UDK: 664.8.047:635.24

TOPINAMBUR TUGANAK MEVALARINI KONVEKTIV QURITISHNING SIFAT KO‘RSATKICHLARIGA TA'SIRI

Allayarov Jasur Jumanazarovich
dotsent, q.x.f.n., Qarshi davlat texnika universiteti.
ORCID ID: 0009-0008-6334-8772
Qobulova Gulibonu Rashid qizi
magistrant, Qarshi davlat texnika universiteti.
ORCID ID: 0009-0000-3385-0034

https://doi.org/10.5281/zenodo.20624313

Annotatsiya. *Ushbu maqolada topinambur (Helianthus tuberosus L.) tuganak mevalarini konvektiv quritish jarayonining sifat ko‘rsatkichlariga ta'siri eksperimental va tahliliy jihatdan o‘rganilgan. Tadqiqotlar 2025-2026 yillarda Qarshi davlat texnika universitetining “Qishloq xo‘jalik mahsulotlarini yetishtirish va qayta ishlash texnologiyasi” kafedrasi laboratoriyasida amalga oshirildi. Quritish harorati (50, 60, 70 va 80°C) va havo oqimi tezligi (1,0; 1,5 va 2,0 m/s) mustaqil o‘zgaruvchi sifatida tanlandi. Quritilgan mahsulotning namlik miqdori, inulin saqlash koeffitsienti, rang ko‘rsatkichlari (CIE L*a*b* tizimi), qayta tiklanuvchanlik darajasi va umumiy fenol birikmalar miqdori asosiy sifat ko‘rsatkichlari sifatida baholandi. Olingan natijalarga ko‘ra, 60°C harorat va 1,5 m/s havo tezligida quritilgan namunalar inulin miqdorini 89,3 % saqlab qoldi, rang ko‘rsatkichlari esa xom mahsulotga nisbatan minimal o‘zgarishlarni ko‘rsatdi. Haroratning 80°C ga ko‘tarilishi inulinning termik parchalanishini tezlashtirdi va Maillard reaksiyasi natijasida mahsulot rangini sezilarli darajada qorayishiga sabab bo‘ldi.*

Tadqiqot natijalari oziq-ovqat sanoatida topinambur quruq poroshogini ishlab chiqarish uchun texnologik parametrlarni optimallashtirish nuqtai nazaridan amaliy ahamiyat kasb etadi.

Kalit so‘zlar: *topinambur, konvektiv quritish, inulin, sifat ko‘rsatkichlari, quritish parametrlari, Maillard reaksiyasi, oziq-ovqat texnologiyasi.*

Аннотация. *В данной статье экспериментально и аналитически исследовано влияние конвективной сушки клубней топинамбура (Helianthus tuberosus L.) на показатели качества готового продукта. Исследование проводилось в 2025-2026 годах в лаборатории кафедры «Технологии сельскохозяйственного производства и переработки» Каршского государственного технического университета. В качестве независимых переменных были выбраны температура сушки (50, 60, 70 и 80°C) и скорость воздушного потока (1,0; 1,5 и 2,0 м/с). Влагосодержание, коэффициент сохранности инулина, цветовые характеристики (система CIE L*a*b*), степень восстанавливаемости и содержание общих фенольных соединений оценивались как основные показатели качества. Согласно полученным результатам, образцы, высушенные при температуре 60°C и скорости воздуха 1,5 м/с, сохранили 89,3 % инулина, при этом цветовые показатели продемонстрировали минимальные изменения по сравнению с сырым продуктом.*

Повышение температуры до 80°C ускорило термическое разложение инулина и привело к значительному потемнению продукта вследствие реакции Майяра.

Результаты исследований имеют практическое значение с точки зрения оптимизации технологических параметров производства сухого порошка топинамбура в пищевой промышленности.

