Михалків Л.М. 2019. Нітратредуктаза та її роль у бобово-ризобіальному симбіозі. *Фізіологія рослин і генетика*, 51(5): 371–387.] https://doi.org/10.15407/frg2019.05.371

Kots S., Kiriziy D., Pavlyshche A., Rybachenko L. 2022. Peculiarities of formation and functioning of the soybean-bradyrhizobium japonicum symbiotic apparatus in relation to photosynthetic activity under the influence of seed protectants. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 11(6): e3128. https://doi.org/10.15414/jmbfs.3128

Leister D. 2023. Enhancing the light reactions of photosynthesis: strategies, controversies, and perspectives. *Molecular Plant*, 16(1): 4–22. https://doi.org/10.1016/j.molp.2022.08.005

Liu Y., Zhang P., Li M., Chang L., Cheng H., Chai S., Yang D. 2020. Dynamic responses of accumulation and remobilization of water soluble carbohydrates in wheat stem to drought stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, 155: 262–270. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.07.024

Lopez M.A., Xavier A., Rainey K.M. 2019. Phenotypic variation and genetic architecture for photosynthesis and water use efficiency in soybean (*Glycine max* L. Merr). *Frontiers in Plant Science*, 10: 680. https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00680

Morgun V.V., Stasik O.O., Frantiychuk V.V., Kiriziy D.A., Sytnyk S.K. 2016a. Analysis of relationships between the photosynthetic traits of flag leaf and the components of spike productivity in winter wheat varieties of different selection periods. *Plant Physiology and Genetics*, 48(4): 356–365. [Моргун В.В., Стасик О.О., Франтийчук В.В., Киризий Д.А., Сытник С.К. 2016а. Анализ связи фотосинтетических показателей флагового листа с компонентами зерновой продуктивности колоса у сортов озимой пшеницы разных периодов селекции. *Фізіологія рослин і генетика*, 48(4): 356–365.] https://doi.org/10.15407/frg2016.04.356

Morgun V.V., Stasik O.O., Kiriziy D.A., Pryadkina G.O. 2016b. Relations between reactions of photosynthetic traits and grain productivity on soil drought in winter wheat varieties contrasting in their tolerance. *Plant Physiology and Genetics*, 48(5): 371–381. [Моргун В.В., Стасик О.О., Кірізій Д.А., Прядкіна Г.О. 2016b. Зв'язок реакції фотосинтетичних показників і зернової продуктивності на ґрунтову посуху в контрастних за стійкістю сортів озимої пшениці. *Фізіологія рослин і генетика*, 48(5): 371–381.] https://doi.org/10.15407/frg2016.05.371

Morgun V.V., Stasik O.O., Tarasiuk M.V., Kiriziy D.A. 2024. Storage capacity of different stem parts and its role for grain productivity of short-term drought-exposed winter wheat genotypes contrasting in drought tolerance. *Plant Breeding & Seed Production*, 125: 6–31. https://doi.org/10.30835/2413-7510.2024.306963

Morgun V.V., Stasik O.O., Kiriziy D.A., Sokolovska-Sergiienko O.G. 2019. Effect of drought on photosynthetic apparatus, activity of antioxidant enzymes, and productivity of modern winter wheat varieties. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, 10(1): 16–25. https://doi.org/10.15421/021903

Morgun V.V., Tarasiuk M.V., Priadkina G.A., Stasik O.O. 2022. Depositing capacity of winter wheat stem segments under natural drought during grain filling in Ukrainian Forest Steppe conditions. *Biosystems Diversity*, 30(2): 163–172. https://doi.org/10.15421/012217

Murchie E.H., Reynolds M., Slafer G.A., Foulkes M.J., Siaca L.A., Ausland L.M., Sharwood R., Griffiths S., Flavell R.B., Gwyn J., Sawkins M., Silva E.S. 2023. A 'wiring diagram' for source strength traits impacting wheat yield potential. *Journal of Experimental Botany*, 74(1): 72–90. https://doi.org/10.1093/jxb/erac415

Neupane D., Adhikari P., Bhattarai D., Rana B., Ahmed Z., Sharma, U., Adhikari D. 2022. Does climate change affect the yield of the top three cereals and food security in the world? *Earth*, 3: 45–71. https://doi.org/10.3390/earth3010004

Ntawuguranayo S., Zilberberg M., Nashef K., Bonfil D.J., Bainsla N.K., Piñera-Chavez F.J., Reynolds M.P., Peleg Z., Ben-David R. 2024. Stem traits promote wheat climate-resilience. *Frontiers in Plant Science*, 15: 1388881. https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1388881

Parry M.A., Reynolds M., Salvucci M.E. Raines C.P. Andralojc J., Zhu X.-G., Price G.D., Condon A.G., Furbank R.T. 2011. Raising yield potential of wheat. II. Increasing photosynthetic capacity and efficiency. *Journal of Experimental Botany*, 62(2): 453–467. https://doi.org/10.1093/jxb/erq304

Pequeno D.N.L., Hernandez-Ochoa I.M., Reynolds M., Sonder K., MoleroMilan A., Robertson R.D., Lopes M.S., Xiong W., Kropff M., Asseng S. 2021. Climate impact and adaptation to heat and drought stress of regional and global wheat production. *Environmental Research Letters*, 16: 054070. https://doi.org/10.1088/1748-9326/abd970

Pessarakli M. (Ed.) 2021. *Handbook of Plant and Crop Physiology*. Boca Raton: CRC Press, 1200 pp. https://doi.org/10.1201/9781003093640

Priadkina G.A., Morgun V.V. 2016. The photosynthetic pigments and winter wheat productivity. *Plant Physiology and Genetics*, 48(4): 310–323. [Прядкина Г.А., Моргун В.В. 2016. Пигменты фотосинтетического аппарата и продуктивность озимой пшеницы. *Фізіологія рослин і генетика*, 48(4): 310–323.] https://doi.org/10.15407/frg2016.04.310

Priadkina G.O., Makharynska N.M., Sokolovska-Sergiienko O.G. 2022. Influence of drought on photosynthetic traits of wheat plants. *Plant Physiology and Genetics*, 54(6): 463–483. [Прядкіна Г.О., Махаринська Н.М., Соколовська-Сергієнко О.Г. 2022. Вплив посухи на фотосинтетичні показники рослин пшениці. *Фізіологія рослин і генетика*, 54(6): 463–483.] https://doi.org/10.15407/frg2022.06.463

Priadkina G.O., Makharynska N.M., Tarasiuk M.V. 2024. The influence of leaves assimilation surface loss in different winter wheat varieties during the flowering–milk-wax ripeness period on grain filling. *Plant Physiology and Genetics*, 56(4): 343–352. [Прядкіна Г.О., Махаринська Н.М., Тарасюк М.В. 2024. Вплив зменшення асиміляційної поверхні лист-

ків озимої пшениці різних сортів впродовж періоду цвітіння–молочно-воскова стиглість на наливання зерна. *Фізіологія рослин і генетика*, 56(4): 343–352.] https://doi.org/10.15407/frg2024.04.343

Priadkina G.O., Makharynska N.M., Kedruk A.S., Kharkhota M.A. 2023. Drought influence on pigments of xanthophyll cycle in winter wheat leaves. *Plant Physiology and Genetics*, 55(6): 539–547. [Прядкіна Г.О., Махаринська Н.М., Кедрук А.С., Хархота М.А. 2023. Вплив посухи на пігменти віолаксантинового циклу в листках озимої пшениці. *Фізіологія рослин і генетика*, 55(6): 539–547.] https://doi.org/10.15407/frg2023.06.539

Priadkina G.O., Stasik O.O., Poliovyi A.M., Yarmolska O.E., Kuzmova K. 2020. Radiation use efficiency of winter wheat canopy during pre-anthesis growth. *Plant Physiology and Genetics*, 52(3): 208–223. https://doi.org/10.15407/frg2020.03.208

Raza A., Khare T., Zhang X., Rahman M.M., Hussain M., Gill S.S., Chen Z.-H., Zhou M., Hu Z., Varshney R.K. 2025. Novel strategies for designing climate-smart crops to ensure sustainable agriculture and future food security. *Journal of Sustainable Agriculture and Environment*, 4: e70048. https://doi.org/10.1002/sae2.70048

Reynolds M., Slafer G., Foulkes J., Griffiths S., Murchie E., Carmo-Silva E., Asseng S., Chapman S., Sawkins M., Gwyn J., Flavell R. 2022. A wiring diagram to integrate physiological traits of wheat yield potential. *Nature Food*, 3(5): 318–324. https://doi.org/10.1038/s43016-022-00512-z

Reznikoff W.S 2008. Transposon Tn5. *Annual Review of Genetics*, 42: 269–286. https://doi.org/10.1146/annurev.genet.42.110807.091656

Roychowdhury R., Ghatak A., Kumar M., Samantara K., Weckwerth W., Chaturvedi P. 2024. Accelerating wheat improvement through trait characterization: advances and perspectives. *Physiologia Plantarum*, 176(5): e14544. https://doi.org/10.1111/ppl.14544

Schwartau V.V., Mykhalska L.M. 2016. Physiological basis of high-yielded cereals nutrition. *Plant Physiology and Genetics*, 48(4): 298–309. [Швартау В.В., Михальська Л.М. 2016. Фізіологічні основи живлення високопродуктивних посівів зернових злаків. *Фізіологія рослин і генетика*, 48(4): 298–309.] https://doi.org/10.15407/frg2016.04.298

Schwartau V.V., Mykhalska L.M. 2022. Herbicide-resistant weed biotypes in Ukraine. *Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine*, 6: 85–94. [Швартау В.В., Михальська Л.М. 2022. Резистентні до гербіцидів біотипи бур'янів в Україні. *Доповіді Національної академії наук України*, 6: 85–94.] https://doi.org/10.15407/dopovidi2022.06.085

Senapati N., Stratonovitch P., Paul M.J., Semenov M.A. 2019. Drought tolerance during reproductive development is important for increasing wheat yield potential under climate change in Europe. *Journal of Experimental Botany*, 70(9): 2549–2560. https://doi.org/10.1093/jxb/ery226

Slafer G.A., Foulkes M.J., Reynolds M.P., Murchie E.H., Carmo-Silva E., Flavell R., Gwyn J., Sawkins M., Griffiths, S. 2023. A 'wiring diagram' for sink strength traits impacting wheat yield potential. *Journal of Experimental Botany*, 74: 40–71. https://doi.org/10.1093/jxb/erac410

Slattery R.A., Ort D. R. 2021. Perspectives on improving light distribution and light use efficiency in crop canopies. *Plant Physiology*, 185(1): 34–48. https://doi.org/10.1093/plphys/kiaa006

Stafleu F.A. 1971. *Linnaeus and the Linnaeans. The spreading of their ideas in systematic botany, 1735–1789*. Utrecht: International Association for Plant Taxonomy, xvi + 386 pp.

