

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.150.27>

ВЛИЯНИЕ УРОВНЯ АЗОТНОГО И КАЛИЙНОГО ПИТАНИЯ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НИТРАТОВ В РАСТЕНИЯХ СТОЛОВОЙ СВЕКЛЫ (BETA VULGARIS L.)

Научная статья

Волкова Е.Н.^{1,*}

¹ ORCID : 0000-0001-7429-4046;

¹ Агрофизический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (ele-ven[at]yandex.ru)

Аннотация

В полевом опыте со столовой свеклой Бордо 237 изучали влияние возрастающих доз азотных и калийных удобрений на аккумуляцию и распределение нитратного азота в растениях в онтогенезе. Независимо от доз азота и калия и фазы развития растений максимум содержания нитратов определяли в черешке, минимум – в листовой пластине, корнеплод занимал промежуточное значение. При совместном внесении возрастающих доз калийных и азотных удобрений (90,180,270 кг д.в./га) калий положительно влиял на снижение нитратов в растении в сочетании с дозами азота 90 и 180 кг д.в./га. Распределение нитратов внутри корнеплода определялось уровнем азотной обеспеченности растений. Зависимость содержания нитратов в органах столовой свеклы от уровня азотного и калийного питания аппроксимировалась уравнениями полинома второй степени, которые можно использовать в прогностических целях.

Ключевые слова: столовая свекла, распределение нитратов, азотные удобрения, калийные удобрения, уравнения полинома, коэффициенты корреляции.

INFLUENCE OF NITROGEN AND POTASSIUM NUTRITION LEVELS ON NITRATE DISTRIBUTION IN BEETROOT (BETA VULGARIS L.) PLANTS

Research article

Volkova E.N.^{1,*}

¹ ORCID : 0000-0001-7429-4046;

¹ Agrophysical Research Institute, Saint-Petersburg, Russian Federation

* Corresponding author (ele-ven[at]yandex.ru)

Abstract

In a field experiment with beetroot Bordeaux 237, the effect of increasing doses of nitrogen and potassium fertilizers on the accumulation and distribution of nitrate nitrogen in plants during ontogenesis was studied. Regardless of nitrogen and potassium doses and plant development phase, the maximum nitrate content was determined in the petiole, the minimum – in the leaf plate, the root was of intermediate value. With the combined application of increasing doses of potassium and nitrogen fertilizers (90,180,270 kg d.w./ha) potassium had a positive effect on the reduction of nitrates in the plant in combination with nitrogen doses of 90 and 180 kg d.w./ha. Nitrate distribution within the root crop was determined by the level of nitrogen availability in the plants. The dependence of nitrate content in table beet organs on the level of nitrogen and potassium nutrition was approximated by polynomial equations of the second degree, which can be used for prognostic purposes.

Keywords: beetroot, nitrate distribution, nitrogen fertilizers, potassium fertilizers, polynomial equations, correlation coefficients.

Введение

Проблема избыточной аккумуляции нитратов овощными культурами не является новой, однако не потеряла своей актуальности и в настоящее время [1], [2]. Это связано с тем, что получение высоких урожаев большинства овощных культур во всех природно-климатических зонах невозможно без применения азотных удобрений. Минеральные формы азота слабо закрепляются в почвенно-поглощающем комплексе, а вследствие денитрификации и вымывания за пределы почвенного горизонта происходят потери этого элемента питания. Поэтому научно-обоснованное применение азотных удобрений с учетом факторов окружающей среды, видовых и сортовых особенностей является важным не только с точки зрения продуктивности и качества овощных культур, но и с экологической и экономической позиций [3]. Столовая свекла является азото-калиелюбивой культурой, внесение этих макроэлементов является обязательным агротехническим приемом, но влияние возрастающих доз калия и азота и их соотношений на урожайность и качество продукции в условиях дерново-подзолистой почвы мало изучено.

Хотя нитраты относительно малотоксичны, в организме человека они могут превращаться в нитриты и вызывать ряд неблагоприятных состояний, таких как метгемоглобинемия. Нитриты также могут превращаться в N-нитрозосоединения, которые, как известно, являются канцерогенами [4]. Смертельная доза нитратов для взрослого человека считается превышающей 7–35 г, это примерно в 100 раз превышает допустимую суточную норму потребления NO_3^- установленную Европейским союзом (3,7 мг/кг массы тела в день), что эквивалентно 222 мг NO_3^- в день для человека весом 60 кг [5].

