

УДК 631.8:631.559:633.854.54

ВЛИЯНИЕ УДОБРЕНИЙ НА УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО ПРОДУКЦИИ МАСЛИЧНОГО ЛЬНА

© 2024 г. А. В. Ивойлов*

Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва
430005 Саранск, ул. Большевикская, 68, Россия

*E-mail: ivoilov.av@mail.ru

Приведен обзор отечественной и иностранной литературы о влиянии удобрений на урожайность и качество продукции масличного льна (*Linum usitatissimum* L. ssp. *intermedium*). Показано, что применение удобрений является эффективным способом повышения семенной продуктивности льна. Результативность действия удобрений на величину урожая и масличность семян зависит от множества причин: метеорологических условий в период вегетации растений, доз удобрений, сроков и приемов их внесения, способов обработки почвы, сортовых особенностей и т.п. В первом минимуме для формирования прибавки урожая семян масличного льна выступает азот. Оптимальные его дозы зависят от условий внешней среды и соответствуют N30–60. При этом наилучшая окупаемость 1 кг внесенного азота достигается при дозе не более 30 кг д.в./га. Применение удобрений неоднозначно, в зависимости от конкретных условий выращивания влияет на содержание растительного жира в семенах, снижая или увеличивая его концентрацию. В то же время применение удобрений в большинстве случаев приводит к увеличению сбора масла с единицы площади. Приведена база данных выноса основных элементов питания (N, P₂O₅, K₂O) масличным льном. Рассчитаны средние показатели и доверительные интервалы затрат элементов питания на единицу основной продукции: для азота они составили 34.8 кг/т (30.5–39.2 кг/т), фосфора – 13.0 (11.4–14.5) и калия – 29.9 кг/т (25.8–33.9 кг/т). Их можно использовать в качестве нормативных показателей при расчете доз удобрений на планируемый урожай.

Ключевые слова: масличный лен (*Linum usitatissimum* L. ssp. *intermedium*), удобрения, урожайность, масличность семян, относительный вынос элементов питания.

DOI: 10.31857/S0002188124090105, **EDN:** CCFSGD

ВВЕДЕНИЕ

Лен обыкновенный (*Linum usitatissimum* L.) – одна из распространенных в мире технических культур комплексного использования: 95–98% массы льняного растения (волокно, семена, полова и треста) имеет практическое применение [1–3]. Наибольшая доля мировых посевов льна приходится на производство льносемян для пищевых, фармацевтических и технических целей, меньшая – для получения лубяных волокон [4]. По данным ФАО, в 2019 г. в мире лен-долгунец выращивали на площади почти 260 тыс. га, а масличный лен занимал 3.2 млн га [5].

Мировой опыт земледелия свидетельствует, что условия минерального питания и применение удобрений и других средств химизации – ключевые факторы, которые оказывают существенное влияние на величину и качество урожая возделываемых культур, позволяют в полной мере реализовывать их генетический потенциал [6].

Цель обзора – обобщение отечественных и иностранных публикаций о влиянии средств химизации

сельского хозяйства на урожайность и качество продукции масличного льна.

КРАТКАЯ БОТАНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И НЕКОТОРЫЕ БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ МАСЛИЧНОГО ЛЬНА

Род Лен (*Linum* L.) относится к одному из 10 родов семейства Льновые (Linaceae DC. ex Perleb) порядка Мальпигиецветные (Malpighiales Mart.) и насчитывает в разных системах свыше 200 видов, разделенных в зависимости от числа хромосом, морфологии цветков и межвидовой совместимости на 5 секций: *Linum*, *Linastrum*, *Cathartolinum*, *Dasylinum* и *Syllinum* [1, 7–9]. Культурный лен *Linum usitatissimum* – лен обыкновенный (с лат. *usitatissimum* переводится как полезнейший или употребительный) имеет 30 диплоидных хромосом и помещен вместе с предполагаемыми прародителями *L. angustifolium* (лен узколиственный) и *L. bienne* (лен двулетний или зимний) в секцию *Linum* [10].

Родиной льна культурного принято считать Ближний Восток и Среднюю Азию, а также южную часть Средиземноморского побережья [11–14]. Имеются свидетельства об использовании культурного льна в неолитических культурах в качестве источника волокна. Самые ранние его находки датируются 8700–7000 гг. до н.э. [15]. Льняное волокно было обнаружено на доисторических стоянках в Израиле и Сирии [16–18]. В эпоху бронзового и железного веков человек возделывал лен практически по всей Европе, Центральной и Южной Азии, в Северной Африке и Закавказье [19]. Лен выращивали в Египте между 4500 и 4000 гг. до н.э. и он достиг Швейцарии примерно к 3000 г. до н.э.; несколько позже его выращивали в Англии, в местечке Виллиум-Хилл (William Hill) [20].

Культурный лен отличается большим полиморфизмом, из-за чего его внутривидовая систематика с позиции ботаники не до конца разработана: одни и те же формы некоторые ученые считают разновидностями, другие – подвидами, третьи – самостоятельными видами [5, 21]. В России чаще всего применяют классификацию Сизова [22]. Согласно ей, культивируемый лен подразделяется на 5 разновидностей (долгунцы, межеумки, кудряши, крупносемянные и полуозимые). Используют также классификацию Черноморской–Станкевича, в соответствии с которой выделенные Сизовым разновидности переходят в разряд подвидов: долгунцы – *L. usitatissimum* ssp. *usitatissimum*, межеумки – *L. usitatissimum* ssp. *intermedium* Czernom., кудряши – *L. usitatissimum* ssp. *humile* (L.) Czernom., крупносемянные – *L. usitatissimum* ssp. *latifolium* Stankev., полуозимые (двулетние) – *L. usitatissimum* ssp. *bienne* (Mill.) Stankev. [23]. В условиях производства обычно применяют упрощенную классификацию Эллады [12], по которой культивируемый лен подразделяют на 3 типа: лен-долгунец – одностебельный, высотой 70–140 см, с компактным соцветием, прядильного направления использования; лен-кудряш – многостебельный, высотой 20–50 см, с большим числом коробочек, масличного направления использования; лен-межеумок – одно- или двустебельный, высотой 50–80 см, с большим числом коробочек, масличного направления применения, используемый также для получения волокна низкого качества [5]. Под названием масличный лен для получения маслосемян возделывают лен-межеумок и лен-кудряш.

Лен относится к растениям-космополитам с широкой экологической пластичностью, которая обусловлена в основном коротким периодом вегетации. Многочисленными фенологическими наблюдениями установлено, что его растения проходят фазы вегетации и созревают одновременно с ячменем и пшеницей яровой [24]. Ареал возделывания масличного льна значительно шире ареала льна-долгунца и охватывает различные климатические зоны от юга Индии, Эфиопии и Кении, Аргентины до Северного

полярного круга на северо-западе России и северных провинций Канады. Его выращивают также в Европе, Африке, Австралии [1, 25]. В России масличный лен издавна возделывают не только в южных районах (Северный Кавказ), но и в Центральном Черноземье, Поволжье, на Алтае, в Западной и Восточной Сибири [26].

Масличный лен (кудряш и межеумок) относится к группе растений, не очень требовательных к тепловому режиму. Семена льна начинают прорастать при температуре почвы 3–4°C, а всходы появляются при 4–6°C. Воздействие заморозков на лен более опасно в фазах проростков и семядолей (появления всходов). В этот период при понижении температуры до –4°C начинается повреждение всходов. С конца фазы “елочки” морозостойкость заметно повышается: сформировавшиеся растения переносят понижение температуры до –6°C [27]. Для полного развития масличного льна и созревания семян требуется 1600–1800° тепла с продолжительностью безморозного периода 80–90 сут [2].

Масличный лен относится к растениям-мезофитам, которые приспособлены к произрастанию на почвах с достаточным, но не избыточным увлажнением. По сравнению с долгунцами он менее требователен к влаге. Засуху первой половины вегетации до цветения переносит практически без большого ущерба для урожая семян [28]. Корневая система масличного льна, по сравнению со многими другими полевыми культурами, относительно малоразвита, но обладает высокой всасывающей способностью. Она постоянно растет вглубь и использует влагу из глубоких слоев почвы [29–31]. Благодаря этому масличный лен отличается высокой засухоустойчивостью, способностью расти и давать урожай семян и на полупустынных территориях [32].

Масличный лен можно успешно возделывать на почвах любого типа и гранулометрического состава, но наиболее благоприятны для него среднесуглинистые черноземные и темно-каштановые почвы [32, 33]. Принято считать, что для него оптимальна слабокислая реакция почвенного раствора [34–36]. В то же время имеются сведения, что масличный лен можно успешно возделывать на нейтральных и щелочных почвах [37].

