CHEMICAL SCIENCES

ИССЛЕДОВАНИЕ ШРОТОВ ЛЕКАРСТВЕННЫХ ТРАВ В КАЧЕСТВЕ СУБСТРАТА ДЛЯ ФОСФАТМОБИЛИЗИРУЮЩИХ МИКРООРГАНИЗМОВ (на примере *Capparis spinosa*).

Юлдашев Ш.У.
PhD, стар. науч. сотр. Института химии растительных веществ Академии Наук Республика Узбекистан
Ботиров Р.А.
Доктор философии по техническим наукам, стар. науч. сотр. Института химии растительных веществ Академии Наук Республика Узбекистан
Саидова Г.Э.
Базовый докторант экспериментально -технологической лаборатории Институт химии растительных веществ АНРУз
Садиков А.З.
д-р техн. наук, вед. науч. сотр. Института химии растительных веществ Академии наук Республики Узбекистан, Республика Узбекистан, г. Ташкент
Сагдуллаев Ш.Ш.
д-р техн. наук, проф., гл. науч. сотр. Института химии растительных веществ Академии наук Республики, Республика Узбекистан

STUDY OF THE WASTE OF THE MEDICINAL HERB CAPPARIS SPINOSA AS A SUBSTRATE FOR PHOSPHATE MOBILIZING MICROORGANISMS (PMMS).

Yuldashev Sh.,
PhD, scientific researcher, Institute chemistry of plant substances Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan
Tashkent, Republic of Uzbekistan
Botirov R.,
PhD, scientific researcher, Institute chemistry of plant substances Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan
Tashkent, Republic of Uzbekistan
Saidova G.,
Basic doctoral student researcher of the Experimental and Technological Laboratory of the ICPS AS.Uz
Sadykov A.,
doctor of technical sciences, leading researcher of the Institute of Chemistry of Plant Substances Academy of sciences of the Republic of Uzbekistan, Tashkent
Sagdullayev Sh.
doctor of technical sciences, professor, chief researcher Institute of the Chemistry of Plant Substances, Academy of sciences of the Republic of Uzbekistan, Tashkent

АННОТАЦИЯ

Исследовано химический состав шрота *Capparis spinosa*, установлено, что содержание сумма полисахаридов в отходах 65,2% от а.с.в. сырья, лигнина -12,7 %, белки – 2,1, жиро-восковая фракция – 2,4. Отходы могут быть хорошим субстратом для ферментации фосфатмобилизирующими микроорганизмами (ФММ) с получением биоудобрения (БУ). БУ полученные ферментацией шрота отходов ФММ штаммов *Bacillus subtilis BS-26* и *Trichoderma harzianum* F-888 показали высокой фосфатазной активностью (649,8-646,7 мг п-нитрофенола кг$^{-1}$ БУ час$^{-1}$.). При этом наибольшей фосфатазной активность проявил БУ BBs – 649,8 мг п-нитрофенола кг$^{-1}$ БУ час$^{-1}$. Показано, что БУ способствует растворение $Ca_3(PO_4)_2$, при этом наибольшая часть (100%) трикальцийфосфата ($Ca_3(PO_4)_2$) растворились, на БУ BBs в течение 168 ч ферментации.

ABSTRACT

The chemical composition of *Capparis spinosa* meal was studied, it was found that the content of the amount of polysaccharides in the waste was 65.2% of the dry matter content. raw materials, lignin -12.7%, proteins - 2.1, fat-wax fraction - 2.4. Waste can be a good substrate for fermentation of FMM to produce BC. Biofertilizers obtained by fermentation of waste meal from FMM strains *Bacillus subtilis* BS-26 and *Trichoderma harzianum* F-888 showed high phosphatase activity (649.8-646.7 mg p-nitrophenol kg-1 BU h-1.). At the same time, BU BBs showed the greatest phosphatase activity – 649.8 mg p-nitrophenol kg-1 BU hour-1. It was shown that BU promotes the dissolution of $Ca_3(PO_4)_2$, with the largest part (100%) of tricalcium phosphate ($Ca_3(PO_4)_2$) dissolved on BU BBs during 168 h of fermentation.

Ключевые слова: лекарственных трав, шрот, полисахариды, пентозаны, фосформобилизующие микроорганизмы, *Bacillus subtilis, Trichoderma harzianum*.

Keywords: medicinal herbs, meal, polysaccharides, pentosans, phosphorus-mobilizing microorganisms, *Bacillus subtilis, Trichoderma harzianum*.

Введение

Дикорастущие флора Узбекистана богата лекарственными растениями, к числу которых относится и *Capparis spinosa* – (Каперс колючий), сем. *Capparaceae* (Каперсовые) – источник растительного сырья для промышленного производства субстанции лекарственных препаратов стахидрин и каппаспин [1,2].