Ключевые слова: *топинамбур, конвективная сушка, инулин, показатели качества, параметры сушки, реакция Майяра, пищевая технология.*

Abstract. *This article experimentally and analytically investigates the effect of convective drying of Jerusalem artichoke (Helianthus tuberosus L.) tubers on the quality indicators of the final product. The study was conducted in 2025-2026 in the laboratory of the Department of Agricultural Production and Processing Technologies of Karsh State Technical University.*

*Drying temperature (50, 60, 70, and 80°C) and airflow velocity (1.0, 1.5, and 2.0 m/s) were selected as independent variables. Moisture content, inulin retention coefficient, color characteristics (CIE L*a*b* system), rehydration ratio, and total phenolic compound content were evaluated as primary quality indicators. According to the results obtained, samples dried at 60°C and an airflow velocity of 1.5 m/s retained 89.3% of inulin, while color characteristics showed minimal changes compared to the raw product. Increasing the temperature to 80°C accelerated thermal degradation of inulin and caused significant product browning due to the Maillard reaction. The research findings hold practical significance for optimizing the technological parameters of Jerusalem artichoke dry powder production in the food industry.*

Keywords: *Jerusalem artichoke, convective drying, inulin, quality indicators, drying parameters, Maillard reaction, food technology.*

1. KIRISH

Topinambur - Asteraceae oilasiga mansub ko‘p yillik o‘simlik bo‘lib, uning tuganak mevalari inulin polisaxaridiga (quruq moddaning 14–19%) boy ekanligi bilan farqlanadi. Inulin prebiotik xossaga ega va ichakning foydali mikrobiota tarkibini yaxshilashi, qon glyukoza darajasini nazorat qilishi hamda immunitet tizimini kuchaytirishi bilan tibbiy va oziq-ovqat sanoatida katta qiziqish uyg‘otmoqda (Franck, 2002; Roberfroid, 2005). O‘zbekistonda topinambur hosildorligi 25–40 t/ga ni tashkil qilib, nisbatan kam tadqiq etilgan qishloq xo‘jaligi ekinlaridan biri hisoblanadi.

Quritish - oziq-ovqat mahsulotlarini uzoq muddatga saqlashning eng qadimiy va keng qo‘llaniladigan usullaridan biri bo‘lib, namlikni kamaytirish orqali mikrobiologik va fermentativ jarayonlarni inhibe qiladi. Konvektiv (issiq havo yordamida) quritish sanoatda eng ko‘p foydalaniladigan usul hisoblanadi, chunki u nisbatan past kapital xarajatlar va moslashuvchanligi bilan ajralib turadi. Biroq yuqori haroratda amalga oshiriladigan konvektiv quritish jarayoni inulin kabi termolabil biologik faol moddalarning parchalanishiga, pigmentlarning oksidlanishiga va Maillard reaksiyasi natijasida keraksiz rang o‘zgarishlariga sabab bo‘lishi mumkin.

Hozirgi kunda topinambur quritishga oid xalqaro ilmiy adabiyotlarda asosan Yevropa va Osiyo sharoitidagi natijalarga tayaniladi, O‘rta Osiyo iqlimi - yuqori harorat, past nisbiy namlik va meridional quyosh radiatsiyasi sharoitida olib borilgan tadqiqotlar esa sanoqli. Shu sababli ushbu tadqiqot topinambur tuganaklarini konvektiv quritishning optimal texnologik parametrlarini aniqlash va ushbu parametrlarning mahsulot sifat ko‘rsatkichlariga ta'sirini ilmiy asoslashni maqsad qilib qo‘ygan [12,13].

2. ADABIYOTLAR SHARHI

Topinambur tuganaklarining kimyoviy tarkibi va quritish jarayoni bilan bog‘liq mavzular xalqaro ilmiy nashrlar orasida tobora ko‘proq o‘rin egallaydi. Roberfroid o‘zining fundamental ishida inulin va fruktooligosaxxaridlarning prebiotik funksiyalarini batafsil yoritib berdi va ularning inson salomatligiga ta'siriga oid meta-tahlillarni umumlashtirdi. Ushbu manba inulinni saqlovchi oziq-ovqat texnologiyalarini rivojlantirishda asosiy nazariy zamin bo‘lib xizmat qiladi.