Лен относится к растениям так называемого длинного дня, цветение которых индуцируется “длинным днем” [32, 33]. Оптимальной для масличного льна является продолжительность дня 18 ч. Она обеспечивает не только сокращение периода вегетации растений, но и максимальный урожай семян [38].

ВЛИЯНИЕ УДОБРЕНИЙ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ МАСЛИЧНОГО ЛЬНА

Вопрос о влиянии удобрений и других средств химизации растениеводства на величину и качество

урожаю масличного льна не является новым. Его периодически освещали и продолжают освещать в отечественной и зарубежной научной литературе в связи с появлением новых сортов масличного льна, усовершенствованием элементов технологии и расширением ареала его возделывания.

Несмотря на высокую пластичность и способность формировать урожай семян на разных типах и подтипах почв, масличный лен при определенных условиях положительно отзывается на применение удобрений. Недостаток питательных веществ в почве оказывает отрицательное влияние не только на урожайность семян, но и на содержание в них масла. Для получения высоких урожаев семян важно с первых фаз вегетации обеспечить растения масличного льна питательными веществами в достаточном количестве, т.к. потребности в них в это время велики, а корневая система растений недостаточно развита [28, 32, 33].

Одним из основных питательных элементов, влияющих на урожайность семян льна и их качество, является азот. По данным Церлинг, им растения льна должны быть обеспечены в полной мере с фазы всходов, т.к. имеется тесная зависимость между массой коробочек, образованных к концу вегетации, и содержанием азота в надземной части растений льна к фазе “елочка” [39, 40]. В работе [41] также советуют вносить азотные удобрения под масличный лен по возможности раньше для образования дополнительных стеблей от основания главного стебля. Установлено, что на растениях льна ветвей формируется тем больше, чем меньше степень подавления роста боковых почек апикальным доминированием, обусловленным конкуренцией между верхушечной и боковыми почками за питательные вещества, главным образом за азот [42–44]. В то же время, по мнению [28], масличный лен в первый период жизни не предъявляет больших требований к азотному питанию, поскольку основное количество элемента он поглощает с фазы “елочка” до цветения. Критическим периодом по отношению к азоту считается время от фазы “елочки” до цветения.

Дефицит фосфора не только в начале вегетации, но и в последующие периоды роста и развития льна снижает урожай семян [28]. Условия калийного питания влияют на сбор маслосемян не только в течение первых недель роста, но и в значительной степени с фазы бутонизации [28, 39, 45].

Регулирование минерального питания масличного льна возможно за счет применения удобрений, посева после лучших предшественников, совершенствования системы обработки почвы, очищения поля от сорной растительности, соблюдения оптимальных норм посева [46].

В последние годы в связи с расширением площадей посева масличного льна в различных регионах Российской Федерации появилось множество

публикаций об эффективности применения удобрений и других средств химизации при его возделывании на семена. Они свидетельствуют, что результативность действия удобрений зависит от множества причин: метеорологических условий в период вегетации растений, доз удобрений, сроков и приемов их внесения, способов обработки почвы, сортовых особенностей.

О важной роли метеорологических условий периода вегетации растений в формировании величины урожая и эффективности действия удобрений свидетельствуют, например, данные исследований Санкт-Петербургского ГАУ. Установлено, что на дерново-карбонатной выщелоченной среднесуглинистой почве с очень высоким содержанием подвижных форм фосфора и калия внесение N30, N60 и N90 на фоне P40K60 увеличивало в среднем за 3 года сбор семян масличного льна сорта Северный на 0.17, 0.24 и 0.22 т/га соответственно, сортов ЛМ 98 и Norlin — на 0.09, 0.23, 0.02 и 0.34, 0.28 и 0.13 т/га. Лучшую оплату урожаем семян 1 кг д.в. удобрений обеспечивало внесение N30. Отмечено, что семенная продуктивность льна в большей степени зависела от метеорологических условий периода вегетации (доля влияния составила 86%), чем от доз удобрений [47–49]. Аналогичная закономерность отмечена в опытах на черноземе выщелоченном тяжелосуглинистом в условиях неустойчивого увлажнения Краснодарского края и на серой лесной почве в условиях Свердловской обл. [50, 51].

Эффективность применения удобрений под масличный лен в условиях северной лесостепи Тюменской обл. на черноземе выщелоченном тяжелосуглинистом также в значительной мере зависела от складывающихся метеорологических условий периода вегетации. При благоприятном режиме увлажнения прибавка урожайности семян льна сорта Август от внесения N60P16K16 и N90P25K25 составила 0.29 и 0.56 т/га соответственно, у сорта Легур она от применения этих доз была одинаковой — 0.44 т/га. При недостаточном выпадении осадков использование удобрений было неэффективным: сбор семян увеличился всего на 0.02–0.05 т/га, что было в пределах ошибки опыта [52].

На черноземе выщелоченном Ставропольской возвышенности внесение минеральных удобрений под предпосевную культивацию достоверно повышало урожайность семян льна сорта ВНИИМК 630 в среднем за 3 года в зависимости от дозы на 0.35–0.62 т/га. Максимальный сбор маслосемян обеспечил вариант с применением N90P60K20. Установлено, что отзывчивость льна на внесение удобрений также определялась метеорологическими условиями периода вегетации. Хуже всего растения льна на применение удобрений отзывались в засушливом 2010 г., когда разница между удобренными

вариантами и неудобренным контролем составляла 0.25–0.57 т/га в зависимости от дозы удобрений, тогда как в более благоприятном по увлажнению 2008 г. и менее экстремальном по температурному режиму 2009 г. – 0.033–0.60 и 0.44–0.90 т/га соответственно [53, 54].

Данные полевых опытов по оценке влияния удобрений на урожайность семян масличного льна в различных регионах России свидетельствуют о неоднозначной их эффективности, обусловленной, кроме удобрений и погоды, разными сопутствующими факторами роста и развития растений. При этом результативность действия удобрений не всегда была обусловлена типом почвы.

Дерново-подзолистые почвы. В исследованиях Всероссийского НИИ льна на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве в условиях Центрального Нечерноземья выявлена высокая эффективность применения традиционных (АЗФК, смесей N_{aa} , P_{cd} и K_x) и новых (азотно-фосфорно-калийное удобрение с бором ОАО «ФосАгро-Череповец», Сивид-Комплекс и др.) удобрений под масличный лен сорта ЛМ 98. Прибавки урожайности семян от внесения удобрений в зависимости от дозы и марки удобрения составили 0.13–0.47 т/га (13–48% к неудобренному контролю), льносоломы – 0.50–1.49 т/га (24–70%). Наибольшая семенная продуктивность льна (1.45 т/га в среднем за 4 года) отмечена при внесении $N45P60K90$ [55]. В опыте на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве с высоким содержанием фосфатов, средним – калия и бора внесение $N45P45K45$ (0.3 т АЗФК/га) в среднем за 4 года увеличивало сбор семян льна позднеспелого сорта ЛМ 98 на 0.17 т/га (17% к неудобренному контролю), раннеспелого сорта Уральский – на 0.26 т/га (на 23%), а применение $N45P74K45B3$ (новое НРК-удобрение с бором в дозе 0.3 т/га) – на 0.34 т/га (35%) и 0.23 т/га (37%) соответственно [56].

В исследованиях Ижевской ГСХА на дерново-среднеподзолистой среднесуглинистой почве масличный лен сортов ВНИИМК 620 и Северный одинаково реагировал на внесение $N20-40$. Прибавка урожая семян от применения удобрений была невысокой и составила 0.10 т/га, или 11% к неудобренному контролю [57].

В условиях Республики Беларусь на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве Института льна с высоким содержанием подвижных форм фосфора и калия внесение $N_{м}60P40K80$ и $N_{са}60P40K80$ повысило урожайность семян масличного льна сорта Илим по сравнению с неудобренным контролем в среднем на 0.40 и 0.51 т/га, или на 31 и 40% соответственно. Использование микроэлементов (В, Zn, Fe) совместно с базовой дозой макроэлементов дополнительно повышало урожайность семян на 0.11–0.16 т/га, или на 8–12%. Такое сочетание макро- и микроэлементов обеспечивало не только повышение урожайности

маслосемян, но и выход льняного масла больше на 0.21 т/га, или на 38% [58].

Серые лесные почвы. В исследованиях Рязанского ГАТУ на серой лесной среднесуглинистой почве изучали эффективность удобрений на масличном льне сорта Санлин в зависимости от нормы высева семян. Выявлено, что внесение удобрений увеличивало сбор семян льна на 0.08–0.27 т/га. Наибольший сбор семян за 3 года исследования (2.15 т/га) отмечен при внесении $N90P60K60$ при норме высева 8 млн всхожих семян/га [59].

