

Оригинальные статьи / Original article

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2022-1-93-97>
УДК 634.711:634.1.03:631.674.6(470.0)

О.А. Шуклина

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина Российской академии наук (ГБС РАН)
127276 г. Москва, ул. Ботаническая, д.4

*Автор для переписки:
oashuklina@gmail.com

Финансирование: Работа выполнена в рамках ГЗ ГБС РАН (№122020300187-2).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Шуклина О.А. Влияние дифференцированного внесения азотных удобрений на урожайность картофеля (*Solanum tuberosum* L.) сорта Снегирь. *Овощи России*. 2022;(1):93-97.
<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2022-1-93-97>

Поступила в редакцию: 01.01.2022

Принята к печати: 21.01.2022

Опубликована: 25.02.2022

Olga A. Shchuklina

Federal State Budgetary Institution of science Tsitsin Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences (GBS RAN)
4, Botanicheskaya st.,
Moscow, Russia, 127276

*Correspondence Author:
oashuklina@gmail.com

Funding: The work was carried out within the framework of the State Budget of Tsitsin Main Botanical Garden RAS (No. 122020300187-2).

Conflict of interest: The author declare that they have no conflict of interest.

For citations: Shchuklina O.A. The effect of differentiated application of nitrogen fertilizers on the yield of potatoes (*Solanum tuberosum* L.) of the Snegir variety. *Vegetable crops of Russia*. 2022;(1):93-97.(In Russ.)
<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2022-1-93-97>

Received: 01.01.2022

Accepted for publication: 21.01.2022

Published: 25.02.2022

Влияние дифференцированного внесения азотных удобрений на урожайность картофеля (*Solanum tuberosum* L.) сорта Снегирь



Резюме

Актуальность. Картофель относится к культурам, предъявляющим высокие требования к уровню минерального питания. Особенно остро он нуждается в азоте. Своевременное внесение расчетных доз азотных удобрений по результатам фотометрической диагностики растений позволяет рационально использовать удобрения и повышать урожайность картофеля.

Материал и методы. Исследования проведены в условиях Центрального района Нечерноземной зоны на дерново-подзолистых среднесуглинистых почвах с высоким содержанием подвижных форм фосфора и калия и низким содержанием гумуса (1,9%). Объект исследований – раннеспелый сорт картофеля Снегирь. Для пересчета дозы азотной подкормки была проведена фотометрическая диагностика посевов оптическим датчиком GreenSeeker RT200. Дополнительно до и после внесения подкормки было проведено обследование ручным N-тестером Yara. Перед основной уборкой урожая была проведена контрольная копка клубней для определения структуры урожая с разделением на 4 фракции.

Результаты. Было установлено, что внесение азотных удобрений в подкормку в фазу смыкания ботвы в виде аммиачной селитры в целом благоприятно влияет на рост и развитие картофеля. Это подтверждается результатами фотометрической диагностики N-тестером Yara проведенной в фазу увядания ботвы. При внесении подкормки фиксированной дозой показания N-тестера были выше, чем на контроле на 21,7%, при внесении удобрений дифференцированной дозой на 25,6%. Урожайность клубней картофеля увеличилась при внесении подкормки фиксированной дозой на 10,8%, дифференцированной на 14,5% по сравнению с контролем.

Ключевые слова: картофель, диагностика питания, минеральные удобрения, азот, подкормка, фотометрия

The effect of differentiated application of nitrogen fertilizers on the yield of potatoes (*Solanum tuberosum* L.) of the Snegir variety

Abstract

Relevance. Potatoes belong to crops that place high demands on the level of mineral nutrition. He needs nitrogen especially badly. Timely introduction of calculated doses of nitrogen fertilizers based on the results of photometric diagnostics of plants allows rational use of fertilizers and increase potato yields.

