

## Обзор / Review

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-6-52-60>  
УДК 635.25:631.82(048)

О.Н. Успенская, А.Ю. Федосов,  
А.М. Меньших\*, И.Ю. Васючков

Всероссийский научно-исследовательский институт овощеводства – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр овощеводства» (ВНИИО – филиал ФГБНУ ФНЦО) 140153, РФ, Московская область, Раменский район, д. Верея, стр. 500

\*Автор для переписки: [soulsunnet@yandex.ru](mailto:soulsunnet@yandex.ru)

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Вклад авторов.** Все авторы участвовали в написании статьи, прочитали и согласились с опубликованной версией рукописи.

**Для цитирования:** Успенская О.Н., Федосов А.Ю., Меньших А.М., Васючков И.Ю. Минеральные удобрения для лука репчатого: обзор. *Овощи России*. 2023;(6):52-60. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-6-52-60>

**Поступила в редакцию:** 31.08.2023

**Принята к печати:** 09.10.2023

**Опубликована:** 04.12.2023

Olga N. Uspenskaya, Alexander Yu. Fedosov,  
Alexander M. Menshikh\*, Igor Yu. Vasyuchkov

All-Russian Research Institute of Vegetable Growing – branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Vegetable Center" p. 500, Vereya village, Ramensky district, Moscow region, 140153, Russia

\*Correspondence: [soulsunnet@yandex.ru](mailto:soulsunnet@yandex.ru)

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

**Authors' Contribution:** All authors contributed to the writing of the article and have read and agreed to the published version of the manuscript.

**For citation:** Uspenskaya O.N., Fedosov A.Yu., Menshikh A.M., Vasyuchkov I.Yu. Mineral fertilizers for onions: a review. *Vegetable crops of Russia*. 2023;(6):52-60. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-6-52-60>

**Received:** 16.08.2023

**Accepted for publication:** 07.09.2023

**Published:** 04.12.2023

# Минеральные удобрения для лука репчатого: обзор



## Резюме

Для производства лука репчатого, прежде всего, необходима правильная организация его питания. От этого зависят как его урожайность, так и качество продукции. В первую очередь для питания лука необходимы минеральные удобрения, содержащие такие макроэлементы как азот, фосфор и калий. Качество лука, его физиология и продуктивность зависят от внесения азотных, фосфорных и калийных удобрений, потребность в которых и эффективность использования растениями варьируют в зависимости от климатических факторов, систем орошения, сортовых различий, почвенных и производственных условий возделывания в районах выращивания. В данном обзоре подробно рассмотрено влияние азота, фосфора и калия, как основных компонентов минерального питания, на рост, физиологию и урожайность лука репчатого. В обзор включены различные базы данных: Google Scholar, PubMed, Science Direct, SciFinder, Web of Science, РИНЦ и др., использованы онлайн-источники (Research Gate, Springer Nature Open Access, Wiley Online Library и др.).

**Ключевые слова:** лук репчатый, рост и развитие растений, азот, фосфор, калий, управление питанием

# Mineral fertilizers for onions: a review

## Abstract

For the production of onions, first of all, the proper organization of its nutrition is necessary. Both its productivity and product quality depend on this. First of all, onion nutrition requires mineral fertilizers containing macronutrients such as nitrogen, phosphorus and potassium. The quality of onions, their physiology and productivity depend on the application of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizers, the need for which and the efficiency of use by plants vary depending on climatic factors, irrigation systems, varietal differences, soil and production conditions of cultivation in growing areas. This review examines in detail the effect of nitrogen, phosphorus and potassium, as the main components of mineral nutrition, on the growth, physiology and yield of onion. The review includes various databases such as Google Scholar, PubMed, Science Direct, SciFinder, Web of Science, RSCI, etc., online sources (Research Gate, Springer Nature Open Access, Wiley Online Library, etc.) are used.

**Keywords:** onion, plant growth and development, nitrogen, phosphorus, potassium, nutrition management

## 1. Введение

Потребность лука репчатого в минеральных питательных веществах в значительной степени зависит от нескольких факторов, таких как сорт, густота стояния растений, среда выращивания, плодородие почвы, способы внесения удобрений и управление распределяемым количеством удобрений с помощью подходящей системы орошения. При выращивании луковиц в количестве 60 т/га с урожаем из почвы выносятся 108 кг/га азота, 21 кг/га фосфора и 120 кг/га калия. Лук может эффективно усваивать элементы минерального питания с глубины до 60 см, поэтому для производства лука рекомендуется обеспечивать в верхнем 60-сантиметровом слое почвы содержание 120-140 кг азота, 22-26 кг фосфора и 150 кг калия. Пик поглощения азота, фосфора, калия и серы приходится на период от 15 до 60 дней после всходов, и удобрения следует вносить так, чтобы обеспечить наиболее эффективное питание луковиц именно в эти сроки [1].

Лук репчатый более чувствителен к нехватке питательных веществ, чем большинство овощных культур, из-за его мочковатой корневой системы. Для него, в отличие от других культур, характерна невысокая интенсивность усвоения питательных веществ, особенно в начале роста. У лука, посеянного семенами, луковица начинает формироваться примерно через 60 дней после всходов. К этому времени растения усваивают 10-12% N, 6-7% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и 10% K<sub>2</sub>O от общей потребности за вегетационный период [2].

Азот, фосфор и калий относятся к основным макроэлементам, так как они поглощаются растениями из почвы в наибольших количествах, по сравнению с другими необходимыми элементами. Поэтому для большинства сельскохозяйственных культур, в том числе, для лука репчатого, вероятность возникновения их дефицита наиболее высока [3].

Азот является основным строительным элементом клеток, так как на его долю приходится 7% от общего сухого вещества большинства растений, однако, определение точных норм и доз азота, необходимых для питания растений, сложно, поскольку он присутствует в почве, воздухе и воде в различных формах [4].

Нехватка фосфора является одной из самых серьезных проблем при выращивании лука репчатого из-за низкой доступности и высокой иммобилизации фосфора в почвах [5].

Его недостаток прежде всего сказывается на формировании корневой системы растений.

Калий также важен для получения высоких урожаев лука репчатого, так как от его доступности зависят засухоустойчивость и устойчивость растений к вредителям, а также содержание сухих веществ и эфирных масел в луковице [2].

Растения лука репчатого хорошо растут и развиваются при реакции почвенного раствора близкой к 6,7-7,4. При внесении высоких доз минеральных удобрений реакция почвенного раствора снижается в слое 0-30 см с 8,0 до уровня 6,8-7,3, а в слое 30-60 см с 7,6 до уровня 6,5-6,9 единиц pH [6].

Питательные вещества из почвы и удобрений могут усваиваться только при достаточном увлажнении почвы. На светло-каштановых почвах Нижнего Поволжья высокие урожаи получены при глубине

увлажнения 0,3 м и водном режиме 80-85% НВ в период от посева семян до формирования луковицы и 70-75% НВ в период от формирования луковицы до технической спелости. При этом общая доза внесённых минеральных удобрений составляла: N<sub>230</sub>P<sub>160</sub>K<sub>140</sub>, в т.ч. с поливной водой трижды по фазам роста и развития растений – N<sub>20</sub>P<sub>25</sub>K<sub>15</sub>, N<sub>30</sub>P<sub>30</sub>K<sub>35</sub>, N<sub>50</sub>P<sub>45</sub>K<sub>50</sub> [7].