На серой лесной слабокислой суглинистой почве в условиях Ярославской обл. со средним содержанием подвижных форм фосфора и низким – обменного калия внесение различных доз и соотношений фосфорно-калийных удобрений на фоне $N50$ увеличивало сбор семян масличного льна сорта Исток в среднем за 2 года исследования на 0.14–0.41 т/га, сорта Северный – на 0.13–0.29 т/га. Выявлено, что сорт льна Исток лучше отзывался на внесение фосфорно-калийных удобрений по сравнению с сортом Северный. Наибольшая в опыте оплата 1 кг д.в. РК-удобрений прибавкой урожая семян отмечена у сорта Исток (2.38 кг семян/кг д.в.) от применения $P30K50$, у сорта Северный (2.12 кг) – $P30K35$ [60].

На темно-серой лесной почве в условиях Рязанской обл. при внесении под культивацию $N60P60K60$ и $N90P60K60$ в форме N_{aa} , K_x , АФ под лен сорта Санлин урожайность семян возрастала в среднем за 5 лет исследования на 0.08 и 0.10 т/га соответственно [61].

В исследованиях Института сельского хозяйства Карпатского региона на серой лесной поверхностно-оглеенной почве в условиях Западной Лесостепи Украины внесение $N60P30K60$ увеличивало урожайность масличного льна сорта Водограй в среднем за 3 года на 1.24 т/га по сравнению с неудобренным контролем (1.46 т/га), или на 85% [62].

Черноземы. На черноземе выщелоченном в условиях Кабардино-Балкарии выявлена высокая отзывчивость масличного льна на применение минеральных удобрений. Например, внесение $N30$, $N60$, $N90$ и $N120$ отдельно и на фосфорно-калийном фоне ($P60K30$) увеличивало сбор семян сорта льна Ручеек по сравнению с неудобренным вариантом на 0.39, 0.63, 0.62 и 0.56 т/га, по сравнению с фосфорно-калийным фоном – на 0.27, 0.51, 0.50 и 0.44 т/га соответственно. Аналогичная закономерность отмечена и у сортов масличного льна ВНИИМК 620 и ВНИИМК 630: повышение дозы азота выше $N60$ не способствовало росту урожайности семян. Прибавки от внесения азота на фоне фосфорно-калийного удобрения у сорта ВНИИМК 620 по сравнению с неудобренным вариантом варьировали в пределах 0.34–0.55 т/га, у сорта ВНИИМК 630 – в границах 0.36–0.70 т/га [63–65].

В исследованиях Всероссийского НИИ масличных культур на черноземе выщелоченном (Краснодарский край) в условиях неустойчивого увлажнения и на черноземе обыкновенном (Ростовская обл.) в условиях недостаточного увлажнения применение как N60 и N60P30K30 под культивацию, так и N30 в фазе “елочки” вразброс незначительно увеличивало сбор семян масличного льна в среднем за годы исследования на 0.11, 0.11 и 0.06 т/га соответственно при урожае в контроле 1.72 т/га [66]. В другом опыте того же института на черноземе выщелоченном внесение перед посевом под культивацию N60P30K30 и N60 увеличивало сбор семян масличного льна сорта ВНИИМК 620 в среднем за 3 года исследования на 0.11 и 0.09 т/га, или на 6 и 5% соответственно [50].

На черноземе выщелоченном среднегумусном тяжелосуглинистом с высоким содержанием подвижного фосфора и повышенным — обменного калия в условиях Пензенской обл. внесение N15P15K15, N30P30K30 и N60P60K60 увеличивало сбор семян льна сорта Исток в среднем за 3 года на 0.12, 0.24 и 0.40 т/га соответственно при урожае в неудобренном контроле 1.46 т/га. Внесение удобрений увеличивало также выход льносоломы на 1.08, 1.25 и 1.72 т/га, или на 17, 19 и 27% соответственно [67].

В опытах Башкирского ГАУ на черноземе выщелоченном тяжелосуглинистом внесение N30P60K45 достоверно увеличивало сбор семян масличного льна на 0.19, последствие 10 т/га навоза КРС — на 0.31, применение N30P60K45 на навозном фоне — на 0.60 т/га [68]. В исследованиях Татарского НИИСХ внесение N30, N30P30K30, N45P45K45 и N60P60K60 обеспечивало достоверный прирост урожайности семян масличного льна к неудобренному контролю (1.38 т/га) на 0.16, 0.22, 0.28 и 0.30 т/га соответственно [69].

В условиях Южного Зауралья (Курганская обл.) на черноземе выщелоченном с низким содержанием азота и фосфора внесение N32P32K32 в форме АЗФК увеличивало сбор семян масличного льна сорта Северный в среднем за 3 года исследования на 1.29 т/га, или на 62% [70].

В опыте на черноземе выщелоченном маломощном среднегумусном тяжелосуглинистом в условиях Тюменской обл. установлено, что наибольшую урожайность различные сорта масличного льна формировали на повышенном фоне удобрений (N90P25K25) с нормой высева 9 млн всхожих семян/га. Среди сравниваемых сортов наиболее продуктивными были сорта Август и Исилюльский: прибавки урожайности семян к неудобренному контролю составили 0.25–0.47 и 0.50–0.64 т/га соответственно [71].

На черноземе выщелоченном среднемощном малогумусном среднесуглинистом в условиях Алтайского края припосевное внесение АЗФК в дозах 60, 90 и 150 кг/га и N_{aa} в дозах 30 и 60 кг/га в физической

массе повышало сбор семян масличного льна сорта Северный на 0.13–0.24 т/га, или на 10–19%. Дополнительное опрыскивание растений льна в фазе “елочки” раствором препарата Интермаг Профи Олеистые (1 л/га) увеличивало сбор семян на 0.03–0.13 т/га. При этом отмечено снижение эффективности внекорневой подкормки по мере увеличения дозы удобрения при посеве: на неудобренном фоне внекорневая подкормка препаратом увеличивала сбор семян льна на 0.13 т/га, на фоне с припосевным внесением АЗФК в дозах 60, 90 и 150 кг/га — на 0.11, 0.07 и 0.04 т/га соответственно [72]. В другом опыте припосевное внесение сеялкой “Джон Дир 530” N30 в форме N_{aa} увеличивало сбор семян льна сорта Северный в среднем за 2 года на 0.15 т/га, или на 16%, применение N16P16K16 в форме АЗФК — на 0.12 т/га (на 13%), использование N41P24K24 (АЗФК + N_{aa}) — на 0.24 т/га (на 26%) [73]. В опыте по изучению эффективности внесения под культивацию различных видов жидких и твердых минеральных азотных удобрений (КАС-28, КАС-23 + S, N_{aa}, N_a) на черноземе выщелоченном тяжелосуглинистом с высоким содержанием подвижных форм фосфора и калия установлено, что применение азота в дозах от 21 до 64.5 кг д.в./га обеспечивало прибавку урожайности семян масличного льна в размере 0.07–0.40 т/га с оплатой от 3.3 до 7.8 кг семян/кг д.в. азота. Лучший результат получен при внесении под культивацию КАС-32 (N64.5) 150 л/га [74]. В другом опыте оценили эффективность припосевного внесения разных доз КАС-32, Na и ДАФК (10 : 26 : 26). Выявлено, что самая высокая урожайность семян (2.23 т/га) отмечена при совместном внесении КАС-32 (50 кг/га), Na (50 кг/га) и ДАФК (80 кг/га): прибавка к неудобренному контролю составила 0.80 т/га, или 56%, с оплатой 10.5 кг семян/кг д.в. удобрений. Также эффективным было применение ДАФК (N8P21K21), что увеличило сбор семян льна на 0.56 т/га, или на 39% к неудобренному контролю, с оплатой 11.2 кг семян/кг д.в. удобрений [75].

На черноземе обыкновенном тяжелосуглинистом в условиях степной зоны Западной Сибири (Омская обл.) масличный лен положительно реагировал на предпосевное внесение минеральных удобрений: в среднем за 2 года исследования прибавки урожая от применения удобрений составили от 0.24 до 0.84 т/га. Наибольший сбор семян льна обеспечили варианты N60P90, N60P30K30 и N60P60 [76].

