

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 635.21:631.5

<https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-3-19-26>

Урожайность и качество насыщенного селеном картофеля, выращенного из клубней 10-15 мм

В.И. Старовойтов¹, О.А. Старовойтова², А.А. Манохина^{3✉}, О.С. Хутинаев⁴, М.И. Пехальский⁵

^{1, 2, 4, 5} Федеральный исследовательский центр картофеля имени А.Г. Лорха; п. Красково, Московская область, Россия

³ Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; г. Москва Россия

¹ agronir1@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-9365-7631>

² agronir2@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8293-6579>

³ alexman80@list.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9785-1164>

⁴ okosk@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1487-4038>

⁵ 5488144@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8792-3451>

Аннотация. Мелкие миниклубни до 15 мм можно использовать при выращивании продовольственного картофеля, насыщенного дефицитными микроэлементами, – например, селеном, являющимся мощным иммуномодулятором и антиоксидантом. Для этого необходимо определить оптимальную концентрацию селена, наносимого на растения. Исследования проведены с целью изучения основных показателей качества и урожайности насыщенного селеном продовольственного картофеля, выращенного из нестандартных миниклубней размером 10...15 мм. Исследования проводились в 2019-2021 гг. на сортах Гулливер, Аметист и Гранд, выращенных на дерново-подзолистой среднеокультуренной супесчаной почве. Схема опыта включала в себя 2 варианта: контроль – без обработки; опыт – листовая обработка растений селенитом натрия в дозе 3 г/га. В соответствии с существующими методиками исследовали качество выращенного урожая: изучали содержание крахмала, сухого вещества, нитратов и селена, потемнение мякоти сырых и вареных клубней, вкус клубней картофеля. Усредненная валовая урожайность по сортам составила 17,3...18,7 т/га, товарность по размеру клубней – 96,5...97,4%. В среднем за 3 года прибавка урожая товарных клубней от применения селенита натрия составила 1,1...1,8 т/га. Содержание селена в клубнях 0,11...0,24 мг/кг сырого веса не превысило предельно допустимую концентрацию в картофеле 0,5 мг/кг. Листовая обработка селенитом натрия в дозе 3 г/га не оказала значительного влияния на показатели качества клубней картофеля, но по отношению к контролю увеличила содержание селена в клубнях на 0,06...0,10 мг/кг сырого веса. Рентабельность выращивания продовольственного картофеля из мелких нестандартных мини-клубней, полученных аэрогидропонным способом и листовой обработкой растений селенитом натрия, в зависимости от сорта составила 16,1...28,6%. Для получения оптимального содержания селена в клубнях предложено увеличить концентрацию селенита натрия и продолжить исследования по повышению урожайности и улучшению качества клубнеплодов.

Ключевые слова: миниклубни картофеля, селен, листовая обработка селенитом натрия, урожайность, качество клубней

Благодарности: Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБНУ «ФИЦ картофеля имени А.Г. Лорха». Аналитическое исследование содержания селена в клубнях проводили с использованием оборудования НИЦ «Курчатовский институт» – ИРЕА.

Для цитирования: Старовойтов В.И., Старовойтова О.А., Манохина А.А., Хутинаев О.С., Пехальский М.И. Урожайность и качество насыщенного селеном картофеля, выращенного из клубней 10-15 мм // *Агроинженерия*. 2024. Т. 26, № 3. С. 19-26. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-3-19-26>

ORIGINAL ARTICLE

Yield and quality of selenium-rich potatoes grown from 10-15 mm tubers

V.I. Starovoitov¹, O.A. Starovoitova², A.A. Manokhina³✉, O.S. Khutinaev⁴, M.I. Pekhalskiy^{1,2,4,5} Russian Potato Research Centre (RCPR); Kraskovo, Moscow region, Russia³ Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; Moscow, Russia¹ agronir1@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-9365-7631>² agronir2@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8293-6579>³ alexman80@list.ru✉; <https://orcid.org/0000-0002-9785-1164>⁴ okosk@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1487-4038>⁵ 5488144@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8792-3451>

Abstract. Small mini-tubers up to 15 mm can be used for growing high-quality food potatoes saturated with scarce trace elements, for example, selenium, which is a powerful immunomodulator and antioxidant. This requires determining the optimum concentration of selenium applied to plants. The authors studied the yield and basic quality indicators of selenium-saturated food potato tubers grown in 2019-2021 from non-standard mini-tubers with a size of 10 to 15 mm. The research was conducted in 2019-2021 on varieties Gulliver, Ametist and Grand grown on sod-podzolic medium-cultivated sandy loam soil. The experiment course included two options: control – without treatment, experiment – leaf treatment of plants with sodium selenite. The studies were carried out in accordance with the existing methods. As a result of the experiment, the average gross yield was 17.3 to 18.7 t/ha, the marketability in terms of tuber size was 96.5 to 97.4%. In the experiment samples, the selenium content in tubers averaged 0.040 to 0.0375 mg/kg over three years, which does not exceed the maximum permissible concentration in potatoes of 0.5 mg/kg. When using leaf treatment with sodium selenite, the increase in the selenium content in tubers relative to the control was 0.08 to 0.10 mg/kg of raw weight. Leaf treatment with sodium selenite at a dose of 3 g/ha did not significantly affect the quality of potato tubers, but increased the selenium content in tubers to 0.06 to 0.10 mg/kg of raw weight. The profitability of growing food potatoes from small non-standard mini-tubers obtained by the aeroponic method and leaf treatment with sodium selenite, depending on the variety, is 16.1 to 28.6%. To obtain optimum selenium content in tubers, it is proposed to increase the concentration of sodium selenite and continue research on increasing yield and improving the quality of tubers.