Material and methods. The studies were carried out in the conditions of the Central region of the Non-Chernozem zone on sod-podzolic medium loamy soils with a high content of mobile forms of phosphorus and potassium and a low humus content (1,9%). The object of research is an early-ripening potato variety Bullfinch. To recalculate the dose of nitrogen fertilizing, photometric diagnostics of crops was carried out with an optical sensor GreenSeeker RT200. Additionally, before and after fertilizing, a manual N-tester Yara was examined. Before the main harvest, a control digging of tubers was carried out to determine the structure of the crop with division into 4 fractions.

Results. It was found that the introduction of nitrogen fertilizers into the top dressing during the closing phase of the tops in the form of ammonium nitrate has a generally favorable effect on the growth and development of potatoes. This is confirmed by the results of photometric diagnostics performed by the Yara N-tester during the withering phase of the tops. When applying top dressing with a fixed dose, the N-tester readings were 21,7% higher than in the control, and when applying fertilizers with a differentiated dose by 25,6%. The yield of potato tubers increased when applying a fixed dose of top dressing by 10,8%, differentiated by 14,5% compared to the control.

Keywords: potatoes, nutrition diagnostics, mineral fertilizers, nitrogen, fertilizing, photometry

Введение

Картофель (*Solanum tuberosum* L.) в Российской Федерации традиционно имеет важное продовольственное значение. При значительных площадях возделывания (второе место в мире) – урожайность картофеля остается низкой. Основной причиной этого является – несбалансированность минерального питания [1-3]. При этом картофель относится к культурам, предъявляющим высокие требования к условиям питания. Одним из основных условий, определяющих среднюю урожайность клубней картофеля считается обеспеченность картофеля азотом [4,5]. С 1 т клубней и соответствующим количеством побочной продукции, картофель выносит из почвы 3,2-4,0 кг/га азота [6-7]. В результате ряда исследований, проведенных российскими и зарубежными учеными, установлено, что использование картофелем азота удобрений составляет не более 45% [8-10]. Повышение эффективности азотных удобрений при формировании урожайности основной и побочной продукции картофеля является приоритетной задачей земледелия [2]. Как недостаток, так и избыток азота отрицательно влияют на продуктивность клубней. Оптимальное же азотное питание кроме общего оказания положительного эффекта на рост и развитие растений приводит к улучшению усвояемости калия и фосфора [11-12]. Наибольшего эффекта от азотных удобрений можно добиться, если вносить их в подкормку по результатам оперативной диагностики состояния растений. На смену химическим способам диагностики пришли быстрые, неинвазивные способы, основанные на оптических свойствах хлорофилла, которые достаточно точно отражают физиологическое состояние растений и в том числе обеспеченность их азотом [13-15].

Цель исследований – обосновать влияние дифференцированного внесения доз азотных удобрений на основе NDVI на урожайность клубней картофеля.

Материалы и методы

Исследования проведены в условиях дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы (Полевая опытная станция РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, г. Москва, Российская Федерация), с очень высоким содержанием подвижных форм фосфора (P_2O_5 – 362-444 мг/кг почвы), высоким содержанием калия (K_2O – 125-135 мг/кг почвы) (ГОСТ 26207-91) и низким содержанием гумуса – 1,7-1,9% (ГОСТ 26213-91).

Объект изучения раннеспелый сорт картофеля Снегирь. Сорт столового назначения с высокими вкусовыми качествами, включен в Госреестр по Северо-Западному региону в 2001 году. Обладает высоким содержанием крахмала – 15,7-16,0%, дружно и рано формирует клубни с хорошей лежкостью (95%). Урожайность первой копки составляет 13,0 т/га (на уровне стандарта), второй копки – 21,0 т/га (на 4,0 т/га выше стандарта). Максимальная урожайность клубней 35,4 т/га. Сорт устойчив к возбудителю рака картофеля. Заявители – ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А.Г. Лорха», ФГБУН «Институт общей генетики им. Н. И. Вавилова».