В исследованиях Сибирской опытной станции Всероссийского НИИ масличных культур на черноземе обыкновенном тяжелосуглинистом оценили сортовую отзывчивость различных сортов масличного льна (Легур, Исилюльский, Северный, Сокол, № 22768) на внесение возрастающих доз минеральных удобрений (N30P60K60, N60P90K90 и N90P120K120). Установлено, что минеральные удобрения оказывали существенное влияние

на урожайность семян и сбор масла льна. Наиболее отзывчивыми на внесение удобрений были сорт Сокол (дополнительный сбор семян к неудобренному контролю в среднем за годы исследования составил 0.27–0.43 т/га) и № 22768 (дополнительный сбор 0.22–0.37 т/га). Максимальная в опыте прибавка урожая семян (0.43 т/га с оплатой 1 кг д.в. NPK, равной 1.30 кг льносемян) отмечена у сорта Сокол при внесении N90P120K120 [77].

В условиях Алтайского края на черноземе обыкновенном среднесуглинистом с высокой обеспеченностью подвижными формами фосфора и калия припосевное внесение минеральных удобрений увеличивало сбор семян льна сорта Северный в зависимости от дозы на 0.05–0.30 т/га, или на 5–32%. Максимальную прибавку урожайности обеспечивало применение N32P14K14 (90 кг АЗФК/га + 50 кг N_{aa}/га) [78].

На черноземе обыкновенном тяжелосуглинистом в условиях Запорожской обл. установлено, что наибольшую урожайность семян масличного льна сорта Орфей (2.05–2.08 т/га) и Водограй (1.92–1.94 т/га) формировали при внесении N50P50K50: прибавка к неудобренному контролю равнялась 0.28–0.30 и 0.33–0.36 т/га соответственно. Прирост урожайности льна масличного сорта Водограй от применения сидерата составил 0.10–0.13 т/га, а сорта Орфей – 0.05–0.06 т/га [79].

На черноземе южном маломощном малогумусном Алтайского края со средним содержанием подвижных форм фосфора и калия припосевное внесение N28P39K39 в форме ДАФК повысило урожайность семян льна в среднем на 0.20 т/га, или на 19% [80].

На черноземе южном карбонатном в условиях Республики Казахстан масличный лен лучше отзывался на внесение минеральных удобрений на фоне нулевой обработки почвы по сравнению с традиционной отвальной. Прибавки урожайности льносемян в среднем за 3 года исследования составили на фоне традиционной отвальной обработки почвы 0.07 т/га, или 9%, на фоне нулевой – 0.14 т/га, или 17% [81].

Каштановые почвы. На темно-каштановой среднечесучей малогумусной почве сухой степи Алтайского края изучали эффективность припосевного внесения удобрений при разных сроках сева льна-межеумка. Установлено, что внесение N12 и N24 в форме N_{aa} в ранний (1-й) срок сева увеличивало урожайность семян на 0.11 и 0.26 т/га, во 2-й срок – на 0.26 и 0.25 т/га соответственно. Внесение N12P12K12 и N16P16K16 в форме АЗФК увеличивало сбор семян соответственно дозам при 1-м сроке сева на 0.14 и 0.18 т/га, при 2-м сроке – на 0.10 и 0.13 т/га [82].

Имеются сведения о положительной реакции масличного льна повышением его семенной продуктивности на применение органоминеральных и бактериальных удобрений. Например, в условиях

Калужской обл. на дерново-подзолистой супесчаной почве оценили действие органоминеральных удобрений (ОМУ) и обезвоженного осадка сточных вод (ООСВ) при возделывании масличного льна сорта Исток. Установлено, что в среднем за 3 года исследования их применение способствовало увеличению высоты растений к моменту уборки с 40.1 до 54.3–57.8 см, площади листовой поверхности – с 12.5 до 14.7–16.0 тыс. м²/га, повышению сбора семян – с 0.80 до 1.09–1.27 т/га, или на 36–59% к неудобренному контролю. Применение ОМУ снижало переход кадмия, никеля, свинца из почвы в растения, повышало содержание белка и микроэлементов в семенах льна [83].

В исследованиях Донского ГАУ в условиях Ростовской обл. на черноземе южном со средним содержанием подвижных форм фосфора и повышенным – калия было изучено влияние минеральных, бактериальных удобрений и их совместного применения на урожайность семян масличного льна сорта ВНИИМК 620. Установлено, что уровень урожайности по годам и эффективность удобрений зависели от условий увлажнения в период вегетации льна. Внесение N30P30 и N30P30K30 достоверно увеличивало в среднем за 3 года сбор семян льна на 0.38 и 0.39 т/га, или на 37 и 38% соответственно. Внесение бактериальных препаратов (Агрофил, препарат 1771, Мизорин) в чистом виде было менее эффективным по сравнению с применением минеральных удобрений: прибавки урожая семян равнялись 0.16–0.23 т/га. Совместное внесение минеральных и бактериальных удобрений не приводило к повышению семенной продуктивности льна: прирост урожая от совместного применения был равен 0.09–0.14 т/га, или на 9–14% меньше, чем от одностороннего внесения минеральных удобрений. Внесение минеральных удобрений оказывало положительное влияние на масличность семян льна. Максимальный сбор масла в опыте (191 кг/га) в среднем за 3 года был получен при внесении N30P30K30 [84].

Лен относится к группе культур, чувствительных к дефициту бора, меди и цинка. На их недостаток лен реагирует слабым развитием и отставанием в росте [32, 85, 86]. Известно, что при дефиците бора отмирают точки роста побегов льна уже во время появления 2-й пары настоящих листьев [87–90]. Недостаток цинка приводит к подавлению роста, отмиранию верхушечных меристем, усыханию главного стебля [32]. При дефиците меди у льна наблюдают подавление роста междоузлий и формирования репродуктивных органов [88].

В исследованиях Института почвоведения и агрохимии (Республика Беларусь) на дерново-подзолистой супесчаной почве с низкой обеспеченностью микроэлементами на фоне минеральных удобрений (N60P60K120) внесение микроудобрений

МикроСтим-Цинк, Бор в дозе $B0.1Zn0.16$ и МикроСтим-Цинк, Медь в дозе $Zn0.1Cu0.03$ в некорневые подкормки масличного льна повышали урожайность семян на 0.77 и 0.72 т/га. На дерново-подзолистой легкосуглинистой почве со средней обеспеченностью микроэлементами на фоне внесения $N60P60K120$ внесение жидких микроудобрений МикроСил в некорневую подкормку масличного льна в фазе “елочка” способствовало повышению сбора льносемян до 1.73–1.88 т/га при урожайности в фоновом варианте 1.43 т/га [91].

В опытах РУП “Институт льна” (Республика Беларусь) на дерново-подзолистой почве применение азота дробно с микроудобрениями (B, Zn) способствовало созданию дополнительного урожая семян льна сорта Илим на 0.04–0.14 т/га, или на 2–9% [92].

В опыте на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве полевой станции РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева 2-кратное опрыскивание посевов масличного льна сорта Северный препаратами Хелатон Экстра и Хелат Zn с интервалом 10 сут в фазе “елочки” увеличивало урожайность семян на 0.12 и 0.24 т/га соответственно [93, 94].

Эффективны и внекорневые подкормки вегетирующих растений масличного льна растворами удобрений. Например, в исследованиях Института сельского хозяйства Карпатского региона в условиях Западной Лесостепи Украины на серой лесной поверхностно оглеенной почве внекорневая подкормка растений масличного льна сорта Водограй карбамидом, сульфатом магния и препаратом Нутривант плюс масличный по 2 кг/га дважды (в фазе “елочки” и бутонизации) на фоне полного удобрения ($N60P30K60$) способствовало увеличению сбора маслосемян на 0.41 т/га, или 15% [95].

Приведенные данные свидетельствуют о том, что в первом минимуме для формирования прибавки урожая семян масличного льна выступает азот. Оптимальные его дозы зависят от условий внешней среды и соответствуют дозам $N30$ – 60 . При этом наилучшая окупаемость 1 кг внесенного азота достигается при дозе не более 30 кг д.в./га. Этот вывод вполне согласуется с общероссийскими рекомендациями, в которых предлагают при низкой обеспеченности почвы элементами питания вносить $N60P60K60$, при средней обеспеченности – $N30P30K30$ или $N30P30$. Избыточное азотное питание масличного льна вызывает нерациональное потребление азота, фосфора и калия без увеличения урожайности основной продукции [96].

ВЛИЯНИЕ УДОБРЕНИЙ НА МАСЛИЧНОСТЬ СЕМЯН ЛЬНА

Семена масличного льна славятся богатым набором пищевых веществ, или иначе – нутриентов. Усредненный компонентный состав льняного семени: 21% – белки,

41% – жиры, 27% – клетчатка, 3% – витамины, минералы, фенольные соединения и др. [107, 108].