Keywords: potato mini-tubers, selenium, leaf treatment with sodium selenite, yield, quality of tubers

Acknowledgements: The work was performed within the framework of the state assignment of the Russian Potato Research Centre; an analytical study of the selenium content in tubers was carried out using the equipment of the Kurchatov Institute Research Center – All-Union Research Institute of Chemical Reagents and Highly Pure Chemical Substances (IREA).

For citation: Starovoitov V.I., Starovoitova O.A., Manokhina A.A., Khutinaev O.S., Pekhalskiy M.I. Yield and quality of selenium-rich potatoes grown from 10-15 mm tubers. *Agricultural Engineering (Moscow)*, 2024;26(3):19-26. (In Russ.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-3-19-26>

Введение

Миниклубни картофеля фракций 15...25 и 25...35 мм широко применяются для получения здорового семенного материала и тиражирования сортов. Мелкие миниклубни до 15 мм в семеноводстве бракуются как не соответствующие требованиям, но их можно использовать при выращивании качественного продовольственного картофеля. Из мелких миниклубней картофеля размером менее 15 мм можно получить достойный урожай – 18,0...24,3 т/га [1, 2]. К тому же картофель можно насытить дефицитными микроэлементами.

У части населения планеты, в том числе России, выявлен дефицит семи элементов: Fe, Ca, Mg, I, Se,

Zn, Cu [3]. Селен – это мощный иммуномодулятор, природный антиоксидант. У многих жителей России уровень селена в сыворотке крови составляет менее 75 мкг/л при норме 115...120 мкг/л¹.

Для увеличения эффективности защиты людей и животных от разных стрессовых состояний в США, Китае и многих странах Западной Европы выполняются государственные программы, направленные на производство пищевых добавок (селена) [4]. К 2030 г. мировая потребность в селене может вырасти до 8...9 тыс. т/год [5].

¹ Голубкина Н.А., Соколов Я.А. Биоритмы селена: монография. М.: Изд-во ВНИИССОК, 2012. 65 с.

Пониженное содержание селена в почве отмечено в Китае, Швеции, Финляндии, России (Бурятия и Читинская обл.) [6]. Некоторые страны (Финляндия, Новая Зеландия, Китай и США) в качестве решения проблемы селенодефицита видят применение селеносодержащих удобрений для получения недостающего живым организмам селена в пищевой цепи [7] или добавление селена в корм животным [8].

Обогащение растений селеном осложнено ввиду малой устойчивости многих растений к высоким концентрациям микроэлемента. Еще не изучены оптимальные концентрации Se для различных видов растений и, в частности, конкретных сортов. Поэтому актуальным является проведение в полевых условиях исследований по выращиванию картофеля из мелких мини-клубней фракции 10...15 мм с листовой обработкой селеносодержащими препаратами и определение пригодности полученного урожая в продовольственных целях.

Цель исследований: определение урожайности и основных показателей качества насыщенного селеном продовольственного картофеля из нестандартных мини-клубней размером 10...15 мм.

Материалы и методы

Миниклубни раннего сорта Гулливер и средне-ранних сортов Аметист и Гранд выращены в лаборатории ФГБНУ «ФИЦ картофеля имени А.Г. Лорха» на аэрогидропонных устройствах с комбинированной системой питания [1, 9]. Сбор мини-клубней начинали через 60 дней после высадки растений. За период вегетации общий сбор миниклубней (10...15 мм) составлял более 100 шт. на 1 растение. Собранные миниклубни просушивали, озеленяли и хранили с сентября до мая в холодильной камере по традиционной технологии.

Посадку миниклубней осуществляли в п. Красково Московской области на опытном поле с дерново-подзолистой среднеоккультуренной супесчаной почвой в 2019-2021 гг. Опыт выполнен согласно схеме в соответствии с методиками^{2,3,4}; площадь учетной делянки составляла 21 м²; размещение делянок – систематиче-

ское; густота посадки – 44,4 тыс. кустов/га; ширина междурядий – 75 см [1].

Осенью для подготовки опытного поля выполнили зяблевую вспашку. После зимы проводили дискование тяжелой бороной и нарезку гребней. Опыт выполняли на фоне дробно-локального внесения минеральных удобрений в дозах N₄₀P₄₀K₇₀ (перед посадкой) и N₄₀P₄₀K₄₀ (при уходе за посадками).