При капельном орошении питательный раствор держится у корней дольше, чем при других способах орошения, поэтому оно больше подходит для растений с неглубокой корневой системой, таких, как лук репчатый [8, 9]. В Российской Федерации влияние фертигации на урожайность лука репчатого в однолетней культуре изучено на светло-каштановых почвах Нижнего Поволжья [10], на каштановых почвах Волгоградской области [11], каштановых почвах Ставропольского края [12], черноземах обыкновенных Ростовской области [13], на аллювиальных луговых почвах Московской области [14-16].

В литературе накоплен значительный и довольно разноречивый материал по применению азотных, фосфорных и калийных удобрений при выращивании лука репчатого.

В связи с вышеизложенным, данный обзор выполнен с целью обобщить имеющиеся в литературе сведения о влиянии азотных, фосфорных и калийных удобрений на физиологию, урожайность и компоненты урожая лука репчатого.

## 2. Влияние N и P на рост и развитие растений лука репчатого

### 2.1. Значение азота для лука репчатого

Вносимый азот включается в состав тканей удобряемых растений в большей степени, чем другие минеральные элементы питания. Азот является основным компонентом многих незаменимых соединений, которые являются строительными блоками для растений всех сельскохозяйственных культур. Хорошее снабжение азотом стимулирует рост и развитие корней, а также поглощение других питательных веществ [2].

Лук репчатый имеет неглубокую корневую систему, что обуславливает необходимость обеспечивать достаточно высокое содержание доступного азота в верхнем слое почвы. Но излишне высокое содержание азота вызывает ускоренный рост, увеличение дней созревания, более высокую восприимчивость к вредителям, меньшее количество сухого вещества в продукции, укорачивание периода хранения и, таким образом, приводит к снижению урожайности, выхода товарной продукции и снижению её качества [17]. На почвах с недостаточным уровнем содержания азота проявляется задержка роста растений, также падает урожайность, снижается качество и сроки хранения продукции [18].

Количество азота, вносимого для получения урожая лука репчатого определённого объёма, варьирует от района к району и зависит, в частности, от сорта лука. Высокоурожайным сортам обычно требуется больше азота, чем низкоурожайным. Результаты из разных климатических регионов мира также показывают разную реакцию лука репчатого на количество внесённого азота [19, 20]. В некоторых районах для повышения урожайности и качества продукции требуются более

высокие дозы азота, но, одновременно, большее количество азота остается в почве после уборки урожая. Согласно отчету Visser, почти 50% из 120 кг/га азота, обычно применяемого на луковых полях, теряется, отфильтровывается из почвы [21].

Изменчивость урожайности и качества в зависимости от различных источников вносимого азота изучалась неоднократно. В одном из исследований сообщалось, что при добавлении нитратного азота сырая и сухая масса луковиц были выше, чем при добавлении адекватного количества аммиачного азота и мочевины [22]. Также сообщалось, что раннее внесение фосфата аммония увеличивало рост и урожайность лука репчатого в большей степени, чем внесение нитрата аммония [23]. Другой источник указывает на то, что добавление диаммонийфосфата после посева не повышало урожайность [24]. Эти различия могут быть связаны с разными технологическими практиками посева и посадки лука.

Имеются сведения, что азот является ограничивающим фактором в производстве качественного лука репчатого. Сообщается, например, что острота вкуса луковиц зависит от уровня содержания в них азота: чем больше азота, тем выше острота [25, 26].

Азотные удобрения также помогают в борьбе с засухой. По-видимому, азот влияет на адекватное использование имеющейся в почве воды. И поскольку вымывание азота из почвы может увеличить загрязнение грунтовых вод, обязательно внесение оптимального количества азота в требуемые сроки [27, 28].

## 2.2. Значение фосфора для растений лука репчатого

Фосфор считается вторым по значимости ценным минеральным питательным веществом, которое участвует в регуляции многих физиологических процессов роста и развития растений и оказывает значительное влияние на урожайность лука репчатого [29, 30, 31]. Следует иметь в виду, что результат поступления в растение вносимого с удобрением фосфора во многом зависит от доступного запаса этого элемента в почве, поэтому отрицательные или положительные результаты от внесения фосфорных удобрений могут зависеть от источников фосфора, уже имеющихся в почве. Известно, что в почве фосфор существует в двух формах: органической и неорганической. Органический фосфор, фиксируемый почвенным комплексом, является наиболее стабильной его формой, поэтому хорошо усваивается и утилизируется культурами только неорганический фосфор [32].

Растения поглощают фосфор в меньшем количестве, чем азот или калий [13]. За последнее столетие он привлек огромное количество исследовательских усилий, но его поведение в почве и доступность для сельскохозяйственных культур до сих пор изучены недостаточно. Одной из причин может быть наличие многочисленных неорганических форм фосфора в почвах и большие различия в их поведении в разных типах почв. Существует также большое различие между культурами в их способности поглощать различные формы фосфатов.

Дефицит фосфора является одним из основных лимитирующих факторов производства лука в тропических районах из-за малой его доступности и большой

фиксации в почвах [14]. Это связано с существенным влиянием этого минерального элемента на рост корней, и, если доступность недостаточна, рост растений сильно ограничен. Фиксируемый почвенным комплексом фосфор мало подвижен, и его использование в основном зависит от градиента концентрации и диффузии в корневой зоне почвы [33].

У лука репчатого дефицит минеральных элементов, в основном фосфора, приводит к снижению роста растений, размера луковиц, выхода товарных луковиц и задержке созревания [34]. В почвах с умеренным содержанием фосфора добавление фосфора усиливает рост, развитие и урожайность. Отчеты об исследованиях долгосрочных испытаний удобрений на суглинистых почвах показали, что существует положительная зависимость урожайности лука от дозы фосфорных удобрений в диапазоне от 0 до 52 кг/га P [35].

## 2.3. Роль азота и фосфора для протекания физиологических процессов в растениях лука репчатого

Азот участвует в синтезе белков, пептидов, и аминокислот, которые являются составной частью протоплазмы и ядра растительных клеток. Он необходим для образования хлорофилла, нуклеиновых кислот, ферментов, гормонов, большинства витаминов и других соединений, важных для фотосинтеза и обмена веществ. Внесение азотных удобрений значительно увеличивает длину листа, а также его диаметр.

Азот способен, как ни один другой элемент, оказывать стимулирующее действие на рост растения. Увеличение роста растений за счет внесённого в почву минерального азота связано с его влиянием на клеточное строительство [12, 36].

Но повышение количества азота в почве увеличивает рост растений до определенного предела, по достижению которого увеличение прекращается. Соответствующие исследования показали, что внесение 69 кг/га N увеличило длину листьев (47,67 см) примерно на 11,5% по сравнению с контролем (42,75 см) [37].

В других исследованиях показано, что повышение уровня азотных удобрений до 40-80 кг/га N не оказывало значительного влияния на рост растений, а доза 120 кг/га увеличивала длину листьев до 58,4 см [38]. Наибольшая высота растений достигается при внесении 120, 180, 240 кг/га N, чего не наблюдается при внесении более низких доз [36, 39, 40]. Увеличение роста растений при всё более высоких дозах азота в этих исследованиях может быть обусловлено неглубокой корневой системой лука, которая не позволяет ему использовать значительный объём почвы, а также состоянием почвы в районах выращивания.

