

УДК 54.056:577.114.083

ПОЛИСАХАРИДЫ ИЗ ЧЕТЫРЕХ ВИДОВ ЗЕРНА *PANICUM MILIACEUM* И ИХ АНТИМИКРОБНАЯ И ПРЕБИОТИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ

© Д.У. Алимбетов¹, Ф.А. Кодиралиева², А.А. Сиддикова², К.А. Косназаров³, К.Р. Алламбергенова³,
Г.А. Бекмуродова⁴, А.А. Жанибеков^{5*}

¹ Институт сельского хозяйства и агротехнологий Каракалпакстана,
ул. Абданбетова, Нукус, 230109, Республика Каракалпакстан

² Институт химии растительных веществ им. акад. С.Ю. Юнусова АН
РУз, ул. Мирзо Улугбека, 77, Ташкент, 100170, Республика Узбекистан

³ Каракалпакский государственный университет им. Бердаха,
ул. Ш. Абдирова, 1, Нукус, 700742, Республика Каракалпакстан

⁴ Институт микробиологии АН РУз, ул. Кадыри, 7Б, Ташкент, 100128,
Республика Узбекистан

⁵ Научно-исследовательский институт Восточной медицины, ул. Чингиза
Айтматова, 1а, Ташкент, 100084, Республика Узбекистан, j.aziz@mail.ru

Впервые из зерна местного и трех интродуцированных южнокорейских сортов *Panicum miliaceum* были выделены различные фракции полисахаридных комплексов. Определены их качественный и количественный моносахаридный состав. Установлено, что выделенные фракции представлены водорастворимыми полисахаридами (1.0–22.0%), пектиновыми веществами (5.5–21.0%) и гемицеллюлозами (9.0–15.5%). Основными моносахаридами являются Glc, Man, Ara, Xyl, Rha, Gal и UAc, что указывает на структурное разнообразие выделенных соединений.

Изучена антимикробная активность полученных фракций: водорастворимые полисахариды сорта *Yongyang* и пектиновые вещества сорта *Siwon 5 F2* проявили выраженную антимикробную активность против *Pseudomonas aeruginosa* (штамм № 003841/114), сопоставимую с действием цефазолина. Полученные результаты подтверждают перспективность использования полисахаридов проса (*P. miliaceum*) как источника природных биологически активных веществ.

Ключевые слова: *P. Miliaceum*, водорастворимые полисахариды, пектины, гемицеллюлозы, антимикробная активность.

Для цитирования: Алимбетов Д.У., Кодиралиева Ф.А., Сиддикова А.А., Косназаров К.А., Алламбергенова К.Р., Бекмуродова Г.А., Жанибеков А.А. Полисахариды из четырех видов зерна *Panicum miliaceum* и их антимикробная и пребиотическая активность // Химия растительного сырья. 2026. №2. С. 132–142. <https://doi.org/10.14258/jcprm.20260214772>.

Введение

Просо обыкновенное (*Panicum miliaceum* L.) – один из 600 видов рода проса (*Panicum*) подсемейства просовидных (*Panicoidae*), произрастающих в теплых и умеренных регионах мира. Это однолетняя культура теплого климата, выращиваемая ради зерна с доисторических времен. Зерна проса важны для людей и используются в России, на Ближнем Востоке и в Индии. Его зерна используются в качестве корма в птицеводстве и животноводстве. Хотя это вкусное растение, животные не предпочитают его в качестве зеленого корма, поскольку растение покрыто волосками. Его выращивают как силосное растение в Румынии. Зерна считаются «грубыми злаками», похожими на сорго, в основном из-за текстуры их зерна, что делает их обработку и приготовление неудобными по сравнению с рисом и пшеницей. Его низкая потребность в воде по сравнению с другими растениями, соле-, щелоче-, холодо- и засухоустойчивость позволяют возделывать его на различных типах почв и в неблагоприятных условиях произрастания, поскольку ему требуется 308 л воды для производства 1 кг сухого вещества [1].

* Автор, с которым следует вести переписку.

Химический состав проса и его ценность для питания человека характеризуются следующими особенностями. Во-первых, белки проса являются хорошим источником незаменимых аминокислот [2]. В то же время в белке проса посевного содержится незначительное количество глютенина и глиадина [3, 4], которые, как известно, участвуют в развитии целиакии [5, 6]. Тот факт, что в зерне проса практически не содержится глютеин и глиадин, делает это сырье привлекательным для создания безглютеновых продуктов питания [7–9].

Кроме того, в эндосперме проса содержится большое количество крахмала (58.1–77.9% от общей массы зерна) [10], клетчатки и пищевых волокон [11], минеральных веществ и веществ, проявляющих антиоксидантные свойства [12]. Просо содержит в своем составе ряд фенольных веществ [13], которые при употреблении этого злака в пищу способствуют уменьшению окислительного стресса [14], проявляют антигипертензивные свойства [15], а также способствуют снижению гликемического индекса [16].

Рядом исследователей отмечается, что наличие большого количества антипитательных веществ в зерне проса, способных связывать в том числе и минеральные вещества зерна, снижает их усвояемость в организме человека [17, 18]. Солодоращение можно рассматривать как общий способ для снижения содержания антипитательных веществ в зерне различных злаков [19, 20].

По сравнению с основными злаками, такими как пшеница, рис, сорго и кукуруза, просо обладает высокой питательной ценностью. Просо содержит белки от 7 до 12%, углеводы – от 65 до 75%, жиры – от 2 до 5% и пищевые волокна – от 15 до 20% [21], а также его зерна как продукт питания является богатым источником микроэлементов и фитохимических веществ [22].

Основная часть пищевых волокон состоит из некрахмальных полисахаридов (95%), которые присутствуют в семенных отрубях, а также в эндосперме. Полисахариды являются необходимым компонентом растительных и животных клеток и относятся, по мнению исследователей, к мощным биологическим стимуляторам, активирующим защитные силы организма, его неспецифическую иммунологическую реактивность, его клеточные и гуморальные механизмы, ответственные за антимикробную и противоопухолевую защиту [23]. Длительное время полисахариды рассматривали как индифферентные в фармакологическом отношении вещества и использовали их в основном как смягчительные и обволакивающие средства.

В народной и научной медицине используют целебные свойства растительных слизей при ожогах, ранах, язвах, диарее, дизентерии, раздражении верхних дыхательных путей. Пектин в фармации применяют как ценный вспомогательный продукт при изготовлении ряда лекарственных форм (в эмульсиях – как эмульгатор, в пилюльных массах – связывающий компонент). Пектиновые вещества также потенцируют лечебный эффект основных действующих веществ [24].

