

**АГРОХИМИЯ, АГРОПОЧВОВЕДЕНИЕ, ЗАЩИТА И КАРАНТИН РАСТЕНИЙ/AGROCHEMISTRY,
AGROSOIL SCIENCE, PLANT PROTECTION AND QUARANTINE**

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.58.11>

**ВЛИЯНИЕ МОЧЕВИНЫ, ОБРАБОТАННОЙ КУЛЬТУРОЙ В.С. Ч-13, НА НАКОПЛЕНИЕ РУТИНА В
РАЗЛИЧНЫХ СОРТООБРАЗЦАХ ГРЕЧИХИ, ВЫРАЩЕННОЙ В АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ
МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ**

Научная статья

Иванов Р.Г.^{1,*}, Налиухин А.Н.², Белопухов С.Л.³

² ORCID : 0000-0001-6860-0617;

³ ORCID : 0000-0002-4473-4466;

^{1, 2, 3} Российский государственный аграрный университет МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Российской Федерации

* Корреспондирующий автор (ivanovroman_19[at]mail.ru)

Аннотация

В статье приводятся результаты мелкоделяночных опытов, направленных на изучение содержания рутина в двух сортах гречихи, выращенных на разном уровне азотного питания. Эксперименты поставлены на территории Московской области в 2023–2024 гг. В качестве объекта исследования выбраны два сорта гречихи: Дикуль и Даши. Выявлены особенности накопления рутина в сухой биомассе и лузге гречихи в агроклиматических условиях Московской области, в т.ч. при системе применения микробного удобрения, содержащей культуру В.с. Ч-13. В работе проводится детальный анализ зависимости накопления рутина от содержания питательных веществ NPK (азота, фосфора и калия) в сухой биомассе и лузге растений гречихи. Это позволяет лучше понять механизмы накопления рутина и разработать рекомендации по оптимизации условий выращивания гречихи для получения более высоких концентраций этого полезного вещества.

Ключевые слова: гречиха, рутин, азотные удобрения, В.с. Ч-13, микробное удобрение, биомасса, лузга.

**INFLUENCE OF UREA TREATED WITH B.S. CH-13 ON RUTIN ACCUMULATION IN DIFFERENT
BUCKWHEAT VARIETIES GROWN IN AGROCLIMATIC CONDITIONS OF MOSCOW OBLAST**

Research article

Ivanov R.G.^{1,*}, Naliukhin A.N.², Belopukhov S.L.³

² ORCID : 0000-0001-6860-0617;

³ ORCID : 0000-0002-4473-4466;

^{1, 2, 3} Russian State Agrarian University named after K.A. Timiryazev Moscow Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

* Corresponding author (ivanovroman_19[at]mail.ru)

Abstract

The article presents the results of small-plot experiments aimed at studying the content of rutin in two buckwheat varieties grown at different levels of nitrogen nutrition. The experiments are set on the territory of Moscow Oblast in 2023–2024. Two varieties of buckwheat: Dikul and Dasha, were chosen as the object of research. The specifics of rutin accumulation in dry biomass and buckwheat peelings agroclimatic conditions of Moscow Oblast, including at the system of microbial fertiliser application containing B.s. Ch-13 culture are identified. In this work, a detailed analysis of the dependence of rutin accumulation on the content of NPK nutrients (nitrogen, phosphorus and potassium) in the dry biomass and peelings of buckwheat plants is carried out. This allows to better understand the mechanisms of rutin accumulation and to develop recommendations on optimisation of buckwheat cultivation conditions to obtain higher concentrations of this useful substance.

Keywords: buckwheat, rutin, nitrogen fertiliser, B.s. Ch-13, microbial fertiliser, biomass, peelings.

Введение

Гречиха — ценная крупяная культура, берущая своё начало с горных районов Восточной Азии. Центр происхождения культуры накладывает определенные биологические особенности на ценные сельскохозяйственные признаки растений. Зерновые продукты играют важную роль в полноценном и здоровом питании человека, поскольку они являются источниками энергии, макро- и микроэлементов, доступных для всех групп населения [4]. Химический состав и пищевая ценность гречневой крупы характеризуется широким диапазоном колебаний количественного содержания компонентов [3]. В последнее время растет интерес к гречихе как к важному лекарственному растению: благодаря высокому содержанию рутина её используют для сохранения функционирования сердечно-сосудистой системы человека [13]. Кроме того, рутин также является эффективным сенсибилизатором при противоопухолевой терапии [31].

Рутин не обнаружен в злаках и псевдозлаках, за исключением гречневой крупы, которая может быть использована в качестве хорошего источника диетического рутина [27]. В ряде работ отмечено, что на метаболизм фенилпропаноидов влияют различные абиотические и биотические факторы, в т.ч. и УФ-излучение от солнца [30].

Исследования S. Kreft (2002) показали, что листья гречихи, выращенные в условиях повышенного УФ-излучения, содержали на 97% больше рутина, чем в условиях пониженного УФ-излучения. Рутин играет важную роль в защите растений от радиационного повреждения и противостоянии абиотическому стрессу благодаря своим антиоксидантным свойствам и способен поглощать УФ-излучение [26]. Благодаря своей значительной реакционной способности флавоноиды участвуют в процессах фотосинтеза, дыхания, роста, размножения и защиты от различных стрессов [17]. Показано, что семядоли являются важными местами накопления рутина в гречихе [34].

В России проведены исследования, показывающие, что на уровень накопления рутина в гречихе можно влиять. Например, изучено влияние регуляторов роста Люрастима и Модуса на содержание рутина в крупе и семенных оболочках гречихи посевной сортов Молва и Темп; оба регулятора роста увеличивали содержание рутина [8]. В культуре тканей гречихи показано влияние кинетина на 20-кратное увеличение содержания рутина [22]. Имеются исследования, показывающие положительное влияние эндофитных грибов (*Bionectria pityrodes*, *Fusarium oxysporum*, *Alternaria sp.*) на рост ростков и синтез рутина в гречихе [35]. Исследований, показывающих влияние бактерий на синтез фенольных соединений в зерновых культурах, в т.ч. гречихе проведено недостаточно.

Одним из подходов, повышения урожайности культур является использование бактерий, способствующих росту растений (PGPB), и эта тенденция, несомненно, продолжается, учитывая многочисленные публикации в научных журналах [33]. Присутствие бактерий в почве и тканях растений может изменить уровень фитогормонов, что неизбежно приведет к изменениям в росте, развитии растений и их способности управлять стрессом [32]. *Bacillus subtilis* — типичный представитель PGPB. Эндофитные микроорганизмы, к которым относится *Bacillus subtilis* Ч-13, в сельском хозяйстве получили широкое распространение и являются хорошей стратегией для решения проблем современного сельского хозяйства, таких как снижение производственных затрат с меньшим воздействием на окружающую среду без ущерба для производительности [18].

В литературных источниках нет данных, описывающих влияние B.s. Ч-13 на накопление рутина гречихой во взаимосвязи с внесением различных доз азотных удобрений, в частности карбамида. Исследования Bo Deng (2019 г.) показывают, что доступность азота и последующее изменение внутреннего минерального баланса могут существенно влиять на накопление флавоноидов в растениях, например, у *Cyclocarya paliurus* [19]. В свою очередь, Yuanli Li (2023 г.) большее количество флавоноидов у белой акации (*Robinia pseudoacacia*) на ранних этапах роста и развития синтезировалось при недостатке азота [28]. Daocheng Ma и др. (2024 г.) заключают, что различные внутренние и внешние факторы могут влиять на биосинтез и накопление растительных флавоноидов [29].

Dacheng Hao в исследовании акцентирует внимание на том, что умеренное внесение N в почву в целом повышает урожайность и содержание фитометаболитов в лекарственных культурах, но чрезмерное внесение N имеет противоположный эффект [23]. Выводы Hao (2024 г.) подтверждаются исследованиями Mohd Hafiz Ibrahim (2011 г.) который показывает, что по мере снижения уровня N продукция флавоноидов в лабизии карликовой (*Labisia pumila Blume*) увеличивается [24]. Таким образом, высокие дозы азотных удобрений угнетают синтез флавоноидов в растениях.

Данных исследований штамма *Bacillus subtilis* на накопление флавоноидов (рутин и др.) растениями гречихи в открытых литературных источниках нет. Выращивание гречихи сокращается во всем мире в течение последних двух-трех десятилетий из-за низкой и неустойчивой урожайности [21]. Одна из причин невысокой урожайности гречихи — слабая отзывчивость на использование приёмов интенсивного земледелия [11]. Отличие гречихи от зерновых культур заключается в растянутости периода цветения, который совпадает с интенсивным линейным ростом побегов [16]. Основным отходом сельскохозяйственного производства гречихи является лузга. До сих пор лузга не нашла применения в промышленности за исключением незначительного её использования для производства фурфурола, а также как заменителя деревянной доски путём дорогостоящего её прессования [21]. Эффективность внесения удобрений под гречиху зависит от агроклиматической характеристики региона возделывания, почвенных особенностей, количества и состава удобрений [1]. Отзывчивость гречихи на внесение удобрений обуславливается высокой потребностью в элементах питания, поскольку культура выносит из почвы большое количество калия и других питательных веществ. Урожайность гречихи в значительной степени коррелирует с фотосинтетической способностью, которая зависит от системы азотных удобрений и густоты посадки [20]. Адаптивная стратегия гречихи основана на способности к длительному интенсивному росту: образование семян в количествах, необходимых, обеспечивается благодаря сильно выраженной ремонтантности [2].

Таким образом, фокус нашего исследования сосредоточен на способности культуры гречихи накапливать рутин в соломе и лузге под воздействием азотных удобрений в чистом виде, и обработанных культурой B.s. Ч-13. Задачами исследования были определение оптимальных доз азотного удобрения и биомодифицированного азотного удобрения культурой B.s. Ч-13 обеспечивающих максимальное содержание рутина в соломе и лузгой гречихе; определение теоретических зависимостей между накоплением рутина и динамикой азота, фосфора и калия в соломе и лузге растений гречихи; определение выхода рутина с единицы посевной площади.

Методы исследования

Опыты по установлению содержания рутина в сортообразцах гречихи проведены в 2023–2024 гг. в г. Орехово-Зуево, Московская область. Полевые мелкоделяочные опыты заложены на дерново-подзолистой глееватой легкосуглинистой почве. Общая площадь посевов гречихи 0,01 га, учетная площадь делянки 0,95 м². Повторность опытов четырехкратная.