Stasik O.O., Kiriziy D.A. 2011. Regulatory mechanisms and limiting factors in the photosynthesis–productivity relationships and prospects for their optimization. *Physiology and biochemistry of cultivated plants*, 43(3): 226–238. [Стасик О.О., Кірізій Д.А. 2011. Регуляторні зв'язки і лімітувальні чинники в системі фотосинтез–продукційний процес та перспективи їх оптимізації. *Физиология и биохимия культурных растений*, 43(3): 226–238.

Stasik O.O., Kiriziy D.A., Priadkina G.O. 2021. Photosynthesis and productivity: main scientific achievements and innovative developments. *Plant Physiology and Genetics*, 53(2): 160–184. [Стасик О.О., Кірізій Д.А., Прядкіна Г.О. 2021. Фотосинтез і продуктивність: проблеми, досягнення, перспективи досліджень. *Фізіологія рослин і генетика*, 53(2): 160–184.] https://doi.org/10.15407/frg2021.02.160

Tarasiuk M.V., Stasik O.O. 2022. The effect of drought at flowering stage on the dynamics of accumulation and remobilization of reserve water-soluble carbohydrates in stem segments of winter wheat varieties contrasting in drought resistance. *Plant Physiology and Genetics*, 54(5): 429–449. [Тарасюк М.В., Стасик О.О. 2022. Вплив посухи у фазу цвітіння на динаміку накопичення та ремобілізації резервних водорозчинних вуглеводів у сегментах стебла контрастних за посухостійкістю сортів озимої пшениці. *Фізіологія рослин і генетика*, 54(5): 429–449.] https://doi.org/10.15407/frg2022.05.429

Tian Z., Chai H., Guo H., Lu Y., Yang S., Liu X., Jiang D., Cao W., Dai T. 2024. Genetic improvement of photosynthetic nitrogen use efficiency of winter wheat in the Yangtze River Basin of China. *Field Crops Research*, 305: 109199. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2023.109199

Vorobey N.A., Kots S.Ya. 2018. Selection strategy for improved symbiotic phenotypes of *Bradyrhizobium japonicum*. *Plant Physiology and Genetics*, 50(4): 344–357. [Воробей Н.А., Коць С.Я. 2018. Стратегія добору бульбочкових бактерій *Bradyrhizobium japonicum* за поліпшеним симбіотичним фенотипом. *Фізіологія рослин і генетика*, 50(4): 344–357.] https://doi.org/10.15407/frg2018.04.344

Vorobey N.A., Kots S.Ya., Kudryavchenko L.A., Pukhtayevych P.P. 2017. Biotechnology of creation active Tn5-mutants of *Rhizobium galegae*. *Plant Physiology and Genetics*, 49(5): 425–433. [Воробей Н.А., Коць С.Я., Кудрявченко Л.А., Пухтаєвич П.П. 2017. Біотехнологія отримання активних Tn5-мутантів *Rhizobium galegae*. *Фізіологія рослин і генетика*, 49(5): 425–433.] https://doi.org/10.15407/frg2017.05.425

Wasaya A., Manzoor S., Yasir T.A., Sarwar N., Mubeen K., Ismail I.A., Raza A., Rehman A., Hossain A., EL Sabagh A. 2021. Evaluation of fourteen bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes by observing gas exchange parameters, relative water and chlorophyll content, and yield attributes under drought stress. *Sustainability*, 13(9): 4799. https://doi.org/10.3390/su13094799

Zahra N., Hafeez M.B., Kausar A., Al Zeidi M., Asekova S., Siddique K.H.M., Farooq M. 2023. Plant photosynthetic responses under drought stress: Effects and management. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 209: 651–672. https://doi.org/10.1111/jac.12652

Zhu X.-G., Hasanuzzaman M., Jajoo A., Lawson T., Lin R., Liu C.-M., Liu L.-N., Liu Z., Lu C,. Moustakas M., Roach T., Song Q., Yin X., Zhang W. 2022. Improving photosynthesis through multidisciplinary efforts: The next frontier of photosynthesis research. *Frontiers in Plant Science*, 13: 967203. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.967203

Main trends in applying physiology to plant breeding, yield improvement, and stress resistance in Ukraine

S.Ya. KOTS, O.O. STASIK, D.A. KIRIZIY, V.V. MORGUN
Institute of Plant Physiology and Genetics, National Academy of Sciences of Ukraine,
31/17 Vasylkivska Str., Kyiv 03022, Ukraine

Abstract. The review highlights the main trends in the use of achievements in plant physiology in breeding and the contribution of scientists from the Institute of Plant Physiology and Genetics of the NAS of Ukraine to solving the problems of increasing plant productivity and stress resistance. In particular, as a result of many years of research into the genotypic features of morphology and functioning of the photosynthetic apparatus of a wide range of wheat varieties at the levels from chloroplast to agrocenosis, a number of physiological and morphological traits have been identified, which are recommended for use as phenotypic markers in the selection of this most important agricultural crop for productivity and drought resistance. A number of studies of the physiological and biochemical characteristics of genetically modified wheat plants with an increased proline content both under normal conditions and under the influence of drought were also conducted. A conclusion was made about the prospects of their involvement in breeding programs to increase resistance to abiotic stress factors. A wide range of highly effective strains of nodule bacteria, complementary to a number of leading legume crops, were selected, including using transposon mutagenesis. New technologies for their use in inoculums were developed, taking into account the genetic characteristics of the crop, which contribute to the maximum realization of the productivity potential of the legume-rhizobial symbiosis and protect against the negative effects of biotic and abiotic stress factors. Technologies for the use of mixtures of specially selected strains of associative and free-living nitrogen-fixing microorganisms to intensify the cultivation of various wheat varieties were also developed. It is known that in order to fully reveal the genetic potential of modern agricultural crops, it is necessary to develop new or significantly improve existing technologies for their cultivation and take care of protection against diseases, pests and weeds. Such technologies have been developed to increase the efficiency of nitrogen use by modern high-intensity wheat varieties. The use of tank mixtures for foliar feeding of plants together with protective agents and growth regulators has been scientifically substantiated and implemented in practice, which has a significant economic effect. Thus, plant physiologists and geneticists of the Institute closely cooperate both in fundamental scientific research and for the benefit of the agricultural sector of Ukraine and strengthening its food security.

Keywords: breeding, food secuirity, new technologies, physiological markers, plant physiology, productivity, stress resistance

BIOTECHNOLOGY, PHYSIOLOGY AND BIOCHEMISTRY
БІОТЕХНОЛОГІЯ, ФІЗІОЛОГІЯ, БІОХІМІЯ

https://doi.org/10.15407/ukrbotj82.06.594
RESEARCH ARTICLE

Biotransformation of 2,6-dichloroaniline and 3,5-dichloroaniline by the mycelium of basidiomycetes

Svitlana V. BONDARUK [1,2*], Semen O. BULAVA [3], Rodion A. KORZH [2], Dmytro S. LESYK [2,3], Vitalii V. POLOVYNKO [2], Andrii V. FEDYK [2,3], Galeb A. Al-MAALI [1,2]

[1] M.G. Kholodny Institute of Botany, National Academy of Sciences of Ukraine, 2 Tereshchenkivska Str., Kyiv 01601, Ukraine
[2] Enamine Ltd., 78 Winston Churchill Str., Kyiv 02094, Ukraine
[3] Taras Shevchenko National University of Kyiv, 60 Volodymyrska Str., Kyiv 01601, Ukraine

* Author for correspondence: *svitlana.bondaru@gmail.com*

Abstract. Dichloroanilines are actively used in the synthesis of drugs and pesticides; however, these compounds have been found to exhibit toxic activity. This study aimed to investigate the ability of the mycelium of *Fomitopsis pinicola*, *Ganoderma tsugae*, *Pleurotus ostreatus*, and *Schizophyllum commune* to biotransform two compounds of dichloroanilines under controlled conditions. The results indicate that the biodegradation rates of the studied compounds ranged from 83.95% to 99.85%. The highest percentage was recorded for *G. tsugae* 2566, whereas the lowest percentage was observed for both studied strains of *S. commune*. Five metabolites were identified during the biotransformation of 3,5-dichloroaniline: 3,5-dichloronitrobenzene, 3,5-dichloroacetanilide, 3,5-dichlorophenol, 2-amino-4,6-dichlorophenol, and 4-amino-2,6-dichlorophenol. Three of these metabolites were found for the first time after biotransformation of the studied compounds by fungal mycelium. This is the first report on 4-amino-3,5-dichlorophenol obtained as a result of biotransformation of 2,6-dichloroaniline by fungal mycelium.