Наиболее важным показателем качества семян масличного льна выступает содержание в них масла, количество которого варьирует существенно. Например, по данным Минкевича, масличность семян составляет 42.3–44.5% [28], по сведениям Рыжеевой – 39–49% [109], в исследованиях Ярош с сотр. – 48–52% [110]. Имеются сведения, что масличность отдельных сортов масличного льна может достигать 54% [111].

Данные публикаций свидетельствуют, что масличность семян льна определяется многими факторами: особенностями сорта, погодными условиями периода вегетации растений, дозами и способами внесения удобрений и т.п. Например, в исследованиях Всероссийского НИИ масличных культур на черноземе выщелоченном (Краснодарский край) и на черноземе обыкновенном (Ростовская обл.) масличный лен сорта ВНИИМК 620 содержал на 2.4% больше масла в семенах, чем сорт Небесный (46.7 и 44.3% соответственно), при этом внесение удобрений способствовало его снижению на 0.7% [66]. В опытах в условиях Кабардино-Балкарии содержание растительного жира в семенах льна было больше у сорта ВНИИМК 630 (51.7%), чем у сортов Ручеек и ВНИИМК 620 (51.2 и 48.6% соответственно). Применение $P60K30$ увеличивало масличность семян сорта Ручеек на 1.2%, сортов ВНИИМК 620 и ВНИИМК 630 – на 0.9%. Внесение азота на РК-фоне снижало содержание масла в семенах по сравнению с контролем. Максимальная масличность семян всех сортов отмечена в варианте $N120P60K30$ [64].

Снижение масличности семян льна при внесении удобрений отмечали и другие авторы [48, 52, 57, 58, 71, 79, 112, 113, 116, 117, 118]. В то же время в исследовании [91] на дерново-подзолистой супесчаной почве внесение $N60P60K120Zn0.2$ повышало содержание масла в семенах на фоне разной обеспеченности почвы бором на 0.5–3.9%. Увеличение масличности семян от внесения минеральных удобрений отмечали и в прочих опытах [53–56, 61, 69, 73, 74, 82, 84, 99, 114, 115]. Встречаются публикации, в которых применение удобрений не влияло на масличность семян льна [49, 67, 77]. В то же время в большинстве случаев применение удобрений под масличный лен увеличивает сбор растительного жира с единицы площади в результате роста урожайности маслосемян.

ЗАТРАТЫ АЗОТА, ФОСФОРА И КАЛИЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ УРОЖАЯ СЕМЯН МАСЛИЧНОГО ЛЬНА

При разработке научно обоснованной системы удобрения с использованием расчетных методов определения доз и других балансовых расчетов

необходимы показатели относительного выноса основных элементов питания (N , P_2O_5 , K_2O) с единицей основной продукции. Такие данные для масличного льна имеют практическую значимость, но они не так уж многочисленны. Опубликованные сведения об относительном выносе элементов питания урожаем семян масличного льна представлены в табл. 1.

Приведенные данные свидетельствуют о резком варьировании показателей относительного выноса питательных веществ масличным льном. Например, минимальный вынос азота 1 т семян масличного льна (с учетом побочной продукции) составил ~16 кг/т (дерново-подзолистая почва, Удмуртская республика), а максимальное – 80 кг/т (черноземные

Таблица 1. Относительный вынос элементов питания урожаем семян масличного льна

Почва	Сорт	Потребление, кг/т семян			Источник
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
Центральное Нечерноземье (Тверская область)					
Дерново-подзолистая	ЛМ 98	33–47	14–19	36–61	[55]
Удмуртская Республика					
Дерново-среднеподзолистая среднесуглинистая	ВНИИМК 620	43.3–43.4	26.6–26.7	30.5–31.2	[57]
	Северный	43.5–45.8	27.6–27.7	31.0–31.1	
Дерново-среднеподзолистая среднесуглинистая (опыт 1)	ВНИИМК 620	31.8	10.1	29.6	[97]
	Norlin	24.8	8.7	23.3	
	Воронежский	27.0	10.3	25.6	
	ЛМ 96	28.3	11.5	25.8	
	N3829	25.9	10.7	21.9	
	Atalante	32.8	11.5	27.4	
	Mo Eregor	27.7	9.6	23.3	
	ЛМ 92	25.3	9.9	20.9	
	Clark	31.0	10.4	22.9	
	Culbert	30.5	10.6	22.4	
	Barbara	26.0	9.3	23.1	
	Северный	25.1	9.0	23.3	
	ЛМ 98	34.3	11.5	25.3	
	Linda	30.0	9.8	25.5	
	Flanders	26.3	7.8	25.4	
Дерново-среднеподзолистая среднесуглинистая (опыт 2)	ВНИИМК 620	32.9	10.8	20.1	[97]
		32.3	10.5	20.4	
		38.9	10.7	25.6	
		36.8	13.5	26.1	
		38.3	13.6	23.6	
		36.4	11.9	25.4	
		40.0	13.4	26.0	
		38.7	12.6	22.9	
		38.0	13.1	28.7	
		36.7	11.2	23.9	
Дерново-среднеподзолистая среднесуглинистая (опыт 3)	ВНИИМК 620	22.2	16.7	23.4	[97]
		21.7	15.6	21.8	
		18.8	13.5	20.6	
		15.9	11.0	20.2	
Дерново-среднеподзолистая среднесуглинистая (опыт 5)	ВНИИМК 620	28.9	13.6	27.3	[97, 98]
		32.1	15.7	30.0	
		28.0	14.7	27.2	
		27.0	13.7	25.5	
		23.0	11.1	21.5	

Таблица 1. Окончание

Почва	Сорт	Потребление, кг/т семян			Источник
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
Дерново-среднеподзолистая среднесуглинистая (опыт 4)	ВНИИМК 620	15.9	9.2	21.8	[97]
		25.8	13.2	24.1	
		18.8	10.2	26.4	
		20.7	11.8	24.5	
		19.0	11.6	20.7	
		18.3	10.3	20.5	
		26.0	12.9	22.9	
		25.6	13.4	23.6	
		24.1	11.5	21.9	
		23.0	13.6	22.4	
		19.1	11.3	21.5	
		17.1	10.2	20.9	
		21.0	11.0	22.4	
		25.7	13.3	23.8	
		21.4	10.8	24.2	
		21.8	12.7	23.4	
		19.0	11.5	21.1	
		17.7	10.3	20.7	
Республика Беларусь					
Дерново-подзолистая	Брестский	39.1—42.7	23.2—25.1	39.7—45.9	[99]
	—	42	16	38	[100]
Среднее Поволжье					
Черноземные и каштановые почвы	—	50—65	10—15	40—55	[101]
	Кинельский 2000	51—63	10—12	41—55	
Западная Сибирь (Омская область)					
Чернозем обыкновенный	Северный	42.5—53.4	9.0—10.6	69.9—94.3	[102]
Алтайский край					
Чернозем	Северный	55—72	8—9	26—40	[74]
Чернозем выщелоченный (лен после льна)	То же	30.3—39.3	7.1—8.6	18.6—24.1	[103]*
(лен после чистого пара)	—//—	39.2—66.3	7.5—9.5	21.6—39.8	[104]*
Чернозем обыкновенный	—//—	53—69	7—9	58—66	
Чернозем южный	—//—	41—59	17—25	26—51	[105]*
Северный Казахстан (Костанайская область)					
Черноземные и каштановые почвы	—	50—80	15—30	40—55	[106]

* Рассчитано автором настоящей статьи.

и каштановые почвы Северного Казахстана), т.е. они отличались между собой в 5 раз. Минимальный и максимальный показатель относительного выноса фосфора был равен 7.8 и 26.7 кг/т (разница в 3.5 раза), калия – 18.6 и 94.3 кг/т (5 раз) соответственно.

Рассчитаны средние показатели представленной выборки и доверительные интервалы. Для азота они составили 34.8 кг/т (30.5–39.2 кг/т), фосфора – 13.0

(11.4–14.5) и калия – 29.9 кг/т (25.8–33.9 кг/т). Их можно использовать в качестве нормативных показателей при расчете доз удобрений под масличный лен.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Внесение удобрений является эффективным способом повышения семенной продуктивности льна.

Результативность действия удобрений на величину урожая и масличность семян зависит от множества причин: метеорологических условий в период вегетации растений, доз удобрений, сроков и приемов их внесения, способов обработки почвы, сортовых особенностей и т.п.

В первом минимуме для формирования прибавки урожая семян масличного льна выступает азот. Оптимальные его дозы зависят от условий внешней среды и соответствуют N30–60. При этом лучшая окупаемость 1 кг внесенного азота достигается при дозе не более 30 кг д.в./га.

Применение удобрений неоднозначно, зависит от конкретных условий выращивания, влияет на содержание растительного жира в семенах, снижая или увеличивая его концентрацию. В то же время применение удобрений в большинстве случаев приводит к увеличению сбора масла с единицы площади.