Посадку опытного участка выполняли картофелесажалкой с ручной подачей пророщенных семенных миниклубней размером 10...15 мм и массой 3...5 г. Схема опыта включала в себя два варианта: 1 (контроль) – без обработки; 2 (опыт) – с листовой обработкой селеносодержащим препаратом. В качестве селеносодержащего препарата выбран селенит натрия Na₂SeO₃ НИЦ «Курчатовский институт» – ИРЕА (массовая доля натрия селенистокислого – не менее 98,7%; массовая доля нерастворимых в воде веществ, сульфатов, хлоридов, железа, азота, теллура – не более 0,003...0,03%) в дозе 0,01 г/л. Расход воды – из расчета 300 л/га.

В течение вегетации применяли средства защиты растений согласно общепринятой схеме [1].

Периоды вегетации растений картофеля (с 1 мая по 31 августа) были благоприятными по метеословиям: 2019 г. – влажный год (гидротермический коэффициент ГТК = 1,38), 2020 г. – очень влажный год (ГТК = 2,1), 2021 г. – слабо-засушливый год (ГТК = 1,096) [1].

Валовую и товарную урожайность выращенного картофеля определяли в третьей декаде августа. Изучали показатели качества клубней: содержание крахмала и сухого вещества (весовым методом); содержание нитратов (ионометрически) и селена в клубнях по применяемой в ИРЕА методике о селеносодержащих препаратах (пробоподготовка: клубни мыли, перетирали до кашеобразного состояния, переносили в автоклавы для микроволнового вскрытия и растворяли в концентрированной азотной кислоте при температуре 170°C); потемнение мякоти сырых и вареных клубней и вкус клубней картофеля оценивался по шкале от 1 до 9.

Результаты и их обсуждение

Урожайность зависит от метеословий в течение года, сортовых особенностей культуры и применяемых технологических приемов [10, 11]. Три периода вегетации оказались благоприятными для выращивания картофеля, и в среднем по всем испытываемым сортам валовая урожайность составила 17,3...18,7 т/га [1], урожайность товарных по размеру клубней – 16,6...18,0 т/га (рис. 1), или 96,5...97,4% от валовой урожайности (табл. 1).

² Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований): Учебное пособие. 5-е изд., доп. и перераб. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.

³ Методика исследований по культуре картофеля. М.: НИИКХ, 1967. 263 с.

⁴ Жевора С.В., Федотова Л.С., Старовойтов В.И., Зейрук В.Н., Коршунов А.В., Пшеченков К.А., Тимошина Н.А., Мальцев С.В., Старовойтова О.А., Васильева С.В., Васильева С.В., Шабанов А.Э., Деревягина М.К., Белов Г.Л., Киселев А.И., Князева Е.В. Методика проведения агротехнических опытов, учетов, наблюдений и анализов на картофеле. М., 2019. 120 с.

Средняя потенциальная товарная урожайность картофеля, выращиваемого из зрелых клубней класса Элита, соответствует данным селекционеров (табл. 1, рис. 1) [1].

Самая высокая урожайность наблюдалась у раннего сорта Гулливер: валовая – 18,6...20,3 т/га, товарная – 18,1...19,7 т/га (табл. 1, рис. 1). Среднеранний сорт Аметист имеет наименьшую урожайность (валовая – 15,1...16,3 т/га, товарная – 14,7...15,8 т/га). Средняя товарная урожайность по сортам в 2019 г. составила 17,6 т/га; в 2020 г. – 18,0 т/га; в 2021 г. – 16,6 т/га. НСР₀₅ – соответственно 1,65; 2,24 и 1,69 т/га.

В среднем за 3 года прибавка урожая товарных клубней от применения селенита натрия составила 1,1...1,8 т/га.

Валовая урожайность контрольных вариантов составила 66...89% от возможной потенциальной урожайности данных сортов [1]. Следовательно,

при благоприятных условиях посадкой мелких нестандартных миниклубней, выращенных аэродропным способом, можно получить более 70% от возможной потенциальной урожайности.

Пригодность продовольственной продукции определялась по качественным показателям [12]. Крахмалистость клубней сорта Аметист составила 14,2...14,3% при потенциально возможных для данного сорта 15,0...16,0%, у сорта Гулливер – 11,9...12,4% при сортовых особенностях 14,1...15,4% (рис. 2). У сорта Гранд содержание крахмала составило 17,0...17,2%, оказавшись на уровне потенциально возможных значений 13,4...18,0% [1], что говорит о полной физиологической зрелости клубней для употребления их в продовольственных целях. НСР₀₅ за годы исследований составила 1,63% (2019 г.); 1,45% (2020 г.); 0,92% (2021 г.).