Число листьев является одной из характеристик роста, на которую может существенно повлиять азотное удобрение, поскольку азот участвует в создании различных компонентов белков, необходимых для увеличения тканевой массы растения. Регистрируемое максимальное число листьев варьирует в зависимости от условий выращивания. В некоторых районах внесение 92 кг/га N является величиной, при которой регистрируется наибольшее число листьев [37]. В других работах отмечалось, что наибольшее число листьев

образуется при внесении 120 кг/га азота [41]. Дальнейшее увеличение дозы азота (150 кг/га N) рекомендуется для получения ещё большего числа листьев [42].

Ряд физиологических и биохимических процессов в растениях зависит от фосфора, который входит в состав аденозиндифосфата (АДФ), аденозинтрифосфата (АТФ), нуклеиновой кислоты (ДНК), фосфолипидов и фосфатов. Фосфор играет важную роль в переносе энергии, созревании растений, плодоношении и развитии семян [30].

Но также, как и в отношении азота, сведения о влиянии фосфора на лук репчатый неоднозначны. Одни исследователи сообщают, что фосфорное удобрение ускоряет рост и развитие растений [10, 36]. Напротив, другие утверждают, что фосфор не оказывает существенного влияния на рост растений [37]. Одно из последних исследований подтвердило, что фосфорные удобрения оказывают значительное влияние на параметры роста лука репчатого [43].

Таким образом, имеющиеся в научной литературе сведения разноречивы. Иногда недостаточно убедительны. Однако не подлежат сомнению факт, что и азот, и фосфор активизируют физиологические процессы в тканях растительного организма, что безусловно, сказывается на вегетативных параметрах лука репчатого, которые можно оценить количественно [44, 45, 46, 47, 48]. Разница сведений связана с сортовыми различиями, почвенными и производственными условиями возделывания.

## **2.4. Влияние азота и фосфора на характеристики луковиц лука репчатого**

### **2.4.1. Толщина шейки луковицы**

Толщина шейки луковицы является фактором, определяющим лёжку лука. Чем больше диаметр шейки, тем хуже лёжка [20, 38]. Увеличенная толщина шейки является физиологическим нарушением, в основном зависящим от времени года, места возделывания лука и его сорта, а не от наличия минеральных питательных веществ в почве [16]. В отчете [44] указано, что азот в дозе 200 кг/га увеличивал число луковиц с толстой шейкой. Другие авторы [37] отметили, что внесение азота и фосфора не влияло на образование луковиц с толстой шейкой.

Увеличение доз азота, усиливающего деление клеток, приводит к большему числу луковиц с толстой шейкой [49]. Избыточное азотное питание стимулирует непрерывное нарастание листьев, и луковицы не могут завершить нормальные процессы своего формирования. Следовательно, чем выше доза азота, тем выше диаметр шейки и хуже лёжка лука [50].

### **2.4.2. Диаметр и длина луковицы**

Диаметр и длина луковиц варьирует в зависимости от сорта лука и его реакции на удобрения. Оптимальная подкормка NPK в разных дозах увеличивает диаметр луковицы [51]. Некоторые отчеты преувеличивают влияние азота на увеличение диаметра луковицы по сравнению с тем же показателем при совместном применении азотных и фосфорных удобрений. Прямое влияние фосфора на улучшение характеристик луковицы ограничено по сравнению с азотом [36, 52, 53].

Количество азотных удобрений для получения луковиц большего диаметра и большей высоты варьирует. Это зависит от состояния почвы и систем управления питанием лука в районах выращивания. В некоторых районах диапазон внесения азотных удобрений, который считается оптимальным для получения крупных луковиц, составляет от 120 до 150 кг/га N [53, 54].

Влияние азота и фосфора на диаметр и длину луковицы может быть связано с увеличением продукции сухого вещества, его распределением в луковице [55, 56].

Сообщается, что влияние удобрений (NPK) на диаметр и длину луковиц зависит от уровня подачи оросительной воды. Взаимодействие самого высокого уровня подачи и самого высокого уровня внесённых удобрений увеличивало диаметр и длину луковиц. Наоборот, высокий уровень удобрений при более низкой частоте орошения и низком уровне подачи воды, приводили к значительной потере удобрений. В такой ситуации удобрения оказывают меньшее влияние на диаметр и длину луковицы [57].

## **2.5. Урожайность и связанные с ней характеристики**

### **2.5.1. Сухая масса луковицы**

Сухая масса луковицы увеличивается с повышением количества вносимых азотных удобрений [58]. Так, урожайность лука и, соответственно, содержание в нём сухого вещества, прогрессивно повышалась на 7,00, 22,51 и 27,40 % (по сравнению с контролем), при повышении дозы азота до величины 50 кг/га N [59]. Увеличение дозы азота сверх оптимального уровня, приводит к снижению количества сухой массы луковицы из-за токсического действия удобрения [54, 60, 61].

Фосфор также способствует увеличению сухой массы луковицы и, соответственно, повышению урожайности лука [62, 63]. При увеличении дозы фосфора с 16 кг/га  $P_2O_5$  до 48 кг/га зафиксировано увеличение урожая луковиц до 15,72 т/га [64].

### **2.5.2. Средняя масса луковицы**

Масса луковицы лука репчатого прямо и положительно коррелирует с высотой растения, числом листьев, длиной листьев, количеством дней до созревания и размером луковицы. На массу луковицы и показатели урожайности влияет внесение азотных и фосфорных удобрений в период вегетации [4, 14, 15, 59, 63].

Масса луковицы положительно реагирует на добавление азота. Средняя её масса увеличивалась примерно на 26% при дозе 69 кг/га N по сравнению с контролем без удобрений; более высокая доза азота не увеличивала массу луковицы [37].

Внесение азотных и фосфорных удобрений значительно повлияло на массу луковиц. В его отчете приводятся данные, что повышение уровня азота с 72 кг/га N до 216 кг/га N увеличивало массу луковиц до 151,59 и 152,43 г в 2013/14 и 2014/15 годах соответственно. Точно так же средняя масса луковицы значительно увеличивалась, когда норма фосфора повышалась с 37 кг/га до 148 кг/га  $P_2O_5$  [65].

### 2.5.3. Общий и товарный доход

Общий и товарный урожай луковиц являются основными хозяйственными характеристиками лука репчатого. Та доза удобрения, которая дает наиболее высокие уровни этих показателей, считается оптимальной и рекомендуется для выращивания лука. Но главная проблема при применении удобрений заключается в необходимости согласования стоимости удобрений и экономической отдачи от товарного урожая. Если урожай выше за счет добавления азотных и фосфорных удобрений, но соотношение затрат и выгод отрицательное, то соответствующий уровень добавления не рекомендуется для производителей товарного лука репчатого [15, 16, 43, 66].

В некоторых работах количество азота, необходимое для получения большего количества товарных луковиц, составляет всего 60 кг/га N [67]. В других сообщается, что для получения более высоких товарных и общих урожаев луковиц требуется до 250 кг/га N [63, 68, 69]. Это может быть связано с различиями в сортах, почве и условиях выращивания. Достаточно убедительным кажется другой отчет [55]. Исследователи выяснили, что увеличение внесения азотных удобрений с нуля до 120 кг/га N и выше, приводит к непрерывному увеличению товарной урожайности лука до тех пор, пока доза внесения не достигнет 160 кг/га N. Эта тенденция связана с тем, что всё большие дозы внесения азотных удобрений вызывают всё большее увеличение фотосинтетической площади листьев растений, а это, в свою очередь, приводит к увеличению урожайности.

