

Реакция фотосинтетических пигментов и урожайности картофеля разных сортов на листовую обработку биопрепаратами

Л. П. Икоева

Северо-Кавказский научно-исследовательский институт горного и предгорного сельского хозяйства – филиал Федерального центра «Владикавказский научный центр Российской академии наук», с. Михайловское, Республика Северная Осетия – Алания, Россия
E-mail: ikoeval@bk.ru

Аннотация. Цель исследования – изучение реакции фотосинтетических пигментов и урожайности картофеля разных сортов на листовую подкормку гуминовым препаратом «Бигус, ВР» и микроудобрением «Нутривант Плюс». **Методы.** Исследования проводились в течение 2021–2023 гг. по методикам, общепринятым для лесостепной зоны РСО-Алания, на опытном поле с выщелоченным среднесиловым черноземом. Содержание фотосинтетических пигментов в листьях картофеля определяли спектрофотометрическим методом при длинах волн 662, 644 и 440 нм. **Научная новизна.** Доказана перспективность применения в лесостепной зоне РСО-Алания на посадках картофеля гуминового препарата «Бигус, ВР» и микроудобрения «Нутривант Плюс» для повышения урожайности клубней. **Результаты.** Выявлено положительное влияние некорневой обработки биопрепаратами на содержание хлорофиллов по всем вариантам опыта. Содержание общего хлорофилла ($a + b$) в зеленых листьях картофеля по всем вариантам опыта по сорту Фарн составило 49,1; 46,5 и 51,0 мг/л соответственно, что на 8,7; 6,1 и 10,7 мг/л соответственно было выше варианта без обработки биопрепаратами. Суммарное содержание хлорофиллов по сорту Невский – 28,9; 32,3 и 42,9 мг/л, что выше контроля на 3,4; 9,2 и 14 мг/л соответственно. Урожайность картофеля по сорту Фарн на опытных вариантах варьировала от 28,0 до 32,6 т/га против 24,1 т/га на контроле, или в среднем на 21,6 % больше. Картофель сорта Невский по всем вариантам опыта показал урожайность от 26,8 до 30,4 т/га, превышающую контроль в среднем на 17,8 %. Наибольшая урожайность по исследуемым сортам наблюдалась при совместной обработке регулятором роста «Бигус, ВР» и микроудобрением «Нутривант Плюс». Выявлена достоверная средняя зависимость ($r = 0,71$) между концентрацией хлорофилла b в листовых пластинках и урожайностью картофеля.

Ключевые слова: картофель, биопрепараты, хлорофилл, пигменты фотосинтеза, сорт Невский, сорт Фарн, урожайность

Для цитирования: Икоева Л. П. Реакция фотосинтетических пигментов и урожайности картофеля разных сортов на листовую обработку биопрепаратами // Аграрный вестник Урала. 2025. Т. 25, № 03. С. 371–380. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-03-371-380>.

Дата поступления статьи: 18.08.2024, **дата рецензирования:** 26.11.2024, **дата принятия:** 20.01.2025.

Response of photosynthetic pigments and yield of different potato varieties to foliar treatment with biopreparations

L. P. Ikoeva

North Caucasus Scientific Research Institute of Mountain and Foothill Agriculture – branch of the Federal Center “Vladikavkaz Scientific Center of the Russian Academy of Sciences”, Mikhaylovskoe village, Republic of North Ossetia – Alania, Russia
E-mail: ikoeval@bk.ru

Abstract. The purpose of this study is to examine the impact of leaf fertilization with humic preparation “Bigus, BP” and microfertilizer “Nutrivant Plus” on the reaction of photosynthetic pigments and yield of potatoes of different varieties. The objective of this study is to examine the impact of leaf fertilization with humic preparation “Bigus, BP” and microfertilizer “Nutrivant Plus” on the photosynthetic pigments and yield of potatoes of different varieties. **Methods.** The studies were conducted from 2021 to 2023 in accordance with the accepted methods for the forest-steppe zone of the Republic of North Ossetia-Alania on an experimental field with a leached, medium-wet chernozem soil. The concentration of photosynthetic pigments in potato leaves was quantified through a spectrophotometric approach, employing wavelengths of 662, 644 and 440 nm. **Scientific novelty** The potential for the use of humic preparation “Bigus, BP” and microfertilizer “Nutrivant Plus” in potato plantings in the forest-steppe zone to increase tuber yield was demonstrated. **Results.** The positive impact of a foliar treatment with a biopreparation on chlorophyll content was observed in all experimental variants. The total chlorophyll ($a + b$) content in green potato leaves across all experimental variants was 49.1; 46.5 and 51.0 mg/l in the Farn variety, respectively. This was 8.7; 6.1 and 10.7 mg/l higher than the control, which received no biopreparation treatment. The total chlorophyll content of the Nevskiy variety was 28.9; 32.3 and 42.9 mg/l, which was 3.4; 9.2 and 14 mg/l higher than the control, respectively. The yield of potatoes on variety Farn on the experimental variants ranged from 28.0 to 32.6 t/ha, representing a 21.6 % increase compared to the control, which yielded 24.1 t/ha. The potato variety Nevskiy demonstrated yields ranging from 26.8 to 30.4 t/ha across all experimental variants, exceeding the control average by 17.8 %. The highest yield was observed in the joint treatment with the growth regulator “Bigus, BP”, and the microfertilizer “Nutrivant Plus”. A reliable average dependence ($r = 0,71$) was revealed between the concentration of chlorophyll b in leaf plates and potato yield.

Keywords: potato, bio-preparations, chlorophyll, photosynthesis pigments, Nevskiy variety, Fern variety, yield

For citation: Ikoeva L.P. Response of photosynthetic pigments and yield of different potato varieties to foliar treatment with biopreparations. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2025; 25 (03): 371–380. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-03-371-380>. (In Russ.)