Таблица 1

Показатели продуктивности картофеля в зависимости от сорта и применения селеносодержащего препарата, т/га

Table 1

Potato productivity indicators depending on the variety and application of selenium-containing preparation, t/ha

Сорт Variety	Валовая урожайность, т/га / Gross yield, t/ha				Товарность, % Marketability, %	Потенциально возможная урожайность сорта, т/га Yield prospects of the variety, t/ha	± к потенциально возможной урожайности ± to yield prospects	
	2019 г.	2020 г.	2021 г.	Среднее за 2019-2021 гг.			т/га / t/ha	%
Аметист, контроль	15,2	15,3	14,8	15,1	97,2	22,5	7,4	67,1
Аметист, опыт	16,5	17,3	15,1	16,3	97,3		6,2	72,4
Гранд, контроль	18,2	17,1	17,6	17,6	96,5	25,1	7,5	70,3
Гранд, опыт	18,5	21,9	19,4	19,9	96,7		5,2	79,4
Гулливер, контроль	18,4	19,8	17,6	18,6	97,1	22,3	3,7	83,4
Гулливер, опыт	20,7	21,0	19,2	20,3	97,4		2,0	91,0
Среднее	17,9	18,7	17,3	18,0	97,0	23,3	-	-
НСР ₀₅	1,72	2,34	1,79	-	-	1,28	-	-



Рис. 1. Урожайность клубней картофеля в зависимости от сорта и применения селеносодержащего препарата, т/га (усредненная за 2019-2021 гг.)

Fig. 1. Potato tuber yield depending on the variety and application of selenium-containing preparation, t/ha (averaged for 2019-2021)

Клубни сортов Аметист и Гулливер в обоих вариантах содержали менее 20% сухого вещества, у сорта Гранд содержание сухого вещества выше – 23,1...23,5% [1].

Во всех вариантах содержание нитратов не превышало предельно допустимую концентрацию (ПДК) 250 мг/кг [1]. Применение селенита натрия в среднем за 3 года не оказало значительного влияния на содержание нитратов в клубнях. В опытных образцах этот показатель имел значение 199...226 мг/кг, в контрольных – 183...219 мг/кг.

Потемнение сырой и вареной мякоти оценивалось по шкале: 1 – темнеет очень сильно; 3 – темнеет сильно по всей поверхности; 5 – темнеет умеренно; 7 – темнеет слабо; 9 – не темнеет. Данный показатель для клубней сорта Гулливер составил 7,8...8,3 балла, поэтому можно рекомендовать использовать его при вакуумировании, заморозке в очищенном виде. Клубни сорта Гранд оказались умеренно потемневшими – 5,8...6,8 балла (рис. 3). Мякоть вареных клубней сортов Гулливер и Гранд во всех вариантах получила высокие оценки – выше 8 баллов. В 2019 г. НСР₀₅ составила 0,97 (сырая мякоть) и 0,96 (вареная мякоть);

в 2020 г. – 1,05 (сырая мякоть) и 0,29 (вареная мякоть); в 2021 г. – 0,77 (сырая мякоть) и 0,33 (вареная мякоть).

Вкус клубней картофеля оценивался по шкале: 1 – плохой (неприятный, горький); 3 – пресный; 5 – удовлетворительный; 7 – хороший; 9 – отличный. Более вкусными оказались клубни сорта Гулливер (7,5 балла), сорт Гранд оценен на 6,5...7,0 баллов, Аметист – на 6,0...6,2 балла (рис. 4). Применение селенита натрия не оказало значительного влияния на потемнение мякоти и вкусовые качества клубней. В 2019 г. НСР₀₅ составила 0,11; в 2020 г. – 0,25; в 2021 г. – 0,41.

Содержание селена в клубнях при применении листовой обработки селенитом натрия в среднем за 3 года колебалось в пределах 0,11...0,24 мг/кг и не превышало предельно допустимой концентрации в картофеле 0,5 мг/кг. По отношению к контролю содержание селена в клубнях увеличилось на 0,06...0,10 мг/кг сырого веса (рис. 5).

Себестоимость мини клубней стандартной фракции составила 4,00...8,00 руб/шт. Для определения экономической эффективности себестоимость нестандартных мелких мини клубней принята за 4,00 руб/шт. Себестоимость выращенного в полевых условиях

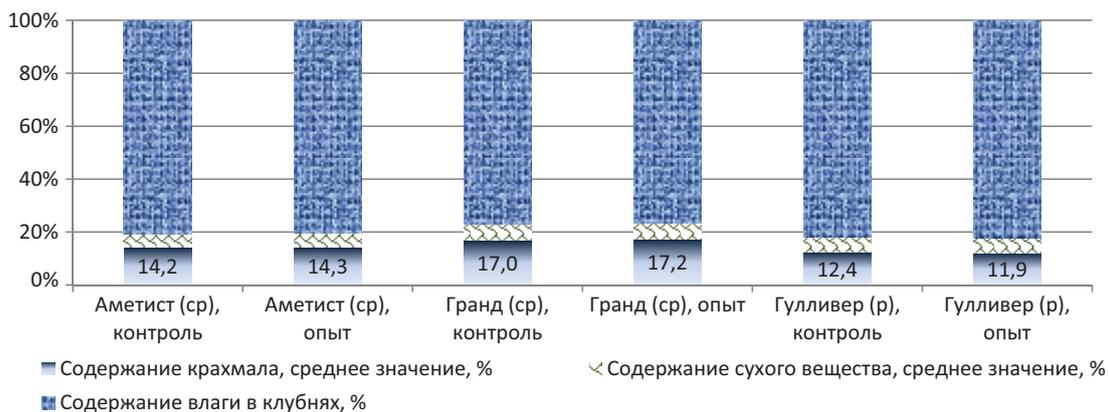


Рис. 2. Содержание крахмала, сухого вещества и влаги в клубнях картофеля в зависимости от сорта и применения селенсодержащего препарата (усредненное за 2019-2021 гг.)