Keywords: acetylation, aminodichlorophenol, biodegradation, chromatography, filamentous fungi, xenobiotic

Introduction

Aniline is the simplest aromatic amine and a convenient model for studying the ability of various organisms to destroy aromatic amines. Aniline ($C_6H_5NH_2$) is an organic aromatic amine compound with a phenyl ring (C_6H_5) attached to an amino group ($–NH_2$). It is widely used for the synthesis of pesticides (Yen et al., 2008; Thompson et al., 2010), drugs (Suzuki et al., 1999; Thamer et al., 2013), dyes (Cooksey, Dronsfield, 2009), plastics (Chen et al., 2015), and defense products (Wang, Zhang, 2013).

Dichloroanilines are utilized as intermediates in the commercial synthesis of various azo dyes,

ARTICLE HISTORY. Submitted 19 September 2025. Revised 28 November 2025. Published 22 December 2025

CITATION. Bondaruk S.V., Bulava S.O., Korzh R.A., Lesyk D.S., Polovynko V.V., Fedyk A.V., Al-Maali G.A. 2025. Biotransformation of 2,6-dichloroaniline and 3,5-dichloroaniline by the mycelium of basidiomycetes. *Ukrainian Botanical Journal*, 82(6): 594–603. https://doi.org/10.15407/ukrbotj82.06.594

© M.G. Kholodny Institute of Botany, NAS of Ukraine, 2025
© Publisher PH "Akademperiodyka" of the NAS of Ukraine, 2025

This is an open access article under the CC BY license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

herbicides, paints, cosmetics, and other industrial chemicals. However, their stability and toxicity render them hazardous when released into the environment (Argese et al., 2001; Hejtmancik et al., 2002; Padmanabhan et al., 2006). 3,4-and 3,5-dichloroanilines are especially harmful, while 2,3-, 2,4-, and 2,5-dichloroanilines are also highly toxic (Valentovic et al., 1995). Chloroanilines can easily enter the environment. Their concentration in soil and water increases due to their high persistence and low biodegradation (Tasca et al., 2018). The biotransformation of various chloroanilines could be characterized by the reduction of their environmental impact through the formation of potentially safer metabolites (Rankin et al., 2021). Biotransformation is a process by which organic compounds are transformed from one form to another, reducing the persistence and toxicity of chemical compounds (Smitha et al., 2017). This can be the fungi-assisted process.

The ability to transform anilines or dichloroanilines has been previously reported for *Fusarium* sp., *Rhizopus* sp. (Emtiazi et al., 2001), *Podospora anserina* (Rabenh.) Niessl (Martins et al., 2009), *Trichoderma virens* (J.H. Mill., Giddens & A.A. Foster) Arx, *T. reesei* E.G. Simmons (Cocaign et al., 2013), *Neocosmospora solani* (Mart.) L. Lombard & Crous (*Fusarium solani* Mart.) (Chan Ho Tong et al., 2015), *Aspergillus niveus* Blochwitz, *A. terreus* Thom, and *Cladosporium cladosporioides* (Fresen.) G.A. de Vries (Rodrigues et al., 2023). The biodegradation of 3,4-dichloroaniline by some filamentous fungi has been reported to occur mainly during the first 7–15 days of incubation. Two strains of *Fusarium oxysporum* Schltdl. and one strain of *Aspergillus niger* Tiegh. metabolize 3,4-dichloroaniline into five metabolites. These compounds can be formed via oxidation, co-denitrification, N-acetylation, and polymerization reactions (Castillo et al., 2014).

The biotransformation of anilines mediated by *Basidiomycota* fungi has been insufficiently studied. An extracellular peroxidase from *Coprinus cinereus* (Schaeff.) Gray (≡ *Coprinopsis cinerea* (Schaeff.) Redhead) can catalyze the oxidative oligomerization of 4-chloroaniline (Chang et al., 1999). Kremer and Sterner (1996) reported that 250 strains of basidiomycetes were screened for the degradation and metabolism of 3,4-dichloroaniline, but only 21 strains belonging to the genera *Collybia* (Fr.) Staude, *Cyathus* Haller, *Filoboletus* Henn., *Gloeophyllum* P. Karst., *Marasmius* Fr., *Merulius* Fr., *Phellinus* Quél., *Schizophyllum* Fr., *Stereum* Hill ex Pers., and *Stropharia* (Fr.) W. Saunders & W.G. Sm., and six unidentified strains were able to metabolize this compound. Detailed information is provided for *Filoboletus* sp. TA9054 only. This strain was capable of metabolizing 3,4-dichloroaniline up to a concentration of 1.2 mM. One millimolar of the compound was completely removed after 15–17 days of incubation (Kremer, Sterner, 1996). It has been reported that the strain *Phanerochaete chrysosporium* Burds. ATCC 34541 can mineralize 3,4-dichloroaniline only under optimal fermentation conditions. The mentioned strain was able to metabolize 3,4-dichloroaniline after 2 days of application, but full degradation of that xenobiotic was established after 21 days of incubation. This transformation did not correlate with lignin peroxidase activity (Sandermann et al., 1998). The biotransformation of 3,4-dichloroaniline was also investigated for two strains of *P. chrysosporium* ATCC 24725 and ATCC 20696, *Trametes versicolor* (L.) Lloyd PV1, and *Stereum hirsutum* (Willd.) Pers. SH1 in two different media. The highest rate of 3,4-dichloroaniline mineralization was found for the mycelium of *T. versicolor* (47.7 μg · g dry weight^{-1} · day^{-1}) on Kirk medium, although *S. hirsutum* could not metabolize this compound (Morgan et al., 1991). For the other strain, *T. versicolor* K-41, the ability to decrease the concentration of 3,4-dichloroaniline after 2 days of incubation was reported (Mori et al., 2018). It can be concluded that the biotransformation of 3,4-dichloroaniline is well studied, unlike the biotransformation of other dichloroanilines, which are also actively used. A better understanding of how basidiomycetes can biotransform other dichloroanilines requires further research.

The present study aimed to analyze the ability of six strains of four species of wood decay basidiomycetes to biotransform dichloroanilines.

Materials and Methods

Chemicals. Acetonitrile HPLC (Chemsolute, Germany); bacteriological agar (Condalab, Spain); dimethyl sulfoxide (Sigma-Aldrich, USA); glucose (Enamine, Ukraine); ethyl acetate (Enamine, Ukraine); formic acid (Enamine, Ukraine); magnesium sulfate (heptahydrate) (Bio Basic Inc., Canada); peptone (Condalab, Spain); potassium phosphate (monobasic, anhydrous) (Bio Basic Inc., Canada); potassium phosphate (dibasic, anhydrous) (Bio Basic

Inc., Canada); sodium sulfate (anhydrous) (Enamine, Ukraine); yeast extract (Condalab, Spain); 2,6-dichloroaniline (Enamine, Ukraine); 3,5-dichloroaniline (Enamine, Ukraine); 2-amino-4.6-dichlorophenol (Enamine, Ukraine); 4-amino-2,6-dichlorophenol (Enamine, Ukraine); and 4-amino-3,5-dichlorophenol (Enamine, Ukraine).

Fungal strains. The objects of the investigation were: *Fomitopsis pinicola* (Sw.) P. Karst. 361 (it was accepted by NCBI with accession number PQ460591), *Ganoderma tsugae* Murrill 1848, *G. tsugae* 2566, *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) P. Kumm. 297, *Schizophyllum commune* Fr. 1768 (PQ482381), *S. commune* 1769 (PQ482382). All cultures were obtained from the IBK Mushroom Culture Collection of the M.G. Kholodny Institute of Botany, National Academy of Sciences of Ukraine (Bisko et al., 2024).

Medium composition. Glucose-yeast-peptone (GYP) medium, (g/l): glucose — 25; peptone — 3; yeast extract — 3; KH_2PO_4 — 1; K_2HPO_4 — 1; $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ — 0.25; H2O — for a final volume of 1 L; pH — 6. Glucose-yeast-peptone agarose (GYPA) medium (GYP containing 20 g agar) were used.

Inoculum preparation. In the first stage of cultivation, mycelia were grown in Petri dishes for 7 days at 26 ± 1 °C on GYPA medium.

Submerged cultivation. The obtained mycelium was homogenized with sterile water and aseptically inoculated in 250 ml Erlenmeyer flasks with 45 ml of liquid GYP medium (10% v/v). Cultivation was carried out at 26 ± 1 °C and 150 rpm during the predetermined time for each species: *S. commune* 1768 was cultivated for 4 days; *S. commune* 1769 was cultivated for 5 days; *F. pinicola* 361, *G. tsugae* 1848, and *G. tsugae* 2566 for 6 days, and *P. ostreatus* 297 for 7 days. These mature cultures were used for biotransformation.

Biotransformation procedure. After the incubation for a set time, 2,6-dichloroaniline or 3,5-dichloroaniline dissolved in dimethyl sulfoxide was added to the culture at a rate of 0.2 g/l culture medium (Hernik et al., 2023). Dimethyl sulfoxide was used at a concentration of 0.2 ml/l culture medium for dissolving compounds and as a negative control for biotransformation. Ten separate Erlenmeyer flasks were used for the biotransformation of one dichloroaniline by one strain of basidiomycetes.

Extraction procedure. The extraction of metabolites was performed on the 3rd day after the addition of dichloroanilines. The obtained both mycelial biomass and fermentation broth were divided by filtration. Each sample was extracted with ethyl acetate (1:1) three times. The obtained extracts were united, dried over anhydrous sodium sulfate, concentrated via a rotary evaporator, and analyzed via high-performance liquid chromatography.