Quritish kinetikasi sohasida Doymaz kartofel va boshqa nishastali tuganak ekinlarini konvektiv quritishda diffuziv namlik ko‘chishi modellarini ishlab chiqdi. Uning natijalari diffuziya koeffitsienti harorat bilan eksponent ravishda bog‘liqligini va Arrhenius tenglamasi yordamida tavsiflanishi mumkinligini ko‘rsatdi. Bu model keyinchalik topinambur uchun ham qo‘llanilgan.

Rang o‘zgarishi va Maillard reaksiyasi masalasida Bhandari va D’Arcy qand miqdori yuqori meva va sabzavotlarni quritishda qo‘ng‘irlashish kinetikasini o‘rganib, harorat va namlik faolligining hal qiluvchi rol o‘ynashini isbotladi. Topinambur uchun xos bo‘lgan yuqori fruktozali muhit bu reaksiyani yanada faollashtirishi Ramos va boshqalar tomonidan tasdiqlangan.

O‘zbekiston sharoitida oziq-ovqat mahsulotlarini quritish texnologiyasiga oid ilmiy ishlar orasida Mirzayev va Usmonov mevalar va sabzavotlarning issiq havo yordamida quritilishida energiya sarfini kamaytirish usullarini o‘rgangan. Toshmatov va Holiqovlar esa inulin saqlash koeffitsienti bo‘yicha vakuum va konvektiv quritishni qiyosiy tahlil qilgan, konvektiv usulning past haroratlarda (55–65 °C) inulin xavfsizligini ta'minlashini ko‘rsatgan.

3. MATERIALLAR VA METODLAR

Tadqiqot ob'ekti sifatida Qarshi tumani tajriba dalalaridan yig‘ib olingan topinambur tuganaklari (nav: «Muscovite», 2021–2023 yil hosilining kuz yig‘imi, sentyabr–oktyabr) tanlandi. Tuganaklarning boshlang‘ich namligi 78,4 ± 1,2 % (ho‘l asosda), inulin miqdori 16,7 ± 0,4 % (quruq asosda) deb aniqlandi. Tuganklar dastlab oqim ostida yuvilib, po‘sti mexanik usulda tozalandi va 3 ± 0,2 mm qalinligidagi tilinglar (slices) shaklida kesib olindi. Uniformlikni ta'minlash uchun barcha namunalar bir xil hajm va vaznga ega bo‘lganligi tekshirildi.

Konvektiv quritish tajribalari laboratoriya shkaf quritgichi (LP-01, «Binder», Germaniya) yordamida amalga oshirildi. Harorat rejimlari: 50, 60, 70 va 80 °C; havo oqimi tezligi: 1,0; 1,5 va 2,0 m/s. Har bir kombinatsiya uchun 3 ta takrorlanish o‘tkazildi (n = 3 × 4 × 3 = 36 eksperiment). Namuna massasi 2 soatda bir marta ±0,01 g aniqlikdagi analitik tarozida o‘lchandi.

Quritish jarayoni mahsulot namligi 8 % (quruq asosda) ga yetguncha davom ettirildi va bu ko‘rsatkich nazorat namunasi sifatida O‘zDSt ISO 712:2014 standarti bo‘yicha kalorimetrik usulda tekshirildi.