Основные агрохимические свойства почвы опытного участка (среднее 2023–2024 гг.): pH(сол.) = 6,83 (нейтральные), Нг = 2,86 мг *экв /100 г почвы, S = 7,66 мг*экв /100 г почвы, содержание N-NO₃ (0–20 см) = 5,18 мг/кг почвы, N-NH₄ = 3,03 мг/кг почвы, подвижного P2O5 (по Кирсанову) = 181 мг/кг почвы (V класс обеспеченности), K₂O (по Кирсанову) = 134 мг/кг почвы (IV класс — повышенное содержание), Nobц. = 0,07%, гумус (по Тюрину в модификации Симакова) — 2,63%, Nц.г. (по Тюрину и Кононовой) = 32,5 мг/кг (II класс — низкое).

Для определения основных агрохимических показателей почвы использовались стандартные методики: обменной кислотности pH(сол.) по ГОСТ 26483-85, гидролитической кислотности (H_2) по ГОСТ 26212-2021 по методу Каппена в модификации ЦИНАО с помощью 1 н. раствора CH_3COONa , определение суммы поглощенных оснований в почве по Каппену – Гильковицу (ГОСТ 27821-2020), содержание N-NO_3 в почве определялось колориметрическим методом с дисульфофероловой кислотой с использованием коэффициента 0,226 для пересчета содержания нитратов (NO_3^-) в нитратный азот (N-NO_3) в водной вытяжке, определение содержания аммонийного азота в почве осуществлялось колориметрическим методом по Е.В. Аринушкиной с использованием реактива Несслера при $\text{pH}>7$ (0,778 — коэффициент пересчета содержания аммония (NH_4^+) в аммонийный азот (N-NH_4^+), содержание минерального азота ($\text{N}_{\text{мин}}$) — математическим методом как сумму нитратного и аммонийного форм азота. Определение содержания подвижного фосфора и обменного калия в почве по методу Кирсанова, фосфор — колориметрическим методом, калий — пламенно-фотометрическим методом. Содержание общего азота ($\text{N}_{\text{общ}}$) по ГОСТ Р 58596-2019. Гумус по методу И.В. Тюрина в модификации В.Н. Симакова с использованием 0,2%-ного раствора фенилантрениловой кислоты ($\text{C}_{13}\text{H}_{11}\text{NO}_2$). Определение легкогидролизуемого азота по Тюрину и Коноваловой с обработкой почвы 0,5 н раствором H_2SO_4 . Колориметрическое определение содержания подвижных форм азота осуществлялось на спектрофотометре марки ЭКОВЬЮ В-1200. Определение азота, фосфора и калия в образцах растений (луга и солома) осуществлялось по стандартным методикам. Азот по методу Кельдаля, фосфор и калий на пламенном фотометре.

Схема опыта включала два фактора. Фактор А - система удобрения, фактор В — система биомодифицированного удобрения, в качестве фона применялся сульфат калия (K_2SO_4) в дозе 60 кг/га (К60). В качестве азотного удобрения применялся карбамид ($(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ в следующих концентрациях: N30, N60 и N90. Те же самые дозы карбамида подвергались биомодификации микробным удобрением, содержащим *Bacillus subtilis* штамм Ч-13 (B.s. Ч-13). Биомодификация ($(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ осуществлялась вручную из расчета 1 мл B.s. Ч-13 на 1 г карбамида. Затем обработанное удобрение подвергалось суточной инкубации в факторостатных условиях при температуре 25 °C и без доступа света. После этого удобрения вручную вносили на опытные участки.

Определение рутина в соломе гречихи проводили после обмолота. Определение содержания рутина в лузге гречихи проводили после обрушения зерна растений гречихи.

Перед проведением анализа соломы и лузги растений закладывался опыт по установлению влажности исследуемого материала. Для этого 2 г. растительного сырья помещали в стеклянный бюкс, предварительно доведенный до постоянной массы, и высушивали в сушильном шкафу при $t=105^\circ\text{C}$. При установлении содержания рутина в соломе и лузге гречихи в качестве объекта исследования выбраны водно-спиртовые вытяжки из растений. Перед определением аналитическую пробу сырья измельчали до размера частиц, проходящих через сито с диаметром отверстий 2 мм. Далее 1 г. растительного сырья помещали в коническую колбу объёмом 250 мл, приливали 70% $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$, присоединяли к холодильнику и нагревали на кипящей водяной бане в течение 30 минут. После охлаждения фильтровали в мерную колбу объёмом 250 мл. Экстракцию повторяли трижды. Экстракти объединяли.

Перед проведением анализа замеряли объем извлечения. Далее 5 мл 70% раствора $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ помещали в пробирку и приливали 3–4 мл исследуемой вытяжки. Раствором сравнения служил 70% этанол. Измеряли оптическую плотность исследуемых растворов на спектрофотометре марки Portlab 511 UV/Vis Spectrophotometer при длине волны 361 нм ($\lambda=361$ нм), используя кювету с толщиной слоя 10 мм. Содержание рутина в лузге и соломе гречихи определяли по формуле 1. Полученный результат в % пересчитывали на мг/г вещества.

Формула 1. Определение рутина в пересчете на абсолютно-сухое вещество листьев и лузги гречихи, %:

$$X = \frac{A \cdot V_{\text{изв.}} \cdot V_{\text{разв.}} \cdot 100}{D \cdot m \cdot (100-W) \cdot V_{\text{алик.}}},$$

где A — оптическая плотность исследуемого раствора; D — оптическая плотность раствора стандартного образца (216,65), $V_{\text{изв.}}$ — объем извлечения (мл), $V_{\text{разв.}}$ — объем разведения, m — масса навески, W% — влажность растительного материала, $V_{\text{алик.}}$ — объем аликвоты, взятой для проведения анализа.

Объектом исследования выступили два сорта растений гречихи: Дикуль (2001) и Даша (2018), контрастно различающиеся по ряду показателей. Сорт Даша отличается от сорта Дикуль экономным габитусом соцветия и может обеспечивать высокую урожайность без применения удобрений. Вызревшие растения гречихи убирали вручную, раздельным способом при побурении 75% плодов (9 сентября 2023 г., и 10 сентября 2024 г.), урожай учитывали поделяночно. Полученные данные по урожайности культуры обрабатывали методом двухфакторного дисперсионного анализа с повторениями с использованием программы Excel в пересчете на базисную влажность 14%. Методом визуального наблюдения (при появлении у 75% растений качественного признака) фиксировалось наступление фенологических фаз. Отбор образцов листьев проведен во вторую декаду цветения растений.

Проведен корреляционный анализ накопления рутина в соломе (X) в зависимости от содержания NPK в соломе и корреляционный анализ между урожайностью культуры (X) и накопление рутина в лузге гречихи.

Агроклиматические условия выращивания (2023–2024 гг.) характеризовались как зоны обеспеченного увлажнения. ГТК за тёплый период времени по формуле Г.Т. Селянникова в 2023 г. — 1,3 (зона обеспеченного увлажнения), в 2024 г. — 1,44 (зона обеспеченного увлажнения) (рис. 1). Отметим, что сбор растений проведен 18 июля в годы проведения опытов.

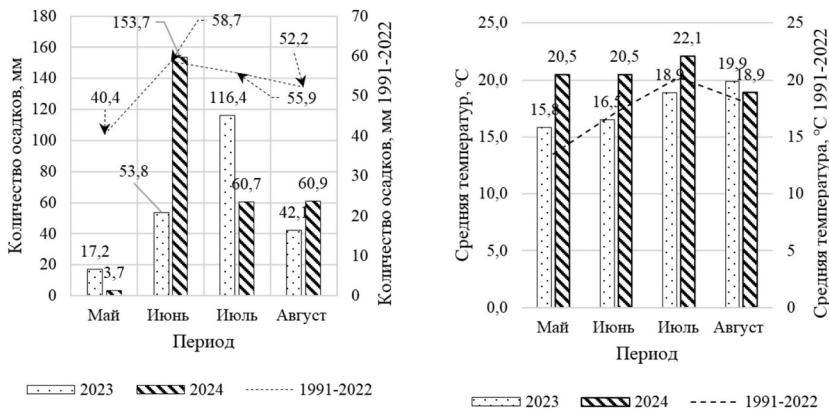


Рисунок 1 - Климатические условия по месяцам в годы проведения исследования

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.58.11.1>

Количество осадков в мае (2023–2024 гг.) было значительно меньше данных многолетних наблюдений. В 2023 г. количество осадков в июле больше, чем в июне на 62,6 мм. В 2024 г. наоборот количество осадков в июне было больше, чем июне на 9 мм. 18 июля 2023 г. количество осадков 7,1 мм, в 2024 г. 2,1 мм, причем 17 июля осадков не наблюдалось.

Максимальная средняя температура за месяц зафиксирована в 2023 г. и наблюдалась в августе, температура в июле составляла 18,9°C. В 2024 г. максимальная температура в июле — 22,1 °C, что на 3,2 °C больше, чем в аналогичном периоде в 2023 г. 18 июля 2023 г. температура составляла 20,7 °C, в 2024 г. — 23,7 °C.

Результаты исследований

Наблюдения показали, что при применении азотных удобрений в агроклиматических условиях Московской области вегетационный период гречихи увеличивается до 105–106 дней при максимальной дозе $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ (90 кг/га) и при обработке карбамида культурой В.С. Ч-13. Стадия цветения гречихи выступает самой продолжительной фенологической фазой в вегетационном периоде растений. Гречиха цветет вплоть до уборки урожая. Именно фаза цветения является критической для гречихи по причине высокой нуждаемости в питательных веществах в почве.

Направленное действие трех факторов: абиотический, биотический и антропогенный – обеспечит более хорошее завязывание плодов и уменьшит количество пустых, засохших завязей. К абиотическому фактору в первую очередь следует отнести количество питательных веществ в почве, а затем погодно-климатические условия и, безусловно, скорость ветра. Ведущим биотическим фактором выступает количество и качество энтомофауны в посевах гречихи, в том числе пораженность посевов вредителями, бактериальными и вирусными болезнями. К антропогенному фактору относится соблюдение агротехники культуры в тех или иных агроклиматических условиях.