Эти соединения представляют собой одну из групп биологически активных веществ, содержащихся в растениях проса (*Panicum miliaceum* L.), ответственных за фармакологическую активность. Объектом настоящего исследования послужили зерна четырех сортов проса, собранные в 2022 году на опытном поле фермерского хозяйства «Досберген Косберген» Чимбайского района Республики Каракалпакстан. Исследование имеет актуальное значение для региона, так как впервые изучено содержание биологически активных соединений в зёрнах проса, выращенных в условиях Республики Каракалпакстан.

Цель работы – исследование фракционного состава полисахаридного комплекса зерен четырех сортов *Panicum miliaceum*, а также определение их структурных и функциональных свойств.

Экспериментальная часть

Материалом для данного научного исследования являются зерна *Panicum miliaceum*, собранные в апреле 2022 г. на опытном поле фермерского хозяйства «Досберген Косберген» (Чимбайский район, Республика Каракалпакстан).

Бумажную хроматографию (БХ) осуществляли на бумаге Filtrak-FN 13, 18 (Германия) в системе растворителей: *n*-бутанол-пиридин-вода (6 : 4 : 3) (1), проявители: 1) кислый фталат анилина (5 мин, 100 °С), 2) 5%-ный раствор мочевины.

ИК-спектры полисахаридов снимали на ИК-спектрометре Фурье фирмы Perkin-Elmer, FT-IR/NIR Spectrometer Spectrum 3 с Universal ATR Sampling Accessory в области поглощения 530–3600 см⁻¹ [25].

ГХ-анализ гидролизатов проводили на хроматографе GC Plus2010 в следующих условиях: температура инжектора – 250 °С, общий поток – 60 мл/мин, поток через колонку – 0.89 мл/мин, газ-носитель – азот,

колонка Rxi-624SI MS, длина колонки – 3 м, внутренний диаметр ID – 0.25 мм, температура колонки – 230 °С, температура детектора – 250 °С.

Полный кислотный гидролиз полисахаридов проводили 2 н. H₂SO₄, 100 °С. ВРПС в течение 8 ч, ПВ и ГМЦ в течение 24 ч соответственно.

Гидролизаты нейтрализовали карбонатом бария, деионизировали катионом КУ-2 (H⁺), упаривали до сиропа, хроматографировали [26].

Получение ацетатов альдононитрилов. Сухой остаток гидролизата растворяли в 2 мл пиридина, добавляли 100 мг гидроксилamina солянокислого, нагревали при 90 °С в течение 1 ч. Реакционную смесь охлаждали, добавляли 2 мл уксусного ангидрида, нагревали при 90 °С в течение 1 ч. Затем добавляли 30 мл воды, перемешивали и экстрагировали хлороформом дважды. Хлороформные экстракты объединяли, обрабатывали безводным Na₂SO₄, упаривали и анализировали методами ГХ [25].

Инактивация сырья. 100 г измельченного сырья (27701, 27702, 27703, местный) *проса* обрабатывали дважды кипящей смесью метанол-хлороформ (1 : 1) для удаления красящих веществ и не углеводных компонентов, остаток сырья дважды экстрагировали кипящим 82 °С этиловым спиртом в течение 2 ч. Спиртовые растворы объединяли, упаривали и анализировали БХ в системе 1, идентифицировали сахарозу (проявитель 1) и фруктозу (проявитель 2).

Выделение водорастворимых полисахаридов. Остаток сырья экстрагировали горячей водой при 70 °С температуре при гидромодуле (1 : 5 и 1 : 3). Экстракты отделяли фильтрованием объединяли, упаривали до небольшого объема и осаждали двукратным объемом спирта. Выпавший осадок отделяли центрифугированием, осадок промывали и высушивали спиртом. Выходы приведены в таблице 1.

Остаток растительного сырья после предварительной обработки подвергали экстракции горячей водой при температуре 70 °С при гидромодуле 1 : 5 и 1 : 3. Полученные водные экстракты отделяли фильтрованием, объединяли, упаривали до небольшого объема и осаждали добавлением двукратного объема этанола. Осадок отделяли центрифугированием, промывали спиртом и высушивали. Выходы водорастворимых полисахаридов приведены в таблице 1.

Выделение пектиновых веществ. После экстракции водой остаток сырья обрабатывали равным объемом смеси 0.5% растворов щавелевой кислоты и оксалата аммония (1 : 10) при температуре 70 °С, дважды в течение 3 ч. Экстракты объединяли, диализовали, упаривали и осаждали двукратным объемом спирта. Осадок отделяли и обрабатывали, как описано выше.

Выделение гемицеллюлозы. Остаток сырья экстрагировали 5% раствором щелочи (1 : 5) при комнатной температуре в течение 4 ч дважды. Щелочной экстракт нейтрализовали CH₃COOH и диализовали против проточной воды, упаривали и осаждали спиртом (1 : 2). Осадок отделяли, промывали и высушивали.

Титрометрические показатели ПВ. Для определения свободных карбоксильных групп в пектиновых веществах к 0.25 г. ПВ прибавляли 25 мл воды, слегка нагревали, перемешивая, выдерживали 2 ч и титровали 0.1 М раствором натрия гидроксида (индикатор – фенолфталеин) до образования розовой окраски [27].

Метод определения антимикробной активности полисахаридов против условно-патогенных микроорганизмов. Антимикробную активность полисахаридов против условно-патогенных микроорганизмов определяли по ОФС.1.2.4.0010.15 «Определение антимикробной активности антибиотиков методом диффузии в агар».

Индикаторными штаммами служили *Escherichia coli* 002673/477, *Pseudomonas aeruginosa* 003841/114, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis* ВКМ, *Candida albicans*.

В чашки Петри разливали расплавленную питательную среду МПА (Мясо-пептоны агар) (Hi-media, India). Для приготовления инокулята использовали метод прямого суспендирования в стерильном изотоническом растворе колоний чистой 18–24-часовой культуры тест-микроорганизма, выросшей на плотной не-селективной питательной среде. Довели бактериальную суспензию до плотности 0.5 по стандарту мутности МакФарланда, что приблизительно соответствовало нагрузке 1–2×10⁸ КОЕ/мл (для *Escherichia coli*) путем добавления в суспензию микробной массы или разбавления ее стерильным изотоническим раствором.

Инокуляция чашек с МПА. Бактериальную суспензию инокулировали стерильным ватным тампоном на МПА и стерильным цилиндром-дыроколом сделали лунки диаметром 6.0 мм на равном расстоянии друг от друга и от края чашки. В лунки каждой чашки вносили 100 мкл водного раствора испытуемых веществ. Растворы испытуемых образцов готовили разбавлением веществ в дистиллированной воде с концентрацией 100 мг/мл и последующей стерилизацией при 0.5 атм в течение 15 мин.