Схема опыта включала 2 варианта внесения азотной подкормки в виде аммиачной селитры (NH_4NO_3): фиксированной дозой 90 кг/га д.в. азота в фазу смыкания ботвы (далее в тексте «фиксированная»); дифференцированное внесение азотной подкормки, рассчитанной по показателям, полученным с помощью оптического датчика GreenSeeker фирмы Trimble (США: Саннивейл, Калифорния) (далее в тексте «дифференцированная»). Дифференциация заключалась в колебании дозы азота, рассчитанной по коэффициенту отклонения от среднего показателя NDVI (Normalized Difference Vegetative Index), снятому со всех делянок опыта [16-17]. Повторность в опыте 24-х кратная (1



Рис.1. Подтопление в рядках (конец мая)
(фото Е. Энзекрей)
Fig.1. Flooding in rows (End of May)
(photo E. Enzekrey)

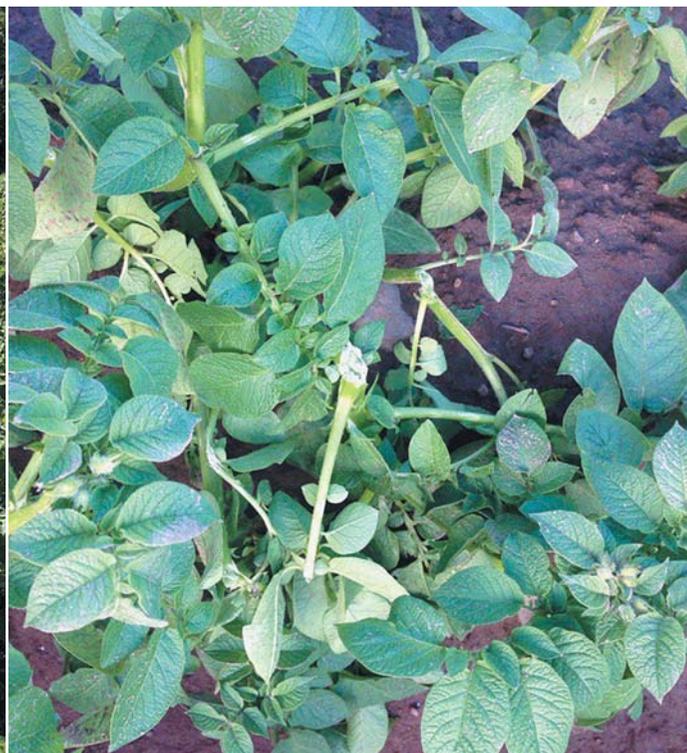


Рис.2. Последствия града (середина августа)
(фото В. Хохлачев)
Fig.2. Consequences of hail (mid-August)
(photo by V. Khokhlachev)

вариант = 3 блока по 8 делянок в каждом). В течение вегетации посадки картофеля обрабатывали следующими пестицидами: Танос, ВДГ – 0,6 кг/га (д.в. фамоксадон + цимоксанил); Полирам ДФ, ВДГ – 2,5 кг/га (д.в. метирам); Инфинито, КС – 1,2 л/га (д.в. флуопиколид + пропамокарб-гидрохлорид); Луна Транквилити, КС – 0,6 л/га (д.в. флуопирам + пириметанил); Волиам Флекси, СК – 0,2 л/га (д.в. тиаметоксам + хлорантранилипрол); Бискайя, МД – 0,25 л/га (д.в. тиаклоприд); Конфидор Экстра, ВДГ – 0,125 кг/га (д.в. имидаклоприд). Регистранты пестицидов: БАСФ СЕ, Байер КропСайенс АГ, ООО «Дюпон Наука и Технологии», ООО «Сингента». В период вегетации проводили учеты и наблюдения [18,19]. Математическая обработка полученных данных проводилась по методике Б.А. Доспехова [20].

Метеорологические условия были неблагоприятными для роста и развития картофеля. Температура воздуха по декадам месяцев за вегетационный период была на 1-5 градуса выше, чем среднемноголетние показатели. В первой декаде мая и третьей декаде июня дожди практически полностью отсутствовали. При этом обильные и продолжительные осадки, выпавшие в конце мая и в середине июля, привели к подтоплению части делянок. Осадки, выпавшие в середине августа, превышали осадки за среднемноголетние наблюдения в этот период в 4 раза и сопровождались градом, который повредил значительную часть листьев и стеблей картофеля.