Отметим, что в годы проведения опытов гречиха не поражалась ни бактериальными, ни вирусными заболеваниями специфическими для культуры. Известно, что флавоноиды участвуют в защите растений от воздействия неблагоприятных факторов внешней среды: повышенной интенсивности света, низких и высоких температур, тяжелых металлов, водного дефицита [14]. Соответственно, при наличии благоприятных условий среды содержание флавоноидов в гречихе может снижаться.

А.Г. Клыков приходит к выводу о том, что роль рутин вместе с другими флавоноидами участвует в приспособлении растений к неблагоприятным условиям произрастания [6]. Следовательно, содержание рутина в зеленой массе гречихи может служить биомаркером условий её выращивания. Наибольшее количество рутина накапливается в листьях и соцветиях, оно может быть выше более чем в 10 раз по сравнению со стеблем [15]. В литературе показано, что из вегетативной массы гречихи посевной можно получить рутина 22,45 кг/га, рентабельность может составить 35% [12].

Азот, фосфор и калий определялись после уборки растений гречихи исследуемых сортов, определение NPK в лузге гречихи производилось после обрушения зерна. Луга — это побочный продукт, который содержит значительное количество питательных веществ и может быть использован в качестве органического удобрения. Полученные данные о содержании NPK в луге анализируют и интерпретируют с учётом особенностей исследуемых сортов гречихи и условий их выращивания (табл. 1).

Таблица 1 - Содержание рутина в соломе гречихи

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.58.11.2>

| Вариант | Содержание рутина, мг/г | | | |
|-----------------|-------------------------|------|--------|------|
| | 2023 | | 2024 | |
| | Дикуль | Даша | Дикуль | Даша |
| Контроль | 67,5 | 67,5 | 58,0 | 66,8 |
| K ₆₀ | 59,3 | 64,6 | 50,5 | 61,8 |

| Вариант | Содержание рутина, мг/г | | | |
|-----------------------------------|-------------------------|------|--------|------|
| | 2023 | | 2024 | |
| | Дикуль | Даша | Дикуль | Даша |
| K ₆₀ +N ₃₀ | 65,8 | 69,4 | 63,8 | 67,9 |
| K ₆₀ +N ₆₀ | 66,8 | 55,8 | 66,2 | 58,0 |
| K ₆₀ +N ₉₀ | 44,3 | 61,4 | 56,8 | 66,8 |
| K ₆₀ +N _{30m} | 77,8 | 57,3 | 68,1 | 60,5 |
| K ₆₀ +N _{60m} | 61,5 | 66,5 | 63,8 | 65,6 |
| K ₆₀ +N _{90m} | 59,3 | 72,8 | 67,2 | 70,7 |
| HCP ₀₅ ^{AB} | 1,4 | 1,3 | 1,3 | 1,4 |
| HCP ₀₅ ^A | 3,0 | 3,0 | 2,8 | 3,3 |
| HCP ₀₅ ^B | 1,9 | 1,9 | 1,8 | 2,1 |

В ходе проведения исследований получены данные, которые показывают влияние азотных удобрений на содержание рутина в изучаемых сортах, в т.ч. удобрений, обработанных культурой В.с. Ч-13. В 2023 г. по сорту Дикуль установлено, что при повышении концентрации азотных удобрений до 60 кг/га наблюдается увеличение содержания рутина в соломе, при дозе 90 кг/га содержание рутина резко падает (-36,7%).

Возможно, при высоких дозах мочевины в почве гречиха теряет способность эффективно противостоять факторам, которые негативно влияют на её жизнедеятельность, что приводит к снижению урожайности культуры, вследствие увеличения вегетативной массы. Более того, отмечено положительное влияние карбамида, обработанного В.с. Ч-13, на содержание рутина в гречихе в дозе 30 кг/га, увеличение относительно контроля составляет 15%. При применении биомодифицированных удобрений наблюдается та же тенденция сокращения концентрации рутина в соломе гречихи сорта Дикуль.

Применение калийных удобрений (K₆₀) в сочетании с различными дозами азотных удобрений (N₃₀, N₆₀, N₉₀) показывает, что эффект от удобрений может варьироваться в зависимости от сорта и агроклиматических условий периода возделывания. Например, у сорта Дикуль добавление N₃₀ к K₆₀ в 2024 году привело к увеличению содержания рутина до 63,8 мг/г, тогда как у сорта Даша при тех же условиях содержание рутина составило 67,9 мг/г. Это указывает на то, что сорта гречихи по-разному накапливают рутин в агроклиматических условиях Московской области.

Варианты с применением В.с.-13 показывают, что модификация доз удобрений (мочевины) может влиять на содержание рутина в соломе гречихи. Например, для сорта Дикуль в варианте K₆₀+N_{30m} в 2024 году содержание рутина составило 68,1 мг/г, что выше, чем в варианте без В.с. Ч-13 (K₆₀+N₃₀ — 63,8 мг/г). Это может указывать на то, что модифицированные удобрения способствуют более высокому накоплению рутина. Для оптимизации содержания рутина важно учитывать как дозы и типы удобрений, так и генетические особенности сортов.

В 2023 г. прослеживается сортоспецифичность накопления рутина в соломе гречихи сорта Даша. При применении биомодифицированных удобрений концентрация кверцетин-3-О-рутинозида в соломе у растений сорта Даша возрастает, в отличие от растений сорта Дикуль. Максимальная концентрация рутина у растений сорта Даша отмечена на варианте опыта с удобрением, обработанным культурой В.с. Ч-13, увеличение относительно контроля составляет 6%. В целом, в годы исследований растения гречихи сорта Даша накапливали рутин больше, чем растения гречихи сорта Дикуль. В агроклиматических условиях 2024 г. обнаружена схожая тенденция по растениям сортов Дикуль и Даша. Влияние азотных удобрений на гречиху специфично, поэтому выяснение механизмов влияния азотного удобрения на растения требует дальнейшей проработки вопроса оптимизации азотного питания культуры.

Применение В.с. Ч-13 может способствовать более эффективному усвоению азота растениями, особенно при высоких дозах азотных удобрений. В вариантах с применением В.с. Ч-13 (K₆₀+N_{30m}, K₆₀+N_{60m}, K₆₀+N_{90m}) наблюдается увеличение содержания азота по сравнению с вариантами без применения В.с. Ч-13. Это может указывать на то, что В.с. Ч-13 способствует более эффективному усвоению азота растениями гречихи (табл. 2).

Таблица 2 - Содержание NPK в соломе и лузге гречихи сорта Дикуль

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.58.11.3>

| Вариант | Продукция | Содержание NPK, % | | | | | |
|----------------------------------|-----------|-------------------|-------------------------------|------------------|------|-------------------------------|------------------|
| | | 2023 | | | 2024 | | |
| | | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O |
| Дикуль | | | | | | | |
| Контроль | Лузга | 0,54 | 0,038 | 0,08 | 0,55 | 0,038 | 0,08 |
| | Солома | 0,83 | 0,41 | 0,93 | 0,81 | 0,41 | 0,91 |
| K ₆₀ | Лузга | 0,55 | 0,038 | 0,09 | 0,55 | 0,039 | 0,09 |
| | Солома | 0,84 | 0,43 | 1,89 | 0,89 | 0,44 | 1,85 |
| K ₆₀ +N ₃₀ | Лузга | 0,61 | 0,036 | 0,09 | 0,61 | 0,037 | 0,09 |

| Вариант | Продукция | Содержание NPK, % | | | | | |
|-----------------------------------|-----------|-------------------|-------------------------------|------------------|------|-------------------------------|------------------|
| | | 2023 | | | 2024 | | |
| | | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O |
| | Солома | 0,82 | 0,45 | 1,65 | 0,84 | 0,45 | 1,74 |
| K ₆₀ +N ₆₀ | Лузга | 0,63 | 0,036 | 0,08 | 0,63 | 0,039 | 0,09 |
| | Солома | 0,82 | 0,46 | 1,98 | 0,83 | 0,44 | 1,96 |
| K ₆₀ +N ₉₀ | Лузга | 0,64 | 0,037 | 0,1 | 0,63 | 0,038 | 0,1 |
| | Солома | 0,83 | 0,54 | 1,88 | 0,83 | 0,52 | 1,91 |
| K ₆₀ +N _{30m} | Лузга | 0,63 | 0,038 | 0,09 | 0,63 | 0,038 | 0,09 |
| | Солома | 0,84 | 0,44 | 1,64 | 0,85 | 0,43 | 1,67 |
| K ₆₀ +N _{60m} | Лузга | 0,64 | 0,04 | 0,09 | 0,64 | 0,039 | 0,09 |
| | Солома | 0,85 | 0,44 | 1,77 | 0,85 | 0,44 | 1,90 |
| K ₆₀ +N _{90m} | Лузга | 0,64 | 0,04 | 0,1 | 0,65 | 0,040 | 0,1 |
| | Солома | 0,89 | 0,43 | 1,80 | 0,91 | 0,47 | 1,88 |
| HCP05 | Лузга | 0,02 | 0,004 | 0,01 | 0,02 | 0,004 | 0,01 |
| | Солома | 0,05 | 0,04 | 0,1 | 0,04 | 0,04 | 0,1 |
| HCP05 ^A | Лузга | 0,04 | 0,01 | 0,02 | 0,05 | 0,01 | 0,02 |
| | Солома | 0,1 | 0,07 | 0,2 | 0,1 | 0,08 | 0,2 |
| HCP05 ^B | Лузга | 0,03 | 0,006 | 0,01 | 0,03 | 0,006 | 0,05 |
| | Солома | 0,06 | 0,05 | 0,1 | 0,06 | 0,05 | 0,1 |

Зависимость может проявляться вследствие того, что рутин может влиять на процессы транспорта веществ в растениях гречихи, включая азота. Например, рутин может изменять проницаемость клеточных мембран или участвовать в метаболических путях, связанных с азотом. Погодные условия, тип почвы, уровень освещённости и другие внешние факторы могут влиять на содержание рутина и азота в соломе гречихи. Например, стресс от засухи или высоких температур может изменить метаболизм рутина и его влияние на содержание азота (табл. 3).