Date of paper submission: 18.08.2024, **date of review:** 26.11.2024, **date of acceptance:** 20.01.2025.

Постановка проблемы (Introduction)

Картофель – это сельскохозяйственная культура с высокой питательной ценностью, занимающая четвертое место после пшеницы, кукурузы и риса по объему производства и потребления в мире. Его производство увеличивается благодаря высокой продуктивности и совместимости с широким диапазоном климатических условий, а также благодаря применению современных приемов агротехнологии [1–3; 6; 11; 13; 15–17].

Устойчивость растений определяется как состояние, при котором им наносится меньший ущерб по сравнению с другими растениями в аналогичных условиях окружающей среды. К показателям устойчивости сельскохозяйственных культур к неблагоприятным условиям внешней окружающей

среды можно отнести содержание в зеленых листьях биологически активных веществ (фенолов, гиббереллинов, лигнина и хлорофиллов), обусловленное сортовым признаком и зависящее от фазы развития, а также возрастного состояния растения. Информация о содержании в листьях картофеля хлорофиллов дает возможность оценить потенциальную фотохимическую активность, спрогнозировать продуктивность посевов и определить необходимость дополнительного применения средств для повышения эффективности выращивания растений [1; 3; 14; 16].

Применение инновационных агротехнологических приемов, адаптированных к особенностям и специфике возделывания картофеля, является перспективным направлением для повышения эффек-

тивности и дальнейшего развития картофелеводства в регионе [3; 6–8].

Максимальная урожайность картофеля при повышении устойчивости растений к стрессовым условиям и заболеваниям может быть достигнута при использовании листовых (некорневых) подкормок биопрепаратами (регуляторами роста растений, удобрениями) [1; 2; 6; 7; 9; 12; 13; 15; 16]. Листовые подкормки при малом расходе на единицу обрабатываемой площади активизируют деятельность вегетативной массы растений, а это положительно сказывается на урожайности [1; 3; 6; 8; 9; 13; 15; 17].

Совместное применение регулятора роста и микроудобрений, усиливая рост и развитие растения, будет способствовать улучшению качества получаемой продукции, что в целом позитивно скажется на экологической ситуации в сфере овощеводства [1; 6; 8; 9].

Цель исследования состояла в изучении реакции фотосинтетических пигментов и урожайности картофеля разных сортов в условиях лесостепной зоны РСО-Алания на некорневую обработку биорегулятором роста «Бигус, ВР» и микроудобрением «Нутривант Плюс».

Методология и методы исследования (Methods)

Научные исследования в период с 2021 по 2023 год проводились на опытном участке СКНИ-ИГПСХ ВНИЦ РАН, расположенном в лесостепной зоне РСО-Алания, на пятипольном травопольном севообороте: клевер 1-го года – клевер 2-го года – озимая пшеница – картофель – кукуруза.

Почва опытного участка представлена среднечерноземным тяжелосуглинистым выщелоченным черноземом, подстилаемым галечником, с содержанием гумуса 6,3 %. Реакция среды слабокислая (рН солевой вытяжки – 5,48 %). Выщелоченные черноземы отличаются большим содержанием валовых и до-

ступных запасов азота и фосфора. По содержанию подвижного калия почвы среднеобеспеченные [6–8].

Годы исследований отличались как по температурному режиму, так и по выпадению и распределению осадков в период вегетации (таблица 1). Для установления обеспеченности опытного участка в лесостепной зоне влагой был рассчитан гидротермический коэффициент увлажнения Г. Т. Селянинова (ГТК). По сравнению с другими годами исследования 2021 год характеризовался повышенной среднесуточной температурой воздуха и минимальным количеством выпавших осадков в период вегетации (ГТК = 0,72). В 2022 году наблюдалась оптимальная среднесуточная температура при недостаточном увлажнении (ГТК = 0,96). Метеорологические условия 2023 года характеризовались оптимальной среднесуточной температурой воздуха и хорошим увлажнением, особенно в период клубнеобразования (ГТК = 1,43).

Схема опыта:

1. Контроль – обработка водой.
2. Вариант I – листовая обработка регулятором роста «Бигус, ВР» в дозе 0,4 л/га (1 – фаза полных всходов; 2 – фаза бутонизации – начала цветения).
3. Вариант II – листовая обработка микроудобрением «Нутривант Плюс» в дозе 3 кг/га (1 – фаза смыкания ботвы; 2 – фаза бутонизации – конца цветения).
4. Вариант III – листовая обработка регулятором роста «Бигус, ВР» в дозе 0,2 л/га и микроудобрением «Нутривант Плюс» в дозе 1,5 кг/га (фаза бутонизации – цветения).

Общая площадь делянки – 25 м² (длина – 10 м, ширина – 2,5 м). Учетная площадь делянки – 9,0 м². Боковые защитные полосы – 0,5 м, концевые – 2 м. Расположение вариантов – рендомизированное. Повторность опыта трехкратная.