Результаты и их обсуждение

В фазе смыкания ботвы картофеля была проведена диагностика оптическим датчиком GreenSeeker RT200 (рис.3). Датчик является частью системы дифференцированного внесения удобрений. Он предназначен для измерения NDVI (Normalized Difference Vegetative Index) посевов, показателя количества фотосинтетической активной биомассы. Полученные с датчика данные поступают в бортовой компьютер трактора, который передает сигнал на распределитель разбрасывателя удобрений. Принцип работы оптического датчика заключается в способности хлорофилла высших сосудистых растений поглощать солнечную радиацию в красной области спектра (0,6-0,7 мкм) и отражать ее в инфракрасной области спектра (0,7-1,0 мкм) [21].

Результаты обследования показали, что NDVI посевов на различных делянках варьировал от 0,54 до 0,94. В среднем по всему опытному полю, он составил 0,86. В результате пересчета доза азота для дифференцированного внесения на различных делянках составила от 83,6 кг/га (с высоким NDVI) до 105,6 кг/га (с низким NDVI).

Дополнительно перед внесением азотных удобрений на каждой делянке опыта было проведено обследование портативным N-тестером Yara. Принцип действия



Рис. 3. Фотометрическая диагностика картофеля оптическим датчиком GreenSeeker, 2016 год (фото О.А. Щуклина)
Fig. 3. Photometric diagnostics of potatoes with the GreenSeeker optical sensor, 2016 (photo by O.A. Shchuklina)

этого прибора также заключается в способности хлорофилла поглощать и отражать свет в разной области спектра [22]. Измерения проводятся на хорошо развитых, не поврежденных листьях верхнего яруса на типичных растениях. На показания прибора не влияют следующие факторы: время суток измерения, применение пестицидов, влага осадков или конденсат на листьях. Но так как производители не предлагают единиц измерения для полученных результатов, то мы описываем их как «условные единицы» (у.е.), некоторые исследователи используют «баллы» [23].

Результаты обследования посадок картофеля в каждой делянке до внесения удобрений показали, что в

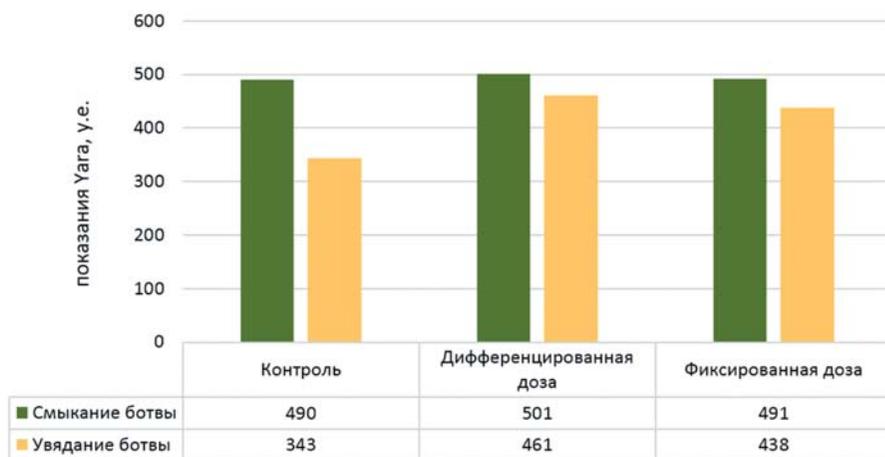


Рис. 4. Результаты фотометрической диагностики посадок картофеля N-тестером Yara
Fig. 4. Results of photometric diagnostics of potato plantings by the Yara N-tester

Таблица. Урожайность и структура урожая клубней картофеля, т/га
Table. Yield and yield structure of potato tubers, t/ha