Информация о характере распределения нитратов в различных органах и тканях растений представляет важность как для понимания механизмов перераспределения и аккумуляции NO_3 в ходе онтогенеза, так и для диагностики качества продукции. Целью наших исследований было изучение влияния уровня азотного и калийного питания на распределение нитратов в растениях столовой свеклы при выращивании на дерново-подзолистой почве.

Методы и принципы исследования

Полевой опыт проводили на опытной станции Агрофизического НИИ. Схема опыта включала дозы и соотношения азотных и калийных удобрений 90, 180 и 270 кг д.в./га на фоне P_{120} , контроль – без внесения удобрений, варианты показаны в табл.1. Удобрения вносили в виде аммиачной селитры, двойного суперфосфата и хлористого калия вручную равномерно на всю делянку с последующей заделкой граблями в почву на глубину 5-7 см. Размер делянки 27 м², повторность четырехкратная, размещение делянок систематическое. Агротехника выращивания столовой свеклы сорта Бордо 237 выдерживалась на уровне производственной технологии.

Дерново-подзолистая среднесуглинистая хорошоокультуренная почва опытного участка имела агрохимические показатели: $\text{pH}_{(\text{КС})}$ – 6,7-6,2, сумма обменных оснований – 11,4-15,2 мг. экв./100 г, подвижные фосфор и калий соответственно – 50,8-55,7 и 18,9-27,3 мг/100 г, гумус – 3,5-4,1%.

Нитраты в свекле определяли потенциометрически с использованием ионоселективных электродов после экстрагирования навески свежего растительного материала 1% раствором алюмокалиевых квасцов.

Обработку экспериментальных данных проводили методом вариационной статистики с использованием программ Microsoft Exel и Origin Lab 7.5.

Основные результаты и обсуждение

Содержание нитратов в значительной степени зависит от морфофизиологических особенностей растений [6]. Многочисленными исследованиями установлено, что нитраты накапливаются главным образом в частях растений, транспортирующих питательные вещества (корнях, стеблях, черешках и жилках листьев) [7], и в значительно меньшей степени - в генеративных органах.

С точки зрения физиологии растений неравномерное распределение нитратов по органам можно объяснить:

- неодинаковой активностью нитратредуктазы в корнях и надземных органах [8];
- разной «специализацией» тканей, выполняющих транспортную или синтетическую функции;
- непропорциональным поступлением нитратов в запасной и активный фонды и задержка их переноса из запасного фонда к месту восстановления, ведущую роль в этом выполняют клеточные мембраны [9];
- влиянием внешних факторов [10].

Известно, что проводящие участки в растении содержат повышенное количество нитратов, поэтому степень неравномерности распределения NO_3 зависит от того, какую долю в органе занимают проводящие сосудисто-волокнистые пучки по сравнению с другими тканями [11]. В киселемном соке преобладают нитраты и содержание их резко увеличивается, когда в ризосфере содержится много доступных для корней NO_3 . По данным А.С. Olday, в киселемном соке огурца и некоторых других видов растений содержание N-NO_3 достигало 95% от общего содержания азота, поскольку корневые системы этих культур имеют низкую активность нитратредуктазы, а восстановление нитратного азота происходит главным образом в тканях листа [12]. Во флоэмном соке находят лишь следы нитратов. В листовых овощах наибольшее количество нитратов находится в стеблях и черешке листа, поскольку эти органы осуществляют перенос NO_3 к листовой пластинке.

По С.Ф. Измайлову, стебли растений в азотном обмене выполняют следующие функции:

- контролируют азотное питание листьев;
- выполняют распределительную роль, регулируя качественный и количественный доступ соединений азота к листьям разного возраста;
- запасают минеральные соединения азота ;
- обладают свойствами буферной системы, функционирование которой направлено на поддержание стабильности минерального состава пластинки [13].

Растениям, имеющим развитый стебель, свойственно использование его в определенные периоды онтогенеза, как временного депо субстратов, необходимых в дальнейшем для формирования генеративных и вегетативных органов. Эта запасающая функция стебля может быть использована в качестве одного из критериев оценки обеспеченности растений элементами питания. У столовой свеклы роль стебля выполняют мясистые черешки, которые составляют значительную часть биомассы. Черешок покрыт кожей, под которой находится колленхима, которая заполняет ребристые выступы и играет механическую роль, а ассимилирующая ткань из мелких паренхимных клеток расположена между колленхимой [14].