Институт химии растительных веществ им. акад. С.Ю. Юнусова АН Республики Узбекистан – ведущее научно-исследовательское учреждение в области изучения лекарственных растений среднеазиатской флоры, создания и внедрения в практику высокоэффективных растительных лекарственных препаратов, биологически активных добавок (БАД) и средств защиты растений.

В Институте химии растительных веществ на основе проведенных исследований разработана технология получения субстанции препарата стахидрина из надземной части *Capparis spinosa* [3]. На базе Опытного производства Института монтирована линия по производству субстанции стахидрина и каппаспина из надземной части растения *Capparis spinosa*. В процессе переработки лекарственной травы основным по количественному содержанию отходом является истощенное сырье (шрот).

В лекарственных растениях количественное содержание целевых продуктов незначительно: чаще всего от 0,1% до 5% [4]. Поэтому в процессе переработки растительного сырья на фармацевтических предприятиях накапливаются огромные количества отходов растительной массы, листьев, корней, масса которых достигает в среднем 60-80 % от расходуемого сырья.

Благодаря высокому содержанию углеводов (60-70% от массы отхода) и других питательных веществ которые являются привлекательным дешевым субстратом для культивирования и размножения полезных микроорганизмов, в том числе и ФММ, что стало одним из основных направлений интенсивных исследований и разработок в последние годы [5-10].

В условиях глобальных экологических изменений и повсеместного загрязнения окружающей среды обществу необходимы не только натуральные и эффективные лекарственные средства, но и стабильные и экологически чистые продукты питания. Для этого современное сельское хозяйство должно быть более продуктивным, устойчивым и экологически чистым. Известно, что во всем мире существуют серьезные проблемы с фосфорными удобрениями в сельском хозяйстве. Важнейшими из этих проблем являются истощения невозобновляемых запасов фосфорита, быстрое закрепление мобильного P_2O_5 фосфорных удобрений почвенными минералами в неусвояемую растениями форму, что вызывает причинно-следственные проблемы такие как: высокие нормы внесения, загрязнение почвы и сельскохозяйственных продуктов тяжелыми металлами [10,11].

На сегодняшней день в науке известно, что некоторые микроорганизмы могут вносить непосредственный вклад в мобилизации неусвояемых соединений фосфора в почве и могут вносить непосредственный вклад для улучшения эффективности фосфорных удобрений, качественной и количественной повышению урожайности культур [12,13].

Лигноцеллюлозная биомасса (углеводы) отходов лекарственных трав в основном состоит из трех полимеров: целлюлозы (30-50%), гемицеллюлозы (15-35%) и лигнина (10-20%) вместе с небольшими количествами других компонентов, таких как пектин, белки, минералы и экстрактивные вещества, которые могут быть отличным субстратом для ферментации ФММ с получением эффективный и экологически чистый биоудобрения для сельского хозяйства.

Целью данной работы является исследования химического состава шрота после экстракции лекарственной травы *Capparis spinosa* как вторичное сырьё в качестве субстрата для твердофазного культивирования ФММ штаммов *Bacillus subtilis BS-26* и *Trichoderma harzianum* F-888 с получением БУ фосфатмобилизирушей активностью.

Объектом нашего исследования явились отход (шрот) лекарственной травы *Capparis spinosa*, остающиеся после экстракции фармацевтических субстанций раствором 80 % - ным раствором этилового спирта, а также БУ полученный путем биоконверсии органических отходов шрота *Capparis spinosa* ФММ штаммами *Bacillus subtilis BS-26* и *Trichoderma harzianum* F-888.

БУ BBs – на основе штамма *Bacillus subtilis BS-26*;

БУ BTh – на основе штамма *Trichoderma harzianum* F-888;

Методы исследования. В исходном шроте определяли содержания основных компонентов биомассы шрота стандартными методами [14]. Полученные результаты пересчитывали на абсолютно сухую массу вещества.

Шрот - отход лекарственной травы представляющий собой мелкую стружку длиной 2-5 мм, толщиной 1-3 мм.

Шрот предварительно высушивают при (103 ± 2) °С до равновесной влажности.

Зольность исследуемого сырья определяли прокаливанием в муфельной печи при 575±25°С в течении 3 - 4 часов.

Количество целлюлозы определяли азотно-спиртовым методом. Содержания лигнина в биомассе шрота определяли количественным выделе-

нием, предварительно удаляя экстрактивные вещества и гидролизом полисахаридов концентрированными минеральными кислотами.