Вариант	меньше 30 г	30-50 г	50-80 г	больше 80 г	Урожайность, т/га
Контроль	1,35	2,57	5,87	17,7	27,5
Дифференцированная доза	1,80	3,24	5,63	20,8	31,5
Фиксированная доза	1,79	3,01	6,26	19,5	30,5
НСР ₀₅	0,43	0,55	0,68	2,0	2,3

среднем по всей площади опыта показания прибора были примерно одинаковы и составили 490-501 у.е. При анализе показаний N-тестера по вариантам опыта максимальные значения прибора были схожи на всех вариантах, они составили 537-538 у.е. (рис.4). Средние минимальные значения были также близки: 442 (фиксированная), 453 (контроль), 459 (дифференцированная).

Известно, что азот увеличивает длину вегетации растений. С одной стороны – это положительное явление, так как листья продолжают фотосинтезировать, а значит, растения накапливают запасные вещества дольше. С другой стороны – короткий вегетационный период позволяет приступить к уборке раньше, что для Нечерноземной зоны является актуальным вопросом. При проведении обследования посадок картофеля в фазу начала увядания ботвы, было установлено, что в делянках контрольного варианта показания N-тестера были значительно ниже, чем на делянках с внесением азотных удобрений. Они составили от 259 до 417 у.е., при этом показатели 402 и 417 были зафиксированы только в двух делянках опыта, в остальных показания не превышали значения 379. Это говорит о том, что работа ассимиляционного аппарата начала снижаться, что приводит к пожелтению и отмиранию листовой. В делянках с фиксированной дозой азота средний минимальный показатель был выше, чем в контроле на 95 единиц, в делянках с дифференцированной дозой на 118 единиц. Это может говорить о том, что дозы азотных удобрений, которые были увеличены из-за низких значений NDVI в делянках с дифференцированным внесением, позволили сохранить листья картофеля дольше в зеленом состоянии не только по сравнению с контрольным вариантом, но по сравнению с вариантом с внесением фиксированной дозы азота по всем делянкам.

Анализ структуры урожая показал, что азотные удобрения, внесенные в фазу смыкания ботвы в виде аммиачной селитры, благоприятно повлияли на урожайность клубней картофеля (табл.1). При этом использование дифференцированного внесения азотных удобрений по данным оптического датчика позволило не только распределить удобрения по площа-

ди более рационально, но и получить прибавку по сравнению с контролем в 4,0 т/га, а по сравнению с вариантом с фиксированной дозой азотных удобрений в 1,0 т/га.

Подкормка азотными удобрениями привела к увеличению общего количества клубней в кусте до 15 шт., что при плотности посадки 29,3 шт./га составило 440 тыс. шт./га. Количество клубней мелкой фракции до 30 г во всех вариантах опыта было примерно одинаковым: контроль – 3,0 шт./куст, дифференцированная доза – 3,3 шт./куст, фиксированная доза – 3,97 шт./куст. Выход крупных клубней массой более 80 г при дифференцированном внесении увеличился на 17,7%, а при фиксированном – на 10,1% по сравнению с такой же фракцией в контрольном варианте. Доля этой фракции в общем урожае составила от 63,8% (фиксированная доза азота) до 66,1% (дифференцированная доза азота). Урожайность клубней товарных фракций 50-80 г также была выше при внесении подкормки и составила 20,8% при дифференцированном внесении и 19,5% – при внесении азота фиксированной дозой азота.

Заключение

Подкормка азотными удобрениями в виде аммиачной селитры в фазу смыкания ботвы благоприятно влияет на физиологическое состояние растений картофеля сорта Снегирь. Применение азотных удобрений дифференцированной дозой, рассчитанной по результатам показания оптического датчика GreenSeeker RT200, позволяет сохранить фотосинтетическую активность листьев дольше. Фотометрическая диагностика N-тестером Yara в фазу увядания ботвы показывает, что подкормка фиксированной дозой азотных удобрений увеличивает результаты показаний на 21,7%, при внесении удобрений дифференцированной дозой на 25,6%. Это позволяет увеличить урожайность клубней картофеля на 10,8% (30,5 т/га) и 14,5% (31,5 т/га) соответственно. Выход товарной фракции клубней больше 80 грамм, увеличивается на 10,0% при внесении фиксированной дозы азотных удобрений и на 17,7% при внесении дифференцированной.