Изменение уровня азотного питания неадекватно отражалось на изменении содержания нитратов в различных органах и их частях, поскольку различные ткани имеют специфическую структуру и функциональную направленность в метаболизме азотистых соединений.

В молодых растениях, в фазу 5-6 листьев (при анализе всего растения) в вариантах с односторонним калийным питанием отмечали снижение количества нитратов на 141-522 мг/кг по сравнению с контролем – P_{120} (1063 мг/кг), табл.1. Однако достоверными эти различия были только для K_{90} . Увеличение дозы калия с 90 до 270 кг д.в./га в варианте без азота привело к пропорциональному накоплению NO_3 в растениях, которое было существенным только для K_{270} .

Таблица 1 - Влияние доз азотных и калийных удобрений на динамику содержания нитратов в различных органах столовой свеклы

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.150.27.1>

Варианты опыта	Фаза роста и развития						
	5-6 листьев	Пучковая спелость			Техническая спелость		
	Все растение	корнеплод	Черешок	листовая пластина	Корнеплод	черешок	Листовая пластина
1.Без удобрений, мг/кг	755	116	232	101	28	11	20
2.Р ₁₂₀ , мг/кг	1063	435	1405	302	21	37	18

	Фаза роста и развития						
В.Р.К ₁₂₀ , мг/кг	541	152	156	104	26	28	37
4.Р ₁₂₀ К ₁₈₀ , мг/кг	922	175	180	75	32	23	25
5.Р ₁₂₀ К ₂₇₀ , мг/кг	1209	643	1824	605	56	32	38
6.Н ₉₀ Р ₁₂₀ К ₉₀ , мг/кг	1170	870	1152	487	224	215	38
7.Н ₉₀ Р ₁₂₀ К ₁₈₀ , мг/кг	1149	595	975	207	129	175	29

	Фаза роста и развития						
8.N ₉₀ P ₁₂₀ K ₂₇₀ , Варианты опыта МГ/КГ	1745	1844	3356	1137	275	575	52
9.N ₁₈₀ P ₁₂₀ K ₉₀ , МГ/КГ	1889	1871	3179	1411	666	1686	554
10.N ₁₈₀ P ₁₂₀ K ₁₈₀ , МГ/КГ	1244	1556	3052	714	709	1521	222
11.N ₁₈₀ P ₁₂₀ K ₂₇₀ , МГ/КГ	1764	1359	2589	449	663	973	132
12.N ₂₇₀ P ₁₂₀ K ₉₀ , МГ/КГ	2134	781	1812	342	553	1510	422

	Фаза роста и развития						
13. N ₂₇₀ P ₁₂₀ K ₁₈₀ , Варианты опыта мг/кг	1707	1450	1928	880	1519	2097	874
14. N ₂₇₀ P ₁₂₀ K ₂₇₀ , мг/кг	1857	1976	3514	1276	912	1489	399
НСР ₀₅ , мг/кг	554	847	1399	888	494	590	360

Увеличение доз калийных удобрений с 90 до 270 кг д.в./га в сочетании с дозами азота 180 и 270 кг д.в./га приводило к уменьшению количества нитратов в растениях на 277-645 мг/кг. Азотные удобрения увеличивали содержание нитратов во всех вариантах, наибольшая разница с контролем наблюдалась в сочетании с дозой калия 90 кг д.в./га (на 946-719 мг/кг).

В следующий срок отбора образцов, в фазу пучковой спелости (21.07.) нитраты в растении анализировали дифференцированно по органам. Максимум их обнаружили в черешке, минимум – в листовой пластине, корнеплод занимал промежуточное положение. Содержание нитратов в корнеплоде в среднем составляло 51-60% от их количества в черешках, а в листовой пластине – 30-36%. В вариантах без азота в корнеплоде было 44%, а в листе – 36% от их количества в черешке. Азотные удобрения влияли на увеличение количества нитратов в эту фазу в черешках и в корнеплоде неравномерно. Больше всего нитратов было в вариантах с $N_{180}K_{90-180}$, а при увеличении дозы калия до 270 кг д.в./га, их количество уменьшалось, особенно значительно в варианте с $N_{180}K_{270}$, возможно из-за большего расходования на биосинтез. При анализе влияния азотных удобрений на концентрацию нитратов в листовой пластинке четких закономерностей не установлено. Очевидно, что кроме уровня азотного питания на содержание NO_3 в листовой пластине влияют интенсивность освещения и другие факторы внешней среды. Выявлена одинаковая тенденция влияния калийных удобрений на количество нитратов в разных органах свеклы. На фоне $N_{180}P_{120}$ увеличение дозы калия приводило к снижению содержания нитратов, а на фоне $N_{270}P_{120}$ – к увеличению. На фоне $N_{90}P_{120}$ самым низким содержание нитратов было в варианте с K_{180} .