После внесения растворов веществ в лунки чашки выдерживали при +4 °С в течение 1–2 ч. Затем чашки инкубировали при температуре (36±1) °С в течение 16–18 ч.

Диаметры зон угнетения роста тест-микроорганизмов измеряли при помощи линейки.

Определение пребиотической активности полисахаридов. Определена пребиотическая активность полисахаридов из сортов: *Saratov 853* ВРПС, *Songjn 1* ВРПС, *Songjn 1* ПВ и *Yongyang* ПВ. В качестве пробиотика использован производственный штамм *Bifidobacterium bifidum 1*.

Исследование пребиотических свойств биологически активных веществ проводили путем оценки их влияния на динамику роста и размножения бифидобактерий при культивировании в МРС-среде (Hi-Media, Индия) *in vitro*. При проведении экспериментов углеводную основу питательной среды для культивирования бифидобактерий составляет глюкозу (20 г/л среды). В среду дополнительно внесли вышеперечисленные полисахариды в количестве 0.5% от объема среды. Контролем служила среда с глюкозой в качестве источника углеводов. Все среды стерилизовали и параллельно засеивали культурой бифидобактерий в количестве 1% от общего объема среды. После инкубации в течение 48 ч при 37 °С в анаэробных условиях определяли титр живых клеток штамма *Bifidobacterium bifidum 1* методом серийных разведений в бифидум-среде (содержащей 1% агара). Опыт ставили в триплетах.

Обсуждение результатов

В работе приведены результаты исследования содержания различных групп полисахаридов четырех сортов, выращенных в данных агроклиматических условиях. Выделение проводили, как описано ранее [28], где были выделены спирторастворимые сахара (СРС), водорастворимые полисахариды (ВРПС), пектиновые вещества (ПВ) и гемицеллюлозы (ГМЦ) (табл. 1). Хроматографическим анализом установлено, что СРС состоят преимущественно из фруктозы и сахарозы.

В таблице 1 приведены данные по выходу различных типов полисахаридов и их моносахаридному составу в четырех сортах проса *P. miliaceum*. Рассмотрены ВРПС, ПВ и ГМЦ.

Наибольший выход ВРПС и ПВ наблюдается в сорте Саратов 853 (22.0 и 21.0% соответственно), что значительно превосходит аналогичные показатели других сортов. В то же время содержание ГМЦ у этого сорта оказалось ниже (9.0%) по сравнению с другими сортами, где ГМЦ достигает 14.5–15.5%. Это, вероятно, связано со специфическими особенностями клеточного строения и углеводного обмена данного сорта.

Моносахаридный состав во всех образцах характеризуется присутствием основных сахаров: Glc, Ara и Xyl, что соответствует типичной структуре некрахмальных полисахаридов клеточных стенок злаков. В пектиновых веществах и гемицеллюлозах обнаружены UAc, что подтверждает их кислую природу и характерное присутствие карбоксильных групп.

Таблица 1. Содержание и моносахаридный состав углеводов *Panicum miliaceum*

| № | Тип углеводов | Выход, % | Моносахаридный состав | | | | | | UAc |
|-------------|---------------|-------------|-----------------------|------------|------------|------------|------------|------------|-----|
| | | | <i>Gal</i> | <i>Glc</i> | <i>Man</i> | <i>Ara</i> | <i>Xyl</i> | <i>Rha</i> | |
| Suwon 5 F2 | ВРПС | 1.0 | 1.4 | 5.7 | – | 3.3 | 2.8 | 1.0 | – |
| | ПВ | 5.5 | – | 7.5 | 1.1 | 1.5 | 2.5 | 1.1 | + |
| | ГМЦ | 15.0 | – | 7.6 | – | 1.4 | 4.3 | 1.0 | + |
| Songjn 1 | ВРПС | 1.2 | – | 7.0 | 1.0 | 2.0 | 1.0 | – | – |
| | ПВ | 7.5 | – | 8.0 | – | 1.1 | 1.0 | – | + |
| | ГМЦ | 15.5 | 6.2 | 3.7 | – | 1.5 | 1.0 | 0.8 | + |
| Yongyang | ВРПС | 1.5 | – | 4.7 | – | 1.0 | 1.0 | – | – |
| | ПВ | 8.5 | – | 5.6 | 1.0 | 1.2 | 1.7 | – | + |
| | ГМЦ | 14.5 | – | 5.4 | – | 1.0 | 1.9 | – | + |
| Саратов 853 | ВРПС | 22.0 | 2.1 | 2.5 | – | 1.5 | 1.0 | – | – |
| | ПВ | 21.0 | – | 7.5 | – | 1.2 | 1.0 | – | + |
| | ГМЦ | 9.0 | 3.0 | 5.0 | 1.0 | 3.0 | 7.0 | – | + |

Примечание. Моносахаридный состав представлен в относительном соотношении (молярных долях) основных моносахаридов: галактозы (*Gal*), глюкозы (*Glc*), маннозы (*Man*), арабинозы (*Ara*), ксилозы (*Xyl*) и рамнозы (*Rha*). Уроновые кислоты (*UAc*) обозначены знаком «+» (присутствуют) или «–» (отсутствуют).

Для сорта Саратов 853 отмечено повышенное содержание арабинозы и ксилозы в ГМЦ (3.0 и 7.0% соответственно), что может свидетельствовать о большем содержании арабиноксиланов и других сложных гемицеллюлоз, специфичных для данного сорта. Относительно низкое содержание глюкозы в ВРПС и ПВ этого сорта (2.5 и 7.5%) по сравнению с другими сортами указывает на вариабельность структурных компонентов полисахаридов.

ВРПС и ПВ представляют собой аморфные порошки кремового цвета, хорошо растворимые в воде. Пектиновые вещества представляли собой светло-белые порошки с кремоватым оттенком. В гидролизатах пектиновых веществ, наряду с нейтральными моносахаридами, присутствовала галактуроновая кислота, и, по данным титрометрического анализа [26], ПВ являются низкоэтерифицированными (табл. 2). ГМЦ – гемицеллюлозы представляют собой светло-коричневые порошки, хорошо растворимые в слабощелочной среде.

Как видно из данных таблицы 2, анализ титрометрических характеристик позволяет выявить существенные различия в кислотных свойствах ВРПС и ПВ различных сортов *P. miliaceum*. Рассчитанные параметры включают K_c , K_a , общее содержание кислотных групп ($K_o = K_c + K_a$), а также λ , отражающую долю этерифицированных групп в составе полисахарида.