Для определения количества пентозанов в шроте, 10 г шрота *Capparis spinosa* помещали в плоскодонную коническую колбу объемом 100 мл, и для экстракции залили 30 мл 0,5% водного раствора цитрата аммония, перемешивали на водяной бане при температуре 70 °С в течение 2 часов, после чего экстракт отделяли от шрота, процеживали через двойной слой марли. После отделения экстракта оставшиеся шрот промывали водой по 20 мл. три раза. Далее шрот помещали в экстракционную камеру, приливали по 200 мл различных концентраций (3; 4; 5; 6; 7; 8 %) водного раствора NaOH и экстрагировали при комнатной температуре (25°С) 24 часа. После трехкратной экстракции щелочные экстракты фильтровали бумажным фильтром, объединяли экстракты, концентрировали под вакуумом примерно до 1/10 первоначального объема, подкисляли концентрированной уксусной кислотой до *pH* 5. При этом гемицеллюлоза выпадают в осадок. Надосадочную жидкость сифонировали, осадок центрифугировали при 3000 об./мин, промывали дважды диэтиловым эфиром по 50 мл и высушивали в токе воздуха до полного удаления эфира. [15,16]. Жиро-восковую фракцию определяли экстрагированием растительного сырья спирто - толуольной смесью (1:1) по Оболенскому [14].

Исследование фосфатазной активности БУ. Для определения фосфатазной активности 1 г воздушно-сухой БУ помещали в 50 мл колбу Эрленмейера с притертыми пробками, добавляют 4 мл универсального буфера (pH 6,5), 0,25 мл толуола и 1 мл 0,115 М раствора п-нитрофенилфосфата натрия (паранитрофенилфосфат-ПНФФ) и смесь перемешивают 5 мин. Колбу закрывают и помещают в термостат на 1 ч при 37 °С. После инкубации добавляют 1 мл 0,5 М гидроокиси натрия, перемешивают 5 мин. и суспензию фильтруют через беззольный фильтр в мерную колбу на 50 $см^3$. Фильтрат окрашен в жёлтый цвет от освобождённого п-нитрофенола.

Плотность жёлтой окраски фильтрата измеряют на фотоколориметре с синим светофильтром (400-420 нм). Количество освобождённого п-нитрофенола вычисляют по калибровочной кривой, составленной из стандартных растворов п-нитрофенола. Активность фосфатазы выражают в мг п-нитрофенола $кг^{-1}$ почвы $час^{-1}$ [17].

Исследование фосфатсолюбизирующей активности БУ. 10 г образца БУ добавляли к 90 мл дистиллированной воды и перемешивали на магнитной мешалке в течение 30 минут для полного отделения микроорганизмов. После отстаивания в течение 20 минут стерильной пипеткой 1 мл суспензии добавляли в среду NBRIP содержащий нерастворимый $Ca_3(PO_4)_2$ следующего состава: Глюкоза 10; $MgCl_2•6H_2O$ - 5; $MgSO_4•7H_2O$ - 0,25; KCl - 0,2; $(NH_4)_2SO_4$ - 0,1; Неорганический фосфат $Ca_3(PO_4)_2$, - 5; Вода водопроводная 1000 мл; pH 7,0. Затем колбы помещали на шейкере при 37 °С и 200 об/мин. Среду без инокулята использовали в качестве контроля [18]. Через 24,48,72,96 и 168 часа культуру бактерий центрифугировали, отбирали супернатант, в котором по методу Чирикова определяли содержание подвижных форм фосфора, растворимых в 0,5 М уксусной кислоте [19].

Обсуждение результатов

В первом этапе наших исследований определяли химический состав шрота *Capparis spinosa*. Результаты определения химического состава шрота показали, что основной составной частью шрота *Capparis spinosa* являются компоненты углеводов – целлюлоза (38,4%), и пентозные сахара (26,8 %.), суммарное количество которых в шротах составило 65,2% (рис. 1). Целлюлоза в основном состоит из мономеров глюкозы, в гидролизном производстве могут быть гидролизованы физико-химическим или биологическими способами, с образованием сбраживаемых сахаров для микробиологической конверсии с получением разнообразных ценных товаров микробиологического происхождения [20]. Пентозаны, второй главный углеводный компонент лигноцеллюлозного сырья, состоят в основном из С-5 сахаров (ксилоза и арабиноза) и С-6 сахаров (манноза, галактоза и глюкоза) [21]. Гемицеллюлозы применяются в медицинской практике для регуляции иммунной системы, ингибировании патогенной микрофлоры, в лечении хронических воспалительно-дистрофических поражений желчного пузыря, кишечника, печени, желудка и как биоразлагаемые полимеры являются агентами доставки и контролируемой высвобождении фармацевтических препаратов [22].

По химическому составу шрот *Capparis spinosa,* содержит достаточно высокая количества углеводов (65,2% от а.с.в. сырья), и может быт привлекательным вторичным сырьем для микробиологической ферментации.