Об авторе:

Шуклина Ольга Александровна – кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0002-3775-6077>, oashuklina@gmail.com

About the author:

Olga A. Shchuklina – Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher, <https://orcid.org/0000-0002-3775-6077>, oashuklina@gmail.com

• Литература

1. Визирская М.М., Аканова Н.И., Федотова Л.С. Эффективность приемов повышения продуктивности картофеля. *Международный сельскохозяйственный журнал*. 2021;64(5(383)):111-116.
2. Швыркин С.В., Шафран С.А. Влияние азотных удобрений на урожай картофеля в зависимости от питательных веществ в дерново-подзолистых почвах. *Агрохимический вестник*. 2014;(1):33-35.
3. Чехалкова Л.К., Конова А.М., Гаврилова А.Ю. Влияние уровня минерального питания и комплекса агротехнических приемов на семенную продуктивность и качество новых сортов картофеля разных групп спелости в конкретных почвенно-климатических условиях. *Овощи России*. 2020;(3):88-93. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2020-3-88-93>
4. Турчин Ф.В. Азотное питание растений и применение азотных удобрений. *Избранные труды. М.: Колос*, 1972. 336 с.
5. Li S.-X., Wang Z.-H., Stewart B.A. Responses of crop plants to ammonium and nitrate N. *Advances in Agronomy*. 2013;(118):205-397. DOI: 10.1016/B978-0-12-405942-9.00005-0
6. Аканова Н.И., Визирская М.М. Эффективность различных форм азотных удобрений в условиях избыточной кислотности почвы. *Международный сельскохозяйственный журнал*. 2021;64(1(379)):81-84. DOI: 10.24412/2587-6740-2021-1-81-84
7. Галеева Л.П. Действие минеральных удобрений на урожайность и качество картофеля в условиях Северной лесостепи Приобья. *Достижения науки и техники в АПК*. 2009;(4):30-32.
8. Tran T.S., Giroux M. Effects of N rates and harvest dates on the efficiency of 15N-labelled fertilizer on early harvested potato (*Solanum tuberosum* L.). *Canadian Journal of Soil Science*. 1991;(71):519-532.
9. Cambouris A.N., Zebarth B.J., Nolin M.C., Laverdiere M.R. Apparent fertilizer nitrogen recovery and residual soil nitrate under continuous potato cropping: Effect of N fertilization rate and timing. *Canadian Journal of Soil Science*. 2008;88(5):813-825. DOI: 10.4141/CJSS07107
10. Фадкин Г.Н. Коэффициент использования азота удобрений в зависимости от длительности их применения на серой лесной тяжелосуглинистой почве. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2014;3(113):10-13.
11. Хлевной Б.Ф., Заикин Д.В., Замотаев А.И., Коршунов А.В., Старовойтов В.И. Агротехническая тетрадь. Возделывание картофеля по интенсивной технологии. М.: Россельхозиздат. 1986. 94 с.