В фазу технической спелости характер влияния калийных и азотных удобрений на распределение нитратов в растении в целом сохранился при общем уменьшении содержания NO_3 в растениях по сравнению с предыдущей фазой. Однако влияние возрастающих доз азотных удобрений приводило к более пропорциональному увеличению содержания нитратов в растении. Несколько изменилось соотношение содержания NO_3 в разных органах. В среднем количество нитратов в корнеплоде и листовой пластине составляло соответственно 48-65% и 13-33% от их количества в черешке. Во всех вариантах, кроме $N_{270}P_{120}K_{180}$, содержание нитратов в корнеплодах было ниже ПДК.

Из табл.2. следует, что зависимость содержания нитратов в столовой свекле от доз азотных и калийных удобрений в течение периода вегетации удовлетворительно аппроксимировалась в пределах полученных в опыте значений уравнением полинома второй степени.

Таблица 2 - Аппроксимация зависимости содержания нитратов в различных органах столовой свеклы от доз азотных и калийных удобрений

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.150.27.2>

Содержание нитратов, м/кг (Y)	Уравнение регрессии	Коэффициент корреляции r/коэффициент детерминации R ² , %	Уровень значимости, P
<i>Фаза пучковой спелости</i>			
корнеплод	$Y=270,7+23,7N-5,37K-0,07N^2-0,027K^2-0,07NK+0,00027N^2K^*$	0,76/58	0,999
черешок	$Y=785,8+37,9N-14,8K-0,011N^2+0,07K^2-0,1NK+0,00035N^2K$	0,75/56	0,999
листовая пластина	$Y=212,0+20,8N-5,8K-0,07N^2+0,03K^2-0,09NK+0,00031N^2K$	0,74/55	0,999
<i>Фаза технической спелости</i>			
корнеплод	$Y=-22,9+1,76N-1,89K-0,000067N^2-0,0072K^2+0,0027NK$	0,76/58	0,999
черешок	$Y=-38,5+8,26N+0,41K-0,0033N^2-0,00086K^2-0,013NK$	0,72/52	0,999
листовая пластина	$Y=-4,68+2,44N+0,72K-0,00065N^2-0,0024K^2-0,015NK$	0,78/61	0,999

Примечание: */ N, K – дозы азотных и калийных удобрений, кг д.в./га

В фазу пучковой спелости уравнения практически равноценно, на 55-58% описывают варьирование содержания нитратов в различных органах от изменения доз удобрений. Значения свободных членов уравнений в эту фазу численно соответствовали содержанию нитратов в органах свеклы на контрольном варианте. Между содержанием NO_3 в корнеплоде и листовой пластине существовала прямая зависимость: $r=0,93$ ($P=0,999$) для пучковой продукции и $r=0,84$ ($P=0,999$) в фазу технической спелости, что свидетельствует о тесной взаимосвязи между органами в азотном обмене.

В фазу технической спелости для черешка варьирование признака описывалось уравнением на 72%, что было меньше, чем для корнеплодов и листовой пластины. Остальные 28% варьирования количества нитратов в черешке объясняются влиянием других факторов, которые в данном случае не учитывались. Отрицательные значения свободных членов в уравнениях в фазу технической спелости свидетельствуют, что к этому времени содержание нитратов в органах столовой свеклы уже не связано с уровнем плодородия почвы и определяется только дозой минеральных удобрений. Действительно, концентрация нитратного азота в почве к середине августа в эту фазу роста и развития была незначительной и не превышала 0,9 мг/100 г почвы. Снижение значений коэффициентов при предикторах в уравнениях полиномов для фазы технической спелости, по сравнению с предыдущей фазой также показывает ослабление действия азотных удобрений. Эти результаты свидетельствуют, что к середине августа поступление NO_3 из почвы становится незначительным и содержание нитратов в органах растений в значительной степени определяется темпами их роста (эффект разбавления массой) и перераспределением NO_3 между надземной и подземной частями. Коэффициенты корреляции для содержания нитратов между органами растения были одинаковыми $r=0,87$ ($P=0,999$).