Fig. 2. Starch, dry matter, and moisture content of potato tubers depending on the variety and application of selenium-containing preparation (averaged for 2019-2021)

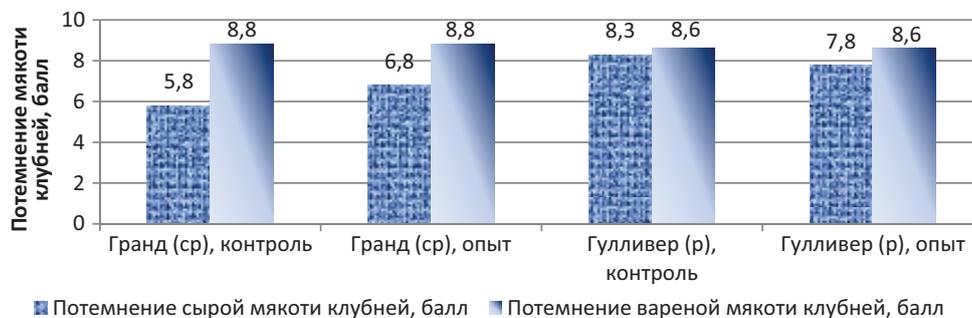


Рис. 3. Потемнение мякоти клубней в зависимости от применения селенсодержащего препарата (усредненное за 2019-2021 гг.)

Fig. 3. Darkening of tuber flesh depending on the application of selenium-containing preparation (averaged over 2019-2021)

картофеля составила 11,7...15,5 руб/кг. При расчетной цене реализации 17 руб/кг доход от выращивания картофеля составил 21,7...104,0 тыс. руб/га (в зависимости от сорта и варианта), рентабельность – соответственно 16,1...28,6% (рис. 6).

Результаты исследований показывают, что производство картофеля, выращенного из мелких

миниклубней фракции 10...15 мм с листовой обработкой селеносодержащими препаратами, является экономически целесообразным. Применение селенита натрия не ухудшило качество клубней опытных образцов. Для получения оптимального содержания селена в клубнях необходимо увеличение концентрации вносимого селена на растения [13].

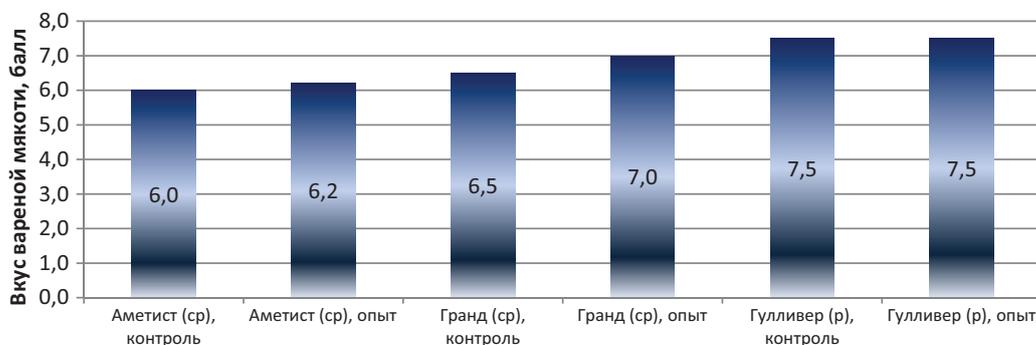


Рис. 4. Вкус вареной мякоти в зависимости от сорта и применения селеносодержащего препарата (среднее за 2019-2021 гг.)

Fig. 4. Flavor of cooked pulp depending on the variety and application of selenium-containing preparation (averaged over 2019-2021)