Inulin miqdori HPLC (Agilent 1260 Infinity II, Aminex HPX-87C ustun, RI detektor, harorat 85°C, elyuent: distillangan suv) yordamida aniqlandi. Rang ko‘rsatkichlari Konica Minolta CM-600d kolorimetri yordamida CIE L*a*b* tizimida o‘lchandi; L - yorqinlik, a - qizil-yashil spektr, b - sariq-ko‘k spektr ko‘rsatkichlari sifatida qayd etildi. Qayta tiklanuvchanlik darajasi (rehydration ratio, RR) quritilgan namunani 25°C dagi distillangan suvda 30 daqiqa ushlab, massa o‘zgarishini kuzatish orqali hisoblandi. Umumiy fenol birikmalar miqdori Folin-Ciocalteu reagenti yordamida spektrofotometrik usulda (760 nm) galik kislota ekvivalentida (mg GAE/g quruq massa) aniqlandi. Barcha statistik tahlillar IBM SPSS Statistics 26 dasturida bir omilli ANOVA va Tukey HSD testi ($p < 0,05$) yordamida amalga oshirildi.

4. NATIJALAR

Quritish egri chiziqlari tahlili shuni ko‘rsatdiki, harorat qanchalik yuqori bo‘lsa, quritish davomiyligi shunchalik qisqa. 80°C da boshlang‘ich namlikdan 8% ga yetish uchun 3 soat 20 daqiqa zarur bo‘lgan bo‘lsa, 50°C da ushbu jarayon 7 soat 40 daqiqani talab qildi. Havo tezligining 1,0 m/s dan 2,0 m/s ga oshirilishi quritish vaqtini o‘rtacha 18–22% qisqartirdi.

Effektiv namlik diffuziya koeffitsienti (D_e^{ii}) Arrhenius tenglama asosida hisoblandi: 50°C da 2,14 × 10^{-10} m²/s dan 80°C da 7,83 × 10^{-10} m²/s gacha o‘sdi. Aktivatsiya energiyasi (E_a) 28,4 kJ/mol deb topildi.

Inulin saqlash koeffitsienti harorat oshishi bilan sezilarli ravishda kamaydi. 50°C da bu ko‘rsatkich 91,8 ± 0,7% ni tashkil etdi. Optimal rejim sifatida belgilangan 60°C / 1,5 m/s sharoitida inulin saqlash 89,3 ± 0,9% bo‘ldi. Harorat 70°C ga ko‘tarilganda inulin yo‘qotilishi 14,2% ga, 80°C da esa 23,7% ga yetdi. Dispersiyon tahlil natijalariga ko‘ra, haroratning ta'siri statistik jihatdan ishonchli (F = 48,3; p < 0,001), havo tezligining ta'siri esa unchalik sezilarli emas (F = 2,1; p = 0,14) deb topildi.

Quritish parametrlarining inulin saqlash koeffitsienti va rang ko‘rsatkichlariga ta'siri

1-jadval.

Harorat (°C)	Tezlik (m/s)	Inulin saqlash (%)	L	a	b	RR
50	1,5	91,8 ± 0,7	78,4	1,2	18,3	4,21
60	1,0	88,6 ± 0,8	76,9	1,6	19,1	4,38
60	1,5	89,3 ± 0,9	77,2	1,4	18,7	4,45
60	2,0	88,1 ± 1,1	76,5	1,7	19,4	4,39
70	1,5	85,8 ± 1,2	72,1	3,4	22,6	4,12
80	1,5	76,3 ± 1,6	64,8	6,2	27,4	3,78
Xom (nazorat)	-	100	81,3	0,8	15,6	-

Rang ko‘rsatkichlari tahlili mahsulotning yorqinlik indeksi harorat oshishi bilan qarama-qarshi yo‘nalishda o‘zgarishini ko‘rsatdi: xom tuganda L = 81,3 bo‘lgan bo‘lsa, 80°C da quritilgan mahsulotda bu ko‘rsatkich 64,8 ga tushdi - ya'ni 20,3 birlikka pasaydi. Bu holat Maillard reaksiyasi va karamelizatsiya natijasida yuzaga kelgan qo‘ng‘ir ranglanishni tasdiqlovchi qiymatining ham 0,8 dan 6,2 ga oshishi bilan birga kuzatildi. Optimal 60°C / 1,5 m/s rejimida L= 77,2 va a= 1,4 bo‘lib, bu ko‘rsatkichlar xom mahsulot bilan qiyoslaganda texnologik jihatdan qabul qilinishi mumkin bo‘lgan o‘zgarish diapazonida qoladi (ΔE = 4,3 < 5,0 chegaraviy qiymat).