Уравнения полиномов можно использовать для прогностических целей, то есть, подставив в них предельно допустимые значения концентрации нитратов, рассчитать экологически безопасную дозу внесения азота. Или наоборот, рассчитать количество нитратов, которое может накопиться в растениях при внесении определенной дозы азота. Коэффициенты регрессии позволяют оценить темпы накопления нитратов в различных органах растений на каждый килограмм внесенного азотного удобрения.

На рис.3. показана трехмерная поверхность отклика, построенная по уравнению для фазы технической спелости (табл.2.).

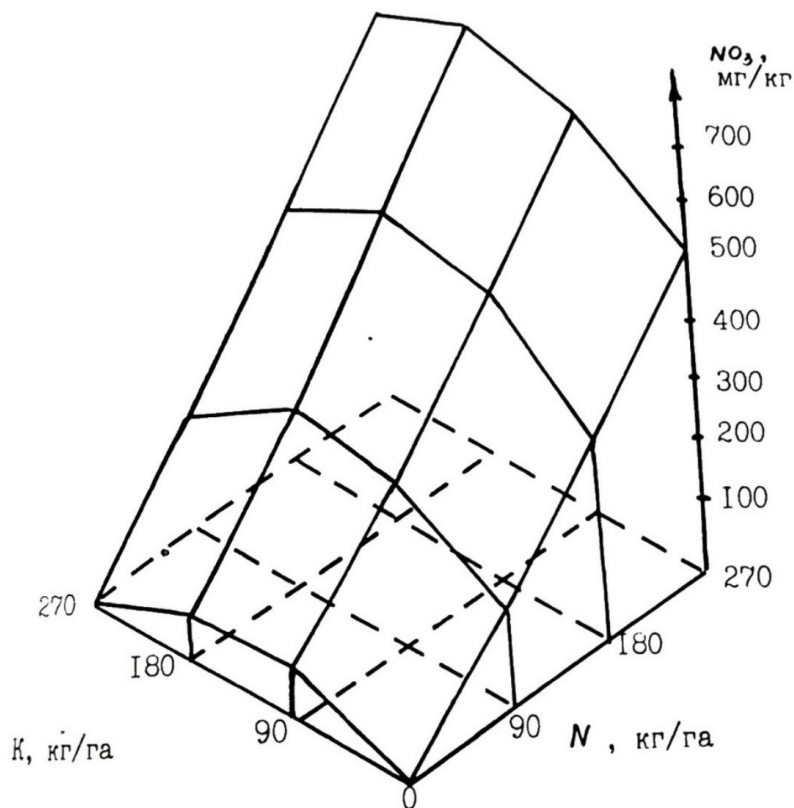


Рисунок 1 - Зависимость содержания нитратов в корнеплодах от доз азотных и калийных удобрений в фазу технической спелости

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.150.27.3>

Распределение нитратов внутри корнеплода также оказалось связанным с уровнем азотного питания, рис.2.

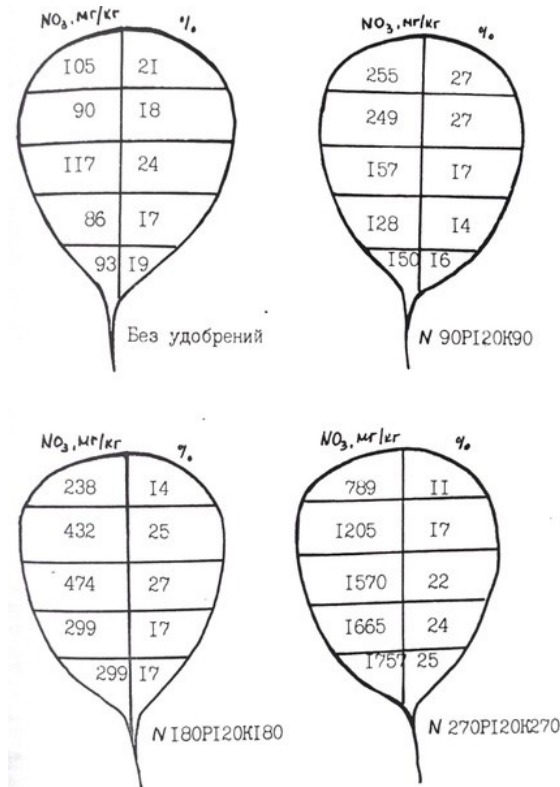


Рисунок 2 - Влияние уровня азотного питания на распределение нитратов внутри корнеплода
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.150.27.4>