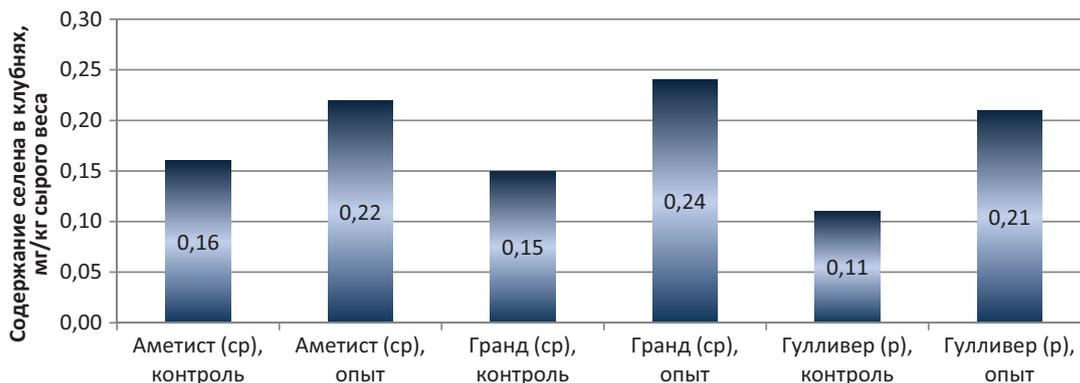


Рис. 5. Содержание селена в клубнях контрольных и опытных образцов, мг/кг сырого веса

Fig. 5. Selenium content in tubers of the control and experiment samples, mg/kg of raw weight

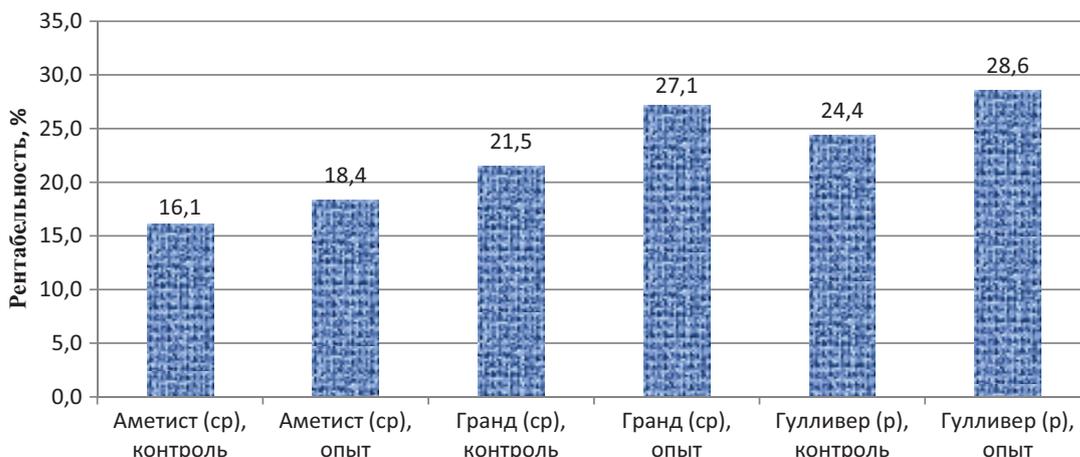


Рис. 6. Экономическая эффективность производства картофеля из миниклубней в зависимости от сорта и применения селеносодержащего препарата (среднее за 2019-2021 гг.)

Fig. 6. Economic efficiency of potato production from minitubers depending on the variety and application of selenium-containing preparation (average for 2019-2021)

Выводы

1. Посадочные клубни картофеля размером 10...15 мм при благоприятных условиях в среднем могут обеспечить валовую урожайность до 18,7 т/га и товарную урожайность до 18,0 т/га. Прибавка урожая товарных клубней от применения селенита натрия может превышать 2 т/га (13%).

2. Применение селенита натрия в дозе 3 г/га не оказывает значительного влияния на показатели качества клубней. Листовая обработка селенитом натрия позволяет увеличить содержание селена в клубнях до 0,08...0,10 мг/кг сырого веса. Для получения

оптимального содержания селена в клубнях необходимо увеличение концентрации вносимого селена на растения.

3. Экономически целесообразно выращивать продовольственный картофель из мелких нестандартных мини-клубней, полученных аэрогидропонным способом и с выполнением листовой обработки селенитом натрия; рентабельность в зависимости от сорта составляет 16,1...28,6%.

4. Необходимо расширить направление исследований по насыщению клубней селеном, повышению урожайности и улучшению качества клубнеплодов.

Список источников

1. Старовойтов В.И., Старовойтова О.А., Манохина А.А., Шабанов Н.Э., Филиппова С.В. Выращивание продовольственного картофеля из мини-клубней мелкой фракции, полученных в условиях водно-воздушной культуры // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2022. Т. 15, № 4 (75). С. 38-51. https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2022_4_38

2. Анисимов Б.В., Зебрин С.Н., Карданова И.С., Логинов С.И., Кузьмичев А.А. Особенности выращивания мини-клубней в тоннельных укрытиях и проверка их качества методом грунтоконтроля // Картофелеводство: Материалы Международной научно-практической конференции «Инновационные технологии селекции и семеноводства картофеля» (Москва, 29-30 июня 2017 г.). М.: ФГБНУ ВНИИКХ, 2017. С. 230-240. EDN: YTDFUD

3. White P.J., Broadley M.R. Biofortification of crops with seven mineral elements often lacking in human diets – iron, zinc, copper, calcium, magnesium, selenium and iodine. *New Phytologist*. 2009;182(1):49-84. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2008.02738.x>