Фракции ПВ во всех сортах содержат значительно больше кислотных групп по сравнению с ВРПС, что указывает на выраженную поликислотную природу пектиновых веществ. Наиболее высокое значение K_o отмечено у сорта Songjin 1 (45.5%), с максимальной степенью этерификации – $\lambda = 50.5\%$, что свидетельствует о преобладании высокоэтерифицированных пектинов. Сходные характеристики показали также сорта Yongyang ($\lambda = 49.0\%$) и Suwon 5 F2 ($\lambda = 44.8\%$).

Пектиновые вещества сорта Саратов 853 имеют наименьшее общее содержание кислотных групп ($K_o = 37.8\%$), однако степень этерификации у них остается достаточно высокой ($\lambda = 47.6\%$). Это может объяснять повышенную вязкость растворов ПВ данного сорта, ранее зафиксированную ($\eta_o = 2.5$), поскольку такие параметры характерны для низко- и умеренно этерифицированных пектинов с высокой молекулярной массой.

Фракции ВРПС, как ожидается, демонстрируют более низкие значения как K_o , так и λ , что указывает на преобладание нейтральных или слабокислых полисахаридов в их составе. Интересно, что у сорта Songjin 1 ВРПС обладают относительно высоким значением λ (30.0%) и содержанием этерифицированных групп ($K_a = 12.0\%$), что может быть связано с частичным присутствием пектиноподобных соединений в составе ВРПС.

Полученные данные подтверждают наличие различий в степени этерификации и кислотности между ВРПС и ПВ различных сортов просо (*P. miliaceum*). Эти параметры существенно влияют на растворимость, вязкость и биологические свойства полисахаридов и должны учитываться при их дальнейшей функциональной и технологической оценке.

Анализ показателей относительной вязкости ($\eta_{отн}$) 1%-ных водных растворов полисахаридов, представленных в таблице 3, выявил существенные различия как между сортами проса (*Panicum miliaceum*), так и между отдельными фракциями полисахаридов – водорастворимыми полисахаридами (ВРПС), пектиновыми веществами (ПВ) и гемицеллюлозами (ГМЦ).

Наибольшая относительная вязкость среди всех исследованных образцов отмечена у пектиновых веществ сорта Саратов 853, где $\eta_{отн}$ составила 2.5 (безразмерная величина). Это значение указывает на более разветвленную или высокомолекулярную структуру пектиновых полисахаридов данного сорта. ВРПС и гемицеллюлозы (ГМЦ) того же сорта также продемонстрировали повышенные значения вязкости – 1.3 и 1.6 соответственно, что существенно выше по сравнению с другими исследованными образцами.

Анализ ИК-спектров. Данные ИК-спектров образцов *P. miliaceum* сортов Suwon 5 F2, Songjin 1, Yongyang и Саратов 853-1, а также выделенных фракций ВРПС, ПВ и ГМЦ представлены в обобщенной таблице 4.

В ИК-спектрах всех исследованных образцов наблюдаются схожие полосы поглощения различной интенсивности. В области 3311–3290 cm^{-1} присутствуют интенсивные полосы, характерные для валентных колебаний ОН-групп, что указывает на наличие многочисленных гидроксильных функциональных групп в структуре полисахаридов.

Малоинтенсивные полосы поглощения в области 2932 и 2927 cm^{-1} свидетельствуют о наличии СН-связей, типичных для метильных и метиленовых фрагментов.

Таблица 2. Титрометрические показатели ПВ *P. miliaceum*

| Полисахариды | Кс, % | Кэ, % | Ко, % | λ, % |
|--------------|-------|-------|-------|-------|
| Suwon 5 F2 | | | | |
| ВРПС | 20.16 | 4.5 | 24.6 | 18.24 |
| ПВ | 23.4 | 19.0 | 42.4 | 44.8 |
| Songjn 1 | | | | |
| ВРПС | 28.0 | 12.0 | 40.0 | 30.0 |
| ПВ | 22.5 | 23.0 | 45.5 | 50.5 |
| Yongyang | | | | |
| ВРПС | 24.0 | 11.0 | 35.0 | 31.4 |
| ПВ | 21.6 | 20.8 | 42.4 | 49.0 |
| Саратов 853 | | | | |
| ВРПС | 22.0 | 17.0 | 39.0 | 43.5 |
| ПВ | 19.8 | 18.0 | 37.8 | 47.6 |

Примечание. Кс – содержание свободных карбоксильных групп, Кэ – содержание этерифицированных групп, Ко – общее содержание кислотных групп, λ – степень этерификации, выраженная в процентах.

Таблица 3. Относительная вязкость *Panicum miliaceum*

| Полисахариды | Suwon 5 F2 | Songjn 1 | Yongyang | Саратов 853 |
|--------------|--|----------|----------|-------------|
| | η _{отн} (1% H ₂ O) | | | |
| ВРПС | 1.1 | 1.07 | 1.1 | 1.3 |
| ПВ | 1.5 | 2.3 | 1.2 | 2.5 |
| ГМЦ | 1.2 | 1.1 | 1.07 | 1.6 |

Примечание. Относительная вязкость (η_{отн}) представляет собой безразмерную величину, характеризующую изменение вязкости раствора по сравнению с чистым растворителем (водой). Более высокие значения η_{отн} могут указывать на наличие макромолекул с большой длиной цепи, разветвлённой структурой или высокой степенью полимеризации, что напрямую отражается на физико-химических и функциональных свойствах полисахаридов.

Таблица 4. Данные ИК спектров *Panicum miliaceum* (Частота, см⁻¹)

| Suwon 5 F2 | Songjn 1 | Yongyang | Саратов 853-1 | Преимущественные типы колебаний |
|------------|----------|----------|---------------|---------------------------------------|
| 3290 | 3311 | 3431 | 3361 | ОН |
| – | – | 3012 | – | ОН |
| 2927 | 2932 | 2926 | 2929 | СН |
| – | – | 2855 | – | ОН |
| – | – | 1746 | 1746 | С=О |
| – | – | – | – | СОО ⁻ |
| 1654 | 1638 | 1656 | 1654 | СОО ⁻ |
| – | – | – | – | СН ₂ -NH-СН ₂ , |
| 1538 | 1539 | – | – | N-NH-CO |
| – | – | – | – | СОО ⁻ |
| 1451 | 1446 | 1456 | 1415 | СООН |
| 1398 | 1398 | 1322 | 1325 | С-О-Н, С-О-С |
| – | – | – | – | С-С, С-О |
| 1255 | 1256 | 1237 | 1241 | С-С, С-О |
| 1111 | 1107 | 1154 | 1146 | С-С, С-О-С |
| – | – | 1100 | 1102 | ОН |
| 1067 | 1052 | 1015 | 1017 | |
| 995 | – | – | 917 | α и β гликозидные связи |
| – | – | – | – | |
| – | – | – | – | |
| 604 | 611 | 637 | 623 | |

Полосы 1658 и 1654 см⁻¹ достаточно интенсивны; они могут быть отнесены как к деформационным колебаниям кристаллизационной воды, так и к колебаниям О-С=О-групп, характерных для карбоксильных соединений природного происхождения.