По анатомическому строению органа запаса столовая свекла отличается от других корнеплодных растений. У свеклы кольца камбия последовательно и неоднократно возникают в паренхимной ткани по мере нарастания листьев и корнеплода. Это связано с тем, что в процессе филогенеза маревые, в том числе и дикие предки культурной свеклы, развивались в неблагоприятных условиях полупустынь, на известняках или берегах морей, где засоленность почвы приводит к физиологическому недостатку влаги. Длительные засухи сменялись кратковременными периодами увлажнения. Это приводило к тому, что многократное образование камбия являлось жизненно важным фактором. Поликамбиальность тормозит старение корнеплода, так как благодаря повышенной паренхиматизации поддерживается постоянная молодость его периферической зоны путем образования новых колец и новой паренхимы [10]. Большое количество проводящих элементов в корнеплоде (по которым поступающие из корней нитраты и другие соединения перераспределяются в надземные органы), зачастую и обуславливает высокое содержание в нем NO₃. Нитраты в корнеплодах не выполняют функциональной роли, а определенная концентрация их необходима для поддержания осмотического давления в клетках.

По имеющимся в литературе данным, нитратный азот неравномерно распределяется внутри корнеплода. По мнению О.А. Соколова, максимальное содержание нитратов в свекле находится в верхней части, переходящей в собственно корень [15]. По другим данным, максимум нитратов в корнеплодах этой культуры определяли только в самой нижней его части [16]. Есть сведения, что высоким содержанием нитратов отличается сердцевина корнеплода, где их накапливается в 2 раза больше, чем в поверхностном слое и мякоти. Это четко проявляется в корнеплодах моркови [17]. Недостатком подобных исследований является то, что эти авторы не связывают распределение NO₃ в корнеплодах столовой свеклы и других культур с уровнем азотного питания. Наши анализы показали, что обеспеченность растений азотом отражается на характере распределения нитратов в органе запаса. Чтобы установить эту зависимость, мы отбирали в середине сентября стандартные корнеплоды диаметром 10-12 см с делянок, на которые вносили N₉₀, N₁₈₀, N₂₇₀ кг д.в./га и соответственно равные дозы калия на фоне P₁₂₀ и с неудобренной делянки. Затем корнеплоды разрезали в поперечном направлении на диски толщиной около 1 см и определяли в каждом слое содержание нитратов. Так как в анатомическом строении корнеплодов ксилема и флоэма чередуются, в диаметральном направлении больших различий в концентрации нитратов не обнаружено. Более четкую дифференциацию NO₃ наблюдали в вертикальном направлении. При выращивании свеклы без удобрений нитраты распределены внутри корнеплода равномерно, так как из почвы они поступают в незначительном количестве (рис.2.). В варианте с максимальной дозой азота (270 кг д.в./га) наибольшее количество нитратов (25%) обнаружено в нижней части корнеплода, в зоне с большим количеством мелких всасывающих корешков. Запасы минеральных форм азота в почве в этом варианте позволяли растениям продолжать активное поглощение его из почвы. С уменьшением дозы внесенного азота, а следовательно и с уменьшением запасов нитратов в почве, распределение их внутри корнеплода меняется.

В варианте с N₁₈₀ максимум нитратов находится в средней части корнеплода (474 мг/кг), а в варианте с N₉₀ – в верхней части – головке (255 мг/кг). Вероятно в случае с внесением N₉₀ растения свеклы ощущают к сентябрю дефицит азотного питания и происходит некоторое перемещение нитратов из запасного фонда вакуолей листьев и черешков в наиболее интенсивно растущий в этот период орган – корнеплод.

Заключение

Возрастающие дозы азотного удобрения увеличивали содержание нитратов в столовой свекле, но повлияли на перераспределение нитратов в растениях, что связано с функциональной ролью органов в метаболизме азотистых соединений и их строением. Независимо от доз азота и калия и фазы развития растений максимум содержания нитратов определяли в черешке, минимум – в листовой пластине, корнеплод занимал промежуточное значение. При совместном внесении возрастающих доз калийных и азотных удобрений (90,180,270 кг д.в./га) калий положительно влиял на снижение нитратов в растении в сочетании с дозами азота 90 и 180 кг д.в./га. Зависимость содержания нитратов в столовой свекле от доз азотных и калийных удобрений в течение периода вегетации удовлетворительно аппроксимировалась уравнением полинома второй степени. Обеспеченность свеклы азотом отражалась на характере распределения нитратов в корнеплодах. В варианте с максимальной дозой азота (270 кг д.в./га) наибольшее количество нитратов (25%) обнаружено в нижней части корнеплода, в варианте с N₁₈₀ максимум нитратов находится в средней части корнеплода, а в варианте с N₉₀ – в верхней части – головке.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Сообщество рецензентов Международного научно-исследовательского журнала
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.150.27.5>

Conflict of Interest

None declared.