Таблица 1
Метеорологические условия периодов вегетации картофеля (2021–2023 годы)

Среднесуточная температура воздуха, °C						Количество выпавших осадков, мм					ГТК
Год	Май	Июнь	Июль	Август	За период	Май	Июнь	Июль	Август	За период	
2021	17,5	19,9	22,6	23,0	20,75	77	165	149	56	111,75	0,72
2022	13,1	20,0	21,0	23,3	19,35	182	144	85	73	121	0,96
2023	14,6	18,9	21,5	23,9	19,73	161	186	153	51	137,75	1,43
За период	15,07	19,61	21,7	23,4	19,94	140	165	129	60	123,5	

Table 1
Meteorological conditions of potato growing seasons (2021–2023)

Average daily air temperature, °C						Rainfall, mm					HTC
Year	May	June	July	August	For period	May	June	July	August	For period	
2021	17.5	19.9	22.6	23.0	20.75	77	165	149	56	111.75	0.72
2022	13.1	20.0	21.0	23.3	19.35	182	144	85	73	121	0.96
2023	14.6	18.9	21.5	23.9	19.73	161	186	153	51	137.75	1.43
For period	15.07	19.61	21.7	23.4	19.94	140	165	129	60	123.5	

Агротехника, применяемая в опыте, рекомендована для лесостепной зоны РСО-Алания [6; 7]. Посадку проводили в первой декаде апреля: ширина междурядий – 70 см, густота посадки – 57 тыс/га, глубина заделки клубней – 6–8 см, длина между кустами – 25 см. Минеральные удобрения в дозе $N_{60}P_{60}K_{60}$ перед посадкой вразброс с последующей заделкой. Уход за посадками картофеля включал две междурядные обработки, окучивание, обработку при необходимости против колорадского жука и фитофторозы. Внекорневая обработка растений биопрепаратами проводилась ранцевым опрыскивателем в соответствии со схемой опыта.

Предмет исследования – картофель среднеранних сортов, районированных по Северо-Кавказскому региону: Невский (Ленинградский научно-исследовательский институт сельского хозяйства «Белогорка»), Фарн (Горский государственный аграрный университет).

Картофель сорта Фарн местной селекции – среднеранний гибрид, высокоустойчивый к морщинистой полосчатой мозаике, золотистой картофельной нематодой, раку и скручиванию листьев. Умеренно устойчив к возбудителю фитофтороза ботвы и клубней картофеля. Высокоурожайный сорт (26,6 т/га). Неприхотлив к климатическим условиям и агротехническим приемам [8].

Картофель сорта Невский – среднеранний гибрид. Сорт устойчив к таким болезням картофеля, как ризоктониоз, рак, черная ножка. Среднеустойчив к парше обыкновенной, вирусам X, S, M, фитофторозу по ботве и клубням картофеля. Восприимчив к золотистой картофельной нематодой. Высокоурожайный сорт (38,5 т/га), при этом нетребователен к агротехническим приемам [8].

Объекты исследования – биопрепарат «Бигус, ВР» и микроудобрение «Нутривант Плюс».

«Бигус, ВР» – регулятор роста, созданный на основе сапропеля, содержащего калиевые соли гуминовых кислот. Полиморфность структуры гуминовых кислот обеспечивает разнообразное положительное воздействие на растения и почву. Благодаря способности гуминовых кислот к образованию хелатных комплексов снижаются активность ингибиторов роста и солевой стресс, повышаются поглощение растениями питательных веществ, эффективность фотосинтеза и урожайность [9; 13, 17]. Они содержат широкий комплекс как минеральных веществ (макро- и микроэлементов: калия, фосфора, азота, бора, серы, молибдена, меди и т. д.), так и органических веществ (фульвовых кислот, катехинов, полифенолов, изофлавоноидов, полисахаридов, дубильных веществ и т. д.). Важным ингредиентом гуматов является органический кремний, выступающий катализатором многих круговоротов веществ внутри клетки. Выступая как естественные детоксиканты и адаптогены, гуматы поддержи-

вают химический баланс в растительном организме [9; 17].

Рабочий раствор препарата готовится по методике, заявленной производителем, непосредственно перед опрыскиванием.

«Нутривант Плюс» – микроудобрение, используемое для внекорневой листовой подкормки картофеля. Химический состав его представлен макроэлементами (K, N, P) и микроэлементами (S, B, Mg, Mn, Cu, Fe, Mo, Zn). «Нутривант Плюс» способствует улучшению цветения, стимулирует генеративный рост и развитие растений, а также, что крайне важно, снижает содержание нитратов в продукции.

Рабочий раствор удобрения «Нутривант Плюс» готовится непосредственно в расходном баке опрыскивателя / системы капельного орошения. Бак наполняется водой не менее чем на 3/4, и вводится доза микроудобрения. Полученный раствор перемешивают, а затем водой доводят до нормы и приступают к работе. Рабочий раствор должен быть израсходован в течение 6 часов. Опрыскивание раствором проводят утром или вечером по сухим растениям в теплую пасмурную сухую погоду.

Для определения содержания фотосинтетических пигментов отбор высечек из листьев проводился в фазу цветения. Измерение фотосинтетических пигментов, таких как хлорофилл *a*, *b* и каротиноиды, проводили с использованием метода Лихтеналера [5]. 1 г свежих листьев каждого образца измельчали, после чего растирали в ступке пестиком с мелом и стеклом. После измельчения добавляли 20 мл 100-процентного ацетона и оставляли образец до тех пор, пока оставшийся осадок не приобретет бледный цвет. Экстракт отфильтровали с помощью фильтровальной бумаги, чтобы отделить экстракт хлорофиллов и каротиноидов от остальной части листьев.

Оптическую плотность хлорофиллов и каротиноидов в ацетоновых экстрактах из листьев картофеля при длинах волн 662, 644 и 640 нм измеряли на спектрофотометре «ПЭ – 5400 УФ». Измерение максимумов поглощения фотосинтетических пигментов проводили в трехкратной повторности.

Для градуировки прибора применяли холостой раствор (100-процентный ацетон).

Для расчета в ацетоновых вытяжках содержания фотосинтетических пигментов применялись уравнения Хольма – Веттштейна [9]:

$$\begin{aligned} C_{\text{хл. } a} &= 9,784 \cdot D_{662} - 0,990 \cdot D_{644}, \\ C_{\text{хл. } b} &= 21,426 \cdot D_{644} - 4,650 \cdot D_{662}, \\ C_{\text{хл. } a + \text{хл. } b} &= 5,134 \cdot D_{662} + 20,436 \cdot D_{644}, \\ C_{\text{кар.}} &= 4,695 \cdot D_{440} - 0,268 \cdot (5,134 \cdot D_{662} + 20,436 \cdot D_{644}), \end{aligned}$$

где $C_{\text{хл. } a}$ – содержание хлорофилла *a*, мг/л;

$C_{\text{хл. } b}$ – содержания хлорофилла *b*, мг/л;

$C_{\text{хл. } a + \text{хл. } b}$ – содержание суммы хлорофиллов, мг/л;

$C_{\text{кар. } a}$ – содержание каротиноидов, мг/л.