Таблица 3 - Содержание NPK в соломе и лузге гречихи сорта Даша

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.58.11.4>

| Вариант | Продукция | Содержание NPK, % | | | | | |
|-----------------------------------|-----------|-------------------|-------------------------------|------------------|------|-------------------------------|------------------|
| | | 2023 | | | 2024 | | |
| | | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O |
| <i>Даша</i> | | | | | | | |
| Контроль | Лузга | 0,55 | 0,037 | 0,08 | 0,55 | 0,038 | 0,08 |
| | Солома | 0,83 | 0,42 | 0,94 | 0,82 | 0,43 | 0,94 |
| K ₆₀ | Лузга | 0,55 | 0,037 | 0,09 | 0,55 | 0,038 | 0,09 |
| | Солома | 0,85 | 0,45 | 1,86 | 0,82 | 0,45 | 1,83 |
| K ₆₀ +N ₃₀ | Лузга | 0,62 | 0,036 | 0,09 | 0,62 | 0,038 | 0,09 |
| | Солома | 0,85 | 0,45 | 1,69 | 0,83 | 0,45 | 1,70 |
| K ₆₀ +N ₆₀ | Лузга | 0,64 | 0,039 | 0,08 | 0,64 | 0,04 | 0,08 |
| | Солома | 0,85 | 0,46 | 1,89 | 0,85 | 0,46 | 1,87 |
| K ₆₀ +N ₉₀ | Лузга | 0,64 | 0,037 | 0,1 | 0,65 | 0,039 | 0,1 |
| | Солома | 0,87 | 0,5 | 1,83 | 0,87 | 0,49 | 1,83 |
| K ₆₀ +N _{30m} | Лузга | 0,64 | 0,039 | 0,09 | 0,65 | 0,04 | 0,09 |
| | Солома | 0,88 | 0,44 | 1,73 | 0,89 | 0,44 | 1,74 |
| K ₆₀ +N _{60m} | Лузга | 0,65 | 0,04 | 0,09 | 0,65 | 0,041 | 0,09 |
| | Солома | 0,87 | 0,44 | 1,79 | 0,88 | 0,45 | 1,80 |
| K ₆₀ +N _{90m} | Лузга | 0,60 | 0,039 | 0,1 | 0,67 | 0,041 | 0,1 |
| | Солома | 0,89 | 0,45 | 1,81 | 0,9 | 0,45 | 1,82 |
| HCP05 | Лузга | 0,02 | 0,004 | 0,01 | 0,03 | 0,005 | 0,01 |
| | Солома | 0,03 | 0,02 | 0,1 | 0,04 | 0,02 | 0,1 |
| HCP05 ^A | Лузга | 0,06 | 0,1 | 0,02 | 0,06 | 0,01 | 0,02 |

| Вариант | Продукция | Содержание NPK, % | | | | | |
|--------------------|-----------|-------------------|-------------------------------|------------------|------|-------------------------------|------------------|
| | | 2023 | | | 2024 | | |
| | | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O |
| HCP05 ⁵ | Солома | 0,08 | 0,009 | 0,2 | 0,1 | 0,06 | 0,2 |
| | Лузга | 0,04 | 0,1 | 0,01 | 0,04 | 0,007 | 0,01 |
| | Солома | 0,05 | 0,006 | 0,1 | 0,07 | 0,04 | 0,1 |

Проведенный корреляционно-регрессионный анализ свидетельствует о слабом влиянии кубической степени содержания рутина на содержание азота в соломе гречихи сорта Дикуль. Это означает, что при значительном увеличении содержания рутина, влияние этого компонента начнет проявляться сильнее, потенциально вызывая увеличение содержания азота. Отрицательное значение при X указывает на то, что при увеличении содержания рутина, влияние квадратичного члена будет снижать содержание азота. Таким образом, доминирующим будет линейное влияние, что приведет к увеличению содержания азота. Например, если содержание рутина в соломе увеличивается с 0 до 10 мг/г, можно ожидать увеличение содержания азота примерно на 5,5 мг/г. Уравнение можно использовать для прогнозирования содержания азота в соломе гречихи на основе содержания рутина (рис. 2).

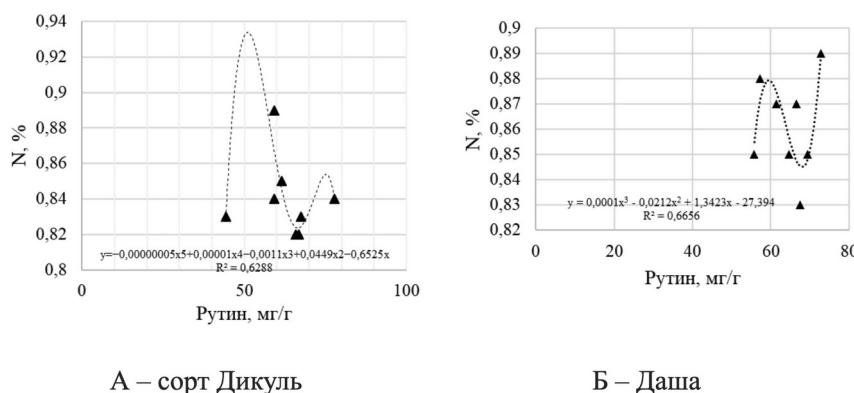


Рисунок 2 - Зависимость между содержанием азота (Y) и содержанием рутина (X) в траве гречихи
DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.58.11.5>

Примечание: среднее 2023 – 2024 гг.

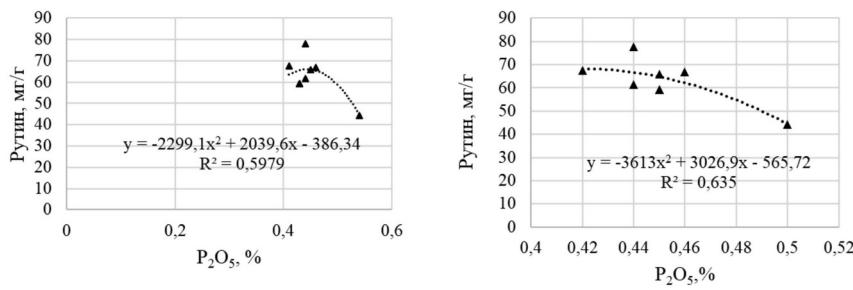
Коэффициент детерминации (R^2) показывает, что модели объясняют около 63% (для сорта гречихи Дикуль) и 65,5% (для сорта Даша) вариации содержания азота, что указывает на умеренную точность моделей. Однако остается значительная часть вариации, которая не объясняется моделью, что связано с другими факторами, главным из которых является доза внесенных азотных удобрений. Интересен конечный выход рутина с единицы посевной площади. В уравнении для сорта Дикуль присутствуют члены пятой и четвёртой степени, что указывает на значимость влияния высоких концентраций рутина на содержание азота. Для сорта Даша влияние высоких концентраций также заметно, но оно описывается кубическим уравнением, что свидетельствует о менее сложном характере зависимости. Сорта гречихи, вероятно, имеют различные генетические особенности накопления рутина в зависимости от дозы внесенных удобрений. Генетическая предрасположенность к накоплению определенных веществ может влиять на сложность и характер математической модели, описывающей эти зависимости.

Фосфор является важным компонентом нуклеотидов, которые служат строительными блоками ДНК и РНК. Он также входит в состав АТФ (аденозинтрифосфата) — основного источника энергии в клетках. Фосфор участвует в различных метаболических путях, включая гликолиз, цикл Кребса и окислительное фосфорилирование, которые обеспечивают клетку энергией. Рутин — это флавоноид, который обладает антиоксидантными свойствами и может защищать клетки от окислительного стресса. Метаболические процессы, включая синтез и накопление рутина, зависят от доступности различных элементов, включая фосфор. Понимание метаболизма фосфора может помочь выявить механизмы, влияющие на накопление рутина в растениях гречихи.

Количество рутина в соломе гречихи сорта Дикуль меняется нелинейно в зависимости от уровня фосфора. Это свидетельствует о сложном характере взаимосвязи между содержанием рутина и фосфора в соломе, а также о возможном существовании оптимального количества фосфора, при котором достигается максимальное содержание рутина. Параболическая зависимость с отрицательным коэффициентом при квадратичном члене указывает на существование максимального уровня содержания рутина, который достигается при определенном содержании фосфора. После этого уровня дальнейшее увеличение фосфора приводит к снижению содержания рутина. При малых концентрациях фосфора в соломе гречихи наблюдается положительное влияние на содержание рутина. Это может

быть связано с тем, что фосфор играет важную роль в метаболических процессах растений, включая синтез флавоноидов, к которым относится рутин.

Высокие концентрации фосфора могут оказывать негативное влияние на содержание рутина, что может быть связано с нарушением баланса питательных веществ или изменением физиологических процессов в растении. Закономерности подчёркивают сложность взаимосвязи между содержанием фосфора, и рутина в соломе и указывают на необходимость дальнейшего изучения факторов, влияющих на эту зависимость, для оптимизации агротехнических приёмов и повышения содержания полезных веществ в растения (рис. 3). Различия в коэффициентах уравнений могут указывать на генетические и физиологические особенности сортов, влияющих на их реакцию на изменение содержания фосфора.



А - Дикуль

Б - Даша

Рисунок 3 - Зависимость между содержанием фосфора (X) и содержанием рутина (Y) в траве гречихи
DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.58.11.6>

Примечание: среднее 2023 – 2024 гг.

Коэффициент при x^2 (-3613) по сорту Даша значительно больше по модулю, чем у сорта Дикуль (-2299,1), что может указывать на то, что превышение оптимального уровня фосфора оказывает более сильное негативное влияние на содержание рутина в соломе гречихи сорта Даша. По гречихе сорта Даша коэффициент при X (3026,9) больше, чем у сорта Дикуль (2039,6), что говорит о более сильном положительном влиянии фосфора на содержание рутина при малых концентрациях фосфора. По гречихе сорта Дикуль наблюдается меньшая чувствительность к синтезу рутина в связи с повышением уровня фосфора в соломе, а также меньший начальный уровень влияния фосфора на накопление рутина. Для обоих сортов существует оптимальный уровень содержания фосфора, при котором достигается максимальное содержание рутина. Однако этот уровень и реакция на его превышение различаются из-за генетических и физиологических особенностей сортов. В работах А.Г. Клыкова (2017 г.), Ф.Ф. Магафурова, и др. (2022 г.) отмечено, что антоциановая окраска стеблей, цветков, корневой системы выступает внутривидовой изменчивостью гречихи, и указывает на накопление рутина в растениях [7], [10]. Окрас растений может служить визуальной диагностикой приспособительных реакций растений к изменяющимся условиям окружающей среды.