Появление полос 1539 и 1538 см⁻¹, нетипичных для чистых полисахаридов, возможно, связано с присутствием аминных или амидных фрагментов (-СН₂-NH-СН₂, -N-NH-CO-).

В области 1200–1100 см⁻¹ наблюдаются интенсивные полосы, обусловленные колебаниями связей С-О-Н и С-О-С, что характерно для целлюлозы и других полисахаридов растительного происхождения.

Наличие этих полос подтверждает присутствие целлюлозных и гемицеллюлозных структурных компонентов в составе исследованных образцов.

Полученные спектральные данные свидетельствуют о том, что выделенные полисахариды *P. mliaceum* представляют собой сложные природные комплексы с широким набором функциональных групп (-ОН, -СН, -С=О, -С-О-С), что подтверждает их принадлежность к высокомолекулярным соединениям полисахаридной природы и объясняет различия в их физико-химических свойствах.

Фракции ВРПС сорта Yongyang и ПВ сорта Саратов 853 проявили выраженную антимикробную активность в отношении *Pseudomonas aeruginosa* (штамм № 003841/114), создавая зоны ингибирования роста диаметром 12 и 13 мм соответственно. Остальные образцы (Саратов 853 ВРПС, Songjin 1 ПВ и Yongyang ПВ) антимикробной активности не проявили. Активность указанных фракций сопоставима с действием антибиотика цефазолина, использованного в качестве положительного контроля (табл. 5).

Из пяти исследованных тест-штаммов чувствительность к действию Yongyang ВРПС и Саратов 853 ПВ проявил только один – *Pseudomonas aeruginosa*. Эти вещества эффективно подавляли рост *Pseudomonas aeruginosa* 003841/114 (13 и 12 мм), но не оказывали угнетающего действия на рост *Bacillus subtilis* ВКМ, *Escherichia coli* 002673/477, *Staphylococcus aureus* и *Candida albicans*.

Таким образом, установлено, что полисахариды Саратов 853 ВРПС, Songjin 1 ПВ и Yongyang ПВ не обладают антимикробной активностью по отношению к исследованным тест-штаммам.

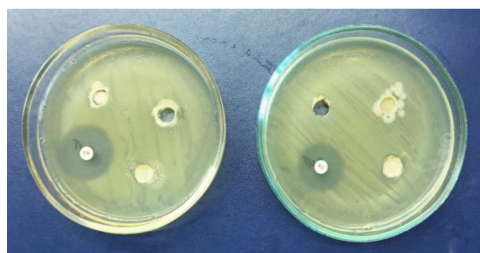
Анализ пребиотической активности полисахаридов (Саратов 853 ВРПС, Yongyang ВРПС, Саратов 853 ПВ, Songjin 1 ПВ, Yongyang ПВ) в экспериментах *in vitro* показал, что добавление всех пяти веществ достоверно увеличивает титр живых клеток штамма *Bifidobacterium bifidum* 1. Наиболее выраженный эффект отмечен для Yongyang ВРПС, Саратов 853 ПВ и Songjin 1 ПВ, которые способствовали существенному увеличению биомассы бифидобактерий.

Через 24 ч культивирования на среде, обогащенной полисахаридами, содержание *Bifidobacterium bifidum* при внесении Yongyang ВРПС, Саратов 853 ПВ и Songjin 1 ПВ (в объеме 0.5%) достигало 2×10^6 КОЕ/г, что примерно на шесть порядков превышает значения контрольной группы (табл. 6).

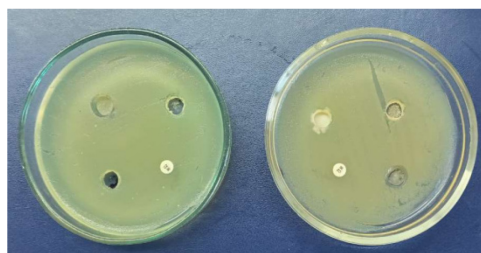
Все три вещества оказали стимулирующее действие на рост бифидобактерий по сравнению с контролем. Кроме того, все исследованные полисахариды способствовали росту *Lactobacillus delbrueckii*, однако не стимулировали рост штаммов *Lacticaseibacillus rhamnosus* и *Streptococcus salivarius*.

Таблица 5. Антимикробная активность полисахаридов растений против условно-патогенных микроорганизмов (зоны ингибирования, мм; 100 мг/мл)

| № | Вещества | <i>Escherichia coli</i> 002673/477 | <i>Pseudomonas aeruginosa</i> 003841/114 | <i>Staphylococcus aureus</i> | <i>Bacillus subtilis</i> ВКМ | <i>Candida albicans</i> |
|---|---------------------------|---------------------------------------|---|------------------------------|---------------------------------|-------------------------|
| 1 | Саратов 853 ВРПС | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | Yongyang ВРПС | 0 | 12 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | Саратов 853 ПВ | 0 | 13 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | Songjin 1 ПВ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | Yongyang ПВ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 6 | Цефазолин (антибиотик) | 18 | 0 | 20 | 16 | 10 |



Staphylococcus aureus



Pseudomonas aeruginosa

Антимикробная активность веществ против условно-патогенных микроорганизмов

Таблица 6. Пребиотическая активность полисахаридов

| № | Штаммы пробиотических культур | Контроль КОЕ/мл | Титр живых клеток бифидобактерий, КОЕ/мл | | | | |
|---|-------------------------------------|-------------------|--|----------------------|-----------------------|--------------------|--------------------|
| | | | <i>Саратов 853</i> ПВ ВАПС | <i>Yongyang</i> ВАПС | <i>Саратов 853</i> ПВ | <i>Songjn 1</i> ПВ | <i>Yongyang</i> ПВ |
| 1 | <i>Lactocaseibacillus rhamnosus</i> | 4×10 ⁹ | 3×10 ⁸ | 5×10 ⁹ | 4×10 ⁹ | 3×10 ⁸ | 2×10 ⁷ |
| 2 | <i>Streptococcus salivarius</i> | 2×10 ⁹ | 1×10 ⁵ | 2×10 ⁸ | 3×10 ⁶ | 1×10 ⁷ | 3×10 ⁴ |
| 3 | <i>Lactobacillus delbrueckii</i> | 0 | 2×10 ² | 2×10 ² | 1×10 ² | 2×10 ¹ | 2×10 ² |
| 4 | <i>Bifidobacterium bifidum</i> | 0 | 4×10 ⁴ | 2×10 ⁶ | 1×10 ⁶ | 2×10 ⁶ | 1×10 ⁴ |