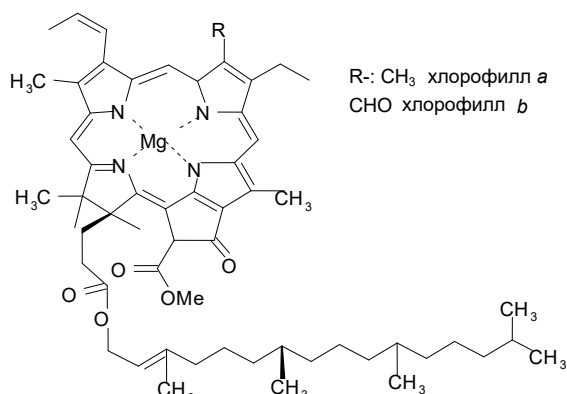


Рис. 1. Структура молекулы хлорофилла

Учеты и наблюдения в опытах осуществляли согласно методике ВНИИ картофельного хозяйства [10]. Достоверность научных положений, сформулированных в работе, подтверждается экспериментальными исследованиями и статистической обработкой по методике Б. А. Доспехова [4] с использованием компьютерных программ Microsoft Excel, SNEDECOR. Расчет вероятности значимых различий проводился при уровне $P < 0,05$.

Результаты (Results)

Фотосинтез является главным двигателем, способствующим глобальным потокам энергии и вещества в биосфере. Интенсивность фотосинтеза и общая биологическая продуктивность растений определяется содержанием в листьях фотосинтетических пигментов [5; 6; 14].

Хлорофилл – это сложный эфир дикарбоновой кислоты хлорофиллина и двух спиртов – фитола и метанола. Структура хлорофилла *a* содержит метильную группу во втором пиррольном кольце, а структуры *b* – альдегидную группу (рис. 1). Необходимо отметить, что содержание в листьях хлорофилла играет ключевую роль в фотосинтезе.

Основным биохимическим показателем реакции растений на стрессовые условия окружающей среды (загрязнение воздуха, воды, дефицит воды, высокие и низкие температуры) является содержание хлорофиллов [1]. Общее количество хлорофилла в здоровых зеленых листьях, обусловленное балансом скоростей образования и разрушения пигментов, составляет 1 % от сухого веса.

Процессы образования и разрушения пигментов в период вегетации влияют на колебания концентрации хлорофиллов и каротиноидов в листьях картофеля. Так, в фазу всходов растения листья картофеля характеризуются минимальным содержанием хлорофиллов, постепенно возрастающим по мере роста растений и достигающим максимума к фазе бутонизации – цветения (наиболее продуктивный период), снижающимся к фазе увядания ботвы. Количество же каротиноидов, наоборот, постепенно увеличивается по фазам вегетации.

В результате проведенных исследований было установлено, что накопление максимального со-

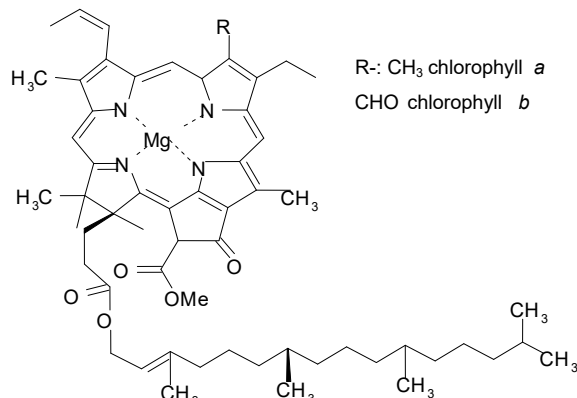


Fig. 1. Structure of the chlorophyll molecule

держания фотосинтетических пигментов в фазу цветения в листьях зависит не только от сортовых особенностей картофеля, но и от применяемых биопрепаратов (рис. 2).

Изменение содержания хлорофиллов в листьях разных сортов картофеля по фазам вегетации до фазы массового цветения носит линейный характер.

Анализ гистограммы (рис. 2) демонстрирует, что содержание суммы хлорофиллов в зеленых листьях адаптированного к условиям произрастания в лесостепной зоне региона картофеля сорта Фарн превышало показатели районированного сорта Невский как на контрольном варианте, так и в опытных вариантах, на 11,3; 16,8; 8,4 и 8,1 мг/л соответственно.

На варианте листовой обработки регулятором роста «Бигус, ВР» посевов картофеля отмечалось повышение содержания суммы хлорофиллов для сорта Фарн на 9,0 мг/л; сорта Невский – на 3,4 мг/л, или на 1,22 % и 1,12 % соответственно, по отношению к контролю. Это связано с элиситорным эффектом биопрепарата, позволяющим повысить сопротивляемость не только листьев, но и в целом растения к стрессовым факторам и болезням. На варианте с микроудобрением «Нутривант Плюс» также отмечено повышение концентрации фотосинтетических пигментов в листьях по сравнению с контролем по сорту Фарн – на 6,4 мг/л, или на 1,16 %; по сорту Невский – на 9,2 мг/л, или на 1,3 %. Комплексная обработка биопрепаратами «Бигус, ВР» и «Нутривант Плюс» повышает суммарное содержание хлорофиллов (*a* + *b*) на посевах изучаемых сортов по отношению как к контролю, так и к опытным вариантам. Сорт Фарн по сравнению с контролем демонстрирует увеличение на 9,9 мг/л, или на 1,27 %, а сорт Невский – на 14,0 мг/л, или 1,48 %.