Приведена база данных относительного выноса основных элементов питания (N, P₂O₅, K₂O) масличным льном. Рассчитаны средние показатели и доверительные интервалы затрат элементов питания на единицу основной продукции: для азота они составили 34.8 кг/т (30.5–39.2 кг/т), фосфора – 13.0 (11.4–14.5) и калия – 29.9 кг/т (25.8–33.9 кг/т). Их можно использовать в качестве нормативных показателей при расчете доз удобрений на планируемый урожай при других балансовых расчетах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Hall L.M., Booker H., Siloto R.M.P., Jhala A.J., Wesekale R.J. Flax (*Linum usitatissimum* L.) // Industrial Oil Crops. 1st ed. / Ed. McKeon T.A., Hayes D.G., Hildebrand D.F., Weslake R.J. Amsterdam, [Netherlands]: Academic Press, AOCS Press, 2016. 453 p.
2. Turin E.N., Susskiy A.N., Stukalov R.S., Shestopalov M.V., Turina E.L., Ivanov V.Iu. *Linum usitatissimum* L. is the most important crop in Russia for the production of high-quality oil with low cost (review) // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 2021. Iss. 640. P. 1–6.
3. Пестус М.В., Шинтарь И.М., Пестус П.В. Состояние и перспективы производства и переработки льна в условиях Гродненской области: монограф. Гродно: ГГАУ, 2011. 168 с.
4. Jhala A.J., Hall L.M. Flax (*Linum usitatissimum* L.): Current uses and future applications // Austral. J. Basic Appl. Sci. 2010. V. 4. № 9. P. 4304–4312.
5. Пороховинова Е.А., Кутузова С.Н., Павлов А.В., Слободкина А.А., Якушева Т.В., Брач Н.Б. Коллекция генетических ресурсов льна Всероссийского института генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова // Письма в Вавилов. журн. генет. и селекции. 2021. № 7(2). С. 75–90.
6. Державин Л.М. Оптимизация научного обеспечения интегрированного применения удобрений в интенсивном земледелии // Агрохимия. 2007. № 7. С. 5–14.
7. Gill K.S. Flax. India, New Delhi: Indian Council of Agricultural Research, 1987. 386 p.
8. Зеленцов С.В., Зеленцов В.С., Мошненко Е.В., Рябенко Л.Г. Современные представления о филогенезе и таксономии рода *Linum* L. и льна обыкновенного (*Linum usitatissimum* L.) // Масличные культуры. Научн.-техн. бюл. ВНИИМК. 2016. Вып. 1(165). С. 106–121.
9. Nag S., Mitra J., Karmakar P.G. An overview on flax (*Linum usitatissimum* L.) and its genetic diversity // Inter. J. Agricult. Environ. Biotechnol. 2015. V. 8. № 4. P. 805–817.
10. Tutin T.G., Heywood V.H., Burges N.A., Murre D.M., Valentine D.H., Walters S.M., Webb D.M. Flora Europaea. V. 2: Rosaceae to umbelliferae. Cambridge, UK: Cambridge Univ. Press, 1968. 455 p.
11. Tammes T. Mutation and evolution // Zeitschrift für Induktive Abstammungs- und Vererbungslehre. 1925. Band. 36. S. 417–426.
12. Эллади Е.В. *Linum usitatissimum* (L.) Vav. consp. nov. – Лен // Культурная флора СССР / Издается под общ. рук. акад. Вавилова Н.И.; под ред. проф. Вульф Е.В. V. Пряжильные. Часть I. М.–Л.: Гос. изд-во колхозной и совхозной лит., 1940. С. 109–207.
13. Helbaek H. Domestication of Food Plants in the Old World: Joint efforts by botanists and archeologists illuminate the obscure history of plant domestication // Science. 1959. V. 130(3372). P. 365–372.
14. Zeven A.C. Dictionary of cultivated plants and their centers of diversity, excluding ornamentals, forest trees and lower plants. Wageningen, The Netherlands: Center for Agricultural Publishing and Documentation, 1982. 263 p.
15. Harris S. Flax fibre: Innovation and change in the early Neolithic a technological and material perspective // Textil. Soc. Amer. Symp. Proceed. Los Angeles, USA, 2014. P. 913.
16. van Zeist W., Bakker-Heeres J.A.H. Evidence for flax cultivation before 600 b.c. // J. Archaeol. Sci. 1975. № 2. P. 215–219.
17. Zohary D., Hopf M., Weiss E. Domestication of plants in the Old World: the origin and spread of domesticated plants in south-west Asia, Europe, and the Mediterranean Basin. 4th ed. Oxford: Oxford University Press, 2012. P. 100–103.
18. Vaisey-Genser M., Morris D.H. History of the cultivation and uses of flax seed // Flax: The genus *Linum* / Eds. Muir A.D., Westcott N.D. Boca Raton, USA: CRC Press, 2003. P. 1–21.

19. Зеленцов С.В. История культуры льна в мире и России // Масл. культуры. Науч.-техн. бюл. ВНИИМК. 2017. Вып. 1(169). С. 93–103.
20. Smith C.E. From Vavilov to the present – A review // *Econom. Bot.* 1969. V. 23. Iss. 1. P. 2–19.
21. Кутузова С.Н., Пороховинова Е.А., Пендинен Г.И. Происхождение и эволюция *Linum usitatissimum* L. // Тр. по прикл. бот., генет. и селекции. 2015. Т. 176. Вып. 4. С. 436–455.
22. Сизов А.И. Лен. М.–Л.: Сельхозгиз, 1955. 253 с.
23. Черноморская Н.М., Станкевич А.К. К вопросу о внутривидовой классификации льна обыкновенного (*Linum usitatissimum* L.) // Сб. научн. тр. по прикл. бот., генет. и селекции. 1987. Т. 113. С. 53–63.
24. ЩигOLEV А.А. Исследование темпов развития растений // Вопросы фенологии (сер. Географический сб.) / Под ред. Руденко А.И. М.–Л.: Изд-во АН СССР, 1957. Вып. 9. С. 160–172.
25. Купцов А.И. Введение в географию культурных растений. М.: Наука, 1975. 295 с.
26. Кишлян Н.В., Рожмина Т.А., Кудрявцева Л.П., Киселева Т.С. Изучение сортообразцов в коллекции масличного льна на устойчивость к почвенной кислотности // Масл. культуры. Науч.-техн. бюл. ВНИИМК. 2010. Вып. 2(144–145). С. 107–112.
27. Справочник агронома по сельскохозяйственной метеорологии. Нечерноземная зона Европейской части России / Под ред. Грингофа И.Г. Л.: Гидрометеиздат, 1986. С. 383–392.
28. Минкевич И.А. Лен масличный. М.: Сельхозгиз, 1957. 179 с.
29. Красовская И.В. Корневая система различных сортов льна // Тр. по прикл. бот., генет. и селекции. 1929. Т. 22. Вып. 1. С. 43–105.
30. Красовская И.В. Корневая система сельскохозяйственных растений при орошении // Пробл. ботаники. М.–Л.: Изд-во АН СССР, 1955. Вып. 2. С. 283–316.
31. Alessi J., Power J. F. Influence of row spacing, irrigation, and weeds on dryland flax yield, quality, and water use // *Agron. J.* 1970. V. 62. № 5. P. 635–637.
32. Дьяков А.Б. Физиология и экология льна. Краснодар, 2006. 214 с.
33. Буряков Ю.П., Ивановский В.К., Осипов П.Ф. Масличный лен. М.: Россельхозиздат, 1971. 110 с.
34. Ефимов В.Н., Донских И.Н., Царенко В.П. Система удобрения. М.: КолосС, 2003. 320 с.
35. Минеев В.Г. Агрохимия. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Изд-во МГУ, КолосС, 2004. 720 с.
36. Шильников И.А., Сычев В.Г., Зеленов Н.А., Аканова Н.И., Федотова Л.С. Известкование как фактор урожайности и почвенного плодородия. М., 2008. 340 с.
37. Bailey L.D., Grant C.A. Fertilizer phosphorus placement studies on calcareous and non-calcareous chernozemic soils: growth, P-uptake and yield of flax // *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 1989. V. 20. № 5/6. P. 635–654.
38. Singh B.N., Kooroor G.P., Choudhri R.S. The light factor in crop production // *Proceed. National Acad. Sci. India. Section B – Biol. Sci.* 1938. V. 7. № 3. P. 143–160.
39. Церлинг В.В. Диагностика питания сельскохозяйственных культур. М.: Агропромиздат, 1990. 235 с.
40. Церлинг В.В., Зинкевич А.С., Тихомирова В.Я. Химическая диагностика питания льна-долгунца // *Вестн. с.-х. науки.* 1975. № 5. С. 115–124.
41. Гро А. Практическое руководство по применению удобрений / Пер. с фр. Емельяновой Н.Е. и Ильчука Н.М.; Под ред. Петербургского А.В. М.: Колос, 1966. 351 с.
42. Gregory F.G., Veale J.A. A reassessment of the problem of apical dominance // 11st Symposia of the Society for Experimental Biology. 1957. P. 1–20.
43. McIntyre G.I. Mechanism of apical dominance in plants // *Nature.* 1964. V. 203. № 4950. P. 1190–1191.
44. McIntyre G.I. The correlative inhibition of bud and shoot growth in flax (*Linum usitatissimum*). Some factors affecting the pattern and degree of inhibition // *Canad. J. Bot.* 1975. V. 53. № 4. P. 390–402.
45. Гулякин И.В. Система применения удобрений. 2-е изд. М.: Колос, 1977. 240 с.
46. Бушнев А.С. Роль сортовых агротехник в реализации продуктивности масличных культур с учетом изменяющихся погодно-климатических условий // Масл. культуры. Науч.-техн. бюл. ВНИИМК. 2011. Вып. 2(148–149). С. 61–67.
47. Носевич М.А., Абушинова Е.В. Особенности развития и урожайности льна масличного в зависимости от доз минеральных удобрений // *Изв. СПбГАУ.* 2016. № 42. С. 26–30.
48. Носевич М.А., Абушинова Е.В., Рошин В.И., Ведерников Д.Н. Влияние уровня минерального питания на урожайность, накопление и состав масла семян льна масличного в условиях Ленинградской области // Масл. культуры. Науч.-техн. бюл. ВНИИМК. 2017. Вып. 2(170). С. 64–69.
49. Абушинова Е.В. Продуктивность семян льна масличного в зависимости от применения азотных удобрений на дерново-карбонатных почвах в условиях Ленинградской области: Дис. ... канд. с.-х. наук. СПб., 2018. 142 с.
50. Мамырко Ю.В., Бушнев А.С. Изменение элементов структуры урожая льна масличного в зависимости от погодных условий, применения удобрений и нормы высева семян // *Зерн. хоз-во России.* 2020. № 1(67). С. 11–16.