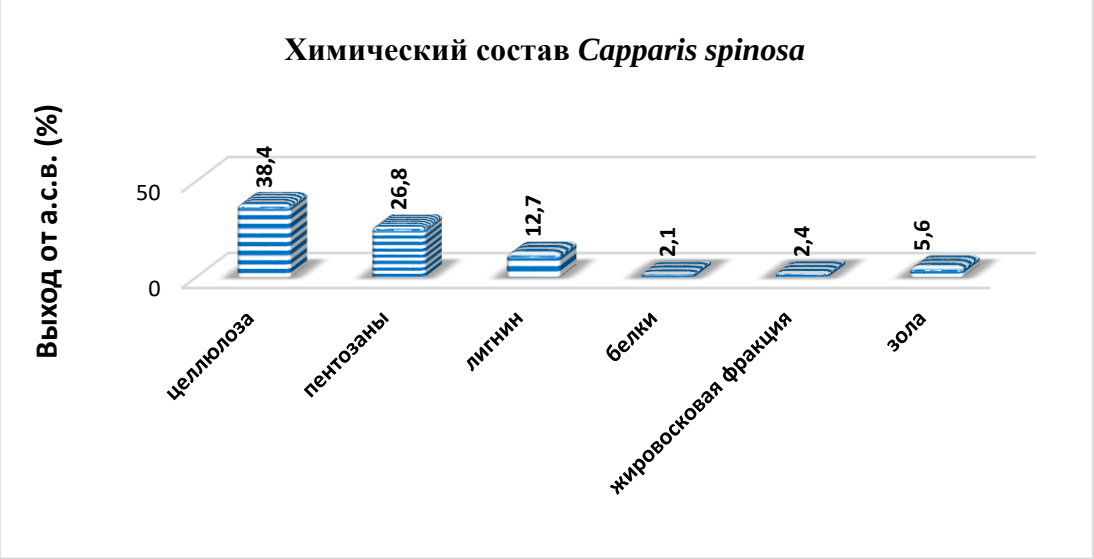

Рисунок – 1. Химический состав шрота Capparis spinosa (% от абсолютно сухого вещества)

Вторым по количественному составу компонентом растительного сырья является лигнин – неуглеводный компонент, содержание которого в шроте *Capparis spinosa* составило 12,7 %. Лигнины - это природные фенольные макромолекулы, которые присутствуют в стенках растительных клеток, состоящих из трех основных фенилпропановых единиц, являющихся производными ароматических спиртов: n-кумарилового, кониферилового и синапилового. Лигнин имеет весьма сложную аморфную структуру, состоящую из фенилпропановых фрагментов, хаотично сшитых между собой С-С- и С-О-связями. В растительных клетках лигнин функционирует в качестве биологического барьера и «клея» для связывания между собой гемицеллюлоз и целлюлозы [23]. При окислительной или восстановительной деструкции лигнина образуются различные ароматические и фенольные соединения [23].

Лигнин, благодаря своей уникальной структуре, имеет значительный потенциал для химической промышленности при производстве различных химикатов фенольной и ароматической природы, а также жидких топлив [24]. Ароматические альдегиды являются ценным сырьем для пищевой, фармацевтической и парфюмерной отраслей промышленности. Например, сиреневый альдегид (3,5-диметоксибензальдегид) целесообразно использовать для производства триметоксибензальдегида, из которого затем получают лекарственный препарат триметоприм - компоненты бактрима, бисептола и других фармацевтических препаратов [25]. Крупномасштабным направлением утилизации гидролизного лигнина является, также, получение различных сорбентов.

Неуглеводные вещества шрота – содержания белков в шротах *Capparis spinosa* 2,1 %, жиро-восковая фракция составляет 2,4%. Содержания зольных элементов составил – 5,6 %.

Содержание пентозанов в отходах *Capparis spinosa* составляет – 26,8 %, а в что близко по количеству к техническим сельскохозяйственным культурам 32,6-34,3% [23]. Высокие содержания пентозанов в шроте позволяют их применять как дешёвая сырьё для получения гемицеллюлозы, ксилозы, ксилита или гидролизном производстве для получения фурфурола. Гемицеллюлоза, ксилоза как уже сказано выше используются в медицине, пищевой, химической и биотехнологической промышленности. Фурфурол применяется в нефтепереработке для экстракционной очистки масляных фракций от примесей олефинов и ароматических соединений, для разделения фракций растительных жиров - триглицеридов. Традиционным и основным направлением переработки фурфурола является его гидрирование в фурфуриловый спирт и синтез из него различных термостойких смол [26].

При сжигании биомассы растений остается ее неорганическая часть – зола, которая находится в пределах 5,6 % от сухого вещества шрота. По содержанию золы пробы удовлетворяют требованиям к сырью для получения адсорбентов (активированного угля) [24].

Химический состав шрота лекарственного растения *Capparis spinosa* показали, что после предварительной обработки и облагораживание, биомасса являются хорошим субстратом для культивирования ФММ с получением БУ с фосфатмобилизирующей активностью.