Результаты полевого эксперимента согласуются с исследованиями ряда авторов [9; 11; 13; 16; 17], что калиевые соли гуминовых кислот улучшают синтез ион-транспортирующих белков и, таким образом, увеличивают скорость поглощения и питательных веществ и повышают урожайность растений за счет образования стабильных комплексов с железом и цинком.

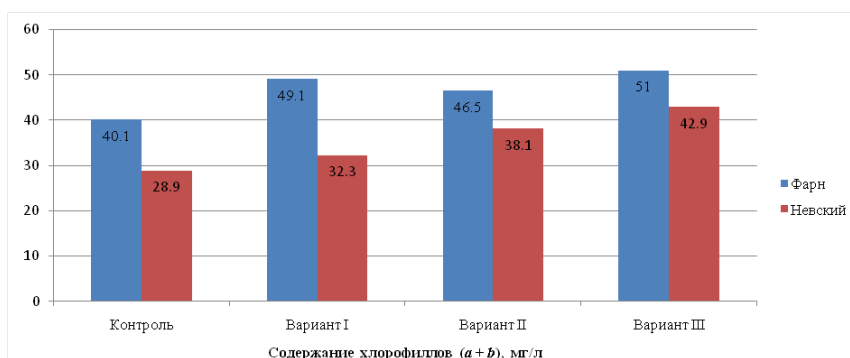


Рис. 2. Содержание хлорофиллов (a + b) в зеленых листьях картофеля по сортам (2021–2023 годы)

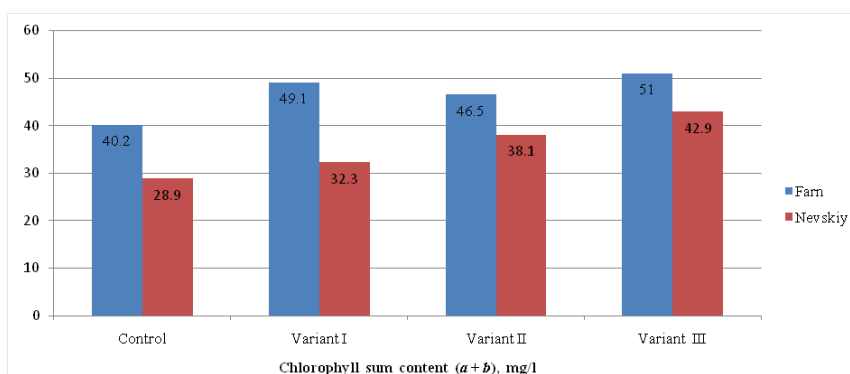


Fig. 2. Contents of the chlorophylls (a + b) in green potato leave of by varieties (2021–2023)

Таблица 2
Содержание хлорофиллов в зеленых листьях картофеля исследуемых сортов (2021–2023 годы)

Варианты опыта	$C_{chl. a + chl. b, мг/л}$	$C_{chl. a, мг/л}$	$C_{chl. b, мг/л}$	$C_{кар., мг/л}$	$A_a, мг/г$	$A_b, мг/г$	$A_{кар., мг/г}$	$S_l, см^2$	$B, мг/см^2$
Фарн									
Контроль	40,162	26,719	13,643	3,726	1,336	0,682	0,186	10,11	0,107
I	49,089	26,939	22,160	3,845	1,347	1,108	0,192	10,23	0,120
II	46,468	27,415	19,053	3,789	1,372	0,953	0,189	10,22	0,114
III	51,011	26,916	24,095	3,987	1,346	1,205	0,199	10,56	0,121
Невский									
Контроль	28,914	20,534	8,38	1,544	1,027	0,419	0,077	10,66	0,068
I	32,263	22,251	10,012	1,701	1,123	0,501	0,085	10,78	0,015
II	38,063	25,134	13,929	1,599	1,257	0,697	0,080	10,66	0,092
III	42,888	27,481	15,407	1,820	1,374	0,770	0,91	11,00	0,098

Примечание. $C_{chl. a + chl. b}$ – содержание суммы хлорофиллов; $C_{chl. a}$ – содержание хлорофилла а; $C_{chl. b}$ – содержание хлорофилла b; $C_{кар.}$ – содержание каротиноидов; A_a – содержание хлорофилла а на 1 г сырой массы; A_b – содержание хлорофилла b на 1 г сырой массы; $A_{кар.}$ – содержание каротиноидов на 1 г сырой массы; S_l – площадь листа; B – количество хлорофиллов в листовой пластинке.

Table 2
Chlorophyll content in green leaves of potato varieties studied (2021–2023)

Experience options	$C_{chl. a + chl. b, мг/л}$	$C_{chl. a, мг/л}$	$C_{chl. b, мг/л}$	$C_{car., мг/л}$	$A_a, мг/г$	$A_b, мг/г$	$A_{car., мг/г}$	S_l, cm^2	$B, mg/cm^2$
Farn									
Control	40.162	26.719	13.643	3.726	1.336	0.682	0.186	10.11	0.107
I	49.089	26.939	22.160	3.845	1.347	1.108	0.192	10.23	0.120
II	46.468	27.415	19.053	3.789	1.372	0.953	0.189	10.22	0.114
III	51.011	26.916	24.095	3.987	1.346	1.205	0.199	10.56	0.121
Nevskiy									
Control	28.914	20.534	8.38	1.544	1.027	0.419	0.077	10.66	0.068
I	32.263	22.251	10.012	1.701	1.123	0.501	0.085	10.78	0.015
II	38.063	25.134	13.929	1.599	1.257	0.697	0.080	10.66	0.092
III	42.888	27.481	15.407	1.820	1.374	0.770	0.91	11.00	0.098

Note. $C_{chl. a + chl. b}$ – chlorophyll sum content; $C_{chl. a}$ – chlorophyll a content; $C_{chl. b}$ – chlorophyll b content; A_a – content of chlorophyll a per 1 g of crude mass; A_b – content of chlorophyll b per 1 g of crude mass; $A_{car.}$ – content of chlorophyll b per 1 g of crude mass; S_l – leaf area; B – content of chlorophylls in the leaf blade.