Основными субстратами питания бифидо- и лактобактерий являются углеводы – моно-, олиго- и полисахариды. Ферментация углеводов анаэробными микроорганизмами осуществляется с участием различных гликозидаз (гликозилгидролаз) и лиаз с образованием короткоцепочечных жирных кислот (в основном уксусной и молочной). Большинство бифидобактерий характеризуются наличием галактозидаз, глюкозаминидаз, ксилозидаз и маннозидаз. Ключевым ферментом углеводного обмена у бифидобактерий является фруктозо-6-фосфатаза [29].

Выводы

Впервые исследован углеводный состав зерна четырех сортов *Panicum miliaceum*, выращенных в условиях Республики Каракалпакстан. Проведена количественная и качественная характеристика водорастворимых полисахаридов, пектиновых веществ и гемицеллюлоз, а также выполнен анализ их ИК-спектров.

Установлено, что выделенные полисахаридные фракции проявляют выраженную бифидогенную активность, что подтверждает перспективность их использования в составе функциональных пищевых продуктов, биологически активных добавок и синбиотических препаратов – рациональных комбинаций про- и пребиотиков, применяемых для коррекции нарушений микробиоценоза человека.

Финансирование

Данная работа финансировалась за счет средств бюджета Института сельского хозяйства и агротехнологий Каракалпакстана, Института химии растительных веществ имени академика С.Ю. Юнусова, Каракалпакского государственного университета имени Бердаха, Института микробиологии и Научно-исследовательского института Восточной медицины. Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство данным конкретным исследованием получено не было.

Конфликт интересов

Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Открытый доступ

Эта статья распространяется на условиях международной лицензии Creative Commons Attribution 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), которая разрешает неограниченное использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при условии, что вы предоставите соответствующие ссылки на автора(ов), источник и Лицензию Creative Commons и укажете, были ли внесены изменения.

Список литературы

1. Kumar A., Rani M., Mani S., Shah P., Singh D.B., Kudapa H., Varshney R.K. Nutritional Significance and Antioxidant-Mediated Antiaging Effects of Finger Millet: Molecular Insights and Prospects // *Front. Sustain. Food Syst.* 2021. Vol. 5. Pp. 1–17. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.684318>.
2. Wiedemair V. et al. Amino Acid Profiles and Compositions of Different Cultivars of *Panicum miliaceum* L. // *Chromatographia*. 2020. Vol. 83. Pp. 829–837. <https://doi.org/10.1007/s10337-020-03899-8>.
3. Virdi A.S., Singh N. Functional Cereals for Gluten Intolerance // *Functional Cereals and Cereal Foods: Properties, Functionality and Applications*. Cham: Springer International Publishing, 2022. Pp. 81–112. https://doi.org/10.1007/978-3-031-05611-6_4.
4. Pandey S. Nutritional aspects and health implications of gluten-free products // *Challenges and Potential Solutions in Gluten Free Product Development*. 2022. Pp. 17–34. https://doi.org/10.1007/978-3-030-88697-4_2.
5. Niro S. et al. Gluten-free alternative grains: Nutritional evaluation and bioactive compounds // *Foods*. 2019. Vol. 8, no. 6. Article 208. <https://doi.org/10.3390/foods8060208>.
6. Ratnavathi C.V., Tonapi V.A. Nutritional properties of millets: nutriceals with health benefits to reduce life-style diseases and malnutrition // *Handbook of Millets-Processing, Quality, and Nutrition Status*. Singapore: Springer Nature Singapore, 2022. Pp. 129–149. https://doi.org/10.1007/978-981-16-7224-8_7.