Analysis procedures. Analytical chromatography was used for evaluating the composition of the prepared samples. High-performance liquid chromatography (HPLC) analysis was carried out on an Agilent Technologies 1200 Series (Agilent, USA). A chromatographic column made of stainless steel with a diameter of 4.6 mm, a length of 100 mm, and a grain size of 2.7 μm was used as the stationary phase. The column was filled with silica gel modified with hydrophobic C18 groups. The injection volume was 5–20 μl. The flow rate was 1 ml/min. The total run time was 10 min. Gradients of solvent A (0.1% formic acid in water) and solvent B (0.1% formic acid in acetonitrile) were prepared as follows (%): (I) 0–1 min (A:B, 60/40), (II) 1–5 min (A:B, from 60/40 to 0/100), (III) 5–6 min (B, 100), 6–6.5 min (A:B, from 0/100 to 60/40), (IV) 6.5–9 min (A:B, 60/40). A UV detector and a Quadrupole LC/MS 6120 mass analyzer (Agilent, USA) were used to identify the obtained compounds. The UV detection was recorded at 215, 254, and 280 nm. The results were obtained and analyzed via Open Lab CDS software (version C.01.10). The analysis of the obtained metabolites was carried out using 2,6-dichloroaniline, 3,5-dichloroaniline, 2-amino-4,6-dichlorophenol, 4-amino-2,6-dichlorophenol, and 4-amino-3,5-dichlorophenol as standards.

The biodegradation of the studied compounds was estimated as follows. The concentration of the studied substances was established according to the calibration curve of the standard substance. Conversion was established in the following way:

$$\% \text{ biodegradation} = m_0 - m_1/m_0 \cdot 100\%,$$

where m_0 is the initial concentration of the studied substance, mg; m_1 is the final concentration of the studied substance calculated from the peak area, mg.

Preparative chromatography was carried out for the separation of pure substances in the prepared samples. The metabolites were isolated and purified on an Agilent Technologies 1290 Infinity II series (Agilent, USA). A chromatographic column made of stainless steel with a diameter of 19.5 mm, a length of 100 mm, and a grain size of 5 μm was used as the stationary phase. The column was filled with silica gel modified with hydrophobic C18 groups.

Table 1. **Biodegradation of dichloroaniline by the mycelium of selected strains of basidiomycetes (submerged cultivation, GYP, 72 h with dichloroanilines)**

Fungal strain	Conversion, %	
	2,6-dichloroaniline	3,5-dichloroaniline
Fomitopsis pinicola 361	97.56±2.04	91.27±4.03
Ganoderma tsugae 2566	98.84±1.06	92.39±0.61
Ganoderma tsugae 1848	99.05±0.45	91.35±3.75
Schizophyllum commune 1769	99.10±0.20	83.95±5.05
Schizophyllum commune 1768	98.50±0.40	85.78±2.72
Pleurotus ostreatus 297	99.85±0.05	89.85±6.95

The injection volume was 300 µl. The flow rate was 25 ml/min. The total run time was 7 min. Gradients of solvent A (0.1% formic acid in water) and solvent B (0.1% formic acid in acetonitrile) were prepared as follows (%): (I) 0–1 min (A:B, 60/40), (II) 1–3 min (A:B, from 60/40 to 30/70), (III) 3–3.5 min (A:B, from 30/70 to 0/100), 3.5–4.5 min (B, 100), (IV) 4.5–5 min (A:B, 60/40). A UV detector was used to identify the obtained compounds. The UV detection was recorded at 215, and 254 nm. The results were obtained and analyzed via Open Lab CDS software (version 3.3.65).

The structure was confirmed by ^{1}H NMR and ^{13}C NMR.

4-amino-3,5-dichlorophenol: ^{1}H NMR (600 MHz, DMSO): δ (ppm) 4.7 (s, 2H, Ar–H), 6.7 (s, 2H, NH_2), 9.3 (s, 1H, OH); ^{13}C NMR (150 MHz, DMSO): δ (ppm) 115.7 (CH), 119.3 (C–Cl), 134.2 (C– NH_2), 148.6 (C–OH) (as shown in Supplementary Material S1).

3,5-dichlorophenol: ^{1}H NMR (600 MHz, DMSO): δ (ppm) 7.33 (t, 1H, Ar–H), 7.87 (d, 2H, Ar– H), 10.96 (s, 1H, OH); 13C NMR (150 MHz, DMSO): δ (ppm) 118.9 (CH), 124.1 (CH), 134.5 (C–Cl), 140.7 (C–Cl), 158.2 (C–OH) (as shown in Supplementary Material S2).

Statistical analysis. All experiments were performed in duplicates. The obtained results were analyzed with Excel statistical functions using the Microsoft Office XP software. Data were presented as means ± SD (standard deviation).

Results

The biodegradation of dichloroanilines by fungal mycelium

In this study, the mycelium of six different strains of four fungal species was evaluated for the ability to biotransform 2,6-dichloroaniline and 3,5-dichloroaniline. According to Kremer and Sterner (1996), the biodegradation of dichloroanilines by basidiomycetes takes 15–17 days. At first, based on this data, a preliminary screening study of the biotransformation of dichloroanilines was conducted, which indicated a high indicator of biodegradation on the third day after the introduction of the substances. Table 1 shows the results of the biotransformation of the studied dichloroanilines by the mycelium of the selected basidiomycetes after 72 h since the addition of the substances. The obtained indicator of degradation of 2,6-dichloroaniline ranged from 97.56% to 99.85%, whereas that of 3,5-dichloroaniline ranged from 83.95 % to 92.39%. These findings indicate that 2,6-dichloroaniline is better decomposed by the mycelium of the investigated strains of basidiomycetes. The obtained results demonstrate high values, so it can be concluded that even 72 h is sufficient time for the biodegradation of dichloroanilines by the mycelium of *P. ostreatus* 297.

Biotransformation of 3,5-dichloroaniline by the mycelium of wood decay basidiomycetes during submerged cultivation

The biotransformation of 3,5-dichloroaniline occurred in the same pathway for almost all the investigated strains. The best conversion of 3,5-dichloroaniline was established for the mycelium of *G. tsugae* 2566. Three days after the addition of the substance, almost complete degradation of the tested compound was observed (Fig. 1A). Two metabolites were detected in this sample. One of them showed a molecular ion peak at m/z (mass-to-charge ratio) 192. This molecular weight is appropriate for 3,5-dichloronitrobenzene. The second detected metabolite had a peak at m/z 204 and was identified as 3,5-dichloroacetanilide. This evidence shows that the mycelium of *G. tsugae* 2566 carried

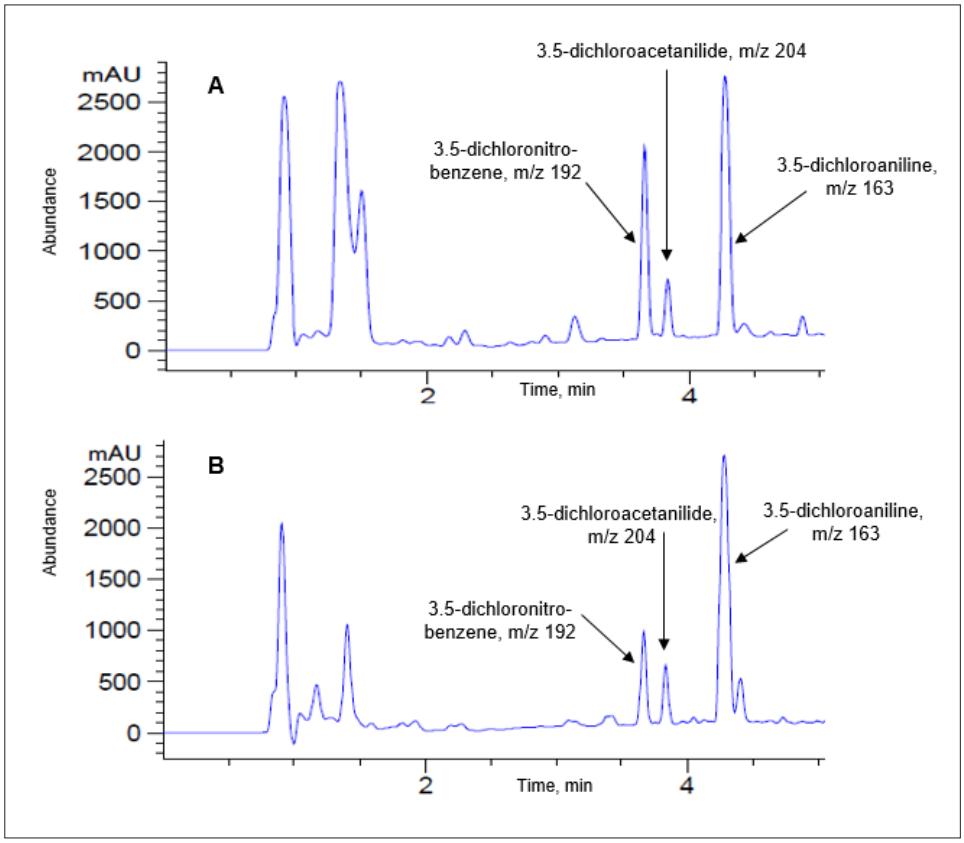


Fig. 1. Chromatogram (HPLCs, sig = 215) of metabolites formed after biotransformation of 3,5-dichloroaniline during submerged cultivation of the mycelium. A: *Ganoderma tsugae* 2566; B: *Schizophyllum commune* 1768

out acetylation of the original compound. Both metabolites were also detected after biotransformation by the mycelium of *S. commune* 1768 (Fig. 1B), *S. commune* 1769, *F. pinicola* 361, and *P. ostreatus* 297. The formation of 3,5-dichloronitrobenzene during the biotransformation of 3,5-dichloroaniline was also recorded for the mycelium of *F. pinicola* 361. A small amount of 2-amino-4.6-dichlorophenol, 4-amino-2,6-dichlorophenol, and probably 5-amino-2.3-dichlorophenol was detected after biotransformation by the mycelium of strain *F. pinicola* 361, which did not occur during biotransformation by the mycelium of the other studied fungi. Additionally, the conversion of 3,5-dichloroaniline to 3,5-dichlorophenol by the mycelium of *F. pinicola* 361 strain was performed. Only 3,5-dichloronitrobenzene was indicated after biotransformation of 3,5-dichloroaniline by the mycelium of *G. tsugae* 1848. All obtained chromatograms are shown in Supplementary Material (S3).