Наблюдается слабая связь между содержанием калия и рутина по сорту растений гречихи Дикуль и Даша. Низкий коэффициент детерминации говорит о том, что существует множество других факторов, которые оказывают значительное влияние на содержание рутина в соломе гречихи. Хотя калий не может быть основным фактором, влияющим на содержание рутина, он всё же играет важную роль в физиологических процессах. Содержание рутина может зависеть не только от калия, но и от других элементов, таких как фосфор, азот, магний и т. д. Их взаимодействие и баланс могут оказывать более значительное влияние на накопление рутина, чем уровень калия в отдельности (рис. 4).

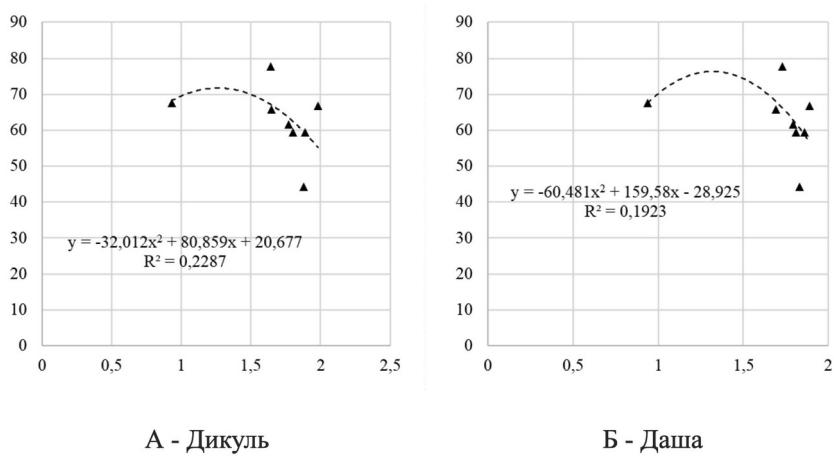


Рисунок 4 - Зависимость между содержанием калия (X) и содержанием рутина (Y) в траве гречихи
DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.58.11.7>

Примечание: среднее 2023 – 2024 гг.

Полученные коэффициенты корреляции ($R^2=0,13 - 0,16$) между содержанием рутина и каждого из элементов NPK в лузге имеет низкое значение. Изменения содержания рутина в лузге гречихи слабо связано с изменениями содержания NPK. Слабая зависимость означает, что содержание рутина в лузге гречихи мало зависит от количества азота, фосфора и калия в плодовых оболочках. На накопление рутина в лузге влияют другие факторы, такие как генетические особенности сорта, условия выращивания (свет, температура, влажность), наличие других микроэлементов, урожайностью зерна.

Главным показателем количества и качества применяемых удобрений является урожайность культуры. Урожайность гречихи в условиях Московской области не стабильна и зависит от множества факторов; основные факторы — свет, тепло и минеральное питание. Ввиду того, что агроклиматические условия вегетационных периодов 2023 г. и 2024 г. различны, различается и урожайность культуры, но некоторые общие тенденции возможно проследить.

Максимальная урожайность гречихи сорта Дикуль в 2023 г. составляет 15,9 ц/га на варианте опыта $K_{60}+N_{60m}$. Отметим, что при повышении дозы $(NH_2)_2CO$ уменьшается урожайность культуры, эффект от B.s. Ч-13 не значителен. По сорту Даша наблюдается схожая тенденция, что и по сорту Дикуль, максимальная урожайность зафиксирована на варианте опыта $K_{60}+N_{30m}$. В 2024 г. урожайность культуры в целом ниже, чем в 2023 г. В 2024 г. по сорту Дикуль и Даша наблюдается максимальная урожайность на варианте опыта $K_{60}+N_{60m}$. Увеличение относительно контроля 47,3% по сорту Дикуль, 59,3% по сорту Даша. Урожайность гречихи сорта Дикуль была лучше, чем урожайность гречихи сорта Даша в годы проведения исследований (рис. 5).

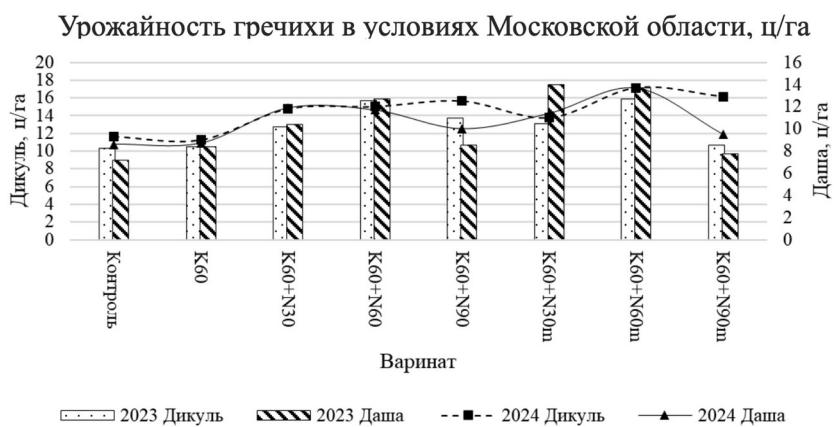


Рисунок 5 - Урожайность гречихи в условиях Московской области
DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.58.11.8>

Основным отходом от производства крупы гречихи является лузга. По мнению В.Н. Клинцекевич, Е.А. Флюрик (2020), наиболее перспективным использование лузги гречихи является вовлечение этого вторичного сырья в биотехнологический оборот в качестве дополнительного сырьевого ресурса фармацевтической промышленности с

целью получения рутина и других флавоноидов [5]. С точки зрения агрохимического исследования интересно влияние азотных удобрений и культуры В.с. Ч-13 на накопление рутина плодовыми оболочками гречихи (табл. 4).

Таблица 4 - Содержание рутина в плодовых оболочках гречихи

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.58.11.9>

| Вариант | Содержание рутина, мг/г | | | |
|----------------------------------|-------------------------|------|--------|------|
| | 2023 | | 2024 | |
| | Дикуль | Даша | Дикуль | Даша |
| Контроль | 6,8 | 8,4 | 7,7 | 7,1 |
| K ₆₀ | 7,5 | 13,7 | 5,9 | 12,4 |
| K ₆₀ +N ₃₀ | 11,5 | 13,7 | 13,4 | 12,6 |

| Вариант | Содержание рутина, мг/г | | | |
|-----------------------------------|-------------------------|------|--------|------|
| | 2023 | | 2024 | |
| | Дикуль | Даша | Дикуль | Даша |
| K ₆₀ +N ₆₀ | 6,8 | 16,2 | 11,1 | 14,3 |
| K ₆₀ +N ₉₀ | 7,0 | 5,9 | 8,2 | 9,7 |
| K ₆₀ +N _{30m} | 13,8 | 6,0 | 8,4 | 7,6 |
| K ₆₀ +N _{60m} | 16,4 | 6,1 | 15,8 | 9,5 |
| K ₆₀ +N _{90m} | 6,1 | 14,4 | 7,8 | 13,4 |
| HCP ₀₅ ^{AB} | 1,5 | 0,4 | 0,6 | 0,4 |
| HCP ₀₅ ^A | 3,4 | 0,9 | 1,5 | 0,9 |
| HCP ₀₅ ^B | 2,1 | 0,5 | 0,9 | 0,6 |

В целом в плодовых оболочках гречихи сорта Даша содержится больше рутина, чем в плодовых оболочка гречихи сорта Дикуль. Максимальное накопление рутина плодовыми оболочками по сорту Дикуль зафиксировано в 2023 г. на варианте опыта с применением биомодифицированного карбамида (K₆₀+N_{60m}). Растения гречихи сорта Даша максимально накапливают рутин на варианте опыта K₆₀+N_{90m}. В 2024 г. плодовые оболочки сорта Дикуль накапливали рутин по аналогичной тенденции с 2023 г., а по сорту Даша максимальное накопление наблюдалось на варианте опыта без применения B.s. Ч-13. Накопление рутина плодовыми оболочками гречихи может находиться во взаимосвязи с урожайностью зерна (рис. 6).

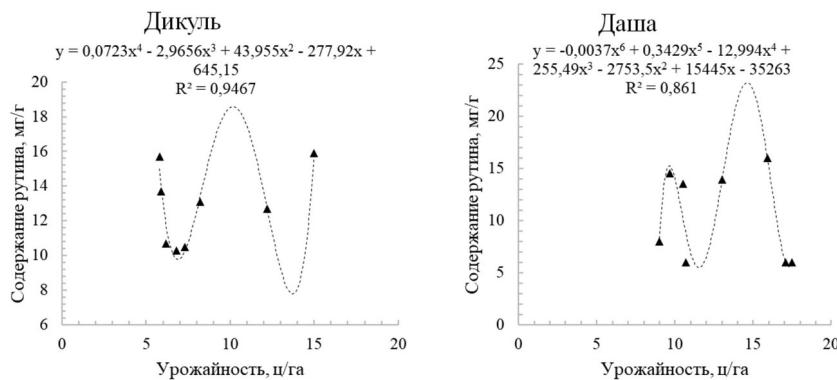


Рисунок 6 - Зависимость между урожайностью зерна (X) и содержанием рутина в плодовых оболочках гречихи
DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.58.11.10>

Зависимость между урожайностью зерна (X) и содержание рутина в плодовых оболочках гречихи сорта Дикуль в 2023 г. описывается полиноминальной регрессией — $y = 0,0723x^4 - 2,9656x^3 + 43,955x^2 - 277,92x + 645,15$, $R^2 = 0,9467$, по сорту Даша $y = -0,0037x^6 + 0,3429x^5 - 12,994x^4 + 255,49x^3 - 2753,5x^2 + 15445x - 35263$, $R^2 = 0,861$. Полиноминальная зависимость четвертой степени предполагает, что график функции будет иметь несколько экстремумов, что указывает на сложную зависимость между урожайностью зерна и содержанием рутина в плодовых оболочках. Это означает, что увеличение урожайности зерна не всегда будет приводить к пропорциональному увеличению содержания рутина в плодовых оболочках. Урожайность зерна и содержание рутина в плодовых оболочках регулируется множеством факторов, которые могут воздействовать независимо друг от друга, что объясняет отсутствие прямой пропорциональной зависимости между двумя параметрами.

Полиномиальное уравнение шестой степени, описывающее зависимость между урожайностью зерна и содержание рутина в плодовых оболочках гречихи по сорту Даша, показывает, что увеличение урожайности не всегда приводит к пропорциональному увеличению содержания рутина. Вероятно, здесь большое значение приобретает генетический фактор накопления рутина в различных частях растения, поэтому разработка сортов гречихи с высоким содержанием рутина является перспективным направлением для исследований.