В отличие от азота, увеличение дозы внесения фосфора от нуля до 147 кг/га P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> не влияют на урожай луковиц [69]. Другие исследователи сообщают, что добавление фосфорных удобрений увеличивает урожай товарных и нетоварных луковиц вследствие усиления действия фосфора на рост растений и увеличения их фотосинтетической активности [62, 70].

Наивысшую общую урожайность луковиц получили при дозе 103,5 кг/га N и 138 кг/га P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. В их отчете максимальная урожайность луковиц, полученная при такой комбинированной дозе, примерно на 53% выше минимальной общей урожайности луковиц, полученной при контрольном (нулевом) внесении двух удобрений [55].

### 2.6. Влияние азота и фосфора на качество лука

Влияние азота возможно количественно оценить по содержанию сухого вещества, которое колеблется от 11 до 14% в луковицах. Увеличение количества азота в почве приводит к увеличению процента азота в луковицах, в то время как процентное содержание минералов в них не меняется. Однако, увеличение дозы азота свыше 200 кг/га N приводит к снижению процентного содержания сухого вещества [71].

Важнейшее и характерное свойство лука репчатого – острота, специфический запах и вкус, которые обуславливаются наличием эфирных масел, содержащих серу. Острота определяется как сорто-

выми особенностями, так и условиями выращивания, в частности, количеством азота в почве. Известно, что при избыточном внесении удобрений полуострые сорта лука могут получаться более острыми. При нарушении целостности тканей луковицы предшественники аромата, находящиеся в цитоплазме, реагируют с ферментом аллииназой, находящейся в вакуолях, с высвобождением широкого спектра высокорекреационных сульфеновых кислот с характерным ароматом, а также пирувата и аммиака [72, 73]. Также известно, что содержание пировиноградной кислоты в луковицах тесно связано со степенью остроты лука. Содержание пировиноградной кислоты варьирует от 1 до 18 мкмоль для разных сортов лука. Количественное содержание пировиноградной кислоты было использовано в качестве показателя степени остроты при промышленном производстве сладкого лука в Джорджии, США: низкая острота (от 0 до 3 микромолей пировиноградной кислоты на грамм свежего лука), средняя острота (от 3 до 7 микромолей) и высокая острота (более 7 микромолей) [74].

При увеличении доз азота под лук репчатый от нулевого уровня до более высоких показателей, зафиксировано соответствующее увеличение содержания кальция и калия в луковицах. Но очень высокий уровень азота в почве привел к снижению содержания в них кальция [25, 75, 76].

Внесение фосфорных удобрений в химической форме и в составе биоудобрений увеличивает содержание белка, азота, фосфора и калия в луковицах, а также общее количество растворимых веществ (TSS) в них [77].

### 3. Влияние калия на рост, развитие и физиологию растений лука репчатого

Калий является одним из макро минеральных питательных веществ, влияющих на рост, развитие, урожайность и качество растений лука. Это один из наиболее доступных минералов в большинстве почв. Растения утилизируют прежде всего наиболее подвижные формы калия: калий почвенного раствора и обменный. По мере развития растений и возрастания усваивающей способности корневой системы в процесс питания в той или иной степени вовлекаются и необменные, запасные формы. Количество доступного калия всегда должно быть достаточно высоким, чтобы удовлетворить пиковые потребности растений, если целью является максимальная урожайность, так как низкая скорость выноса калия из запасных форм иногда может ограничивать урожайность [4, 25, 78-82].

Калий оказывает существенное положительное влияние на энергосистемы внутри растения, интенсивность фотосинтеза, окислительных процессов и образование органических кислот, участвует в углеводном и азотном обмене, влияет на активность ферментов, транс локацию и запасание ассимилятов в растениях [83-85].

Адекватное удобрение калием оказывает положительное влияние на формирование луковицы. Это также влияет на устойчивость растений лука к некоторым заболеваниям. Качество хранения луко-

виц улучшается при оптимальном удобрении калием. Дефицит калия у лука выражается в появлении бурых кончиков у старых листьев и плохом формировании луковиц. Недостаток калия особенно сильно проявляется при питании растений аммонийным азотом [86, 87].

Внесение калийных удобрений существенно влияет на вегетативный рост и развитие растений лука репчатого [4, 5, 88, 89]. Самый высокий рост растений наблюдался в ответ на внесение 120 кг/га  $K_2O$ , по сравнению с контролем он увеличивался на 7% [90]. При той же дозе внесения калия была зарегистрирована наибольшая высота растения лука 41 см [91].

Удобрение калием увеличивает также число листьев, их диаметр и длину. В эксперименте, проведенном с двумя формами калийных удобрений, хлоридом калия и нитратом калия, обе формы одинаково воздействовали на увеличение длины, сырой и сухой массы листьев [92]. Влияние калия на увеличение высоты растений и диаметра листьев может быть связано с его влиянием, главным образом, на физиологические процессы, фотосинтез, транспорт ассимилятов и водный баланс внутри растения лука [93].

В одном из исследований было показано, что наибольшее число листьев и их длина были наивысшими при внесении удобрения следующего состава: 150 % N + 75 %  $K_2O$  + 200 % S [94]. Роль калия в вегетативном росте лука заключается также в его положительном влиянии на поглощение других минералов, азота и фосфора. Таким образом, в дополнение к его прямому влиянию на рост и развитие растений, он также оказывает косвенное влияние на поглощение других питательных элементов [83, 85].

В отчетах других исследователей максимальная высота растения 41,8 см и наибольшее число листьев на растении были зарегистрированы при удобрении калием в дозе 175 кг/га K [95]. На почвах, удобренных достаточным количеством калия, в листьях лука происходило усиление фотосинтетической деятельности, повышалась ферментативная активность для синтеза белка и ускорялось перемещение ассимилятов. Подтверждено также, что при недостаточном питании калием, растения лука репчатого подвержены заболеваниям, задержке роста и снижению эффективности использования воды [96, 97].

### 3.1. Влияние K на урожайность и качество лука репчатого

Параметры урожайности лука, в основном длина луковицы, диаметр луковицы, сырая масса луковицы и выход товарных луковиц с гектара, в значительной степени зависят от дефицита и доступности минерального калия [84, 87]. При оптимальном снабжении K отмечен большой диаметр, длина, сырая масса луковиц и максимальная урожайность с гектара [95, 96]. При недостатке калия показатели урожайности и качество лука снижались [98, 99].

Согласно ряду исследований, самые высокие показатели урожайности были зафиксированы при внесении более высоких доз калийных удобрений, а самые низкие – при контроле (нулевой уровень калия) [88, 89]. При увеличении доз калия от контроля до 120

кг/га, общая урожайность лука увеличивалась примерно на 16%. Точно так же эта доза калия увеличивала выход товарной луковицы примерно на 50% по сравнению с контролем, что может быть связано с влиянием калия на усиление физиологических процессов в растениях лука [90, 98].

Внесение калия в почву дает более высокий урожай и качество луковиц, чем внекорневое внесение. Почвенное внесение калия в форме  $KNO_3$  дало наибольший общий урожай, массу луковицы и сухих веществ [46]. Существует прямая зависимость вегетативного роста лука, и таких характеристик его урожая, как толщина шейки, диаметр луковицы, длина луковицы и товарный вес луковицы, от внесения калийных удобрений. [84, 91, 100, 101].