Biotransformation of 2,6-dichloroaniline by the mycelium of wood decay basidiomycetes during submerged cultivation

Biodegradation of 2,6-dichloroaniline was observed for the mycelium of the all studied strains. The highest conversion of 2,6-dichloroaniline was detected during the biotransformation by the mycelium of *P. ostreatus* 297, and the lowest conversion — for the mycelium of *F. pinicola* 361. For the mycelium of *F. pinicola* 361, *G. tsugae* 2566, and *G. tsugae* 1848, biotransformation of 2,6-dichloroaniline to 4-amino-3,5-dichlorophenol was also established. Notably, the nitrification of the amino group of 2,6-dichloroaniline did not occur during the biotransformation by the mycelium of the studied strains, in contrast to 3,5-dichloroaniline biotransformation. The mycelium of *F. pinicola* 361 produced out minor acetylation of 2,6-dichloroaniline as well as 3,5-dichloroaniline. A comparison of the biotransformation pathways of both studied

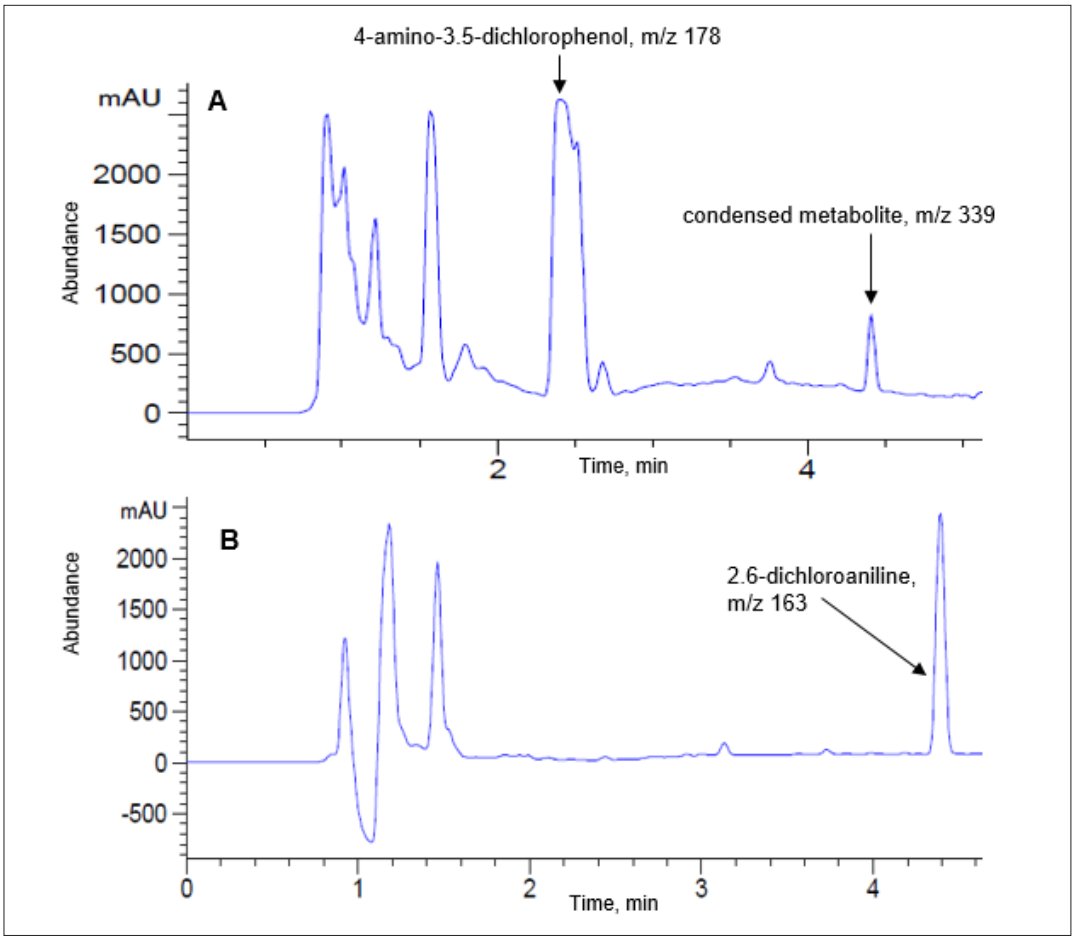


Fig. 2. Chromatograms (HPLCs, sig = 215) of metabolites formed after biotransformation of 2,6-dichloroaniline during submerged cultivation of the mycelium. A: *Fomitopsis pinicola* 361; B: *Schizophyllum commune* 1768

compounds revealed the formation of fewer metabolites for 2,6-dichloroaniline. The formation of condensed metabolite was also established for the mycelium of this strain. However, their amount was insignificant and insufficient for identification. All obtained chromatograms are shown in Supplementary Material (S3).

Discussion

2,6-Dichloroaniline and 3,5-dichloroaniline are building blocks for the synthesis of different drugs and pesticides (Lindh et al., 2007; Shaalan, Belal, 2013; Vasileiadis et al., 2018; Shailakshi et al., 2024). It also means that 2,6-dichloroaniline and 3,5-dichloroaniline are metabolites resulting from the breakdown of diclofenac, iprodione, vinchlozoline, and other compounds. This is dangerous due to their ability to accumulate and cause nephrotoxicity. The increase in the nephrotoxic potential of dichloroaniline compared with that of chloroanilines is associated with an increase in the number of chlorine groups and their position. Lo et al. (1990) reported that the nephrotoxic potential decreases as follows: 3,5-dichloroaniline > 2,5-dichloroaniline > 2,4, 2,6, and 3.4-dichloroaniline > 2.3-dichloroaniline. These compounds can be easily transferred to soil and are difficult to eliminate (Angioi et al., 2005; Droulia et al., 2011). Therefore, a further research is needed to elaborate effective, practical, and environmentally friendly methods for removing dichloroanilines.

There are several approaches for studying the biotransformation of 3,5-dichloroaniline (1, Fig. 3) by the mycelium of fungi. In particular, the biotransformation of various dichloroanilines has already been investigated for the pure culture of

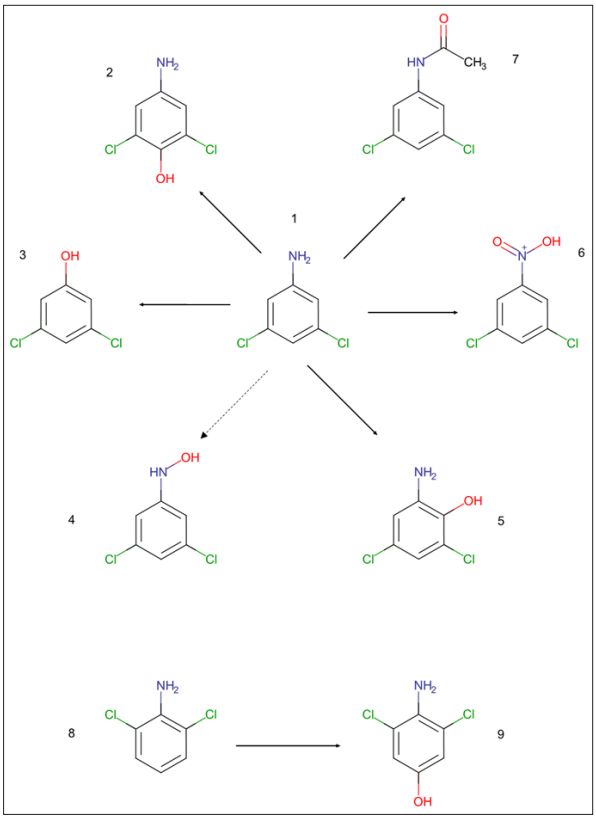


Fig. 3. Pathways of biotransformation of dichloroaniline. See text for details. The solid lines indicate the metabolites obtained by fungal biotransformation in our research, the dashed line shows the metabolite according to literature data (Rankin et al., 2021)

Filoboletus sp. TA9054 (Kremer, Sterner, 1996). It has been reported that the studied fungi do not metabolize 3,5-dichloroaniline, but metabolize 3,4-dichloroaniline. Dichloroaniline can be acetylated by some species of fungi. This process involves N-acetyltransferase (Martins et al., 2009; Rodrigues et al., 2023). Another biotransformation approach is based on the use of fungal enzymes. The biodegradation of 3,5-dichloroaniline by a mixture of laccase (of *T. versicolor* origin) with MnO_2 and mediators was investigated. The best biodegradation results were found for dichloroaniline with catechol and the mixture of laccase with MnO_2. In this case, nearly complete degradation was observed (Sarker et al., 2020). However, this method is quite expensive compared with submerged cultivation of basidiomycetes. For the first time, our work reports the biotransformation of 3,5-dichloroaniline to 3,5-dichloroacetanilide (7, Fig. 3), 4-amino-2,6-dichloroaniline (2, Fig. 3), 2-amino-4,6-dichlorophenol (5, Fig. 3), 3,5-dichlorophenol (3, Fig. 3), and 3,5-dichloronitrobenzene (6, Fig. 3) by the mycelium of basidiomycetes.

When fungal biotransformation is compared with mammalian biotransformation, similar metabolites can be observed. The biotransformation of 3,5-dichloroaniline has been investigated in primary isolated renal cortical cells obtained from male Fischer 344 rats (Racine et al., 2016). In this study, the presence of several metabolites was explored. Two of the obtained metabolites were 3,5-dichloroacetanilide and 3,5-dichloronitrobenzene. Of them, 3,5-dichloroacetanilide is not cytotoxic compared to other received metabolites, while 3,5-dichloronitrobenzene is a potential nephrotoxic metabolite. At the same time, in our investigation, 3,5-dichlorophenyllhydroxylamine (4, Fig. 3) was not identified after fungal biotransformation, as compared to mammalian biotransformation (Rankin et al., 2021).