Фосфатазы продуцируемыми ФММ, гидролизуют разнообразные сложноэфирные (фосфомоноэфиры) и фосфоангидридные органические соединения фосфора, т.е. осуществляют минерализацию закрепленного в органическом веществе фосфора [27,28]. В почвах ферменты фосфатаз способствуют усвоению также и минерального фосфора культурными растениями. Фосфорорганические соединения составляют от 20 до 80% часть фосфорного запаса почвы и представлены нуклеиновыми соединениями, производными аденозинфосфорной кислоты, фосфогуминовыми комплексами и в меньшем количестве подвижными сахарофосфатами, глицерофосфатами, которые переходят в до-

ступное для растений состояние при ферментативном гидролизе с отщеплением остатков фосфорной кислоты [29,30]

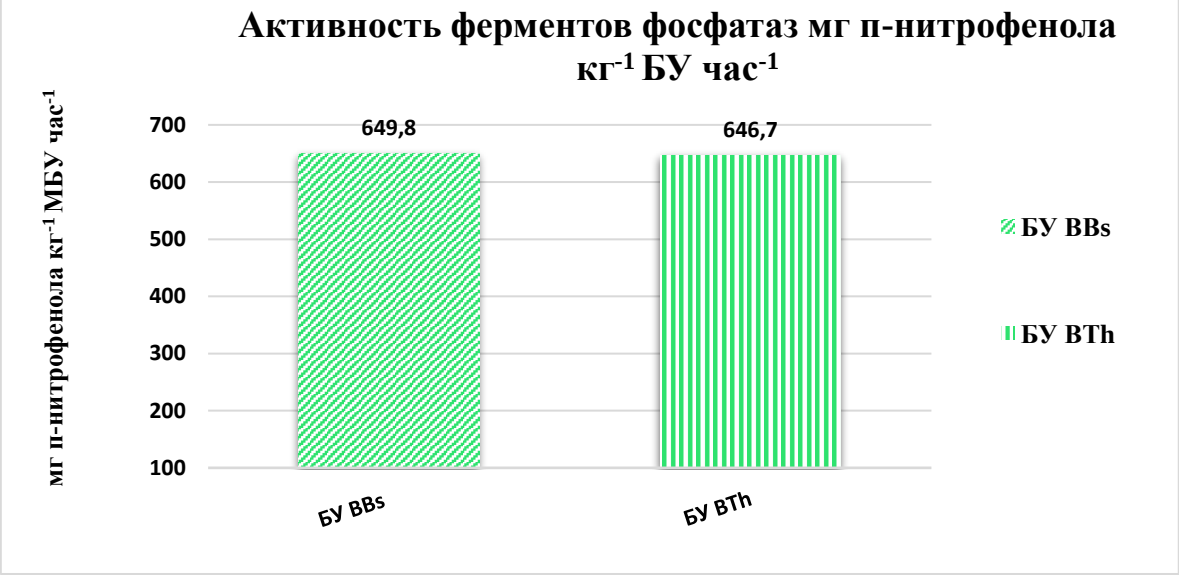

Рисунок 2. Активность ферментов фосфатаз мг п-нитрофенола кг$^{-1}$ БУ час$^{-1}$

Результаты измерение фосфатазной активностей БУ, показали, что оба БУ обладают высокой фосфатазной активностью (рис. 2). При этом наибольшей фосфатазной активность проявил БУ BBs – 649,8 мг п-нитрофенола кг$^{-1}$ БУ час$^{-1}$. Немного меньшей уровень фосфатазной активности наблюдается БУ BTh и составил 646,7 мг п-нитрофенола кг$^{-1}$ БУ час$^{-1}$. При этом из двух видов БУ наибольшей фосфатазной активности проявляет БУ BBs, полученный ферментацией отходов *Capparis spinosa* на основе штамма *Bacillus subtilis BS-26*. Это говорит о том, что для выработки фермента фосфатазы фосфатсолюбилизирующими микроорганизмами влияет как химический состав субстрата, так и вид штамма микроорганизма, что соответствуют результатам исследователей [30-33], которые установили, что эффективность фосфатсолюбилизации минеральных и органических фосфатов зависит от видового состава и жизнеспособности микроорганизмов, продукции ими ферментов фосфатаз и органических кислот [33], а также, генетических особенностей почв и уровнем культуры земледелия [32,33].

Исследование фосфатмобизирующей активности БУ BBs и БУ BTh показали, что БУ BBs на основе штамма *Bacillus subtilis BS-26* хорошо растворяют не усвояемый растениями $Ca_3(PO_4)_2$ (рис.3). В работах исследователей находим указание на то, что органические кислоты, секретируемые микроорганизмами, способствуют растворению и переходу в почвенный раствор как минеральных, так и органических фосфатов, после которого становится возможным ферментативное высвобождение органических фосфатов фосфатазами [34,35].

Уровень растворение $Ca_3(PO_4)_2$ повышалось с увеличением периода инкубации, а количество P_2O_5, высвобождаемого в среду, зависело от штамма ФММ. Наибольшее количества (71-72%) трикальцийфосфата $Ca_3(PO_4)_2$ растворились в течение 48 ч, при этом наибольшая часть растворение (100%), наблюдалась в опыте БУ BBs в течение 168 ч ферментации.