4. Zimmermann M.B., Köhrle J. The impact of iron and selenium deficiencies on iodine and thyroid metabolism: biochemistry and relevance to public health. *Thyroid*. 2002;12(10):867-878. <https://doi.org/10.1089/105072502761016494>

5. Кульчицкий Н.А., Наумов А.В. Современное состояние рынков селена и соединений на его основе // Известия высших учебных заведений. Цветная металлургия. 2015. № 3. С. 40-48. <https://doi.org/10.17073/0021-3438-2015-3-40-48>

6. Аристархов А.Н., Бусыгин А.С., Яковлева Т.А. Дефицит селена в почвах и растениях Северо-Восточного Нечерноземья как индикатор необходимости применения селеновых удобрений // Международный сельскохозяйственный журнал. 2018. № 1. С. 31-36. EDN: LKEBGS

7. Голубкина Н.А., Кекина Е.Г., Надежкин С.М. Перспективы обогащения сельскохозяйственных растений йодом и селеном (обзор) // Микроэлементы в медицине. 2015. Т. 16, № 3. С. 12-19. EDN: UZNFCJ

8. Brown T.J., Idoine N., Raycraft E.R., Shaw R.A., Deady E.A., Rippingale J., Bide T., Wrighton C.E., Rodley J. *World Mineral Production 2008-2012. Centenary Edition*. Nottingham, UK: British Geological Survey, 2014. 126 p.

9. Хутинаев О.С., Старовойтов В.И., Старовойтова О.А., Манохина А.А., Шабанов Н.Э., Колесова О.С. Выращивание мини-клубней картофеля и топинамбура в условиях водно-воздушной культуры с использованием искусственного освещения // Вестник ФГОУ ВПО «МГАУ имени В.П. Горячкина». 2018. № 4 (86). С. 7-14. <https://doi.org/10.26897/1728-7936-2018-4-7-14>

10. Жевора С.В., Федотова Л.С., Тимошина Н.А., Князева Е.В., Шабанов А.Э., Киселев А.И. Урожайность и качество

References

1. Starovoitov V.I., Starovoitova O.A., Manokhina A.A., Shabanov N.E., Filippova S.V. Food potato growing from mini-tubers of small fraction obtained under conditions of water-air culture. *Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2022;15(4):38-51. (In Russ.) https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2022_4_38

2. Anisimov B.V., Zebrin S.N., Kardanova I.S., Loginov S.I., Kuzmichev A.A. Peculiarities of growing mini-tubers in tunnels and checking their quality with the soil control method. *Potato Growing: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference "Innovative technologies for selection and seed production of potatoes"* (Moscow, June 29-30, 2017). Moscow, FGBNU VNIKKh, 2017. Pp. 230-240. (In Russ.)

3. White P.J., Broadley M.R. Biofortification of crops with seven mineral elements often lacking in human diets – iron, zinc, copper, calcium, magnesium, selenium and iodine. *New Phytologist*. 2009;182(1):49-84. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2008.02738.x>

4. Zimmermann M.B., Köhrle J. The impact of iron and selenium deficiencies on iodine and thyroid metabolism: biochemistry and relevance to public health. *Thyroid*. 2002;12(10):867-878. <https://doi.org/10.1089/105072502761016494>

5. Kul'chitskii N.A., Naumov A.V. Modern State of Markets of Selenium and Selenium-Based Compounds. *Izvestiya. Non-Ferrous Metallurgy*. 2015;(3):40-48. (In Russ.) <https://doi.org/10.17073/0021-3438-2015-3-40-48>

6. Aristarkhov A.N., Busygin A.S., Yakovleva T.A. Selenium deficiency in soils and plants of the North-Eastern Non-Black Earth Region as an indicator of the need to use selenium fertilizers. *Mezhdunarodnyi Sel'skokhozyaistvennyi Zhurnal*. 2018;1:31-36. (In Russ.)

7. Golubkina N.A., Kekina E.G., Nadezhkin S.M. Prospects for enriching agricultural plants with iodine and selenium (review). *Trace Elements in Medicine (Moscow)*. 2015;16(3):12-19. (In Russ.)

8. Brown T.J., Idoine N., Raycraft E.R., Shaw R.A., Deady E.A., Rippingale J., Bide T., Wrighton C.E., Rodley J. *World Mineral Production 2008-2012. Centenary Edition*. Nottingham, UK: British Geological Survey, 2014. 126 p.

9. Khutinaev O.S., Starovoitov V.I., Starovoitova O.A., Manokhina A.A., Kolesova O.S. Growing minitubers of potato and Jerusalem artichoke in a water-air environment under artificial lighting. *Vestnik of Moscow Goryachkin Agroengineering University*. 2018;4:7-14. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/1728-7936-2018-4-7-14>

10. Zhevara S.V., Fedotova L.S., Timoshina N.A. Knyazeva E.V., Shabanov A.E., Kiselev A.I. Productivity and quality of promising potato varieties depending on biological characteristics and climatic conditions. *AgroInnovatsii*. 2020;1-2:20-37 (In Russ.)