The ability of *Phanerochaete chrysosporium* NRRL 6361 and *Pleurotus pulmonarius* (Fr.) Quél. to degrade different aromatic hydrocarbons in soil, including 2,6-dichloroaniline and 2,4-dichloroaniline, was investigated during 30 days of incubation. The mycelium of the selected strains was able to completely degrade dichloroanilines in soil (D'Annibale et al., 2005). A comparison of these results with our findings demonstrates that the degradation of 2,6-dichloroaniline by *F. pinicola* 361, *G. tsugae* 1848, *G. tsugae* 2566, *P. ostreatus* 297, *S. commune* 1768, and *S. commune* 1769 is a faster process, and thus is more promising for future practical use. The formation of condensed metabolites observed for *F. pinicola* 361 has been previously described for *Filoboletus* sp. TA9054 after 15 days of cultivation (Kremer, Sterner, 1996). For the first time, our work reports the formation of 4-amino-3,5-dichlorophenol after biotransformation of 2,6-dichloroaniline (9, Fig. 3) by the mycelium of basidiomycetes.

According to aforementioned information, for the biotransformation of 2,6-dichloroaniline (8, Fig. 3) and 3,5-dichloroaniline (1, Fig. 3), the following pathways are known: acetylation, nitration, and oxidation on different positions (Fig. 3). In our investigation, the mycelium of basidiomycetes can provide almost all of these transformations, except oxidation of the amino group (4, Fig. 3). The obtained results report for the first time the property of basidiomycetes to convert the studied dichloroanilines to hydroxylated metabolites.

Conclusions

It was found that the mycelium of all studied strains could biodegrade toxic dichloroaniline. The degree of biodegradation of both studied dichloroanilines was high for all six strains and varied from 83.95% to 99.85%. Among the studied basidiomycetes, the mycelium of strain *G. tsugae* 2566 proved to be the most effective. For the mycelium of *G. tsugae* 2566, *P. ostreatus* 297, *S. commune* 1768, and *S. commune* 1769, the ability to metabolize 3,5-dichloroaniline to 3,5-dichloroacetanilide and 3,5-dichloronitrobenzene was determined. The mycelium of *F. pinicola* 361 metabolized 3,5-dichloroaniline to 3,5-dichloroacetanilide and hydroxylated metabolites. For the mycelium of *F. pinicola* 361, *G. tsugae* 2566, and *G. tsugae* 1848, the transformation of 2,6-dichloroaniline to 4-amino-3,5-dichlorophenol was demonstrated. Nuclear magnetic resonance was performed to confirm the conversion to 4-amino-3,5-dichlorophenol and 3,5-dichlorophenol. The obtained results report for the first time the formation of hydroxylated metabolites during the fungal biotransformation of dichloroanilines.

SUPPLEMENTARY MATERIAL

This article includes Supplementary Material (S1–S3) available as: ukrbotj82-06-594-S1.pdf (78 KB), ukrbotj82-06-594-S2.pdf (84 KB), and ukrbotj82-06-594-S3.pdf (269 KB).

ETHICS DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

S.V. Bondaruk https://orcid.org/0000-0002-2052-8641
D.S. Lesyk https://orcid.org/0009-0001-3391-5165
R.A. Korzh https://orcid.org/0009-0007-2021-0872
A.V. Fedyk https://orcid.org/0009-0000-3263-6917
G.A. Al-Maali https://orcid.org/0000-0002-7489-6466

REFERENCES

Angioi S., Polati S., Roz M., Rinaudo C., Gianotti V., Gennaro M.C. 2005. Sorption studies of chloroanilines on kaolinite and montmorillonite. *Environmental Pollution*, 134(1): 35–43. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2004.07.018

Argese E., Bettiol C., Agnoli F., Zambon A., Mazzola M., Ghirardini A.V. 2001. Assessment of chloroaniline toxicity by the submitochondrial particle assay. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 20(4): 826–832. https://doi.org/10.1002/etc.5620200418

Bisko N., Lomberg M., Mykchaylova O., Mytropolska N. 2024. *IBK Mushroom Culture Collection. Version 1.7. The IBK Mushroom Culture Collection of the M.G. Kholodny Institute of Botany*. In: GBIF occurrence dataset. Available at: https://ukraine.ipt.gbif.no/resource?r=ibk&v=1.8 (Accessed 15 June 2025).

Castillo J.M., Nogales R., Romero E. 2014. Biodegradation of 3,4-dichloroaniline by fungal isolated from the preconditioning phase of winery wastes subjected to vermicomposting. *Journal of Hazardous Materials*, 267: 119–127. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2013.12.052

Chan Ho Tong L., Dairou J., Bui L.-C., Bouillon J., Rodrigues-Lima F., Dupret J.-M., Silar P. 2015. Screen for soil fungi highly resistant to dichloroaniline uncovers mostly *Fusarium* species. *Fungal Genetics and Biology*, 81: 82–87. https://doi.org/10.1016/j.fgb.2015.05.011

Chang H.C., Holland R., Bumpus J.A., Churchwell M.I., Doerge D.R. 1999. Inactivation of *Coprinus cinereus* peroxidase by 4-chloroaniline during turnover: comparison with horseradish peroxidase and bovine lactoperoxidase. *Chemico-Biological Interactions*, 123(3): 197–217. https://doi.org/10.1016/S0009-2797(99)00136-2

Chen N., Chen L., Cheng Y., Zhao K., Wu X., Xian Y. 2015. Molecularly imprinted polymer grafted graphene for simultaneous electrochemical sensing of 4.4-methylene diphenylamine and aniline by differential pulse voltammetry. *Talanta*, 132: 155–61. https://doi.org/10.1016/j.talanta.2014.09.008

Cocaign A., Bui L.C., Silar P., Chan Ho Tong L., Busi F., Lamouri A., Mougin C., Rodrigues-Lima F., Dupret J.M., Dairou J. 2013. Biotransformation of *Trichoderma* spp. and their tolerance to aromatic amines, a major class of pollutants. *Applied and Environmental Microbiology*, 79(15): 4719–4726. https://doi.org/10.1128/AEM.00989-13

Cooksey C., Dronsfield A. 2009. Fuchsine or magenta: the second most famous aniline dye. A short memoir on the 150th anniversary of the first commercial production of this well known dye. *Biotechnic & Histochemistry*, 84(4): 179–183. https://doi.org/10.1080/10520290903081401

D'Annibale A., Ricci M., Leonardi V., Quaratino D., Mincione E., Petruccioli M. 2005. Degradation of aromatic hydrocarbons by white-rot fungi in a historically contaminated soil. *Biotechnology and Bioengineering*, 90(6): 723–731. https://doi.org/10.1002/bit.20461

Droulia F.E., Kati V., Giannopolitis C.N. 2011. Sorption of 3,4-dichloroaniline on four contrasting Greek agricultural soils and the effect of liming. *Journal of Environmental Science and Health, Part B*, 46(5): 404–410. https://doi.org/10.1080/03601234.2011.572506

Emtiazi G., Satarii M., Mazaherion F. 2001. The utilization of aniline, chlorinated aniline, and aniline blue as the only source of nitrogen by fungi in water. *Water Research*, 35(5): 1219–1224. https://doi.org/10.1016/S0043-1354(00)00370-5

Hejtmancik M., Trela B.A., Kurtz P.J., Persing R.L., Ryan M.J., Yarrington J.T., Chhabra R.S. 2002. Comparative gavage subchronic toxicity studies of o-chloroaniline and m-chloroaniline in F344 rats and B6C3F1 mice. *Toxicological Sciences*, 69(1): 234–243. https://doi.org/10.1093/toxsci/69.1.234

Hernik D., Szczepańska E., Brenna E., Patejuk K., Olejniczak T., Strzała T., Boratyński F. 2023. *Trametes hirsuta* as an attractive biocatalyst for the preparative scale biotransformation of isosafrole into piperonal. *Molecules*, 28(8): 3643. https://doi.org/10.3390/molecules28083643

Kremer S., Sterner O. 1996. Metabolism of 3,4-dichloroaniline by the basidiomycete *Filoboletus* species TA9054. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 44(4): 1155–1159. https://doi.org/10.1021/jf950539u

Lindh C.H., Littorin M., Amilon Å., Jönsson B.A.G. 2007. Analysis of 3,5-dichloroaniline as a biomarker of vinclozolin and iprodione in human urine using liquid chromatography/triple quadrupole mass spectrometry. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, 21(4): 536–542. https://doi.org/10.1002/rcm.2866

Lo H.-H., Brown P.I., Rankin G.O. 1990. Acute nephrotoxicity induced by isomeric dichloroanilines in Fischer 344 rats. *Toxicology*, 63(2): 215–231. https://doi.org/10.1016/0300-483X(90)90044-H

Martins M., Rodrigues-Lima F., Dairou J., Lamouri A., Malagnac F., Silar P., Dupret J.-M. 2009. An acetyltransferase conferring tolerance to toxic aromatic amine chemicals: molecular and functional studies. *Journal of Biological Chemistry*, 284: 18726–18733. https://doi.org/10.1074/jbc.M109.015230

Morgan P., Lewis S.T., Watkinson R.J. 1991. Comparison of abilities of white-rot fungi to mineralize selected xenobiotic compounds. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 34(5): 693–696. https://doi.org/10.1007/BF00167925

Mori T., Sudo S., Kawagishi H., Hirai H. 2018. Biodegradation of diuron in artificially contaminated water and seawater by wood colonized with the white-rot fungus *Trametes versicolor*. *Journal of Wood Science*, 64: 690–696. https://doi.org/10.1007/s10086-018-1740-x

Padmanabhan J., Parthasarathi R., Subramanian V., Chattaraj P.K. 2006. Theoretical study on the complete series of chloroanilines. *The Journal of Physical Chemistry*, 110(32): 9900–9907. https://doi.org/10.1021/jp061436p