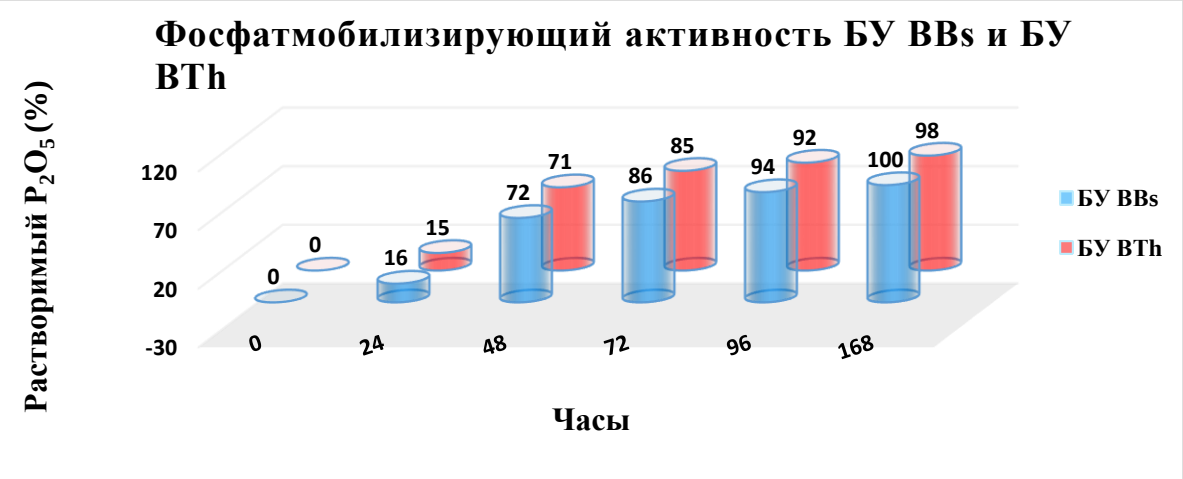

Рисунок 3. Фосфатмобилизирующий активность БУ BBs и БУ BTh.

Количество P_2O_5, высвобождаемого в культуральный жидкость при растворении $Ca_3(PO_4)_2$, в варианте БУ BTh составило 98% через 168 ч после инкубации. Полученные результаты указывает на то, что БУ BBs проявил наиболее эффективный фосфатмобилизирующий активность при культивировании на среду NBRIP содержащий нерастворимый $Ca_3(PO_4)_2$. Видимо это связано с видовыми особенностями штаммов, что имели неодинаковый диапазон вариаций эффективности фосфатмобилизации, что соответствуют мнениями исследователей [36], которые утверждают, что эффективность фосфатсолюбилизации зависит от видовых особенностей ФММ, состава среды, жизнеспособности микроорганизмов, продукции органических кислот и фермента фосфатазы.

Выводы. Таким образом анализ химического состава на примере шрота лекарственного растения *Capparis spinosa* показали, что суммарное содержание полисахаридов в шроте *Capparis spinosa* (65,2% от а.с.в. сырья), что делает его привлекательным сырьем для деполимеризации и получения ценных химических соединений для фармацевтической, химической и биотехнологической промышленности с получением ценных товаров народного потребления. По содержанию лигнина (12,7%) шрот могут быть сырьем для получения различных ароматических и фенольных соединений для пищевой, фармацевтической и парфюмерной промышленности. По содержанию золы объект удовлетворяют требованиям к сырью для получения адсорбентов тяжелых металлов и радионуклидов. Высокое содержание пентозанов в отходах (26,8%) позволяет применять их как сырьё для получения таких ценных товаров как гемицеллюлозы, ксилозы, ксилита или в гидролизном производстве для получения фурфурола.

Биоудобрении (БУ BBs, БУ BTh), полученные ферментацией шрота ФММ штаммов *Bacillus subtilis BS-26* и *Trichoderma harzianum*_F-888 показали высокой фосфатазной активностью (649,8-646,7 мг п-нитрофенола $кг^{-1}$ БУ $час^{-1}$.). При этом наибольшей фосфатазной активность проявил БУ BBs – 649,8 мг п-нитрофенола $кг^{-1}$ БУ $час^{-1}$. Установлено, что уровень растворение $Ca_3(PO_4)_2$, повышалось с увеличением периода инкубации, а количество P_2O_5, высвобождаемого в среду, зависело от штамма ФММ. Наибольшее количества (71-72%) трикальцийфосфата растворились в течение 48 ч, при этом наибольшая часть растворение $Ca_3(PO_4)_2$ (100%), наблюдается в опыте БУ BBs в продолжительности ферментации168 ч. Результаты исследования показали, что шрот после переработки надземной части лекарственного растения *Capparis spinosa* является хорошим субстратом для ферментации ФММ и их биоконверсии в БУ с фосфатмобилизирующей активностью.