Урожайность соломы в зависимости от дозы азотных удобрений возрастает, соответственно, при учете густоты стояния растений получаем конечный выход рутина в единицы посевной площади (табл. 5). Варианты с биомодифицированными удобрениями (K₆₀+N_{30m}, K₆₀+N_{60m}, K₆₀+N_{90m}) показывают различные результаты по выходу рутина. В некоторых случаях (K₆₀+N_{30m}) выход рутина выше, чем в вариантах с обычными удобрениями, что может указывать на положительный эффект от биомодификации. Однако в других случаях (K₆₀+N_{90m}) эффект не так выражен.

Таким образом, оптимальная доза азота 30 кг/га, биомодифицированные удобрения эффективнее при высоких дозах мочевины. Калийное удобрение в дозе 60 кг/га положительно влияет на выход рутина. Существует обратная зависимость между дозой азота и содержанием рутина. Обратная зависимость между дозой (NH₂)₂CO и содержанием рутина означает, что с увеличением дозы азота содержание рутина в биомассе растений снижается. В варианте K₆₀+N₃₀ (доза азота — N₃₀) содержание рутина составляет 67,9 мг/г. В варианте K₆₀+N₆₀ (доза азота увеличена до N₆₀)

содержание рутина снижается до 58,0 мг/г. В варианте $K_{60}+N_{90}$ (ещё большая доза азота — N_{90}) содержание рутина снова составляет 66,8 мг/г, что ниже, чем в варианте с меньшей дозой азота ($K_{60}+N_{30}$). Эти данные подтверждают, что увеличение дозы азота может приводить к снижению содержания рутина в сухой биомассе растений гречихи.

Таблица 5 - Урожайность сухой биомассы и сбор рутина с гречихи в фазу цветения

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.58.11.11>

| Вариант | 2023 | | | | 2024 | | | |
|------------------|----------------------|-------------|----------------------|--------------|----------------------|--------------|----------------------|--------------|
| | Дикуль | | Даша | | Дикуль | | Даша | |
| | Сухая биомасса, т/га | Рутин, ч/га | Сухая биомасса, т/га | Рутин, кг/га | Сухая биомасса, т/га | Рутин, кг/га | Сухая биомасса, т/га | Рутин, кг/га |
| Контроль | 4,9 | 3,3 | 5,8 | 3,9 | 5,0 | 3,9 | 5,8 | 3,8 |
| K_{60} | 6,7 | 3,9 | 8,3 | 5,4 | 6,7 | 5,4 | 8,5 | 5,3 |
| $K_{60}+N_{30}$ | 8,3 | 5,5 | 8,4 | 5,8 | 8,4 | 5,9 | 8,6 | 5,8 |
| $K_{60}+N_{60}$ | 9,5 | 6,4 | 7,7 | 4,3 | 9,8 | 4,3 | 8,0 | 4,7 |
| $K_{60}+N_{90}$ | 9,2 | 4,0 | 6,7 | 4,1 | 9,0 | 4,2 | 7,2 | 4,8 |
| $K_{60}+N_{30m}$ | 8,1 | 6,3 | 6,8 | 3,9 | 8,8 | 3,9 | 6,9 | 4,2 |
| $K_{60}+N_{60m}$ | 9,5 | 5,8 | 7,8 | 5,2 | 9,9 | 5,2 | 7,9 | 5,2 |
| $K_{60}+N_{90m}$ | 8,7 | 5,2 | 7,9 | 5,8 | 9,0 | 5,8 | 7,9 | 5,6 |
| HCP_{05}^{AB} | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,8 | 0,1 | 0,6 | 0,1 |
| HCP_{05}^A | 0,5 | 0,3 | 0,4 | 0,2 | 1,6 | 0,4 | 1,2 | 0,4 |
| HCP_{05}^B | 0,3 | 0,2 | 0,3 | 0,1 | 1,2 | 0,2 | 0,8 | 0,1 |

Варианты с более высокими дозами азота (N_{60} и N_{90}) показывают меньшую эффективность по сравнению с N_{30} . Это может свидетельствовать о том, что превышение оптимальной дозы азота не только не приносит дополнительного увеличения выхода рутина, но и может снижать его содержание в биомассе, что подтверждается обратной зависимостью между дозой азота и содержанием рутина. Данные таблицы подтверждают положительное влияние удобрений на урожайность и содержание рутина в гречихе, но также указывают на сложность и неоднозначность этих зависимостей, зависящих от дозы удобрений, их типа и сорта растения.

Заключение

Таким образом, в ходе проведенного исследования можем говорить о влиянии биомодифицированного азотного удобрения на накопление рутина в соломе и лузге гречихи.

Увеличение конечного выхода рутозида из растительного сырья гречихи сорта Дикуль и Даши связано с увеличением развитием вегетативных органов растений гречихи при применении азотных удобрений и культуры В.с. Ч-13, что определяется генетическими факторами, регулирующие формирование вегетативного аппарата. В растениях гречихи фосфор необходим для синтеза флавоноидов, поэтому и обнаруживается более тесная корреляционная связь между содержанием P_2O_5 и рутина в соломе гречихи.

Определение уровня рутина в растениях помогает оценить состояние посевов и обнаружить возможные проблемы в их росте и развитии. Максимальный выход рутина у гречихи сорта Дикуль в 2023 и 2024 гг. наблюдается на варианте опыта с применением карбамида, обработанного В.с. Ч-13, в дозе 90 кг/га, аналогично и по гречихе сорта Даши. В условиях Центрального Нечерноземного региона России накопление рутина в соломе гречихи сорта Дикуль составляет 44,3 ... 77,8 мг/г, у сорта Даши 55,8 ... 72,8 мг/г. Исследование содержания рутина в плодовых оболочках гречихи позволяет рассматривать лузгу как перспективное сырье для фармацевтического производства препаратов на основе рутозида.

В 2023 году при использовании варианта $K_{60}+N_{30m}$ содержание рутина составило 6,3 кг/га для сорта Дикуль, что выше, чем при использовании $K_{60}+N_{30}$ (5,5 кг/га). Однако для сорта Даши содержание рутина было ниже — 3,9 кг/га по сравнению с 5,8 кг/га при использовании $K_{60}+N_{30}$. В 2024 году для сорта Дикуль при применении $K_{60}+N_{30m}$ содержание рутина составило 3,9 кг/га, что ниже, чем 5,9 кг/га при использовании $K_{60}+N_{30}$. Для сорта Даши содержание рутина при использовании $K_{60}+N_{30m}$ также было ниже (4,2 кг/га) по сравнению с $K_{60}+N_{30}$ (5,8 кг/га). Процентные колебания содержания рутина при применении В.с. Ч-13 варьируются в широком диапазоне: от снижения на 33,9% до увеличения на 41,5% ($K_{60}+N_{90m}$). Это подчёркивает сложность и многообразие факторов, влияющих на эффективность применения биомодифицированного $(NH_2)_2CO$. Например, для растений гречихи сорта Дикуль в 2024 году на варианте опыта $K_{60}+N_{30m}$ привела к снижению содержания рутина на 33,9%, в то время как для растений гречихи сорта Даши в том же году модификация $K_{60}+N_{90m}$ увеличила содержание рутина на 16,7%.

Влияние различных доз карбамида на содержание рутина неоднозначно: увеличение дозы $(NH_2)_2CO$ не всегда приводит к пропорциональному увеличению содержания рутина. В некоторых случаях высокие дозы азота приводят к снижению содержания рутина.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Анохина Т.А. Перспективы повышения производства гречихи путем оптимизации минерального питания с учетом морфотипа растений / Т.А. Анохина, А.Р. Цыганов, И.В. Полховская [и др.] // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. — 2020. — № 3. — С. 135–138.
2. Бирюкова О.В. Потенциал ремонтантности и плодообразования сортов гречихи различного морфотипа / О.В. Бирюкова, А.Н. Фесенко, О.А. Шипулин [и др.] // Вестник аграрной науки. — 2012. — Т. 36. — № 3. — С. 65–68.
3. Бучилина А.С. Пищевая ценность гречневой крупы из Алтайского края России / А.С. Бучилина, П.И. Гунькова, А.Л. Ишевский [и др.] // Вестник Международной академии холода. — 2021. — № 2. — С. 64–72.
4. Дзахмишева И.Ш. Функциональные свойства гречневой крупы / И.Ш. Дзахмишева, М.Б. Хоконова // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. — 2021. — Т. 83. — № 3 (89). — С. 86–91.
5. Клинцевич В.Н. Способы использования лузги гречихи посевной / В.Н. Клинцевич, Е.А. Флюрик // Труды БГТУ. Серия 2: Химические технологии, биотехнология, геоэкология. — 2020. — № 1 (229). — С. 68–81.
6. Клыков А.Г. Изучение исходного материала гречихи с целью создания сортов с высоким содержанием рутина : дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.05 / А.Г. Клыков. — Тихookeанский институт биоорганической химии, 2000. — 159 с.
7. Клыков А.Г. Селекция гречихи на повышенное содержание рутина / А.Г. Клыков, Н.С. Парская, Е.Н. Барсукова // Аграрный вестник Приморья. — 2017. — № 4 (8). — С. 24.
8. Коротков А.В. Влияние регуляторов роста Люрастима и Моддуса на содержание рутина в семенах гречихи / А.В. Коротков, Л.Д. Прусакова, С.Л. Белопухов [и др.] // Агрохимия. — 2010. — № 12. — С. 18–23.
9. Кузнецова Е.А. Производство порошка из гречневой лузги — путь к созданию безотходных высокоэффективных технологий / Е.А. Кузнецова, Е.В. Климова, Л.В. Шаяпова [и др.] // Зернобобовые и крупяные культуры. — 2021. — № 1 (37). — С. 69–75.
10. Магафурова Ф.Ф. Предварительные результаты селекции на повышение урожайности у гибридных комбинаций гречихи с высоким содержанием рутина / Ф.Ф. Магафурова, В.В. Хуснутдинов // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. — 2022. — № 9 (186). — С. 27–32.
11. Мазалов В.И. Сравнительное изучение урожайности сортов гречихи различного морфотипа / В.И. Мазалов, А.Н. Фесенко // Земледелие. — 2015. — № 3. — С. 45–47.
12. Павловская Н.Е. Экономические расчеты получения рутина из гречихи / Н.Е. Павловская, И.А. Гнеушева, И.В. Горькова [и др.] // Биотехнология: состояние и перспективы развития. — 2015. — С. 325–326.
13. Парахин Н.В. Гречиха: биологические возможности и пути их реализации / Н.В. Парахин // Вестник аграрной науки. — 2010. — Т. 25. — № 4. — С. 4–8.
14. Рахманкулова З.Ф. Содержание пролина и флавоноидов в побегах галофитов, произрастающих на территории Южного Урала / З.Ф. Рахманкулова, Е.В. Шуйская, А.В. Щербаков [и др.] // Физиология растений. — 2015. — Т. 62. — № 1. — С. 79–79.
15. Танашкина Т.В. Гречишные травяные чайные напитки: сырье, способы получения и оценка биологической активности / Т.В. Танашкина, А.Ф. Пьянкова, А.А. Семенюта [и др.] // Техника и технология пищевых производств. — 2021. — Т. 51. — № 3. — С. 564–573.
16. Фесенко А.Н. Сравнительный анализ потенциала ремонтантности и семяобразования сортов гречихи различного морфотипа / А.Н. Фесенко, О.В. Бирюкова, О.А. Шипулин [и др.] // Земледелие. — 2015. — № 1. — С. 46–48.
17. Borovaya S.A. Some aspects of flavonoid biosynthesis and accumulation in buckwheat plants / S.A. Borovaya, A.G. Klykov // Plant Biotechnology Reports. — 2020. — Vol. 14. — № 2. — P. 213–225. — DOI: 10.1007/s11816-020-00614-9.
18. Bueno C.B. Effects of chemical fertilization and microbial inoculum on *Bacillus subtilis* colonization in soybean and maize plants / C.B. Bueno, R.M. dos Santos, F. de Souza Buzo [et al.] // Frontiers in Microbiology. — 2022. — Vol. 13. — 901157 p. — DOI: 10.3389/fmicb.2022.901157.
19. Deng B. Effects of nitrogen availability on mineral nutrient balance and flavonoid accumulation in *Cyclocarya paliurus* / B. Deng, C.B. Bueno, R.M. Dos Santos [et al.] // Plant Physiology and Biochemistry. — 2019. — Vol. 135. — P. 111–118. — DOI: 10.1016/j.plaphy.2018.12.001.
20. Fang X. Effects of nitrogen fertilizer and planting density on the leaf photosynthetic characteristics, agronomic traits and grain yield in common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* M.) / X. Fang, Y. Li, J. Nie [et al.] // Field Crops Research. — 2018. — Vol. 219. — P. 160–168. — DOI: 10.1016/j.fcr.2018.02.001.
21. Farooq S. Cultivation, agronomic practices, and growth performance of buckwheat / S. Farooq, R.U. Rehman, T.B. Pirzadah [et al.] // Molecular breeding and nutritional aspects of buckwheat. — Academic Press, 2016. — P. 299–319. — DOI: 10.1016/B978-0-12-803692-1.00023-7.