Review

International Research Journal Reviewers Community
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.150.27.5>

Список литературы / References

1. Brkić D. Nitrate in leafy green vegetable and estimated intake / D. Brkić, J. Bošnjir, M. Bevardi [et al.] // Afr J Tradit Complement Altern Med. — 2017. — № 14 (3). — P. 31–41. — DOI: 10.21010/ajtcam.v14i3.4.
2. Волкова Е.Н. Способы регулирования потоков нитратов в овощных агроценозах / Е.Н. Волкова // Материалы междуна. науч. семинара «Вызовы и возможности управления азотом в сельском хозяйстве». — Санкт-Петербург: Агрофизический научно-исследовательский институт РАСХН, 2021. — С. 16–18.
3. Волкова Е.Н. Влияние азотного стресса на аккумуляцию нитратов и урожайность сортов салата / Е.Н. Волкова // Овощи России. — 2023. — № 1. — С. 44–49. — DOI: 10.18619/2072-9146-2023-1-44-49..
4. Ranasinghe R. Nitrate and nitrite content of vegetables: A review / R. Ranasinghe, R. Marapana // J Pharmacogn Phytochem. — 2018. — № 7 (4). — P. 322–328.
5. Colla G. Nitrate in fruits and vegetables / G. Colla, H.-J. Kim, M.C. Kyriacou [et al.] // Scientia Horticulturae. — 2018. — Vol. 237. — P. 221–238. — DOI: 10.1016/j.scienta.2018.04.016.
6. Соколов О.А. Нитраты в окружающей среде / О.А. Соколов, В.М. Семенов, В.А. Агаев — Пущино: ОНТИ, 1990. — 316 с.
7. Церлинг В.В. Индикаторный орган растений на избыток нитратов / В.В. Церлинг // Химизация в сельском хозяйстве. — 1988. — № 10. — С. 50–55.
8. Wang Y.Y. Arabidopsis nitrate transporter NRT1.9 is important in phloem nitrate transport / Y.Y. Wang, Y.F. Tsay // Plant Cell. — 2011. — № 23. — P. 1945–1957.
9. Соколов О.А. Роль нитратных фондов в азотном питании растений / О.А. Соколов // Агрохимия. — 1998. — № 3. — С. 87–93.
10. Bian Z. Review of environment effects on nitrate accumulation in leafy vegetables grown in controlled environments / Z. Bian, Y. Wang, X. Zhang [et al.] // Foods. — 2020. — № 9. — P. 732. — DOI: 10.3390/foods9060732.
11. Соколов О.А. Как снизить содержание нитратов в продукции / О.А. Соколов // Картофель и овощи. — 1989. — № 3. — С. 19–25.
12. Olday F.C. A physiological basis for different patterns of nitrate accumulations in two spinach cultivars / F.C. Olday, A.V. Barker, D.N. Maynard // Amer. Soc.Hort.Sci. — 1976. — Vol.101. — № 3. — P. 217–219.
13. Измайлов С.Ф. Азотный обмен в растениях / С.Ф. Измайлов — М: Наука, 1986. — 320 с.
14. Красочкин В.Т. Культурная флора СССР. Корнеплодные растения / В.Т. Красочкин — Л: Колос, 1971. — 436 с.
15. Соколов О.А. Нитраты под строгий контроль / О.А. Соколов // Наука и жизнь. — 1988. — № 8. — С. 69–72.
16. Самохвалов С.Г. Определение нитратов в продукции / С.Г. Самохвалов, В.Г. Прижукова, Л.И. Молканова [и др.] // Химизация сельского хозяйства. — 1990. — № 8. — С. 44–47.
17. Практикум по анатомии растений / Под. ред. Д.А. Грановского. — М.: Высшая школа, 1979. — 224 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Brkić D. Nitrate in leafy green vegetable and estimated intake / D. Brkić, J. Bošnjir, M. Bevardi [et al.] // Afr J Tradit Complement Altern Med. — 2017. — № 14 (3). — P. 31–41. — DOI: 10.21010/ajtcam.v14i3.4.
2. Volkova E.N. Sposoby regulirovaniya potokov nitratov v ovoschnyh agrotsenozah [Methods of regulating nitrate fluxes in vegetable agrocenoses] / E.N. Volkova // Materials of the International Scientific Seminar "Challenges and opportunities of nitrogen management in agriculture". — St. Petersburg: Agrophysical Research Institute of RAS, 2021. — P. 16–18. [in Russian]