Haroratning umumiy fenol birikmalar va quritish davomiyligiga ta'siri

2-jadval.

Harorat (°C)	Fenol miqdori (mg GAE/g)	Inulin saqlash (%)	Quritish vaqti (soat)	Energiya sarfi (kWh/kg)
50	4,82 ± 0,12	91,8 ± 0,7	7,67	4,82
60	4,41 ± 0,09	89,3 ± 0,9	5,33	3,87
70	3,89 ± 0,11	85,8 ± 1,2	4,17	3,54
80	3,14 ± 0,14	76,3 ± 1,6	3,33	3,21

5. MUHOKAMA

Tadqiqot natijalarining umumiy tahlili shuni ko‘rsatdiki, topinambur tuganaklarini konvektiv quritishda harorat omili sifat ko‘rsatkichlariga hal qiluvchi ta'sir ko‘rsatadi. Inulinning 60 °C dan yuqori haroratlarda intensiv parchalanishi Shoaib va boshq. (2016) ma'lumotlari bilan to‘liq mos keladi: ular ham 65°C dan yuqori haroratlarda inulin zanjiri uzunligining (DP, degree

of polymerization) sezilarli qisqarishini qayd etgan. Ushbu parchalanish jarayoni fruktooligosaxxaridlarning (DP < 10) miqdorini oshirsa ham, yuqori polimerizatsiya darajasidagi inulinning (DP > 23) prebiotik samaradorligini pasaytiradi.

Rang ko‘rsatkichlarining yomonlashuvida ikki asosiy mexanizm rol o‘ynaydi. Birinchisi - Maillard reaksiyasi: topinamburdagi fruktozaning aminokislotalar bilan reaksiyaga kirishishi, bu xususan 70 °C va undan yuqori haroratlarda tezlashadi. Ikkinchisi - fermentativ bo‘lmagan qo‘ng‘irlashish (karamelizatsiya), ya'ni fruktoза ning harorat ta'sirida siklik kondensatsiyasi.

Bhandari va D’Arcy (1999) tomonidan belgilangan ΔE < 5,0 qabul qilish mezoniga ko‘ra, faqat 60°C va undan pastroq haroratlarda olingan namunalar rangni saqlab qolish jihatidan standart talablariga javob berdi.

Qayta tiklanuvchanlik darajasi (RR) bo‘yicha 60°C / 1,5 m/s rejimi eng yuqori ko‘rsatkichni (4,45) berdi. Bu hujayra tuzilmasining yuqori haroratlarda qaytarib bo‘lmaydigan darajada o‘zgarishi bilan tushuntiriladi: 80°C da hujayra devorlarining qisman parchalanishi qayta tiklanuvchanlikni sezilarli kamaytirdi (RR = 3,78). Shu munosabat bilan Giri va Prasad (2007) ishida ko‘rsatilgan optimal 55–65 °C diapazoni bizning natijalarga muvofiq keladi.

6. XULOSALAR

Olib borilgan tadqiqotlar asosida quyidagi ilmiy va amaliy xulosalar shakllandi:

Birinchidan, topinambur tuganaklarini konvektiv quritishda harorat ko‘rsatkichi - 60 °C - inulin saqlash koeffitsienti, rang va fenol birikmalar saqlash nuqtai nazaridan texnologik optimallik chegarasi hisoblanadi. Ushbu haroratda inulinning 89,3 % saqlab qolinishi va rang o‘zgarishining qabul qilinishi mumkin bo‘lgan diapazonida (ΔE = 4,3) qolishi tasdiqlandi.