Racine C.R., Ferguson T., Preston D., Ward D., Ball J., Anestis D., Valentovic M., Rankin G.O. 2016. The role of biotransformation and oxidative stress in 3,5-dichloroaniline (3,5-DCA) induced nephrotoxicity in isolated renal cortical cells from male Fischer 344 rats. *Toxicology*, 341–343: 47–55. https://doi.org/10.1016/j.tox.2016.01.006

Rankin G.O., Racine C.R., Valentovic M.A., Anestis D.K. 2021. Nephrotoxic potential of putative 3,5-dichloroaniline (3,5-DCA) metabolites and biotransformation of 3,5-DCA in isolated kidney cells from Fischer 344 rats. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(1): 292. https://doi.org/10.3390/ijms22010292

Rodrigues A.D., Dos Santos Montanholi A., Shimabukuro A.A., Yonekawa M.K.A., Cassemiro N.S., Silva D.B., Marchetti C.R., Weirich C.E., Beatriz A., Zanoelo F.F., Marques M.R., Giannesi G.C., das Neves S.C., Oliveira R.J., Ruller R., de Lima D.P., Dos Anjos Dos Santos E. 2023. N-acetylation of toxic aromatic amines by fungi: Strain screening, cytotoxicity and genotoxicity evaluation, and application in bioremediation of 3,4-dichloroaniline. *Journal of Hazardous Materials*, 41: 129887. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.129887

Sandermann H.Jr., Heller W., Hertkorn N., Hoque E., Pieper D., Winkler R. 1998. A new intermediate in the mineralization of 3,4-dichloroaniline by the white rot fungus *Phanerochaete chrysosporium*. *Applied and Environmental Microbiology*, 64(9): 3305–3312. https://doi.org/10.1128/AEM.64.9.3305-3312.1998

Sarker A., Lee S.-H., Kwak S.-Y., Nandi R., Kim J.-E. 2020. Comparative catalytic degradation of a metabolite 3,5-dichloroaniline derived from dicarboximide fungicide by laccase and MnO_2 mediators. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 196: 110561. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.110561

Shaalan R.A., Belal T.S. 2013. Validated stability-indicating HPLC-DAD method for the simultaneous determination of diclofenac sodium and diflunisal in their combined dosage form. *Scientia Pharmaceutica*, 81(3): 713–731. https://doi.org/10.3797/scipharm.1301-24

Shailakshi, Tees R., D'souza G., Kumari M.S., Pinto G.M., Priya. 2024. A comparative study of green and conventional synthesis of schiff base and its metal complexes from 3,5-dichloroaniline and 3-chloro-4 fluroaniline. *International Research Journal on Advanced Engineering and Management*, 2(7): 2323–2327. https://doi.org/10.47392/IRJAEM.2024.0336

Smitha M.S., Singh S., Singh R. 2017. Microbial biotransformation: a process for chemical alterations. *Journal of Bacteriology and Mycology*, 4(2): 47–51. https://doi.org/10.15406/jbmoa.2017.04.00085

Suzuki T., Oka M., Maeda K., Furusawa K., Uesaka H., Kataoka T. 1999. Synthesis and muscarinic activity of novel aniline derivatives with a 1-azabicyclo[3.3.0]octane moiety. *Chemical and Pharmaceutical Bulletin*, 47(1): 28–36. https://doi.org/10.1248/cpb.47.28

Tasca A.L., Fletcher A. 2018. State of the art of the environmental behaviour and removal techniques of the endocrine disruptor 3,4-dichloroaniline. *Journal of Environmental Science and Health, Part A, Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering*, 53(3): 260–270. https://doi.org/10.1080/10934529.2017.1394701

Thamer H.F., Dhahir S.A., Al-Sahib S.A., Kattom I.A. 2013. Synthesis and identification of some new derivative of trimethoprim and paracetemol drugs. *Baghdad Science Journal*, 10(1): 182–188. https://doi.org/10.21123/bsj.2013.10.1.182-188

Thompson J.M., Chisholm B.J., Bezbaruah A.N. 2010. Reductive dechlorination of chloroacetanilide herbicide (alachlor) using zero-valent iron nanoparticles. *Environmental Engineering*, 27(3): 227–232. https://doi.org/10.1089/ees.2009.0147

Valentovic M.A., Ball J.G., Anestis D.K., Rankin G.O. 1995. Comparison of the in vitro toxicity of dichloroaniline structural isomers. *Toxicology in Vitro*, 9(1): 75–81. https://doi.org/10.1016/0887-2333(94)00188-Z

Vasileiadis S., Puglisi E., Papadopoulou E.S., Pertile G., Suciu N., Pappolla R.A., Tourna M., Karas P.A., Papadimitriou F., Kasiotakis A., Ipsilanti N., Ferrarini A., Sułowicz S., Fornasier F., Menkissoglu-Spiroudi U., Nicol G.W., Trevisan M., Karpouzas D.G. 2018. Blame it on the metabolite: 3,5-dichloraniline rather than the parent compound is responsible for decreasing diversity and function of soil microorganisms. *Applied and Environmental Microbiology*, 84(22): e01536-18. https://doi.org/10.1128/AEM.01536-18

Wang W., Zhang L. 2013. Hydrogen transfer hydrogenation of nitrobenzene to aniline with Ru(acac)3 as the catalyst. *Research on Chemical Intermediates*, 40(8): 3109–3118. https://doi.org/10.1007/s11164-013-1155-7

Yen J.-H., Tsai P.-W., Chen W.-C., Wang Y.-S. 2008. Fate of anilide and aniline herbicides in plant-materials-amended soils. *Journal of Environmental Science and Health, Part B*, 43(5): 382–389. https://doi.org/10.1080/03601230802062067

Біотрансформація 2,6-дихлораніліну та 3,5-дихлораніліну міцелієм базидіоміцетів

С.В. БОНДАРУК [1,2], С.О. БУЛАВА [3], Р.А. КОРЖ [2], Д.С. ЛЕСИК [2,3], В.В. ПОЛОВИНКО [2], А.В. ФЕДИК [2,3], Г.А. АЛЬ-МААЛІ [1,2]

[1] Інститут ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України, вул. Терещенківська 2, Київ 01601, Україна

[2] ТОВ "Енамін", вул. Вінстона Черчилля 78, Київ 02094, Україна

[3] Київський національний університет імені Тараса Шевченка, вул. Володимирська 60, Київ 01601, Україна

Реферат. Дихлораніліни активно використовуються для синтезування ліків та пестицидів; проте було виявлено, що ці сполуки також проявляють токсичну активність. Метою цього дослідження було вивчення здатності міцелію *Fomitopsis pinicola*, *Ganoderma tsugae*, *Pleurotus ostreatus* та *Schizophyllum commune* біотрансформувати дихлораніліни в контрольованих умовах. Одержані результати показали, що ступінь біодеградації двох досліджуваних сполук дихлоранілінів коливався від 83,95% до 99,85%. Найвищий відсоток біодеградації встановлено для міцелію *G. tsugae* 2566, а найнижчий — для міцелію обох досліджуваних штамів *S. commune*. Внаслідок біотрансформації 3,5-дихлораніліну було ідентифіковано п'ять метаболітів: 3,5-дихлорнітробензол, 3,5-дихлороацетанілід, 3,5-дихлорфенол, 2-аміно-4,6-дихлорфенол та 4-аміно-2,6-дихлорфенол. Три з цих метаболітів були виявлені вперше як продукти біотрансформації досліджуваних сполук грибним міцелієм. Це також перше повідомлення про наявність 4-аміно-3,5-дихлорфенолу після біотрансформації 2,6-дихлораніліну грибним міцелієм.

Ключові слова: ацетилювання, амінодихлорфенол, біодеградація, ксенобіотик, міцеліальні гриби, хроматографія

ПОКАЖЧИК СТАТЕЙ, ОПУБЛІКОВАНИХ В *УКРАЇНСЬКОМУ БОТАНІЧНОМУ ЖУРНАЛІ* В 2025 РОЦІ

INDEX OF ARTICLES PUBLISHED IN *UKRAINIAN BOTANICAL JOURNAL* IN 2025

Загальні проблеми та огляди

Kolupaev Yu.E., Shkliarevskyi M.A. Accumulation of proline in vegetative organs of *Triticum aestivum* (*Poaceae*) under drought conditions in the early phases of development: a meta-analysis of data **4** 277–290

Smirnov O.E., Dzhagan V.M., Mazur N.V., Dzhagan V.V., Taran N.Yu., Schwartau V.V. High potential of biosynthesized nanoparticles as an efcient and inexpensive tool for SERSdetection of explosives based on trinitrotoluene .. **5** 387–397

Систематика, флористика, географія рослин

Безусько Л.Г., Цимбалюк З.М., Ниценко Л.М. Участь деяких рідкісних та реліктових видів рослин у палінофлорах відкладів аллереду–голоцену Лісостепової зони України **3** 206–224

Орлов О.О., Шиндер О.І., Кіш Р.Я. Поширення та екологоценотичні особливості *Sedum annuum* (*Crassulaceae*) в Україні **5** 416–434

Bilonoha V.M., Kyyak V.H., Kozlovskyy V.I. Distribution patterns of *Dactylis glomerata* subsp. *slovenica* (*Poaceae*) in the Ukrainian Carpathians **3** 258–266

Blanchon D.J., Wilson P.G., Mosyakin S.L. de LANGE P.J. Nomenclatural problems with corrected orthography and possible solutions: the curious case of "*Caloplaca L. B. Moorii*" Zahlbr. (*Teloschistaceae*) **4** 326–335

Bondarenko H.M., Gamulya G.Yu. New and rare hybrids of Eudicots in the fora of Kharkiv Region, Ukraine **4** 345–366

Kobiv Y., Dmytrakh R. *Valeriana dacica* (*Caprifoliaceae*), a Carpathian endemic in Ukraine: distribution, morphology, ecology, population characteristics, and identification issues **6** 524–534