12. Афанасьев Р.А., Белоусова К.В., Литвинский В.А., Пугачев П.М., Мочкова Т.В., Шуклина О.А. Фотометрическая диагностика азотного питания ярового рапса и озимой тритикале в условиях Центрального Нечерноземья. *Плодородие*. 2012;4(67):51-52.
13. Ерошенко Ф.В., Сторчак И.Г., Чернова И.В. Оценка состояния растений методами экспресс-диагностики. *Аграрный вестник Урала*. 2019;7(186):19-25. DOI: 10.32417/article_5d52af440f71b8.16701399
14. Salas-Rosales J.E., Villa P.M., Rodrigues A.C., & Rada F. Effects of nitrogen fertilization on the photosynthesis and biomass distribution in a potato crop. *Peruvian Journal of Agronomy*. 2020;4(2):68-74. <http://dx.doi.org/10.21704/pja.v4i2.1571>
15. Goffart J.P., Olivier M., Frankinet M. Potato Crop Nitrogen Status Assessment to Improve N Fertilization Management and Efficiency: Past-Present-Future. *Potato Research*. 2008;(50):355-383.
16. Shchuklina O., Voronchikhina I., Klimenkova I., Komkova A., Afanasiev R. Differentiated application of nitrogen fertilizers based on optical sensor readings. *Agronomy Research*. 2021;(19(2)):595-600. DOI: 10.15159/AR.21.093
17. Афанасьев Р.А. Метод и алгоритм расчета доз удобрений для дифференцированного применения с учетом внутрипольной пестроты плодородия почвы. В сборнике: Научные основы производства сельскохозяйственной продукции. Саранск. 2016. С.178-184.
18. Методика проведения агротехнических опытов, учетов, наблюдений и анализов на картофеле. ФГБНУ ВНИИХ. М. 2019. С.12-21.
19. Методика исследований по культуре картофеля. М.: НИИХ, 1967. С.262.
20. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Колос, 1973. С.259-271.
21. Шуклина О.А., Афанасьев Р.А., Лангаева Н.Н., Завгородний С.В. Эффективность дифференцированного применения азотных удобрений в качестве корневых подкормок на основе NDVI. *Достижения науки и техники АПК*. 2021;35(8):20-24. DOI: 10.53859/02352451_2021_35_8_20
22. Афанасьев Р.А., Белоусова К.В., Литвинский В.А., Пугачев П.М., Мочкова Т.В., Шуклина О.А. Фотометрическая диагностика азотного питания ярового рапса и озимой тритикале в условиях Центрального Нечерноземья. *Плодородие*. 2012;4(67):51-52.
23. Orsini F., Mezzetti M., Gianguinto G. The use of portable chlorophyll meter for the management of N fertilization in cantaloupe (*Cucumis melo* L.) grown under transparent polyethylene low tunnels. *Acta Horticulturae*. 2008;807(807):333-340. DOI:10.17660/ActaHortic.2009.807.46