В других сообщениях указывалось, что прибавка урожая лука за счет удобрения калием связана с его значительным влиянием на синтез углеводов и белков, в результате чего в структуре урожая возрастает процент содержания крупных луковиц и возрастает выход товарного лука [85, 88, 96]. Качество лука, выраженное в TSS (общее количество растворимых веществ), является одним из параметров, на который существенно влияет калиевое удобрение. Применение калия в оптимальной дозе увеличивает количество TSS в растениях лука [98]. Добавление калия влияет и на другие параметры качества, такие, как содержание аскорбиновой кислоты, более высокое количество которой зафиксировано в растениях лука на удобренных землях, по сравнению с неудобренными [101].

Внесение калийных удобрений в дозах 120, 144 кг/га  $K_2O$  создавало пик образования питательных веществ в тканях лука (белок, углеводы N, P, K, Fe, Mn, Zn и Cu) и, соответственно, увеличивало процент содержания сухого вещества в луковицах [89, 100].

### Заключение

Значительную роль в производстве лука играют минеральные удобрения, в основном азотные, калийные и фосфорные, определяющие рост, развитие растений, физиологические процессы в них, общий и товарный урожай луковиц.

Оптимальное количество удобрений, необходимых для получения высоких урожаев лука, разное, и зависит от климатических факторов, систем орошения, сортовых различий, почвенных и производственных условий возделывания.

Принимая во внимание отрицательное воздействие излишних количеств минеральных удобрений на почву, воду и атмосферу, следует для каждого из районов возделывания определить необходимые и достаточные дозы этих удобрений для получения максимальных урожаев с хорошим качеством продукции. При этом необходимо учитывать соотношение стоимости затрат на внесение удобрений и выгод от получения соответствующего урожая.

В настоящее время, в связи с установленной в мировом масштабе тенденцией на развитие органического земледелия, для повышения урожайности лука репчатого требуется разработка стратегии питания растений с использованием органических удобрений или их комбинаций с минеральными.

## ● Литература

1. Khokhar K.M. Mineral nutrient management for onion bulb crops – a review. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 2019;94(6):703-717.
2. Дерюгин И.П., Кулюкин А.Н. Питание и удобрение овощных и плодовых культур. М.: Изд-во МСХА, 1998. 326 с.
3. Солдатенко А.В., Борисов В.А. Экологическое овощеводство. М., Изд-во ФГБНУ ФНЦО. 2022. 504 с. ISBN 978-5-901695-88-3. EDN HBRGMW.
4. Борисов В.А., Разин А.Ф., Меньших А.М., Бебрис А.Р. Продуктивность и качество новых гибридов лука репчатого при выращивании в однолетней культуре при капельном орошении в Московской области. *Орошаемое земледелие*. 2019;(2):50-53. DOI 10.35809/2618-8279-2019-2-14. EDN ZKONJF.
5. Борисов В.А., Ховрин А.Н., Бебрис А.Р., Фильрозе Н.А., Монахос Г.Ф. Действие удобрений и регуляторов роста на урожайность и качество гибридов лука репчатого, выращенных в однолетней культуре при капельном орошении. *Овощи России*. 2018;(4):89-93. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2018-4-89-93>. EDN XTXEST.
6. Сатункин И.В., Васильев И.В., Ванькова М.О. Влияние расчётных норм минеральных удобрений на эффективное плодородие чернозёма южного при капельном орошении лука репчатого. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2016;2(58):34-36. EDN VVRXZH.
7. Кизяев Б.М., Бородычев В.В. Эффективность минерального питания овощных культур при капельном орошении. *Плодородие*. 2016;5(92):18-21. EDN WWRVXT.
8. Федосов А.Ю., Меньших А.М., Соснов В.С. Управление фертигацией в овощеводстве. *Картофель и овощи*. 2022;(11):14-18. DOI 10.25630/PAV.2022.71.18.002. – EDN ONZLUO.
9. Федосов А.Ю., Меньших А.М., Иванова М.И., Рубцов А.А. Инновационные технологии орошения овощных культур. М.: "Ким Л.А.", 2021. 306 с.
10. Зайцева Н.А., Климова И.И., Ячменёва Е.В., Дьяков А.С., Зайцев С.В. Урожайность лука репчатого в условиях светло-каштановых почв Нижнего Поволжья в зависимости от вносимых удобрений. *Теоретические и прикладные проблемы агропромышленного комплекса*. 2021;4(50):18-21. DOI 10.32935/2221-7312-2021-50-4-18-21. EDN WLYHQF.
11. Филин В.И., Казаченко О.П. Эффективность разных систем применения удобрений при капельном орошении лука репчатого. *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование*. 2012;1(25):42-47. EDN OWIDRF.
12. Лобанкова О.Ю., Исмаилов К.Б., Селиванова М.В. Влияние минеральной подкормки на продуктивность лука репчатого в условиях орошения в засушливой зоне. *Вестник АПК Ставрополя*. 2021;4(44):32-36. DOI 10.31279/2222-9345-2021-10-43-32-36. EDN ZWLQXJ.
13. Бабичев А.Н., Рубцов А.А., Бабенко А.А. Влияние минерального питания на урожайность лука репчатого. *Пути повышения эффективности орошаемого земледелия*. 2020;4(80):141-144. EDN MRQQPO.