Таблица 3

**Зависимость урожайности и содержания фотосинтетических пигментов
в листьях картофеля разных сортов от применения биопрепаратов (2021–2023 годы)**

Варианты опыта	Содержание фотосинтетических пигментов, мг/г сухой массы			Урожайность, т/га
	Хлорофилл <i>a</i>	Хлорофилл <i>b</i>	Каротиноиды	
Фарн				
Контроль	0,99	0,69	0,27	24,1
I	1,04	0,75	0,29	28,0
II	1,01	0,68	0,30	27,3
III	1,06	0,72	0,28	32,6
НСР ₀₅				6,4
Невский				
Контроль	0,71	0,51	0,18	23,6
I	0,89	0,57	0,23	26,8
II	0,73	0,53	0,25	26,2
III	0,99	0,55	0,2	30,4
НСР ₀₅				5,8

Agrotechnologies

Table 3

**Dependence of yield and content of photosynthetic pigments in leaves of different potato varieties
on the use of biopreparations (2021–2023)**

Experience options	Photosynthetic pigment content, mg/g dry weight			Yield, t/ha
	Chlorophyll a	Chlorophyll b	Carotenoids	
Farn				
Control	0.99	0.69	0.27	24.1
I	1.04	0.75	0.29	28.0
II	1.01	0.68	0.30	27.3
III	1.06	0.72	0.28	32.6
LSD ₀₅				6.4
Nevskiy				
Control	0.71	0.51	0.18	23.6
I	0.89	0.57	0.23	26.8
II	0.73	0.53	0.25	26.2
III	0.99	0.55	0.2	30.4
LSD ₀₅				5.8

Некорневая обработка гуминовым препаратом «Бигус, ВР» и микроудобрением «Нутривант Плюс» сказывалась и на отношении хлорофилла *a* к хлорофиллу *b*.

В листьях картофеля сортов Фарн и Невский отношение содержания хлорофилла *a* к хлорофиллу *b* (таблица 2) увеличивается по вариантам опыта с применением гуминового препарата и микроудобрения, возможно, является следствием образования в значительной степени пигмент-белковых комплексов фотосистемы I и фотосистемы II, а не светособирающих комплексов.

Было выявлено, что существует прочная связь между содержанием хлорофиллов в листьях и содержанием крахмала в клубнях, которое может достигать 6,6 %. Крахмальные зерна имели средний размер от 69 до 93,7 мкм. Так, содержание крахмала в клубнях сорта Невский достигало 13 %, а размеры крахмальных зерен колебались от 59 до 87 мкм.

Урожайность – это показатель приспособленности культурного растения к агроэкологическим факторам выращивания (недостаток влаги, высокая температура).

В среднем содержание хлорофилла *a* на всех вариантах эксперимента составляло для сорта Фарн – 1,03 мг/г сухой массы, колеблется относительно контроля в пределах от 1,01 до 1,06 мг/г; для сорта Невский – 0,87 мг/г, колеблется в пределах от 0,73 до 0,99 мг/г. Максимальное содержание пигмента наблюдалось при комбинированном применении гуминового препарата «Бигус, ВР» и микроудобрения «Нутривант Плюс» в фазу бутонизации – цветения по сорту Фарн – 1,06 мг/г, а по сорту Невский – 0,99 мг/г (таблица 3).

Средняя концентрация хлорофилла *b* была у сорта Фарн (0,72 мг/г) и варьировала в пределах 0,69–0,72 мг/г, а у сорта Невский – 0,55 мг/г сухой массы и варьировала в пределах 0,53–0,57 мг/г по сравнению с контролем.

Как известно, окраска мякоти клубней картофеля определяется содержанием каротиноидов. Так, для клубней с мякотью белого цвета характерно низкое, желтого цвета – среднее, а оранжевого цвета – высокое содержание каротиноидов. В клубнях картофеля сорта Фарн отмечено превышение общего содержания каротиноидов на 1,1; 0,06; 0,05; 0,08

мг/г сухой массы по сравнению с клубнями картофеля сорта Невский как по контролю, так и по всем вариантам опыта.

Увеличение содержания хлорофилла *a* и хлорофилла *b* в период бутонизации – цветения было вызвано листовой обработкой картофеля биопрепаратом «Бигус, ВР» и микроудобрением «Нутривант Плюс» (таблица 2), что привело к повышению урожайности по всем вариантам опыта по отношению к контролю для обоих сортов. Урожайность сорта Фарн в опытах варьировала от 28,0 до 32,6 т/га, в то время как контроль составил 24,1 т/га, что на 21,6 % больше. Сорт картофеля Невский по всем вариантам опыта от 26,8 до 30,4 т/га против 23,6 т/га в контроле, или в среднем на 17,8 % больше.

Анализ корреляционных связей между содержанием пигментов, участвующих в фотосинтезе, в листовых пластинках и урожайностью картофеля различных сортов выявил достоверную среднюю зависимость. Коэффициент корреляции составил 0,71. Не установлено достоверных корреляционных зависимостей между урожайностью – концентрацией хлорофилла *a* ($r_{\text{хл. } a} = 0,27$) и урожайностью – концентрацией каротиноидов ($r_{\text{кар.}} = 0,32$).