7. Kumar S.R. et al. Formulation of nutritional and ready to mix gluten-free porridge from proso millet (*Panicum miliaceum*) little millet (*Panicum sumatrense*) and legume faba bean (*Vicia faba*) // *Journal of Food Science and Technology*. 2022. Vol. 59. Pp. 2821–2829. <https://doi.org/10.1007/s13197-021-05305-z>.
8. Tomić J., Torbica A., Belović M. Effect of non-gluten proteins and transglutaminase on dough rheological properties and quality of bread based on millet (*Panicum miliaceum*) flour // *Lwt*. 2020. Vol. 118. Article 108852. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108852>.
9. McSweeney M.B. et al. Chemical and physical characteristics of proso millet (*Panicum miliaceum*) – based products // *Cereal Chemistry*. 2017. Vol. 94, no. 2. Pp. 357–362. <https://doi.org/10.1094/CCHEM-07-16-0185-R>.
10. Li K. et al. Diversity analysis of starch physicochemical properties in 95 proso millet (*Panicum miliaceum* L.) accessions // *Food chemistry*. 2020. Vol. 324. Article 126863. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126863>.
11. Kurek M.A. et al. Physicochemical properties of dietary fibers extracted from gluten-free sources: quinoa (*Chenopodium quinoa*), amaranth (*Amaranthus caudatus*) and millet (*Panicum miliaceum*) // *Food Hydrocolloids*. 2018. Vol. 85. Pp. 321–330. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.07.021>.
12. Agarwal S., Chauhan E.S. The Nutritional Composition, various processing and health benefits of Proso Millet: A Review // *Research Journal of Pharmacy and Technology*. 2019. Vol. 12, no. 8. Pp. 4013–4017. <https://doi.org/10.5958/0974-360X.2019.00691.7>.
13. Balli D. et al. Proso Millet (*Panicum miliaceum* L.) as Alternative Source of Starch and Phenolic Compounds: A Study on Twenty-Five Worldwide Accessions // *Molecules*. 2023. Vol. 28, no. 17. 6339. <https://doi.org/10.3390/molecules28176339>.
14. Mir R.A., Somasundaram R., Panneerselvam R. Changes in antioxidant enzymes activities mitigates deleterious effects of ROS in *Panicum miliaceum* (L.) under drought stress // *Journal of Stress Physiology & Biochemistry*. 2019. Vol. 15, no. 3. Pp. 81–91.
15. Jhan F. et al. Fabrication of protein crocin nanocomplex and its addition in proso millet flour for development of functional snacks with anti-diabetic, anti-hypertensive and antioxidant properties // *International Journal of Food Science & Technology*. 2023. Vol. 58, no. 8. Pp. 4196–4204. <https://doi.org/10.1111/ijfs.16512>.
16. Rajasekaran R., Francis N. Genetic and genomic resources for improving proso millet (*Panicum miliaceum* L.): a potential crop for food and nutritional security // *The Nucleus*. 2021. Vol. 64, no. 1. Pp. 21–32. <https://doi.org/10.1007/s13237-020-00331-2>.
17. Samtiya M. et al. Key anti-nutrients of millet and their reduction strategies: an overview // *Act. Sci. Nutr. Health*. 2021. Vol. 5, no. 12. Pp. 68–80. <https://doi.org/10.31080/ASNH.2020.05.0963>.
18. Arya C. Effect of processing on antioxidant potential and antinutritional factors in small millets // *Small Millet Grains: The Superfoods in Human Diet*. Singapore: Springer Nature Singapore, 2022. Pp. 79–93. https://doi.org/10.1007/978-981-16-9306-9_4.
19. Onwurafor E.U. et al. Effect of malting periods on the nutrient composition, antinutrient content and pasting properties of mungbean flour // *Agro-Science*. 2020. Vol. 19, no. 1. Pp. 18–24. <https://doi.org/10.4314/as.v19i1.3>.
20. Zhang L., Liu R., Niu W. Phytochemical and Antiproliferative Activity of Proso Millet // *PLoS ONE*. 2014. Vol. 9, no. 8. Pp. 1–10. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0104058>.
21. Hassan Z.M., Sebola N.A., Mabelebele M. The nutritional use of millet grain for food and feed: a review // *Agric. Food Secur.* 2021. Vol. 10, no. 16. Pp. 1–14. <https://doi.org/10.1186/s40066-020-00282-6>.
22. Gautam L., Gupta A. Impact of malting on nutrient and Antinutrient content of processed composite flour prepared with different grains // *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 2018. Vol. 7, no. 4. Pp. 2934–2937.
23. Балицкий, К.П. Лекарственные растения и рак. Киев: Наукова думка, 1982. 376 с.
24. Шаталова Ю.В. Изучение полисахаридного состава отходов зерна проса *Panicum Milliaceum* L.: автореф. дис. ...канд. фарм. наук. Пятигорск, 2010. 23 с.
25. Kodiralalievа F.A., Rakhmanberdyeva R.K. Polysaccharides from *Crotalaria alata* // *Chemistry of Natural Compounds*. 2011. Vol. 47, no. 1. Pp. 7–9. <https://doi.org/10.1007/s10600-011-9818-3>.
26. Сидикова А.А., Маликова М.Х., Рахманбердыева Р.К., Зайнутдиннов У.Н. Изучение углеводного комплекса надземной части *Stachys hissarica* // *Фармацевтический журнал*. 2014. №4. С. 20–23.
27. Аймухаммедова Г.Б., Алиева Д.Э., Шелухина Н.П. Свойства и применение пектиновых сорбентов. Фрунзе, 1984. С. 61–63.
28. Кочеткова Н.К. Методы химии углеводов. М., 1967. С. 150–208.
29. Лысак В.В. Микробиология: учеб. пособие. Минск, 2007. 426 с.

Поступила в редакцию 6 февраля 2024 г.

После переработки 13 октября 2025 г.

Принята к публикации 13 мая 2026 г.

Alimbetov D.U.¹, Kodiralieva F.A.², Siddikova A.A.², Kosnazarov K.A.³, Allambergenova K.R.³, Bekmurodova G.A.⁴, Zhanibekov A.A.^{5*} POLYSACCHARIDES FROM FOUR VARIETIES OF *PANICUM MILLACEUM* GRAINS AND THEIR ANTIMICROBIAL AND PREBIOTIC ACTIVITIES

¹ Institute of Agriculture and Agrotechnologies of Karakalpakstan, st. Abdanbetova, Nukus, 230109, Republic of Karakalpakstan

² S.Yu. Yunusov Institute of the Chemistry of Plant Substances, Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, st. Mirzo Ulugbek, 77, Tashkent, 100170, Republic of Uzbekistan

³ Berdakh Karakalpak State University, st. Sh. Abdirova, 1, Nukus, 700742, Republic of Karakalpakstan

⁴ Institute of Microbiology, Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, st. Qodiriy, 7B, Tashkent, 100128, Republic of Uzbekistan

⁵ Research Institute of Eastern Medicine, st. Chingiz Aitmatov, 1a, Tashkent, 100084, Republic of Uzbekistan, j.aziz@mail.ru

For the first time, various fractions of polysaccharide complexes were isolated from the grains of a local and three introduced South Korean cultivars of *Panicum miliaceum*. Their qualitative and quantitative monosaccharide compositions were determined. The isolated fractions were represented by water-soluble polysaccharides (1.0–22.0%), pectic substances (5.5–21.0%), and hemicelluloses (9.0–15.5%). The main monosaccharides were identified as Glc, Man, Ara, Xyl, Rha, Gal, and UAc, indicating the structural diversity of the isolated compounds.

The antimicrobial activity of the obtained fractions was studied: water-soluble polysaccharides from the *Yongyang* cultivar and pectic substances from *Suwon 5 F2* exhibited pronounced antimicrobial activity against *Pseudomonas aeruginosa* (strain No. 003841/114), comparable to that of cefazolin. The obtained results confirm the potential of *P. miliaceum* polysaccharides as a source of natural biologically active compounds.

Keywords: *P. miliaceum*, water-soluble polysaccharides, pectins, hemicelluloses, antimicrobial activity.

For citing: Alimbetov D.U., Kodiralieva F.A., Siddikova A.A., Kosnazarov K.A., Allambergenova K.R., Bekmurodova G.A., Zhanibekov A.A. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2026, no. 2, pp. 132–142. (in Russ.). <https://doi.org/10.14258/jcprm.20260214772>.