51. Колотов А.П. Урожайность льна масличного на серых лесных почвах Среднего Урала // Вестн. КрасГАУ. 2021. № 5. С. 3–11.
52. Першаков А.Ю., Белкина Р.И., Сулейменова А.К. Отзывчивость сортов льна масличного на возрастающие нормы минеральных удобрений // Вестн. КрасГАУ. 2021. № 6. С. 11–17.
53. Кочкин А.С., Есаулко А.Н. Оптимизация минерального питания льна масличного на черноземе выщелоченном // Плодородие. 2010. № 2. С. 34–36.
54. Кочкин А.С. Влияние минеральных удобрений на урожайность льна масличного на черноземе выщелоченном: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Ставрополь, 2010. 24 с.
55. Сорокина О.Ю. Минеральное питание льна масличного при использовании традиционных и новых органоминеральных удобрений // Масл. культуры. Науч.-техн. бюл. ВНИИМК. 2018. Вып. 3(175). С. 46–51.
56. Сорокина О.Ю. Эффективность минеральных и органоминеральных удобрений при возделывании льна масличного в условиях Центрального Нечерноземья // Плодородие. 2021. № 1. С. 7–9.
57. Галиев Р.Р. Приемы зяблевой обработки почвы, удобрения и инсектициды в технологии возделывания льна масличного в среднем Урале: Дис. ... канд. с.-х. наук. Ижевск, 2020. 181 с.
58. Голуб И.А., Санего Н.А. Эффективность применения минеральных форм удобрений на льне масличном // Земледел. и растениевод-во. 2020. № 5(132). С. 47–50.
59. Виноградов Д.В., Перегудов В.И., Артемова Н.А., Поляков О.В. Особенности формирования продуктивности льна масличного при разном уровне питания // Агрохим. вестн. 2010. № 3. С. 23–24.
60. Сычёв В.Г., Янишевский В.П., Янишевская О.Л. Влияние уровня минерального питания на величину и качество урожая льна масличного // Плодородие. 2011. № 6. С. 11–13.
61. Виноградов Д.В., Кунцевич А.А. Влияние норм высева и удобрений на продуктивность льна масличного // Вестн. КрасГАУ. 2015. № 6. С. 182–186.
62. Ровна О.В. Продуктивність льону олійного залежно від позакореневого підживлення // Вісник Сумського нац. аграрного університету. Сер. «Агрономія і біологія». 2014. Вип. 9(28). С. 97–100.
63. Шамурзаев Р.И., Ханиев М.К. Продуктивность и качество семян льна масличного в зависимости от уровня минерального питания // Аграрн. наука. 2009. № 10. С. 17–19.
64. Шамурзаев Р.И. Научное обоснование повышения продуктивности и качества семян льна масличного в предгорье Кабардино-Балкарской Республики: Автореф. ... дис. канд. с.-х. наук. Краснодар, 2011. 23 с.
65. Ханиев И.М., Одижеев А.А., Атабиев А.Б. Продуктивность и качество семян сортов льна масличного в зависимости от уровня минерального питания // Актуальные и новые направления в селекции и семеноводстве сельскохозяйственных культур: Мат-лы Международ. научн.-практ. конф. (Владикавказ, 18 февраля 2017 г.). Владикавказ: Изд-во ГорскГАУ, 2017. С. 84–85.
66. Бушнев А.С., Горбаченко Ф.И., Картамышева Е.В., Лучкина Т.Н., Семеренко С.А., Подлесный С.П., Мамырко Ю.В. Совершенствование элементов технологии возделывания льна масличного в условиях южного региона Российской Федерации // Масл. культуры. Науч.-техн. бюл. ВНИИМК. 2015. Вып. 2(162). С. 50–62.
67. Бражников В.Н., Бражникова О.Ф., Бражников Д.В., Данилов М.В. Влияние удобрений на продуктивность льна масличного сорта Исток // Изв. Самар. НЦ РАН. 2019. Т. 21. № 2. С. 68–72.
68. Курмашева Н.Г. Продуктивность льна масличного под влиянием навоза и минеральных удобрений // Рос. электр. журн. 2019. № 3(33). С. 200–208.
69. Гайнуллин П.М. Возродим масличный лен // Достиж. науки и техн. АПК. 2008. № 5. С. 37–38.
70. Порсев И.Н., Исаенко В.А., Кунцевич Н.А., Саломатина К.С. Определение эффективности минеральных удобрений на льне в условиях Южного Урала // Изв. высш. уч. завед. Урал. регион. 2018. № 3. С. 115–118.
71. Першаков А.Ю. Совершенствование технологии возделывания льна масличного в условиях Северного Завуралья: Дис. ... канд. с.-х. наук. Тюмень, 2022. 134 с.
72. Антонова О.И., Герлец Э.А. Действие листовых подкормок льна масличного на урожайность и качество семян по разным удобренным фонам в условиях умеренно засушливой колочной степи // Вестн. АлтайГАУ. 2012. № 12(98). С. 5–8.
73. Антонова О.И., Латарцев П.Ю. Эффективность припосевного внесения аммиачной селитры и азотоселитры под лен масличный при его повторном посеве // Вестн. АлтайГАУ. 2014. № 6(116). С. 5–10.
74. Латарцев П.Ю., Антонова О.И. Эффективность разных видов азотных удобрений под лен масличный в условиях колочной степи Алтайского края // Вестн. АлтайГАУ. 2020. № 10(192). С. 13–19.
75. Латарцев П.Ю., Антонова О.И. Эффективность припосевного внесения разных доз КАС-32, сульфата аммония и диаммофоски при возделывании льна масличного в умеренно-засушливой колочной степи // Вестн. АлтайГАУ. 2021. № 12(206). С. 11–16.
76. Шумская А.А., Ермохин Ю.И. Влияние азотных удобрений на урожайность льна масличного на обыкновенном черноземе степной зоны Полтавского района Омской области // Вестн. ОмскГАУ. 2015. № 3(19). С. 7–12.