Литература

1. Инагамов С.Я., Тажибаев. Г.Г. Разработка технологии высушивания плода лекарственного растения Каперса колючего – «Capparis spinosa L.». International scientific-practical conference actual issues of agricultural development: Problems and solutions. June 6-7, 2023.

2. Sgadari, Francesco, Antonietta Cerulli, Rosario Schicchi, Natale Badalamenti, Maurizio Bruno, and Sonia Piacente. 2023. "Sicilian Populations of Capparis spinosa L. and Capparis orientalis Duhamel as Source of the Bioactive Flavonol Quercetin" Plants 12, no. 1: 197. https://doi.org/10.3390/plants12010197.

3. Ботиров Р.А., Валиев Н.В., Жураев О.Т., Садиков А.З., Сагдуллаев Ш.Ш., Турсунова Ш.З. Технология производства алкалоида стахидрина из растения Capparis spinoza L // Universum: технические науки : электрон. научн. журн. 2020. № 9(78).С. 55-59. DOI - 10.32743/UniTech.2020.78.9-2.

4. Саякова Г.М., Датхаев У.М., Кисличенко В.С. Фармакогнозия [Электронный ресурс]: учебник / - М.: Литтерра, 2019.

5. Guo et al., (Aofei Guoa, Zhihui Sunb, Hu Fenga, Hong Shangc, Noppadon Sathitsuksanohd). State-of-the-art review on the use of lignocellulosic biomass in cementitious materials. Sustainable Structures. SUST, 2023, 3(1): 000023. DOI: 10.54113/j.sust.2023.000023.

6. Pelaez, R.D.R., Oliveira, M.E.C., Miller, R.N.G. et al. Biotechnological valorization of lignocellulosic residues from the oil palm industry: status and perspectives. Biomass Conv. Bioref. (2022). https://doi.org/10.1007/s13399-022-02637-4

7. Wang H-M, Yang W, Sipponen MH and Dai L (2023) Editorial: Lignocellulosic biomass-based materials: Design, fabrication, and applications. Front. Bioeng. Biotechnol. 11:1188168. doi: 10.3389/fbioe.2023.1188168.

8. Hussain, A.; Bose, S.; Wang, J.H.; Yadav, M.K.; Mahajan, G.B.; Kim, H. Fermentation, a feasible strategy for enhancing bioactivity of herbal medicines. Food Res. Int. 2016, 81, 1–16. [CrossRef]

9. Plassard C., Dell B. (2010) Phosphorus nutrition of mycorrhizal trees. Tree Physiol. 30: 1129-1139.

10. Qian, Y., Shi, J., Chen, Y., Lou, L., Cui, X., Cao, R., Li, P., Tang, J. (2010) Characterization of phosphate solubilizing bacteria in sediments from a shallow eutrophic lake and a wetland: Isolation, molecular identication and phosphorus release ability determination. Molecules, 15, 8518-8533.

11. Martin Blackwell, Tegan Darch, Richard Haslam / Phosphorus use efficiency and fertilizers: future opportunitiesfor improvements // Front. Agr. Sci. Eng. 2019, 6(4): 332–340. https://doi.org/10.15302/J-FASE-2019274.

12. Zhu J, Li M, Whelan M (2018) Phosphorus activators contribute to legacy phosphorus availability in agricultural soils: a review. Sci Total Environ 612:522–537. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.095.

13. Bargaz Adnane, Lyamlouli Karim, Chtouki Mohamed, Zeroual Youssef, Dhiba Driss/Soil Microbial Resources for Improving Fertilizers Efficiency in an Integrated Plant Nutrient Management System//J. Frontiers in Microbiology. VOL. - 9. 2018. P- 1606. URL: https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fmicb. 2018. 01606. DOI: 10.3389/fmicb.2018.01606. ISSN 1664-302X

14. Оболенская А.В., Ельницкая, А.А. Лабораторные работы по химии древесины и целлюлозы // М.: Экология, 1991. – 320 с.

15. Славянский А.К. и др. / Химическая технология древесины // ГОСЛЕСБУМИЗДАТ. Москва 1962. С 364-379.

16. Химический состав некоторых перспективных видов флоры Сибири и возможности их практического использования / Е.А. Краснов, Я.В. Горина, И.П. Каминский, Т.В. Кадырова // Новые достижения в химии и химической технологии растительного сырья: материалы IV Всерос. конф. (Барнаул, 21-23 апр. 2009 г.). Барнаул, 2009. Кн.

17. Хазиев Ф.Х. Методы почвенной энзимологии / Ф.Х. Хазиев; Ин-т биологии Уфим. НЦ. - М.: Наука. 2005. - 252 с. - ISBN 5-024)33940-7. ст 184-186.