Mikhailyuk T.I., Vinogradova O.M., Demchenko E.M., Petlovana V.R., Glaser K., Karsten U. Terrestrial algae and cyanobacteria of the Holosiiv National Nature Park (Kyiv, Ukraine), with the description of *Leptochlorella arboricola* sp. nov. (*Trebouxiophyceae*, *Chlorophyta*) **1** 3–30

Mikhailyuk T., Vinogradova O., Nyporko S., Vasheniak I. Algae, bryophytes, and vascular plants of calcareous rocks of the Dumka Cave complex (Dniester Regional Landscape Park, Ukraine) **6** 535–551

Mosyakin S.L., Fedoronchuk M.M., McNeill J. Simplifying the nomenclature of *Sorbus sensu* lato: new nomenclatural solutions in *Aria* and *Hedlundia* (*Rosaceae*) **3** 206–224

Nikitina E., Mirzayeva S., Alieva K., Ergashov I., Yusupov Z. Complete chloroplast genomes and phylo genetic positions of species of the genus *Ziziphora* (*Lamiaceae*) from Uzbekistan **4** 314–325

Olshanskyi I.G., Shiyan N.M., Antonenko S.I. New nomenclatural combinations in *Cenchrus*, and two new names in *Cenchrus* and *Elymus* (*Poaceae*) **6** 552–555

Peregrym M.M., Olshanskyi I.G. New nomenclatural combinations in *Cleome* sensu stricto (*Cleomaceae*) from Eastern Europe and the Caucasus **1** 46–49

Sandoval-Ortega M.H., Zumaya-Mendoza S. Type designations for three names applicable to Mexican species of *Dysphania* (*Chenopodiaceae* s. str. / *Amaranthaceae* s. l.), and a new combination **2** 81–89

Sandoval-Ortega M.H., Rodríguez-Pérez E.J. A new species of *Dysphania* (*Chenopodiaceae* s. str. / *Amaranthaceae* s. l.) from northcentral Mexico **5** 407–415

Soreng R., Tasenkevich L. Nomenclatural notes on *Poa* (*Poaceae*): *Poa pseudoconcinna*, typification and application to *P. bulbosa* sensu stricto, and application of diploid chromosome counts ascribed to *P. bulbosa* and putatively related taxa **6** 505–523

Гриби і грибоподібні організми

Краснопірка В.А., Заболотня А.С., Акулов О.Ю. Перші верифіковані знахідки в Україні гриба *Diaporthe cauli-vora* (*Diaporthales*, *Ascomycota*) — збудника північного раку стебла сої **1** 50–59

Alimammadova-Husuyeva A.A., Bisko N.A., Mytropolska N.Yu., Gurinovych N.V., Aghayeva D.N. Antimicrobial activity in cultures of some xylotrophic basidiomycetes from Azerbaijan **3** 252–257

Heluta V.P., Hayova V.P. Which species of *Sawadaea* (*Erysiphaceae*) parasitise *Acer negundo* in Ukraine? **5** 398–406

Kiladze E., Wojciechowski T., Bryla D.R., Bitsadze N. No short-term benefts of inoculation with ericoid mycor-rhizal fungi for highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum*: *Ericaceae*) cultivated under controlled conditions in rhizotrons **2** 90–97

Khan M.N., Allawi M.Y., Adnan B.B., Ahmad N.A., Sinang S.C., Mohd Noor N.N., Rahman M.A., Kamaruddin N., Rahmad N., Khairuddin R.F.R., Al-Obaidi J.R. Molecular detection and symptomatology of *Lasiodiplodia theobromae* (*Ascomycota*) infecting rose apples (*Syzygium samarangense*) in Malaysia **5** 453–459

Marshall A.J., Blanchon D.J., Aptroot A., de Lange P.J. Four new species of Aotearoa | New Zealand *Pyrenula* (*Pyrenu-laceae*) segregated from *P. moniliformis* **5** 435–452

Tykhonenko Yu.Ya. Species of the genus *Phragmidium* (*Pucciniales*) as parasites of brambles (*Rubus*: *Rosaceae*) in Ukraine **2** 115–127

Геоботаніка, екологія, охорона рослинного світу

Мойсієнко І.І., Дідух Я.П., Зав'ялова Л.В., Кучер О.О., Шаповал В.В., Чусова О.О., Ходосовцев О.Є., Ірад Ю.А., Диренко Н.В. Еколого-флористичний аналіз впливу розбудови польових фортифікацій на лісові фітосистеми **4** 367–383

Dvirna T.S., Minarchenko V.M., Tymchenko I.A. Structure and dynamics of populations of *Asclepias syriaca* (*Asclepia-daceae*) within the LefBank ForestSteppe of Ukraine **5** 473–487

Kuzemko A.A., Prylutskyi O.V., Kolomytsev G.O., Didukh Ya.P., Moysiyenko I.I., Borsukevych L.M., Chusova O.O., Khodosovtsev O.Ye. Initial stages of revegetation at the bottom of the drained Kakhovka Reservoir (Ukraine): synthe-sis of feld surveys and remote sensing **5** 488–501

Червона книга України

Мельник В.І., Баранський О.Р. Динаміка ареалу *Hemipilia cucullata* (*Orchidaceae*) в межах України **1** 3–30

Kobiv Y., Danylyk I. Distribution and conservation status of *Ligularia sibirica* (*Asteraceae*) in Europe, with special reference to Ukraine **2** 98–114

Флористичні знахідки

Андрик Є.Й., Шиндер О.І., Шевера М.В. *Sedum sarmentosum* (*Crassulaceae*) у флорі України **2** 162–170

Ghilan M. The first records of the Pontic steppe subendemic *Salvia revelata* (*Lamiaceae*) in the Republic of Moldova: current status and threats **6** 556–566

Мікологічні знахідки

Акулов О.Ю., Романченко О.В. Нові для території України знахідки гетеробазидієвих грибів **3** 234–241

Плужник А.В., Придюк М.П. Нові знахідки агарикоїдних грибів на території Національного природного парку "Холодний Яр" **4** 291–305

Gireeshma K.G., Greeshma S., Aparna S.N., Lakshmi K.R.K., Gayatri G.P., Shyam K.S., Manoj K.A. First report of *Fulvifomes siamensis* (*Hymenochaetaceae*) from India, with notes on morphology and nrITS–nrLSU-based phylogeny **6** 567–576

Структурна ботаніка

Odintsova A.V. Morphological and taxonomic overview of fruits in representatives of subclass *Caryophyllidae* in the fora of Ukraine **1** 60–78

Tsarenko O.M., Bulakh O.V., Shykhaleyeva G.M., Szczepaniak M., Felbaba-Klushyna L.M., Kucher O.O., Kaczmarek K., Rewicz A. Morphological features of fowers and fruits of *Valeriana stolonifera* (*Caprifoliaceae*) and their taxonomic signifcance **5** 460–472

Біотехнологія, фізіологія, біохімія

Коць С.Я., Стасик О.О., Кірізій Д.А., Моргун В.В. Основні тенденції використання фізіології у селекції, підвищенні продуктивності та стресостійкості рослин в Україні **6** 577–593

Письменна Ю.М., Панюта О.О., Белава В.Н., Ольхович О.П., Таран Н.Ю. Вплив передпосівної обробки наночастинками срібла та міді на лектин-залежні адаптивні реакції *Triticum aestivum* (*Poaceae*) до збудника очкової плямистості *Oculimacula yallundae* (*Helotiales*, *Ascomycota*) **2** 171–185

Тарабан Д.А., Карпець Ю.В., Ястреб Т.О., Лугова Г.А., Писаренко В.М., Колупаєв Ю.Є. Вплив праймінгу мелатоніном на проростання зернівок, метаболізм вуглеводів і стан антиоксидантної системи у *Triticum aestivum* (*Poaceae*) за умов посухи та сольового стресу **2** 128–143

Топчій Н.М., Золотарьова О.К., Дадика В.В., Федюк О.М., Онойко О.Б. Світлозалежні зміни карбоангідразної активності листків *Crassula ovata* (*Crassulaceae*) **3** 242–251

Рубцова О.Л., Вакуленко Т.Б., Левон В.Ф., Чижанькова В.І. Вміст антоціанів у надземних органах *Rosa rugosa* та *Rosa* 'Rotes Phaenomen' (*Rosaceae*) **4** 306–313

Bondaruk S.V., Bulava S.O., Korzh R.A., Lesyk D.S., Polovynko V.V., Fedyk A.V., Al-Maali G.A. Biotransformation of 2,6-dichloroaniline and 3,5-dichloroaniline by the mycelium of basidiomycetes **6** 594–603

Bondaruk S.V., Korzh R.A., Al-Maali G.A. Biotransformation of xenobiotics by mycelium of *Laricifomes ofcinalis* (*Polyporales*, *Basidiomycota*) **4** 336–344

Клітинна та молекулярна біологія

Сахарова В.Г., Блюм Р.Я., Рабоконь А.М., Мосякін С.Л., Блюм Я.Б. Дослідження генетичного різноманіття та популяційної структури рижію дрібноплідного (*Camelina microcarpa*: *Brassicaceae*) в Україні **2** 144–161

Fediuk O., Bilyavska N., Akimov Yu., Zolotareva O. Atypical cristae in bundle sheath mitochondria in leaves of *Atriplex tatarica* (*Chenopodiaceae* s. str. / *Amaranthaceae* s. l.) **3** 189–196

Ovcharenko Yu., Shevchenko G. Plant strategy to adapt to life in water: peculiarities of root system organization in *Sagittaria sagittifolia* and *Alisma plantago-aquatica* (*Alismataceae*) **3** 197–205

Втрати науки

Світлій пам'яті видатного українського ботаніка Дмитра Васильовича Дубини (17.04.1949 — 23.03.2025) . . . **3** 267–273

Покажчик статей, опублікованих в *Українському ботанічному журналі* в 2025 році **6** 604–606