22. Gabr A.M.M. Effect of light quality and media components on shoot growth, rutin, and quercetin production from common buckwheat / A.M.M. Gabr, N.M. Fayek, H.M. Mahmoud [et al.] // ACS omega. — 2022. — Vol. 7. — № 30. — P. 26566–26572. — DOI: 10.1021/acsomega.2c02728.
23. Hao D. Unveiling nitrogen fertilizer in medicinal plant cultivation / D. Hao, Y. Luan, Y. Wang, P. Xiao // Agronomy. — 2024. — Vol. 14. — № 8. — 1647 p. — DOI: 10.3390/agronomy14081647.
24. Ibrahim M.H. Involvement of nitrogen on flavonoids, glutathione, anthocyanin, ascorbic acid and antioxidant activities of Malaysian medicinal plant *Labisia pumila* Blume (Kacip Fatimah) / M.H. Ibrahim, H.Z.E. Jaafar, A. Rahmat, Z.A. Rahman // International Journal of Molecular Sciences. — 2011. — Vol. 13. — № 1. — P. 393–408. — DOI: 10.3390/ijms13010393.
25. Kreft I. Impact of rutin and other phenolic substances on the digestibility of buckwheat grain metabolites / I. Kreft, M. Germ, A. Golob [et al.] // International journal of molecular sciences. — 2022. — Vol. 23. — № 7. — 3923 p. — DOI: 10.3390/ijms23073923.
26. Kreft S. Rutin in buckwheat herbs grown at different UV-B radiation levels: comparison of two UV spectrophotometric and an HPLC method / S. Kreft, B. Strukelj, A. Gaberscik, I. Kreft // Journal of Experimental Botany. — 2002. — Vol. 53. — № 375. — P. 1801–1804. — DOI: 10.1093/jxb/erf032.
27. Kreft S. Extraction of rutin from buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) seeds and determination by capillary electrophoresis / S. Kreft, M. Knapp, I. Kreft // Journal of agricultural and food chemistry. — 1999. — Vol. 47. — № 11. — P. 4649–4652. — DOI: 10.1021/jf990186p.
28. Li Y. The synthesis and secretion of key substances in the flavonoid metabolic pathway responding to different nitrogen sources during early growth stages in *Robinia pseudoacacia* / Y. Li, Y. Shen, R. Shi [et al.] // Plant and Soil. — 2024. — Vol. 494. — № 1. — P. 373–393. — DOI: 10.1007/s11104-023-06286-y.
29. Ma D. Accumulation characteristics of plant flavonoids and effects of cultivation measures on their biosynthesis: A review / D. Ma, Y. Guo, I. Ali [et al.] // Plant Physiology and Biochemistry. — 2024. — 108960 p. — DOI: 10.1016/j.plaphy.2024.108960.
30. Rozema J. Effects of UV-B radiation on plants from agro-and natural ecosystems / J. Rozema, J.W.M. van de Staaij, M. Tosserams // Plants and UV-B: responses to environmental change. — 1997. — Vol. 64. — P. 213–232.
31. Satari A. Rutin: A flavonoid as an effective sensitizer for anticancer therapy; insights into multifaceted mechanisms and applicability for combination therapy / A. Satari, S. Ghasemi, S. Habtemariam [et al.] // Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine. — 2021. — Vol. 2021. — № 1. — 9913179 p. — DOI: 10.1155/2021/9913179.
32. Timofeeva A.M. How do plant growth-promoting bacteria use plant hormones to regulate stress reactions? / A.M. Timofeeva, M.R. Galyamova, S.E. Sedykh // Plants. — 2024. — Vol. 13. — № 17. — 2371 p. — DOI: 10.3390/plants13172371.
33. Timofeeva A.M. Plant growth-promoting soil bacteria: nitrogen fixation, phosphate solubilization, siderophore production, and other biological activities / A.M. Timofeeva, M.R. Galyamova, S.E. Sedykh // Plants. — 2023. — Vol. 12. — № 24. — 4074 p. — DOI: 10.3390/plants12244074.
34. Wang L. Rutin distribution in Tartary buckwheat: Identifying prime dietary sources through comparative analysis of post-processing treatments / L. Wang, Y. Mao, Y. Tang [et al.] // Food Chemistry. — 2025. — Vol. 464. — 141641 p. — DOI: 10.1016/j.foodchem.2024.141641.
35. Zhao J. Efficient promotion of the sprout growth and rutin production of tartary buckwheat by associated fungal endophytes / J. Zhao, L. Zhong, L. Zou [et al.] // Cereal Research Communications. — 2014. — Vol. 42. — № 3. — P. 401–412. — DOI: 10.1556/CRC.2013.0068.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Anokhina T.A. Perspektivnye povysheniya proizvodstva grechihi putem optimizacii mineral'nogo pitanija s uchetom morfotipa rastenij [Prospects for increasing buckwheat production by optimizing mineral nutrition considering plant morphotype] / T.A. Anokhina, A.R. Tsyanov, I.V. Polkhovskaya [et al.] // Vestnik Belorusskoj gosudarstvennoj sel'skokhozjajstvennoj akademii [Bulletin of the Belarusian State Agricultural Academy]. — 2020. — № 3. — P. 135–138. [in Russian]
2. Biryukova O.V. Potencial remontantnosti i plodoobrazovaniya sortov grechihi razlichnogo morfotipa [Potential of remontancy and fruit formation in buckwheat varieties of different morphotypes] / O.O.V. Biryukova, A.N. Fesenko, O.A. Shipulin [et al.] // Vestnik agrarnoj nauki [Bulletin of Agricultural Science]. — 2012. — Vol. 36. — № 3. — P. 65–68. [in Russian]
3. Buchilina A.S. Pishhevaja cennost' grechnevoj krupy iz Altajskogo kraja Rossii [Nutritional value of buckwheat from the Altai territory of Russia] / A.S. Buchilina, P.I. Gunkova, A.L. Vishnevsky [et al.] // Vestnik Mezhdunarodnoj akademii holoda [Journal of International Academy of Refrigeration]. — 2021. — № 2. — P. 64–72. [in Russian]
4. Dzakhmisheva I.S. Funkcional'nye svojstva grechnevoj krupy [Functional properties of bucket granule] / I.S. Dzakhmisheva, M.B. Khokonova // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernyh tehnologij [Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies]. — 2021. — Vol. 83. — № 3 (89). — P. 86–91. [in Russian]
5. Klintsevich V.N. Sposoby ispol'zovaniya luzgi grechihi posevnoj [Methods of use of buckwheat husband sowing] / V.N. Klintsevich, E.A. Flyurik // Trudy BSTU. Serija 2: Himicheskie tehnologii, biotehnologija, geoekologija [Proceedings of BSTU. Issue 2, Chemical Engineering, Biotechnologies, Geoecology]. — 2020. — № 1 (229). — P. 68–81. [in Russian]
6. Klykov A.G. Izuchenie ishodnogo materiala grechihi s cel'ju sozdaniya sortov s vysokim soderzhaniem rutina [Study of initial buckwheat material for creating varieties with high rutin content] : dis. ... of PhD in Agricultural Sciences : 06.01.05 / A.G. Klykov. — Pacific Institute of Bioorganic Chemistry, 2000. — 159 p. [in Russian]