11. Starovoitova O.A., Starovoitov V.I., Manokhina A.A., Boyko Yu.P., Masyuk Yu.A. Influence of environmental

перспективных сортов картофеля в зависимости от биологических особенностей и климатических условий // Агро-инновации. 2020. № 1-2 (3-4). С. 20-37. EDN: TCQRHD

11. Старовойтова О.А., Старовойтов В.И., Манохина А.А., Бойко Ю.П., Масюк Ю.А. Влияние средовых факторов со снижением пестицидной нагрузки на формирование урожая картофеля // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина». 2019. № 2 (90). С. 30-34. EDN: ZDPQUX

12. Шабанов А.Э., Киселев А.И., Федотова Л.С., Тимошина Н.А., Князева Е.В. Продуктивность и качество сортов картофеля нового поколения // Картофель и овощи. 2019. № 3. С. 25-27. <https://doi.org/10.25630/PAV.2019.21.36.005>

13. Сычев В.Г., Аристархов В.Г., Яковлева Т.А., Панасин В.И., Бусыгин А.С. Проблема селена и ее решение агрохимическими средствами состояние исследований по проблеме селена в агроэкосистемах // Плодородие. 2015. № 4. С. 2-5. EDN: UAXISZ

Информация об авторах

Виктор Иванович Старовойтов¹, д-р техн. наук, профессор; agronir1@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-9365-7631>

Оксана Анатольевна Старовойтова², д-р с.-х. наук; agronir2@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8293-6579>

Александра Анатольевна Манохина³, д-р с.-х. наук, доцент; alexman80@list.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9785-1164>

Олег Сосланбекович Хутинаев⁴, канд. с.-х. наук; okosk@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1487-4038>

Максим Игоревич Пехальский⁵, аспирант; 5488144@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8792-3451>

^{1,2,4,5} Федеральное исследовательское учреждение «Центр картофеля имени А.Г. Лорха»; 140051, Российская Федерация, Московская область, Люберецкий район, п. Красково, ул. Лорха, 23, литер В

³ Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49

Вклад авторов

В.И. Старовойтов – научное руководство исследованием, формулирование основных направлений исследования, цели и задач, формулирование общих выводов;

О.А. Старовойтова – методология проекта, проведение исследований, формальный анализ, формулирование общих выводов, создание окончательной версии (доработка) рукописи и ее редактирование;

А.А. Манохина – анализ литературных источников для постановки цели, создание черновика рукописи, формулирование общих выводов, создание окончательной версии (доработка) рукописи и ее редактирование;

О.С. Хутинаев – проведение исследований, формальный анализ, создание черновика рукописи, формулирование общих выводов;

М.И. Пехальский – проведение исследований, визуализация.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и несут ответственность за плагиат

Статья поступила 21.01.2024, после рецензирования и доработки 08.04.2024; принята к публикации 09.04.2024

factors on the decrease of pesticide effect on potato yield. *Vestnik of Moscow Goryachkin Agroengineering University*. 2019;2:30-34. (In Russ.)

12. Shabanov A.E., Kiselev A.I., Fedotova L.S., Timoshina N.A., Knyazeva E.V. Productivity and quality of the new generation of potato varieties. *Potato and Vegetables*. 2019;3:25-27. (In Russ.) <https://doi.org/10.25630/PAV.2019.21.36.005>

13. Sychev V.G., Aristarkhov A.N., Yakovleva T.A., Panasin V.I., Busygin A.S. Problem of selenium and its solution by agrochemical means the current state of research on the problem of selenium in agroecosystems. *Plodородие*. 2015;4:2-5. (In Russ.)

Author Information

Viktor I. Starovoitov¹, DSc (Eng) agronir1@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-9365-7631>

Oksana A. Starovoitova², DSc (Ag) agronir2@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8293-6579>

Aleksandra A. Manokhina³, DSc (Ag) alexman80@list.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9785-1164>

Oleg S. Khutinaev⁴, PhD of agricultural Sciences okosk@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1487-4038>

Maksim I. Pekhalskiy⁵, postgraduate student; 5488144@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8792-3451>

^{1,2,4,5} Russian Potato Research Centre (RCPR), Lorkh str., 23, liter V, Kraskovo, Lyubertsy district, Moscow region, 140051, Russian Federation

³ Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Timiryazevskaya Str., 49, Moscow, 127434, Russian Federation

Author Contribution

V.I. Starovoitov – research supervision, formulation of the main goal and objectives of the research, general conclusions;

O.A. Starovoitova – project methodology, research, formal analysis, formulation of general conclusions, finalizing (reviewing and editing) of the manuscript;

A.A. Manokhina – literary review for goal setting, writing – original draft preparation, formulation of general conclusions, finalizing (reviewing and editing) of the manuscript;

O.S. Khutinaev – investigation, formal analysis, writing – original draft preparation, formulation of general conclusions;

M.I. Pekhalskiy – investigation, visualization.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article and bear equal responsibility for plagiarism.

Received 21.01.2024, Revised 08.04.2024, Accepted 09.04.2024