3. Volkova E.N. Vlijanie azotnogo stressa na akumuljatsiju nitratov i urozhajnost' sortov salata [The effect of nitrogen stress on nitrate accumulation and yield of lettuce varieties] / E.N. Volkova // *Vegetables of Russia*. — 2023. — № 1. — P. 44–49. — DOI: 10.18619/2072-9146-2023-1-44-49. [in Russian]
4. Ranasinghe R. Nitrate and nitrite content of vegetables: A review / R. Ranasinghe, R. Marapana // *J Pharmacogn Phytochem*. — 2018. — № 7 (4). — P. 322–328.
5. Colla G. Nitrate in fruits and vegetables / G. Colla, H.-J. Kim, M.C. Kyriacou [et al.] // *Scientia Horticulturae*. — 2018. — Vol. 237. — P. 221–238. — DOI: 10.1016/j.scienta.2018.04.016.
6. Sokolov O.A. Nitraty v okruzhajushej srede [Nitrates in the environment] / O.A. Sokolov, V.M. Semenov, V.A. Agaev — Puschino: ONTI, 1990. — 316 p. [in Russian]
7. Tserling V.V. Indikatornyj organ rastenij na izbytok nitratov [The indicator organ of plants for excess nitrates] / V.V. Tserling // *Chemicalization in Agriculture*. — 1988. — № 10. — P. 50–55. [in Russian]
8. Wang Y.Y. Arabidopsis nitrate transporter NRT1.9 is important in phloem nitrate transport / Y.Y. Wang, Y.F. Tsay // *Plant Cell*. — 2011. — № 23. — P. 1945–1957.
9. Sokolov O.A. Rol' nitratnyh fondov v azotnom pitanii rastenij [The role of nitrate funds in nitrogen nutrition of plants] / O.A. Sokolov // *Agrochemistry*. — 1998. — № 3. — P. 87–93. [in Russian]
10. Bian Z. Review of environment effects on nitrate accumulation in leafy vegetables grown in controlled environments / Z. Bian, Y. Wang, X. Zhang [et al.] // *Foods*. — 2020. — № 9. — P. 732. — DOI: 10.3390/foods9060732.
11. Sokolov O.A. Kak snizit' sodержanie nitratov v produkcii [How to reduce the nitrate content in products] / O.A. Sokolov // *Potatoes and Vegetables*. — 1989. — № 3. — P. 19–25. [in Russian]
12. Olday F.C. A physiological basis for different patterns of nitrate accumulations in two spinach cultivars / F.C. Olday, A.V. Barker, D.N. Maynard // *Amer. Soc.Hort.Sci*. — 1976. — Vol.101. — № 3. — P. 217–219.
13. Izmajlov S.F. Azotnyj obmen v rastenijah [Nitrogen metabolism in plants] / S.F. Izmajlov — M: Nauka, 1986. — 320 p. [in Russian]
14. Krasochkin V.T. Kul'turnaja flora SSSR. Korneplodnye rastenija [Cultural flora of the USSR. Root crops] / V.T. Krasochkin — L: Kolos, 1971. — 436 p. [in Russian]
15. Sokolov O.A. Nitraty pod strogij kontrol' [Nitrates under strict control] / O.A. Sokolov // *Science and Life*. — 1988. — № 8. — P. 69–72. [in Russian]
16. Samohvalov S.G. Opredelenie nitratov v produkcii [Determination of nitrates in products] / S.G. Samohvalov, V.G. Prizhukova, L.I. Molkanova [et al.] // *Chemicalization of Agriculture*. — 1990. — № 8. — P. 44–47. [in Russian]
17. Praktikum po anatomii rastenij [Practicum on plant anatomy] / Ed. by D.A. Granovsky. — M.: Higher School, 1979. — 224 p. [In Russian]