7. Klykov A.G. Selekcja grechihi na povyshennoe soderzhanie rutina [Selection of buckwheat to increase routine content] / A.G. Klykov, N.S. Parskaya, E.N. Barsukova // Agrarnyj vestnik Primor'ja [Agrarian Bulletin of Primorye]. — 2017. — № 4 (8). — P. 24. [in Russian]
8. Korotkov A.V. Vlijanie regulatorov rosta Ljurastima i Moddusa na soderzhanie rutina v semenah grechihi [Effect of the Lyurastim and Moddus plant growth regulators on the content of rutin in buckwheat seeds] / A.V. Korotkov, L.D. Prusakova, S.L. Belopuhov [et al.] // Agrohimija [Agrochemistry]. — 2010. — № 12. — P. 18–23. [in Russian]
9. Kuznetsova E.A. Proizvodstvo poroshka iz grechnevoj luzgi — put' k sozdaniyu bezothodnyh vysokoeffektivnyh tehnologij [Production of buckwheat husk powder is the way to create waste-free, highly efficient technologies] / E.A. Kuznetsova, E.V. Klimova, L.V. Shayapova [et al.] // Zernobobovye i krupyanje kul'tury [Legumes and Groat Crop]. — 2021. — № 1 (37). — P. 69–75. [in Russian]
10. Magafurova F.F. Predvaritel'nye rezul'taty selekcii na povyshenie urozhajnosti u gibridnyh kombinacij grechihi s vysokim soderzhaniem rutina [Preliminary results of breeding to increase buckwheat hybrid combinations yield with rutin high content] / F.F. Magafurova, V.V. Khusnutdinov // Vestnik Krasnojarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Bulletin of Krasnoyarsk State Agrarian University]. — 2022. — № 9 (186). — P. 27–32. [in Russian]
11. Mazalov V.I. Sravnitel'noe izuchenie urozhajnosti sortov grechihi razlichnogo morfotipa [Comparison studies of productivity of buckwheat varieties of various morphotype] / V.I. Mazalov, A.N. Fesenko // Zemledelie [Agriculture]. — 2015. — № 3. — P. 45–47. [in Russian]
12. Pavlovskaya N.E. Jekonomicheskie raschety poluchenija rutina iz grechihi [Economic calculation obtain rutin buckwheat] / N.E. Pavlovskaya, I.A. Gneusheva, I.V. Gorkova [et al.] // Biotehnologija: sostojanie i perspektivy razvitiya [Biotechnology: State and Development Prospects]. — 2015. — P. 325–326. [in Russian]
13. Parakhin N.V. Grechiha: biologicheskie vozmozhnosti i puti ikh realizacii [Buckwheat: biological capabilities and ways of their realization] / N.V. Parakhin // Vestnik agrarnoj nauki [Bulletin of Agricultural Science]. — 2010. — Vol. 25. — № 4. — P. 4–8. [in Russian]
14. Rakhmankulova Z.F. Soderzhanie proline i flavonoidov v pobegah galofitov, proizrastajushhih na territorii Juzhnogo Urala [Content of proline and flavonoids in the shoots of halophytes inhabiting the South Urals] / Z.F. Rakhmankulova, E.V. Shuiskaya, A.V. Shcherbakov [et al.] // Fiziologija rastenij [Plant Physiology]. — 2015. — Vol. 62. — № 1. — P. 79–79. [in Russian]
15. Tanashkina T.V. Grechishnye travyanje chajnye napitki: syr'e, sposoby poluchenija i ocenka biologicheskoy aktivnosti [Buckwheat Grass Tea Beverages: Row Materials, Production Methods, and Biological Activity] / T.V. Tanashkina, A.F. Pyankova, A.A. Semenyuta [et al.] // Tehnika i tehnologija pishchevyh proizvodstv [Food Processing: Techniques and Technology]. — 2021. — Vol. 51. — № 3. — P. 564–573. [in Russian]
16. Fesenko A.N. Sravnitel'nyj analiz potenciala remontantnosti i semjaobrazovaniya sortov grechihi razlichnogo morfotipa [Comparative analysis of the remontant ability and seed formation process of morphologically different buckwheat varieties] / A.N. Fesenko, O.V. Biryukova, O.A. Shipulin [et al.] // Zemledelie [Agriculture]. — 2015. — № 1. — P. 46–48. [in Russian]
17. Borovaya S.A. Some aspects of flavonoid biosynthesis and accumulation in buckwheat plants / S.A. Borovaya, A.G. Klykov // Plant Biotechnology Reports. — 2020. — Vol. 14. — № 2. — P. 213–225. — DOI: 10.1007/s11816-020-00614-9.
18. Bueno C.B. Effects of chemical fertilization and microbial inoculum on *Bacillus subtilis* colonization in soybean and maize plants / C.B. Bueno, R.M. dos Santos, F. de Souza Buzo [et al.] // Frontiers in Microbiology. — 2022. — Vol. 13. — 901157 p. — DOI: 10.3389/fmicb.2022.901157.
19. Deng B. Effects of nitrogen availability on mineral nutrient balance and flavonoid accumulation in *Cyclocarya paliurus* / B. Deng, C.B. Bueno, R.M. Dos Santos [et al.] // Plant Physiology and Biochemistry. — 2019. — Vol. 135. — P. 111–118. — DOI: 10.1016/j.plaphy.2018.12.001.
20. Fang X. Effects of nitrogen fertilizer and planting density on the leaf photosynthetic characteristics, agronomic traits and grain yield in common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* M.) / X. Fang, Y. Li, J. Nie [et al.] // Field Crops Research. — 2018. — Vol. 219. — P. 160–168. — DOI: 10.1016/j.fcr.2018.02.001.
21. Farooq S. Cultivation, agronomic practices, and growth performance of buckwheat / S. Farooq, R.U. Rehman, T.B. Pirzadah [et al.] // Molecular breeding and nutritional aspects of buckwheat. — Academic Press, 2016. — P. 299–319. — DOI: 10.1016/B978-0-12-803692-1.00023-7.
22. Gabr A.M.M. Effect of light quality and media components on shoot growth, rutin, and quercetin production from common buckwheat / A.M.M. Gabr, N.M. Fayek, H.M. Mahmoud [et al.] // ACS omega. — 2022. — Vol. 7. — № 30. — P. 26566–26572. — DOI: 10.1021/acsomega.2c02728.
23. Hao D. Unveiling nitrogen fertilizer in medicinal plant cultivation / D. Hao, Y. Luan, Y. Wang, P. Xiao // Agronomy. — 2024. — Vol. 14. — № 8. — 1647 p. — DOI: 10.3390/agronomy14081647.
24. Ibrahim M.H. Involvement of nitrogen on flavonoids, glutathione, anthocyanin, ascorbic acid and antioxidant activities of Malaysian medicinal plant *Labisia pumila* Blume (Kacip Fatimah) / M.H. Ibrahim, H.Z.E. Jaafar, A. Rahmat, Z.A. Rahman // International Journal of Molecular Sciences. — 2011. — Vol. 13. — № 1. — P. 393–408. — DOI: 10.3390/ijms13010393.
25. Kreft I. Impact of rutin and other phenolic substances on the digestibility of buckwheat grain metabolites / I. Kreft, M. Germ, A. Golob [et al.] // International journal of molecular sciences. — 2022. — Vol. 23. — № 7. — 3923 p. — DOI: 10.3390/ijms23073923.
26. Kreft S. Rutin in buckwheat herbs grown at different UV-B radiation levels: comparison of two UV spectrophotometric and an HPLC method / S. Kreft, B. Strukelj, A. Gaberscik, I. Kreft // Journal of Experimental Botany. — 2002. — Vol. 53. — № 375. — P. 1801–1804. — DOI: 10.1093/jxb/erf032.

27. Kreft S. Extraction of rutin from buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) seeds and determination by capillary electrophoresis / S. Kreft, M. Knapp, I. Kreft // Journal of agricultural and food chemistry. — 1999. — Vol. 47. — № 11. — P. 4649–4652. — DOI: 10.1021/jf990186p.
28. Li Y. The synthesis and secretion of key substances in the flavonoid metabolic pathway responding to different nitrogen sources during early growth stages in *Robinia pseudoacacia* / Y. Li, Y. Shen, R. Shi [et al.] // Plant and Soil. — 2024. — Vol. 494. — № 1. — P. 373–393. — DOI: 10.1007/s11104-023-06286-y.
29. Ma D. Accumulation characteristics of plant flavonoids and effects of cultivation measures on their biosynthesis: A review / D. Ma, Y. Guo, I. Ali [et al.] // Plant Physiology and Biochemistry. — 2024. — 108960 p. — DOI: 10.1016/j.plaphy.2024.108960.
30. Rozema J. Effects of UV-B radiation on plants from agro-and natural ecosystems / J. Rozema, J.W.M. van de Staaij, M. Tosserams // Plants and UV-B: responses to environmental change. — 1997. — Vol. 64. — P. 213–232.
31. Satari A. Rutin: A flavonoid as an effective sensitizer for anticancer therapy; insights into multifaceted mechanisms and applicability for combination therapy / A. Satari, S. Ghasemi, S. Habtemariam [et al.] // Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine. — 2021. — Vol. 2021. — № 1. — 9913179 p. — DOI: 10.1155/2021/9913179.
32. Timofeeva A.M. How do plant growth-promoting bacteria use plant hormones to regulate stress reactions? / A.M. Timofeeva, M.R. Galyamova, S.E. Sedykh // Plants. — 2024. — Vol. 13. — № 17. — 2371 p. — DOI: 10.3390/plants13172371.
33. Timofeeva A.M. Plant growth-promoting soil bacteria: nitrogen fixation, phosphate solubilization, siderophore production, and other biological activities / A.M. Timofeeva, M.R. Galyamova, S.E. Sedykh // Plants. — 2023. — Vol. 12. — № 24. — 4074 p. — DOI: 10.3390/plants12244074.
34. Wang L. Rutin distribution in Tartary buckwheat: Identifying prime dietary sources through comparative analysis of post-processing treatments / L. Wang, Y. Mao, Y. Tang [et al.] // Food Chemistry. — 2025. — Vol. 464. — 141641 p. — DOI: 10.1016/j.foodchem.2024.141641.
35. Zhao J. Efficient promotion of the sprout growth and rutin production of tartary buckwheat by associated fungal endophytes / J. Zhao, L. Zhong, L. Zou [et al.] // Cereal Research Communications. — 2014. — Vol. 42. — № 3. — P. 401–412. — DOI: 10.1556/CRC.2013.0068.