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

1. Выявлена положительная реакция фотосинтетических пигментов и урожайности на листовую обработку биопрепаратами растений картофеля сорта Фарн местной селекции и сорта Невский на опытном поле СКНИИГПСХ в агроэкологических условиях РСО-Алания.

2. Содержание общего хлорофилла (*a* + *b*) в зеленых листьях картофеля по вариантам опыта по сорту Фарн составило 49,1; 46,5 и 51,0 мг/л, а по сорту Невский – 28,9; 32,3 и 42,9 мг/л, что выше

на 1,22 % и 1,12 % соответственно без обработки биопрепаратами.

3. Урожайность картофеля по сорту Фарн на опытных вариантах варьировала от 28,0 до 32,6 т/га против 24,1 т/га на контроле, или в среднем на 21,6 % больше. А на сорте картофеля Невский по всем вариантам опыта – от 26,8 до 30,4 т/га против 23,6 т/га в контроле, или в среднем на 17,8 % больше. Наибольшая урожайность по исследуемым сортам наблюдалась при совместной обработке регулятором роста «Бигус, ВР» и микроудобрением «Нутривант Плюс» по сравнению с другими опытными вариантами и контролем.

4. Между концентрацией хлорофилла в листовых пластинках исследуемых сортов картофеля и урожайностью была выявлена положительная зависимость ($r = 0,71$) и положительная тенденция к высокой концентрации хлорофилла *a* у сортов при обработке гуминовым препаратом «Бигус, ВР» и микроудобрением «Нутривант Плюс».

5. В результате проведенных исследований было доказано, что гуминовый препарат «Бигус, ВР» и микроудобрение «Нутривант Плюс» могут повышать общий уровень хлорофилла и урожайность растений картофеля разных сортов в условиях лесостепной зоны РСО-Алания.

6. Наиболее полно биологические свойства картофеля сортов Фарн и Невский проявились на вариантах при комплексной листовой обработке регулятором роста «Бигус ВР» и микроудобрением «Нутривант Плюс». Картофель сорта Фарн местной селекции, адаптированный к климатическим условиям региона, гарантированно обеспечивал урожайность при разных метеорологических условиях по всем вариантам опыта.

Библиографический список

1. Бакунов А. Л., Милехин А. В. Рубцов С. Л., Шевченко С. Н. Содержание фотосинтетических пигментов как косвенный признак устойчивости сортов картофеля к высоким температурам воздуха и недостаточному увлажнению // Известия Самарской сельскохозяйственной академии. 2020. № 2. С. 8–13. DOI: 10.12737/37332.
2. Васильев А. А., Горбунов А. К. Продуктивность и фотосинтетическая деятельность картофеля в зависимости от срока и глубины посадки // Аграрный вестник Урала. 2020. № 04 (195). С. 2–10. DOI: 10.32417/1997-4868-2020-195-4-2-10.
3. Варушкина А. М., Луговская Н. А., Максимов А. Ю. Рост и продуктивность картофеля (*Solanum tuberosum* L.) в условиях светокультуры // Вестник Пермского федерального исследовательского центра. 2019. № 2. С. 37–46. DOI: 10.7242/2658-705X/2019.2.4.
4. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта с основами статистической обработки результатов исследований (5 изд.). Москва: Альянс, 2014. 351 с.
5. Епринцев А. Т., Хожайнова Г. Н. Малый практикум по физиологии растений. Воронеж: Издательский дом ВГУ, 2018. 174 с.
6. Икоева Л. П., Хаева О. Э. Влияние регулятора роста «Регоплант» и микроудобрения «Ультрамаг Комби» на фотосинтетическую деятельность картофеля в лесостепной зоне РСО-Алания // Аграрный вестник Урала. 2021. № 07 (210). С. 55–65. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-210-07-55-65
7. Икоева Л. П., Хаева О. Э. Фотосинтетическая деятельность картофеля в зависимости от способов применения стимулятора роста в предгорной зоне РСО-Алания // Аграрный вестник Урала. 2022. № 07 (222). С. 26–35. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-222-07-26-35.

8. Икоева Л. П., Хаева О. Э. Количественные и качественные показатели разных сортов картофеля в зависимости от применения биопрепарата // Аграрный вестник Урала. 2023. Т. 23, № 11. С. 22–33. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-23-11-22-33.

9. Ляшко М. У., Цветкова Ю. В., Гресис В. О. Влияние гуминовых препаратов на содержание хлорофилла в листьях и урожайность картофеля в условиях Московской области // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2018. Т. 13, № 2. С. 85–92. DOI: 10.22363/2312-797X-2018-13-2-85-92.

10. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Выпуск 1. Общая часть. Москва: Госорткомиссия, 2019. 329 с.

11. Пронько В. В., Корсаков К. В., Верховцева Н. В., Пронько Н. А. Влияние листовых подкормок гуминовыми удобрениями на урожайность и качество орошаемого картофеля в Саратовском Заволжье // Аграрный научный журнал. 2023. № 6. С. 58–63. DOI: 10.28983/asj.y2023i6pp58-63.

12. Сердеров В. К., Караев М. К., Атамов Б. К. Возделывание сортов картофеля для промышленной переработки // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2020. № 3. С. 59–61. DOI: 10.30850/vrsn/2020/3/59-61.

13. Усанова З. И., Прядин С. Е. Влияние гуминовых препаратов на продуктивность и качество урожая сортов картофеля с фиолетовой мякотью клубней // Картофель и овощи. 2020. № 6. С. 27–31. DOI: 10.25630/PAV.2020.73.35.004.

14. Уромова И. П., Козлов А. В. Влияние биопрепаратов на продуктивность и качество картофеля // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2020. № 5. С. 77–81.

15. Chen C.-T., Setter T. L. Role of tuber developmental processes in response of potato to high temperature and elevated CO₂ // Plants. 2021. No. 10. Article number 871. DOI: 10.3390/plants10050871.