References

- Kumar A., Rani M., Mani S., Shah P., Singh D.B., Kudapa H., Varshney R.K. *Front. Sustain. Food Syst.*, 2021, vol. 5, pp. 1–17. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.684318>.
- Wiedemair V. et al. *Chromatographia*, 2020, vol. 83, pp. 829–837. <https://doi.org/10.1007/s10337-020-03899-8>.
- Virdi A.S., Singh N. *Functional Cereals and Cereal Foods: Properties, Functionality and Applications*. Cham: Springer International Publishing, 2022, pp. 81–112. https://doi.org/10.1007/978-3-031-05611-6_4.
- Pandey S. *Challenges and Potential Solutions in Gluten Free Product Development*, 2022, pp. 17–34. https://doi.org/10.1007/978-3-030-88697-4_2.
- Niro S. et al. *Foods*, 2019, vol. 8, no. 6, article 208. <https://doi.org/10.3390/foods8060208>.
- Ratnavathi C.V., Tonapi V.A. *Handbook of Millets-Processing, Quality, and Nutrition Status*. Singapore: Springer Nature Singapore, 2022, pp. 129–149. https://doi.org/10.1007/978-981-16-7224-8_7.
- Kumar S.R. et al. *Journal of Food Science and Technology*, 2022, vol. 59, pp. 2821–2829. <https://doi.org/10.1007/s13197-021-05305-z>.
- Tomić J., Torbica A., Belović M. *Lwt*, 2020, vol. 118, article 108852. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108852>.
- McSweeney M.B. et al. *Cereal Chemistry*, 2017, vol. 94, no. 2, pp. 357–362. <https://doi.org/10.1094/CCHEM-07-16-0185-R>.
- Li K. et al. *Food chemistry*, 2020, vol. 324, article 126863. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126863>.
- Kurek M.A. et al. *Food Hydrocolloids*, 2018, vol. 85, pp. 321–330. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.07.021>.
- Agarwal S., Chauhan E.S. *Research Journal of Pharmacy and Technology*, 2019, vol. 12, no. 8, pp. 4013–4017. <https://doi.org/10.5958/0974-360X.2019.00691.7>.
- Balli D. et al. *Molecules*, 2023, vol. 28, no. 17, 6339. <https://doi.org/10.3390/molecules28176339>.
- Mir R.A., Somasundaram R., Panneerselvam R. *Journal of Stress Physiology & Biochemistry*, 2019, vol. 15, no. 3, pp. 81–91.
- Jhan F. et al. *International Journal of Food Science & Technology*, 2023, vol. 58, no. 8, pp. 4196–4204. <https://doi.org/10.1111/ijfs.16512>.
- Rajasekaran R., Francis N. *The Nucleus*, 2021, vol. 64, no. 1, pp. 21–32. <https://doi.org/10.1007/s13237-020-00331-2>.
- Samtiya M. et al. *Act. Sci. Nutr. Health.*, 2021, vol. 5, no. 12, pp. 68–80. <https://doi.org/10.31080/ASNH.2020.05.0963>.
- Arya C. *Small Millet Grains: The Superfoods in Human Diet*. Singapore: Springer Nature Singapore, 2022, pp. 79–93. https://doi.org/10.1007/978-981-16-9306-9_4.
- Onwurafor E.U. et al. *Agro-Science*, 2020, vol. 19, no. 1, pp. 18–24. <https://doi.org/10.4314/as.v19i1.3>.
- Zhang L., Liu R., Niu W. *PLoS ONE*, 2014, vol. 9, no. 8, pp. 1–10. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0104058>.
- Hassan Z.M., Sebola N.A., Mabelebele M. *Agric. Food Secur.*, 2021, vol. 10, no. 16, pp. 1–14. <https://doi.org/10.1186/s40066-020-00282-6>.
- Gautam L., Gupta A. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 2018, vol. 7, no. 4, pp. 2934–2937.
- Balitskiy, K.P. *Lekarstvennyye rasteniya i rak*. [Medicinal plants and cancer]. Kyiv, 1982, 376 p. (in Russ.).

* Corresponding author.

24. Shatalova Yu.V. *Izucheniye polisakharidnogo sostava otkhodov zerna prosa Panicum Milliaceum L.: avtoref. dis. ...kand. farm. nauk.* [Study of polysaccharide composition of millet grain waste *Panicum Milliaceum L.*: author's abstract. diss. ... cand. pharm. sciences]. Pyatigorsk, 2010, 23 p. (in Russ.).
25. Kodiralaliev F.A., Rakhmanberdyeva R.K. *Chemistry of Natural Compounds*, 2011, vol. 47, no. 1, pp. 7–9. <https://doi.org/10.1007/s10600-011-9818-3>.
26. Sidikova A.A., Malikova M.Kh., Rakhmanberdyeva R.K., Zaynutdinov U.N. *Farmatsevticheskiy zhurnal*, 2014, no. 4, pp. 20–23. (in Russ.).
27. Аумукхаммедова Г.В., Алиева Д.Е., Шелухина Н.П. *Svoystva i primeneniye pektinovykh sorbentov.* [Properties and application of pectin sorbents]. Frunze, 1984, pp. 61–63. (in Russ.).
28. Kochetkova N.K. *Metody khimii uglevodov.* [Methods of carbohydrate chemistry]. Moscow, 1967, pp. 150–208. (in Russ.).
29. Lysak V.V. *Mikrobiologiya: ucheb. posobiye.* [Microbiology: textbook]. Minsk, 2007, 426 p. (in Russ.).

Received February 6, 2024

Revised October 13, 2025

Accepted May 13, 2026

Сведения об авторах

Алимбетов Досберген Усенович – докторант,
alimbetov-d85@mail.ru

Кодиралиева Фотимахон Акбаровна – кандидат химических наук, старший научный сотрудник лаборатории химии высокомолекулярных растительных веществ, fatimahon.82@mail.ru

Сиддикова Азиза Абдугаффаровна – докторант,
siddiqova1987@mail.ru

Косназаров Кудайберген Айтманбетович – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент,
kosnazarov1950@mail.ru

Алламбергенова Камилла Рахметовна – стажер преподаватель, k.r.allambergenova@gmail.com

Бекмуродова Гуллола Амировна – младший научный сотрудник лаборатории биотехнологии и микробиологии пробиотиков, beegull@mail.ru

Жанибеков Абдулазиз Адилханович – кандидат химических наук, старший научный сотрудник,
j.aziz@mail.ru

Information about authors

Alimbetov Dosbergen Usenovich – doctoral student,
alimbetov-d85@mail.ru

Kodiralieva Fotimakhon Akbarovna – Candidate of Chemical Sciences, Senior Researcher at the Laboratory of Chemistry of High-Molecular Plant Substances,
fatimahon.82@mail.ru

Siddikova Aziza Abdugaffarovna – doctoral student,
siddiqova1987@mail.ru

Kosnazarov Kudaibergen Aitmanbetovich – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor,
kosnazarov1950@mail.ru

Allambergenova Kamila Rakhmetovna – trainee teacher,
k.r.allambergenova@gmail.com

Bekmurodova Gullola Amirovna – Junior Researcher, Laboratory of Biotechnology and Microbiology of Probiotics, beegull@mail.ru

Zhanibekov Abdulaziz Adilkhanovich – Candidate of Chemical Sciences, Senior Researcher, j.aziz@mail.ru