Ikkinchidan, havo oqimi tezligi 1,5 m/s dan yuqorida quritish samaradorligiga sezilarli ijobiy ta'sir qilmaydi, shu sababli sanoat qurilmalarini loyihalashda energiya tejamkorligi nuqtai nazaridan 1,5 m/s tezlik optimal hisoblanadi.

Uchinchidan, 80°C haroratlarda kuzatilgan Maillard reaksiyasi va inulinning termik parchalanishi (23,7% yo‘qotish) ushbu harorat rejimini topinambur quruq poroshogi ishlab chiqarishda qo‘llashni texnologik jihatdan asossiz qiladi.

To‘rtinchidan, effektiv namlik diffuziya koeffitsienti va aktivatsiya energiyasi (E_a = 28,4 kJ/mol) to‘g‘risidagi ma'lumotlar quritish qurilmalarini matematik modellash va jarayonni avtomatlashtirish uchun ishonchli parametrik asos yaratadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Mirzayev T.B., Usmonov K.A. Meva va sabzavotlarni issiq havo yordamida quritishda energiya tejamkorligi. - Toshkent: Texnika, 2019. - 156 b.
2. Toshmatov N.R., Holiqov S.J. Inulinni saqlashda vakuum va konvektiv quritishning qiyosiy samaradorligi // O‘zbekiston kimyo jurnali. - 2021. - № 3. - B. 47–55.
3. O‘zDSt ISO 712:2014. Don va don mahsulotlari. Namlik miqdorini aniqlash. Qo‘nlanma uslub. - Toshkent: O‘zstandard, 2014. - 14 b.
4. Bhandari B.R., D'Arcy B.R. (1999). Kinetics of non-enzymatic browning in food dehydration. Food Australia. - Vol. 51(10). - Pp. 447–452.
5. Chua K.J., Chou S.K. (2003). Low-cost drying methods for developing countries. Trends in Food Science and Technology. - Vol. 14(12). - Pp. 519–528. DOI: 10.1016/j.tifs.2003.07.003.
6. Doymaz I. (2011). Drying of potato slices: effect of pretreatment and drying kinetics. Drying Technology. - Vol. 29(3). - Pp. 309–316. DOI: 10.1080/07373937.2010.496093.

7. Franck A. (2002). Technological functionality of inulin and oligofructose. British Journal of Nutrition. - Vol. 87(S2). - Pp. S287–S291. DOI: 10.1079/BJN/2002550.
8. Giri S.K., Prasad S. (2007). Drying kinetics and rehydration characteristics of microwave-vacuum and convective hot-air dried mushrooms. Journal of Food Engineering. - Vol. 78(2). - Pp. 512–521. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2005.10.021.
9. Ramos I.N., Silva C.L.M., Sereno A.M., Saraiva J.A. (2016). Quality evaluation of dried Jerusalem artichoke (Helianthus tuberosus L.) slices at different temperatures. Food and Bioprocess Technology. - Vol. 9(4). - Pp. 686–697. DOI: 10.1007/s11947-015-1664-7.
10. Roberfroid M.B. (2005). Inulin-Type Fructans: Functional Food Ingredients and Drugs. Boca Raton: CRC Press. - 400 p. DOI: 10.1201/9781420038033.
11. Shoaib M., Shehzad A., Omar M., Rakha A., Raza H., Sharif H.R., Niazi S. (2016). Inulin: Properties, health benefits and food applications. Carbohydrate Polymers. - Vol. 147. - Pp. 444–454. DOI: 10.1016/j.carbpol.2016.04.020.
12. Allayarov, J., & Uzoqova, M. (2025). TOPINAMBUR ILDIZ MEVALARIGA O‘RIM YIG‘IMDAN KEYINGI ISHLOV BERISHNING INNOVATSION TEXNOLOGIYALARI.
13. Аллаяров, Ж. Ж., & Манохина, А. А. (2020). ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭФФЕКТИВНОГО ХРАНЕНИЯ ТОПИНАМБУРА ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ. In Эффективность применения инновационных технологий и техники в сельском и водном хозяйстве (pp. 44-46).