16. Ginter A., Zarzecka K., Gugała M. Effect of Herbicide and Biostimulants on Production and Economic Results of Edible Potato // Agronomy. 2022. Vol. 12. Article number 1409. DOI: 10.3390/agronomy12061409.

17. Mijwel Kh., Abed Al-Aedha A. N., Bresim T. H. Effect of compost and humic acid on potato growth and quality // Engineering and Technology Journal. 2019. Vol. 37, Part C, No. 1. Pp. 145–148. DOI: 10.30684/etj.37.1C.23.

Об авторе:

Лариса Петровна Икоева, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник отдела адаптивно-ландшафтного земледелия, Северо-Кавказский научно-исследовательский институт горного и предгорного сельского хозяйства – Федерального центра «Владикавказский научный центр Российской академии наук», с. Михайловское, Республика Северная Осетия – Алания, Россия; ORCID 0000-0003-1737-3180, AuthorID 508900. E-mail: ikoeval@bk.ru

References

1. Bakunov A. L., Milekhin A. V., Rubtsov S. I., Shevchenko S. N. Photosynthetic pigment content as a consequential resistance sing of potato varieties to high temperature and moisture lack. *Bulletin Samara State Agricultural Academy*. 2020; 2: 8–13. DOI: <https://doi.org/10.12737/37332>. (In Russ.)

2. Vasilyev A. A., Gorbunov A. K. Productivity and photosynthetic activity of potatoes depending on the duration and depth of planting. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2020; 04 (195): 2–10. DOI: 10.32417/1997-4868-2020-195-4-2-10. (In Russ.)

3. Varushkina A., Lugovskaya N., Maksimov A. The growth and productivity of potato (*Solanum tuberosum* L.) in photoculture. *Perm Federal Research Centre Journal*. 2019; 2: 37–46. DOI: <https://doi.org/10.7242/2658-705X/2019.2.4>. (In Russ.)

4. Dospekhov B. A. Methodology of field experiment with the basics of statistical processing of research results (5th edition). Moscow: Al'yans, 2014. 351 p. (In Russ.)

5. Eprintsev A. T., Khozhainova G. N. *Small workshop on plant physiology*. Voronezh: Publishing House VSU, 2018. 174 p. (In Russ.)

6. Ikoeva L. P., Khaeva O. E. Influence of the growth regulator “Regoplant” and microfertilizer “Ultramag Kombi” on photosynthetic activity of potatoes in the forest-steppe zone Republic of North Ossetia-Alania. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2021; 07 (210): 55–65. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-210-07-55-65. (In Russ.)

7. Ikoeva L. P., Khaeva O. E. Photosynthetic activity of potatoes depending on the methods of using a growth stimulator in the foothill zone of the Republic of North Ossetia-Alania. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2022; 07 (222): 26–35. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-222-07-26-35. (In Russ.)

8. Ikoeva L. P., Khaeva O. E. Quantitative and qualitative indicators of different potato varieties depending on the use of the biological preparation. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2023; 23 (11): 22–33. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-23-11-22-33. (In Russ.)
9. Lyashko M. U., Tsvetkova U. V., Gressis V. O. Effect of humus preparations on chlorophyll content in leave and potato plant productivity on sandy soil in Moscow district. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2018; 13 (2): 85–92. DOI: 10.22363/2312-797X-2018-13-2-85-92. (In Russ.)
10. Methods of state variety testing of crops. Issue 1. The general part. Moscow: Gossortkomissiya, 2019. 329 p. (In Russ.)
11. Pronko V. V., Korsakov K. V., Verkhovtseva N. V., Pronko N. A. The influence of foliar treatment with fertilizers based on humic acids on the yield and quality of irrigated potatoes in Saratov Zavolzhye. *Agrarian Scientific Journal*. 2023; 6: 58–63. DOI: 10.28983/asj.y2023i6pp58-63. (In Russ.)
12. Serderov V. K., Karaev M. K., Atamov B. K. Potatoes varieties cultivation for industrial processing. *Vestnik of the Russian Agricultural Science*. 2020; 3: 59–61. DOI: 10.30850/vrsn/2020/3/59-61. (In Russ.)
13. Usanova Z. I., Pryadein S. E. The effect of humic preparations on the productivity and quality of the crop of potato varieties with purple pulp of tubers. *Potato and Vegetables*. 2020; 6: 27–31. DOI: 10.25630/PAV.2020.73.35.004. (In Russ.)
14. Uromova I. P., Kozlov A. V. The influence of biologics on potato productivity and quality. *International Journal of Applied and Fundamental Research*. 2020; 5: 77–81. (In Russ.)
15. Chen C.-T., Setter T. L. Role of tuber developmental processes in response of potato to high temperature and elevated CO₂. *Plants*. 2021; 10: 871. DOI: 10.3390/plants10050871.
16. Ginter A., Zarzecka K., Gugała M. Effect of Herbicide and Biostimulants on Production and Economic Results of Edible Potato. *Agronomy*. 2022; 12: 1409. DOI: 10.3390/agronomy12061409.
17. Mijwel Kh., Abed Al-Aedha A. N., Bresim T. H. Effect of compost and humic acid on potato growth and quality. *Engineering and Technology Journal*. 2019; 37 C (1): 145–148. DOI: 10.30684/etj.37.1C.23.

Author's information:

Larisa P. Ikoeva, candidate of agricultural sciences, department of adaptive landscape agriculture, North Caucasus Scientific Research Institute of Mountain and Foothill Agriculture – branch of the Federal Center “Vladikavkaz Scientific Center of the Russian Academy of Sciences”, Mikhaylovskoe village, Republic of North Ossetia – Alania, Russia; ORCID 0000-0003-1737-3180, AuthorID 508900. E-mail: ikoeval@bk.ru.