• References

1. Vizirskaya M.M., Akanova N.I., Fedotova L.S. The effectiveness of methods to increase potato productivity. *International Agricultural Journal*. 2021;64(5(383)):111-116. (In Russ.)
2. Shvyrkin S.V., Shafran S.A. The effect of nitrogen fertilizers on potato yield depending on nutrients in sod-podzolic soils. *Agrochemical Bulletin*. 2014;(1):33-35. (In Russ.)
3. Chechalkova L.K., Konova A.M., Gavrilo A.Yu. Influence of the level of mineral nutrition and complex agrotechnical techniques on seed productivity and quality of new potato varieties of different maturity groups in specific soil and climatic conditions. *Vegetable crops of Russia*. 2020;(3):88-93. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2020-3-88-93>
4. Turchin F.V. Nitrogen nutrition of plants and the use of nitrogen fertilizers. Selected works. M.: Kolos, 1972. 336 p. (In Russ.)
5. Li S.-X., Wang Z.-H., Stewart B.A. Responses of crop plants to ammonium and nitrate N. *Advances in Agronomy*. 2013;(118):205-397. DOI: 10.1016/B978-0-12-405942-9.00005-0
6. Akanova N.I., Vizirskaya M.M. The effectiveness of various forms of nitrogen fertilizers in conditions of excessive soil acidity. *International Agricultural Journal*. 2021;64(1(379)):81-84. (In Russ.) DOI: 10.24412/2587-6740-2021-1-81-84
7. Galeeva L.P. The effect of mineral fertilizers on the yield and quality of potatoes in the conditions of the Northern forest-steppe of the Ob region. *Achievements of science and technology in agriculture*. 2009;(4):30-32. (In Russ.)
8. Tran T.S., Giroux M. Effects of N rates and harvest dates on the efficiency of 15N-labelled fertilizer on early harvested potato (*Solanum tuberosum* L.). *Canadian Journal of Soil Science*. 1991;(71):519-532.
9. Cambouris A.N., Zebarth B.J., Nolin M.C., Laverdiere M.R. Apparent fertilizer nitrogen recovery and residual soil nitrate under continuous potato cropping: Effect of N fertilization rate and timing. *Canadian Journal of Soil Science*. 2008;88(5):813-825. DOI: 10.4141/CJSS07107
10. Fadkin G.N. Coefficient of nitrogen use of fertilizers depending on the duration of their application on gray forest heavy loamy soil. *Bulletin of the Altai State Agrarian University*. 2014;3(113):10-13. (In Russ.)
11. Khlevnoy B.F., Zaikin D.V., Zamotaev A.I., Korshunov A.V., Starovoitov V.I. Agronomic notebook. Potato cultivation by intensive technology. M.: Rosselkhozizdat. 1986. 94 p. (In Russ.)
12. Afanasiev R.A., Belousova K.V., Litvinsky V.A., Pugachev P.M., Mochkova T.V., Shchuklina O.A. Photometric diagnostics of nitrogen nutrition of spring rape and winter triticale in the conditions of the Central Non-Chernozem region. *Fertility*. 2012;4(67):51-52. (In Russ.)
13. Eroshenko F.V., Storchak I.G., Chernova I.V. Assessment of the state of plants by methods of express diagnostics. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2019;7(186):19-25. (In Russ.) DOI: 10.32417/article_5d52af440f71b8.16701399
14. Salas-Rosales J.E., Villa P.M., Rodrigues A.C., & Rada F. Effects of nitrogen fertilization on the photosynthesis and biomass distribution in a potato crop. *Peruvian Journal of Agronomy*. 2020;4(2):68-74. <http://dx.doi.org/10.21704/pja.v4i2.1571>
15. Goffart J.P., Olivier M., Frankinet M. Potato Crop Nitrogen Status Assessment to Improve N Fertilization Management and Efficiency: Past-Present-Future. *Potato Research*. 2008;(50):355-383.
16. Shchuklina O., Voronchikhina I., Klimenkova I., Komkova A., Afanasiev R. Differentiated application of nitrogen fertilizers based on optical sensor readings. *Agronomy Research*. 2021;(19(2)):595-600. DOI: 10.15159/AR.21.093
17. Afanasiev R.A. Method and algorithm for calculating fertilizer doses for differentiated use, taking into account the intra-field diversity of soil fertility. In the collection: Scientific foundations of agricultural production. Saransk. 2016. P.178-184. (In Russ.)
18. Methods of conducting agrotechnical experiments, accounting, observations and analyses on potatoes. FGBNU VNIKH. M. 2019. P.12-21. (In Russ.)
19. Methodology of research on potato culture. M.: NIKH, 1967. P.262. (In Russ.)
20. Dospikhov B.A. Methodology of field experience. M.: Kolos, 1973. P.259-271. (In Russ.)
21. Shchuklina O.A., Afanasiev R.A., Langaeva N.N., Zavgorodny S.V. Efficiency of differentiated application of nitrogen fertilizers as root fertilizing based on NDVI. *Achievements of science and technology of agriculture*. 2021;35(8):20-24. (In Russ.) DOI: 10.53859/02352451_2021_35_8_20
22. Afanasiev R.A., Belousova K.V., Litvinsky V.A., Pugachev P.M., Mochkova T.V., Shchuklina O.A. Photometric diagnostics of nitrogen nutrition of spring rape and winter triticale in the conditions of the Central Non-Chernozem region. *Fertility*. 2012;4(67):51-52. (In Russ.)
23. Orsini F., Mezzetti M., Gianguinto G. The use of portable chlorophyll meter for the management of N fertilization in cantaloupe (*Cucumis melo* L.) grown under transparent polyethylene low tunnels. *Acta Horticulturae*. 2008;807(807):333-340. DOI:10.17660/ActaHortic.2009.807.46