14. Иркв И.И., Ибрагимбеков М.Г., Заплаткин А.Н., Багров Р.А. Оптимизация элементов технологии производства лука-репки в однолетней культуре в условиях Нечерноземья. *Картофель и овощи*. 2021;(3):25-28. DOI 10.25630/PAV.2021.39.61.001. – EDN BNPNEA.
15. Янченко Е.В., Бебрис А.Р. Сроки лежкости и реализации лука репчатого в зависимости от системы питания. *Овощи России*. 2021;(4):83-93. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2021-4-83-93>. EDN FBMGUT.
16. Борисов В.А., Коломиец А.А., Васючков И.Ю., Бебрис А.Р. Продуктивность и качество репчатого лука при использовании минеральных удобрений, биокомпостов и регуляторов роста. *Овощи России*. 2021;(5):39-43. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2021-5-39-43>. EDN ZRKCEM.
17. Sorensen J.N., Grevsen K. Sprouting in bulb onions (*Allium cepa* L.) as influenced by nitrogen and water stress. *J Hort Sci Biotechnol*. 2001;(76):501-506.
18. Rice R.P., Rice L.W., Tindall H.D. Fruit and vegetable production in warm climates 1993.
19. Buckland K., Reeve J.R., Alston D., Nischwitz C., Drost D. Effects of nitrogen fertility and crop rotation on onion growth and yield, thrips densities, iris yellow spot virus and soil properties. *Agric Ecosyst Environ*. 2013;(177):63-74.
20. Gebretsadik K., Dechassa N. Response of onion (*Allium cepa* L.) to nitrogen fertilizer rates and spacing under rain fed condition at tah-tay koraro, ethiopia. *Sci Rep*. 2018;8(1):9495.
21. Visser C.I.M. Effect of split application of nitrogen on yield and nitrogen recovery of spring-sown onions and on residual nitrogen. *J Hort Sci Biotechnol*. 1998;(73):403-411.
22. Inal M., Sunal E., Kanbak G., Zeytinoglu S. Effects of post-menopausal hormone replacement and alpha-tocopherol on the lipid profiles and antioxidant status. *Clin Chim Acta*. 1997;268(1-2):21-29.
23. Stone D.A. The effects of starter fertilizers on the growth and nitrogen use efficiency of onion and lettuce. *Soil Use Manage*. 2000;(16):4248.
24. Boyhan George E., Reid L. Torrance. Crop Reports Vidalia Onions — Sweet Onion Production in Southeastern Georgia. 2002;12(2).
25. Randle W.M. Increasing nitrogen concentration in hydroponic solutions affects onion flavour and bulb quality. *J Am Soc Hortic Sci*. 2000;(125):254-259.
26. Coolong T.W. Temperature, nitrogen, and sulfur fertility influence the flavor pathway in onion (*Allium cepa* L.) MS thesis. UnivGa, Athens. 2003.
27. Shock C.C., Feibert E.B.G., Saunders L.D. 2004. Pungency of selected onion varieties before and after storage <http://narc2002.wsu.edu>
28. Waraich E.A., Saifullah A.R., Ehsanullah M.Y. Role of mineral nutrition in alleviation of drought stress in plants. *AJCS*. 2011;(5):764-777.
29. Tisdale S.L., Nelson W., Beaton L. Soil Fertility and Fertilizers 5<sup>th</sup> ed. 1995.
30. Miller R.W., Donahue R.L. Soils in Our Environment 6<sup>th</sup> ed. 1995.
31. Pant H.K., Reddy K.R. Potential internal loading of phosphorus in a wetland constructed in agricultural land. *Water Res*. 2003;37(5):965-972.
32. Hinsinger P. Bioavailability of soil inorganic phosphorus in the rhizosphere as affected by root-induced chemical changes. *Plant Soil*. 2001;237(2):173-195.
33. Mcpharilin I.R., Robertson W.J. Response of onions (*Allium cepa* L.) to phosphate fertilizer placement and residual phosphorus on a karrakatta sand. *Aust J Exp Agric*. 1999;(39):351-359.
34. Greenwood D.J., Stone D.A., Karpinets T.V. Dynamic model for the effects of soil P and fertilizer P on crop growth, P uptake and soil P in arable cropping: Experimental test of the model for field vegetables. *Ann Bot (Lond)*. 2001;(88):293-306.
35. Alt D., Ladebusch H., Melzer O. Long-term trial with increasing amounts of phosphorus, potassium and magnesium applied to vegetable crops. *Acta Hort*. 1999;(506):29-36.
36. Rizk F.A. Productivity of onion plant (*Allium cepa* L.) as affected by method of planting and NPK application. *Egypt J Hort* 1997; 24(2): 219-238.
37. Abdissa Y., Tekalign T., Pant L.M. Growth, bulb yield and quality of onion (*Allium cepa* L.) as influenced by nitrogen and phosphorus fertilization on vertisol I. *Afr J Agric Res*. 2011;6(14):3252-325.
38. Fisseha M. Response of onion (*Allium cepa* var. *cepa*) to combined application of farmyard manure and inorganic nitrogen and phosphorus fertilizer at Alage, Ethiopia. MSc thesis 2010.
39. Maier N.A., Dahlenburg A.P., Twigden T.K. Assessment of the nitrogen status of onions (*Allium cepa* L.) cv. Cream Gold by plant analysis. *Aust J Exp Agric* 1990; 30(6): 853.
40. Lee-Jongatae; Ha-Injong; lee-Changung; Moon-Jinseong and Cho-Yongcho. Effect of N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and K<sub>2</sub>O application rates and top-dressing time on growth and yield of onion (*Allium cepa* L.) under spring culture in low land. *Korean J Hort Sci Tech*. 2003;21(4):260-266.
41. Nasreen S., Haque M., Hossain M., Farid A. Nutrient uptake and yield of onion as influenced by nitrogen and sulphur fertilization.