18. Rawia O. Shams El-Deen, Samy A. M. Abd El-Azeem, Atef F. Abd Elwahab, Saleh S. Mabrou/ Effects of Phosphate Solubilizing Microorganisms on Wheat Yield and Phosphatase Activity// Egypt. J. Microbiol. The 14th Conference of Applied Microbiology, pp. 71-86 (2020).

19. ГОСТ 26204-91 Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Чирикова в модификации ЦИНАО. М.: Изд-во стандартов, 1992.

20. Caicedo, M., Barros, J., and Ordбs, B. (2016). Redefining agricultural residues as bioenergy feedstocks. Materials 9:E635. doi: 10.3390/ma 9080635.

21. Saha, B. C. (2003). Hemicellulose bioconversion. Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology, 30(5), 279–291. doi:10.1007/s10295-003-0049-x.

22. Xinxin Liu, Qixuan Lin, Yuhuan Yan, Feng Peng, Runcang Sun, Junli Ren / Hemicellulose from Plant Biomass in Medical and Pharmaceutical Application: A Critical Review // Journal Name: Current Medicinal Chemistry. Volume 26, Issue 14, 2019.

23. Кузнецов Б.Н. / Актуальные направления химической переработки возобновляемой растительной биомассы // Химия в интересах устойчивого развития. 2011. Т. 19, № 1. С. 77–85.

24. Heitner C., Dimmel D., Schmidt J. Lignin and Lignans: / Advances in Chemistry. / Eds. CRC Press: Taylor and Francis Group, 2010. 683 p.

25. Bajpai P. Pretreatment of Lignocellulosic Biomass for Biofuel Production // Springer Briefs in Green Chemistry for Sustainability. India. 2016. P 7-11.

26. Brethauer, S., and Studer, M. H. (2015). Biochemical conversion processes of lignocellulosic biomass to fuels and chemicals - a review. Chimia 69, 572–581. doi: 10.2533/chimia.2015.572.

27. Sato, T., Ezawa, T., Cheng, W., and Tawaraya, K. (2015). Release of acid phosphatase from extraradical hyphae of arbuscular mycorrhizal fungus Rhizophagus clarus. Soil Sci. Plant Nutr. 61, 269–274. doi: 10.1080/00380768. 2014.993298.

28. Сакбаева З.И/Влияние ферментативной активности фосфатаз на экологическое состояние сероземных почв предгорий ферганы//Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 5. doi 10.17513/spno.2014.5.

29. Alori, E. T., Glick, B. R., and Babalola, O. O. (2017). Microbial phosphorus solubilization and its potential for use in sustainable agriculture. Front. Microbiol. 8:971. doi: 10.3389/fmicb.2017.00971.

30. Bargaz Adnane, Lyamlouli Karim, Chtouki Mohamed, Zeroual Youssef, Dhiba Driss/Soil Microbial Resources for Improving Fertilizers Efficiency in an Integrated Plant Nutrient Management System//J. Frontiers in Microbiology. VOL. - 9. 2018. P- 1606. DOI: 10.3389/fmicb.2018.01606. ISSN=1664-302X. URL: https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fmicb.2018.01606.

31. Liu, X., Jiang, X., He, X., Zhao, W., Cao, Y., Guo, T., Li, T., Ni, H., Tang, X. (2019) Phosphate-solubilizing Pseudomonas sp. strain P34-L promotes wheat growth by colonizing the wheat rhizosphere and improving the wheat root system and soil phosphorus nutritional status. Journal of Plant Growth Regulation, 38, 1314-1324.

32. Cherchali, A., Boukhelata, N., Kaci, Y., Abrous-Belbachir, O., Djebbar, R. (2019) Isolation and identication of a phosphate-solubilizing Paenibacillus polymyxa strain GOL 0202 from durum wheat (Triticum durum Desf.) rhizosphere and its effect on some seedlings morphophysiological parameters. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, 19, 1-7.

33. Муста Оглы Н.М., Шарова Н.Ю., Выборнова Т.В./ Биосинтез фитазы микромицетом Aspergillus niger при ферментации гидролизатов кукурузного крахмала в лабораторных условиях//Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств» № 1, 2020. С 91-98.

34. Lambers H., Shane M.W., Cramer M.D., Pearse S.J., Veneklaas E.J. (2006) Root structure and functioning for eflicient acquisition of phosphorus: matching morphological and physiological traits. Ann. Bot. 98: 693-713.

35. Plassard C., Dell B. (2010) Phosphorus nutrition of mycorrhizal trees. Tree Physiol. 30: 1129-1139.

36. Qian, Y., Shi, J., Chen, Y., Lou, L., Cui, X., Cao, R., Li, P., Tang, J. (2010) Characterization of phosphate solubilizing bacteria in sediments from a shallow eutrophic lake and a wetland: Isolation, molecular identication and phosphorus release ability determination. Molecules, 15, 8518-8533.