*Bangladesh J Agric Res.* 2008;32(3):413-420.

42. Vachhani M.U., Patel Z.O. Effect of nitrogen, phosphorus and potash on bulb yield and quality of onion (*Allium cepa*). *Indian J Agron.* 1993;(3):333-334.
43. Amare G., Mohammed W., Tana T. Effect of plant spacing and np fertilizer levels on growth, seed yield and quality of onion (*Allium cepa* L.) at shewa robit, northern Ethiopia. *Open Biotechnol J.* 2020;14(1).
44. Jilani M.S. Studies on the management strategies for bulb and seed production of different cultivars of onion (*Allium cepa* L.). PhD thesis 2004; 1-499.
45. Rezaei E.E., Kafi M.B.M. Nitrogen and cultivated bulb weight effects on radiation and nitrogen-use efficiency, carbon partitioning and production of persian shallot (*Allium altissimum* Regel.). *J Crop Sci Biotechnol.* 2013;(16):237-244.
46. Sharangi A.B.S.P. Effect of placement and dose of phosphatic fertilizers on onion. *J Plant Nutr.* 2009;(32):1901-1913.
47. Rizk F.A., Shaheen A.M., Abd El-Samad E.A., Sawan O.M. Effect of different nitrogen plus phosphorus and sulphur fertilizer levels on growth, yield and quality of onion (*Allium cepa* L.). *J Appl Sci Res.* 2012;(8):3353-3361.
48. El Hamady M.M. Growth and Yield of Onion *Allium cepa* L. as Influenced by Nitrogen and Phosphorus Fertilizers Levels. *Can J Agric Crop.* 2017;(2):34-41.
49. Syed N., Manir M., Alizai A.A., Ghaffoor A. Onion shelf life as a function of the levels of nitrogen and potassium application. *J Biol Sci.* 2001;1(2):71-73.
50. Lemma Dessalegne and Shimeles Aklilu. Research Experiences in Onion production. Research Report No 55 Ethiopia Agricultural Research Organization 2003. Addis Ababa, Ethiopia.
51. Ghaffoor A, Jilani MS, Khaliq G, Waseem K. Effect of different NPK levels on the growth and yield of three onion (*Allium cepa* L.) varieties. *Asian J Plant Sci.* 2003;2(3):342-346.
52. Burba J.L., Galmarini C.R. 1994. First international symposium on edible Alliaceae. International Society for Horticultural Science, Mendoza, Argentina.
53. Yadav R.L., Sen N.L., Yadav B.L. Response of onion to nitrogen and potassium fertilization under semi-arid condition. *Ind. J. Hort.* 2003;(60):176-178.
54. Nasreen S., Haque M.M., Hossain M.A., Farid A.T.M. Nutrient uptake and yield of onion as influenced by nitrogen and sulphur fertilization. *Bangladesh J Agric Res.* 2007;32(3):413-420.
55. Tekeste N., Dechassa N., Woldetsadik K., Dessalegne L., Takele A. Influence of nitrogen and phosphorus application on bulb yield and yield components of onion (*Allium cepa* L.). *Open Agric J.* 2018;12(1):194-206.
56. Yoldas F., Ceylan S., Mordogan N., Esetilli B.C. Effect of organic and inorganic fertilizers on yield and mineral content of onion (*Allium cepa* L.). *Afr J Biotechnol.* 2011;10(55):11488-11492.
57. Piri H., Amir N. Effect of Different Levels of Water, Applied Nitrogen and Irrigation Methods on Yield, Yield Components and IWUE of Onion. *Sci Hortic.* 2020.
58. Pandey U.C., Ekpo U. Response of nitrogen on growth and yield of onion (*Allium cepa* L.) in Maiduguri region of Borno State, Nigeria. *Research and Development Reporter.* 1991;8(1):5-9.
59. Kumar S., Sushant C.P. Bulb yield and quality of onion (*Allium cepa* L.) as affected by application rates of nitrogen and potassium fertilizer. *Agric Sci Dig.* 2006;26(1):11-14.
60. Anwar M.N., Sarker J.U., Rahman M., Islam M.A., Begum M. Response of onion to nitrogen, phosphorus, potassium, sulphur and zinc. *Bangladesh Journal of Environmental Sciences Aust J Basic & Appl Sci.* 2007;(7):68-72.
61. Messele B. Effects of Nitrogen and Phosphorus Rates on Growth, Yield, and Quality of Onion (*Allium cepa* L.) At Menschen Für Menschen Demonstration Site, Harar, Ethiopia. *Agricultural Research & Technology: Open Access Journal* 2016;1(3):1-8.
62. Gupta R.P., Sharma V.P. Effect of different spacing and levels of nitrogen for production of export quality onion bulbs planted on raised bed. *News Letter National Horticultural Research and Development Foundation.* 2000;20(1-4):13-16.
63. Shaheen A.M., Abdel-Mouty M.M., Ali A.H., Rizk F.A. Natural and chemical phosphorus fertilizers as affected onion plant growth, bulbs yield and its some physical and chemical properties. *Aust J Basic Appl Sci.* 2007;1(4):519-524.
64. Morsy M.G., Marey R.A., Karam S.S., Abo-Dahab A.M. Productivity and storability of onion as influenced by the different levels of NPK fertilization. *J. Agri. Res. Kafer El-Sheikh Univ.* 2012;38(1):171-187.
65. El-Hamady M.M. Growth and yield of onion *Allium cepa* L. as influenced by nitrogen and phosphorus fertilizers levels. *Can J Agric Crops* 2017; 2(1): 34-41.
66. Shege G., Melkamu A., Amare H., Yigzaw D. Economic and Agronomic optimum rate of NPS fertilizer for irrigated garlic (*Allium sativum* L.) Production in high lands of Ethiopia Department of horticulture Debre Markose University, Burie campus. 2017.
67. Cizauskas, A & Viskelis, Pranas & Dris, R & Oladele, O.I.. (2004). Influence of nitrogen rates on onion yield, quality and storability. *Moor Journal of Agricultural Research.* 4. 10.4314/mjar.v4i1.31758.
68. Mahmoud Asmaa R. Response of onion plants to minerals and bio-fertilizers application. *Application Res J Agric & Biol Sci.* 2006;2(6):292-298.
69. Boyhan George E., Reid L. Torrance. Effects of nitrogen, phosphorus, and potassium rates and fertilizer sources on yield and leaf nutrient status of short-day onions. 2002;42(3).
70. Ghoname A., Fawzy Z.F., El-Bassiony A.M., Riadand G.S., Abd El-Baky M.M.H. Reducing onion bulbs flaking and increasing bulb yield and quality by potassium and calcium application. *Aust J Basic Appl Sci.* 2007;1(4):610-618.
71. Hansen S.L., Henriksen K. Increasing the dry matter production in bulb onions (*Allium cepa* L.). *Denmark Department of Fruit, Vegetable and Food Science.* 2001;(2):147-152.
72. Randle W.M., Ketter C.A. Pungency assessment in onions. Proceedings of the 19-workshop conference of the Association for Biology Laboratory Education (ABLE) 1998; 177-96. <http://www.zoo.utoronto.ca/able/volumes/copyright.htm>
73. Schwimmer S., Weston W.J. Enzymatic development of pyruvic acid in onion as a measure of pungency. *J Agric Food Chem.* 1961;(9):301-304.
74. Shock C.C., Feibert B.G., Saunders L.D. Plant population and nitrogen fertilization for subsurface drip-irrigated onion. *HortScience.* 2004;39(7):1722-1727.
75. Woldetsadik K. Shallot (*Allium cepa* var. *ascalonicum*) Responses to plant nutrients and soil moisture in a subhumid tropical climate Doctoral dissertation, Swedish University of Agricultural Sciences, Alnarp 2003; 1-28.
76. Coolong T.W., Kopsell D.A., Kopsell D.E., Randle W.M. Nitrogen and sulfur influence nutrient usage and accumulation in onion. *J Plant Nutr.* 2004;(27):1667-1686.
77. Shaheen A.M., Omer N., Fawzy Z.F. The effect of natural and / or chemical phosphorus fertilizer in combination with or without bio-phosphorus fertilizer on growth, yield and its quality of onion plants. *Middle East J Agric Res.* 2012;(1):47-51.
78. Moustafa Y. Onion quality and storage ability affected by potassium humate and NPK doses. *EC Agric.* 2019;5:227-235.
79. Biswas T.D., Mukherjee S.K. Text Book of Soil Science 5th ed. 1993; 170-197.
80. Acquaye T.M.A.J.M., Rie H.M. Potential and capacity of potassium in some representative soils of Ghana. *Soil Sci.* 1967;103:79-89.
81. Tisdale S.L., Nelson W.L., Beaton J.D., Halvin J.L. Soil Fertility and Fertilizers 5th ed. 1995; 109-229.
82. El-Bassiony A.M. Effect of potassium fertilization on growth, yield and quality of onion plants. *J Appl Sci Res.* 2006;2:780-785.
83. Yaso I.A., Abdel-Razzak H.S. Effect of NPK fertilization on bulb yield and quality of onion under reclaimed calcareous soil conditions. *J Agric Egypt Env Sci Alex Univ.* 2007;6.
84. EL-Desuki M., Abdel-Mouty M.M., Ali A.H. Response of onion plants to additional dose of potassium application. *J Appl Sci Res.* 2006;2:592-597.
85. Bolandnazar S., Mollavali M., Tabatabaei S.J. Influence of NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> and K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> on qualitative characteristics of onion. *Sci Hortic (Amsterdam).* 2012;136:24-28.
86. Boyhan G.E., Torrance R.L. Crop Reports *Vidalia Onions — Sweet Onion Production in Southeastern Georgia* 2002; 12.

87. Maisura M., Nurdin M., Muslina M. Effect of manure and NPK fertilizers on growth and production of onion (*Allium cepa* L.). *J Trop Hortic*. 2019;2:16.
88. Mohamed A., El-Damarany A., Marey R. Effect of planting dates and fertilization on yield and yield components of onion (*Allium cepa* L.) Grown from Sets. *J Plant Prod*. 2018;9:1031-1044.
89. Bekele M. Effects of different levels of potassium fertilization on yield, quality and storage life of onion (*Allium cepa* L.) at Jimma, Southwestern Ethiopia. 2018.
90. Aftab Samra Hamid. Impact of potassium on the growth and yield contributing attributes of onion (*Allium cepa* L.). *Asian Res J Agric*. 2017;7:1-4.
91. Riad G. Reducing Onion Bulbs Flaking and Increasing Bulb Yield and Quality by Potassium and Calcium Application. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 2007;1(4):610-618.
92. Marschener P. Mineral Nutrition of Higher Plants Third Edit. 2012.
93. El-Morsy A., El-Kasas A., El-Tantawy A. Onion plant growth and yield as affected by nitrogen, potassium and sulphur combinations under el-arish region conditions. *Sinai J Appl Sci*. 2016;5:345-362.
94. Mozumder S., Moniruzzaman M., Halim G. Effect of N, K and S on the Yield and storability of transplanted onion (*Allium cepa* L.) in the Hilly Region. *J Agric Rural Dev*. 1970;5:58-63.
95. Singh S.P., Verma A.B. Response of onion (*Allium cepa*) to potassium application. *Indian J Agron*. 2001;46:182-185.
96. Greenwood D.J., Stone D.A. Prediction and measurement of the decline in the critical-K, the maximum K and total plant cation concentration during the growth of field vegetable crops. *Ann Bot*. 1998;82:871-881.
97. Mandal J., Acharyya P., Bera R., Mohanta S. Response of Onion to NPK, S and Micronutrients. *Int J Curr Microbiol Appl Sci*. 2020;9:1137-1144.
98. Gamiely S., Randle W.M., Mills H.A., Smittle D.A., Banna G.I. Onion plant growth, bulb quality, and water uptake following ammonium and nitrate nutrition. *HortScience*. 2019;26:1061-1063.
99. Ali H., Taalab A.S. Effect of natural and / or chemical potassium fertilizers on growth, bulbs yield and some physical and chemical constituents of onion (*Allium cepa* L.). *J Agric Biol Sci*. 2008;4:228-237.
100. Liu S., He H., Feng G., Chen Q. Effect of nitrogen and sulfur interaction on growth and pungency of different pseudostem types of Chinese spring onion (*Allium fistulosum* L.). *Sci Hortic (Amsterdam)*. 2009;121:12-18.
101. Singh S.K., Kumar M.S., Singh P.K., Yadav L.M. Effect of sulphur sources and levels on growth, yield and quality of onion (*Allium cepa* L.). *Curr J Appl Sci Technol*. 2020;21:1-4.
102. Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов. [State catalog of pesticides and agrochemicals.] <https://mcx.gov.ru/ministry/departments/departament-rastenievodstva-mekhanizatsii-khimizatsii-i-zashchity-rastenyi/industry-information/info-gosudarstvennaya-usluga-po-gosudarstvennoy-registratsii-pestitsidov-i-agrokhimikatov/?ysclid=ln0an7v8z4567059384>

#### • References

2. Deryugin I.P., Kulyukin A.N. Nutrition and fertilization of vegetable and fruit crops. M.: Publishing house MCHA, 1998. 326 p. (In Russ.)
3. Soldatenko A.V., Borisov V.A. Ecological vegetable growing. M. 2022. 504 p. ISBN 978-5-901695-88-3. EDN HBRGMW. (In Russ.)
4. Borisov V.A., Razin A.F., Menshikh A.M., Bebris A.R. Productivity and quality of new hybrids of bulb onion when grown in annual crops with drip irrigation in the Moscow region. *Irrigated agriculture*. 2019;(2):50-53. DOI 10.35809/2618-8279-2019-2-14. EDN ZKONJF. (In Russ.)
5. Borisov V.A., Khovrin A.N., Bebris A.R., Fillrose N.A., Monahos G.F. The effect of fertilizers and growth regulators on yield and quality of hybrid onion, grown in annual crops under drip irrigation. *Vegetable crops of Russia*. 2018;(4):89-93. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2018-4-89-93>. EDN XTREST.
6. Satunkin I.V.1, Vasilyev I.V.1, Vankova M.O. Effect of estimated rates of mineral fertilizers on the fertility of southern chernozem soils with drip-irrigated onion. *News of the Orenburg State Agrarian University*. 2016;2(58):34-36. EDN VVRXZH. (In Russ.)
7. Kizyaev B.M., Borodychev V.V. Efficiency of mineral nutrition of vegetable crops under drip irrigation. *Plodorodie*. 2016;5(92);18-21. EDN WWRVXT. (In Russ.)
8. Fedosov A.Yu., Menshikh A.M., Sosnov V.S. Fertigation management for vegetable growing. *Potato and vegetables*. 2022;(11):14-18. DOI 10.25630/PAV.2022.71.18.002. – EDN ONZLUO. (In Russ.)
9. Fedosov A.Yu., Menshikh A.M., Ivanova M.I., Rubtsov A.A.. Innovative technologies for irrigation of vegetable crops. M.: "Kim L.A.", 2021. 306 p. (In Russ.)
10. Zaitseva N.A., Klimova I.I., Yachmeneva E.V., Dyakov A.S., Zaitsev S.V. Effect of fertilizers on onion productivity on light chestnut soils in the Lower Volga region. *Theoretical and applied problems of agro-industry*. 2021;4(50):18-21. DOI 10.32935/2221-7312-2021-50-4-18-21. EDN WLYHQF. (In Russ.)
11. Filin V.I., Kazachenko. O.P. The effectiveness of different fertilizer application systems for drip irrigation of onions. *Proceedings of lower volga agro-university complex: science and higher education*. 2012;1(25):42-47. EDN OWIDRF. (In Russ.)
12. Lobankova O.Yu., Ismailov K.B., Selivanova M.V. The effect of mineral fertilizing on the productivity of onions under irrigation conditions in the arid zone. *Agricultural bulletin of Stavropol region*. 2021;4(44):32-36. DOI 10.31279/2222-9345-2021-10-43-32-36. EDN ZWLQXJ. (In Russ.)
13. Babichev A.N., Rubtsov A.A., Babenko A.A. The influence of mineral nutrition on the yield of onions. *Ways of increasing the efficiency of irrigated agriculture*. 2020;4(80):141-144. EDN MRQPO. (In Russ.)
14. Irkov I.I., Ibragimbekov M.G., Zaplatkin A.N., Bagrov R.A. Optimization of onion production technology under annual growing in non-chernozem zone. *Potato and vegetables*. 2021;(3):25-28. DOI 10.25630/PAV.2021.39.61.001. EDN BNPNEA. (In Russ.)
15. Yanchenko E.V., Bebris A.R. Periods of keeping quality and realization of onions depending on the nutrition system. *Vegetable crops of Russia*. 2021;(4):83-93. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2021-4-83-93>. EDN FBMGUT.
16. Borisov V.A., Kolomiets A.A., Vasyuchkov I.Yu., Bebris A.R. Productivity and quality of onions when using mineral fertilizers, biocompost and growth regulators. *Vegetable crops of Russia*. 2021;(5):39-43. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2021-5-39-43>. EDN ZRKCEN.

#### Об авторах:

**Ольга Николаевна Успенская** – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0003-4843-2067>

**Александр Юрьевич Федосов** – младший научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0001-9492-8667>

**Александр Михайлович Менших** – кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0001-7254-8487>, автор для переписки, [soulsunnet@yandex.ru](mailto:soulsunnet@yandex.ru)

**Игорь Юрьевич Васючков** – кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0003-4143-3294>

#### About the Authors:

**Olga N. Uspenskaya** – Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher, <https://orcid.org/0000-0003-4843-2067>

**Alexander Yu. Fedosov** – Junior Researcher, <https://orcid.org/0000-0001-9492-8667>

**Alexander M. Menshikh** – Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, <https://orcid.org/0000-0001-7254-8487>, Correspondence, [soulsunnet@yandex.ru](mailto:soulsunnet@yandex.ru)

**Igor Yu. Vasyuchkov** – Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, <https://orcid.org/0000-0003-4143-3294>