77. *Храмцов И.Ф., Кузнецова Г.Н.* Сортовая отзывчивость льна масличного на минеральные удобрения // *Агрохимия*. 2004. № 10. С. 33–37.
78. *Антонова О.И., Черепанов С.Н.* Влияние припосевного внесения удобрений на урожайность семян, соломки льна масличного и показатели их качества по предшественнику пшеницы // *Вестн. АлтайГАУ*. 2014. № 5(115). С. 5–9.
79. *Ручка В.О., Таранець Т.О.* Сидерати – як альтернатива мінеральним добривам при вирощуванні олійного льону // *Науково-технічний бюл. Інституту олійних культур НААН*. 2016. № 23. С. 162–168.
80. *Чавкунькин С.М.* Эффективность диаммофоски и биологически активных веществ при возделывании льна межеумка на южных черноземах засушливой степи: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Барнаул, 2005. 21 с.
81. *Филонов В.М., Наздрачев Я.П., Мамыкин Е.В., Назаров П.Е.* Минимализация обработки почвы в зернопаровом севообороте и эффективность минеральных удобрений // *Sci. World*. 2017. V. I. № 10(50). С. 66–70.
82. *Черенков О.А.* Формирование продуктивности льна-межеумка под влиянием удобрений на фоне гербицидов при посеве в разные сроки на темно-каштановых почвах: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Барнаул, 2009. 21 с.
83. *Белопухов С.Л., Сюняев Н.К., Сюняева О.И., Дмитриевская И.И.* Агроэкологическая оценка последствий органо-минеральных удобрений при выращивании масличного льна на легких дерново-подзолистых почвах // *Агрохимия*. 2015. № 6. С. 37–43.
84. *Турчин В.В., Нужнов И.В., Мухортова В.К.* Влияние минеральных удобрений и бактериальных препаратов на урожайность и качество семян льна масличного в условиях Ростовской области // *Вестн. МичуринскГАУ*. 2017. № 4. С. 19–24.
85. *Цыганов А.Р., Персикова Т.Ф., Реуцкая С.Ф.* Микроэлементы и микроудобрения: учеб. пособ. Минск: УМЦ МСХиП РБ, 1998. 122 с.
86. *Дридигер В.К., Есаулко А.Н., Дорожко Г.Р.* Лен масличный на Ставрополье. Ставрополь: Параграф, 2013. 148 с.
87. *Ратнер Е.И.* Питание растений и применение удобрений. 2-е изд., доп. М.: Наука, 1965. 223 с.
88. *Магницкий К.* Диагностика потребности растений в удобрениях. М.: Моск. рабочий, 1972. 272 с.
89. *Школьник М.Я., Маевская А.Н.* Различия в чувствительности к борному дефициту разных таксонов и их причины // *Бот. журн.* 1977. Т. 62. № 10. С. 1528–1540.
90. *Школьник М.Я., Крупникова Т.А., Смирнов Ю.С.* Активность полифенолоксидазы и чувствительность к недостатку бора у однодольных и двудольных растений // *Физиология растений*. 1981. Т. 28. Вып. 2. С. 391–397.
91. *Пукалова Е.Н.* Влияние различных форм и доз микроудобрений на урожайность и качество семян льна масличного на дерново-подзолистых почвах: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Минск, 2018. 22 с.
92. *Санего Н.А.* Влияние дробного внесения азота и микроудобрений на семенную продуктивность льна масличного // *Земледел. и селекц. в Беларуси*. 2022. № 58. С. 118–124.
93. *Жарких О.А., Дмитриевская И.И., Белопухов С.Л.* Применение новых хелатных препаратов на льне масличном // *Изв. ТСХА*. 2021. Вып. 4. С. 30–40.
94. *Жарких О.А.* Влияние новых хелатных препаратов на урожайность и качество продукции льна в условиях Центрального района Нечерноземной зоны России: Дис. ... канд. с.-х. наук. М., 2022. 142 с.
95. *Ровна О.В.* Продуктивність льону олійного залежно від позакореневого підживлення // *Вісник Сумського національного аграрного університету. Сер. «Агрономія і біологія»*. 2014. Вип. 9(28). С. 97–100.
96. *Лукомец В.М., Бочкарев Н.И., Горлов С.Л., Тишков Н.М., Пивень В.Т., Бушнев А.С., Семеренко С.А., Дряхлов А.И., Дряхлов А.А., Шафоростов В.Д., Кривошлыков К.М., Мамырко Ю.В., Ревякин Е.Л.* Перспективная ресурсосберегающая технология производства льна масличного: Метод. рекоменд. М.: Росинформагротех, 2010. 52 с.
97. *Корепанова К.С.* Реакция льна масличного на абиотические условия и приемы посева в Среднем Предуралье: Дис. ... канд. с.-х. наук. Ижевск, 2016. 358 с.
98. *Гореева В.Н., Корепанова Е.В., Фатыхов И.Ш., Корепанова К.В.* Влияние предпосевной обработки семян и приемов посева на вынос азота, фосфора и калия с урожаем льна масличного ВНИИМК 620 в условиях Среднего Предуралья // *Перм. аграрн. вестн.* 2015. № 4(12). С. 13–20.
99. *Ходянков А.А., Гаврюшин И.Ю.* Влияние минеральных удобрений и брассиностероидов на продуктивность льна масличного и вынос элементов питания // *Почвовед. и агрохим.* 2013. № 1(50). С. 198–208.
100. *Прудников В.А., Евсеев П.А., Белов Д.А.* Влияние уровня азотного питания на содержание и потребление элементов питания растениями льна масличного по фазам развития // *Земледел. и защита раст.* 2014. № 1. С. 41–43.
101. *Санин А.А., Косых Л.А., Борисов В.В.* Технология возделывания льна масличного в зоне Среднего Поволжья: рекомендации. Кинель, 2014. 15 с.
102. *Кузнецова Г.Н.* Оптимизация минерального питания льна масличного в южной лесостепи Западной Сибири: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Омск, 2004. 19 с.

103. *Латарцев П.Ю., Антонова О.И.* Особенности потребления основных элементов питания льном масличным в связи с внесением удобрений // Вестн. АлтайГАУ. 2021. № 10. С. 32–37.
104. *Антонова О.И., Черепанов С.Н.* Влияние припосевного внесения удобрений на урожайность семян, соломки льна масличного и показатели их качества по предшественнику пшеницы // Вестн. АлтайГАУ. 2014. № 5(115). С. 5–9.
105. *Антонова О.И., Чавкунькин С.М.* Влияние биологически активных веществ на вынос элементов питания в зависимости от дозы и способа применения на льне масличном // Вестн. АлтайГАУ. 2006. № 1(21). С. 8–11.
106. *Двуреченский В.И., Нугманов А.Б., Слабуш В.И., Мельников В.А., Сидорик И.В.* Рекомендации по возделыванию льна масличного в Костанайской области. Заречное, 2011. 15 с.
107. *Dzuvor C., Taylor J., Acquah C., Pan S., Agyei D.* Bio-processing of functional ingredients from flaxseed // *Molecules*. 2018. V. 23(10). № 2444. P. 2–18.
108. *Поморова Ю.Ю., Овсепян С.К., Серова Ю.М.* Химико-биологические свойства и потенциальная ценность семян масличного льна (обзор) // Масл. культуры. Науч.-техн. бюл. ВНИИМК. 2023. Вып. 1(193). С. 73–84.
109. *Рыжеева О.И.* Лен масличный // Руководство по селекции и семеноводству масличных культур. М.: Колос, 1967. С. 121–172.
110. *Ярош Н.П., Мегорская О.М., Иванова О.Н.* Динамика жирных кислот свободных и связанных липидов в созревающих семенах льна масличного и долгунца // Тр. по прикл. бот., генет. и селекции. 1980. Т. 66. Вып. 3. С. 28–36.
111. *Ермаков А.И., Иконникова М.И., Луковникова Г.А., Ярош Н.П.* Итоги и перспективы биохимических исследований культурных растений // Тр. по прикл. бот., генет. и селекции. 1969. Т. 41. Вып. 1. С. 326–363.
112. *Ханиева И.М., Одижев А.А., Атабиев А.Б.* Продуктивность и качество семян сортов льна масличного в зависимости от уровня минерального питания // Актуальные и новые направления в селекции и семеноводстве сельскохозяйственных культур: Мат-лы Международ. научн.-практ. конф., посвящ. юбилею проф. С.А. Бекузаровой (Владикавказ, 18 февраля 2017 г.). Владикавказ: Изд-во ГорскГАУ, 2017. С. 84–85.
113. *Антонова О.И., Толстых А.С., Стефанькин М.П.* Сравнительная эффективность влияния минеральных и органо-минеральных удобрений на продуктивность льна масличного в засушливых условиях // Вестн. АлтайГАУ. 2011. № 12. С. 20–23.
114. *Латарцев П.Ю.* Сравнительная оценка действия разных видов и доз минеральных удобрений на элементы структуры, урожайность и качество семян льна масличного // Вестн. АлтайГАУ. 2022. № 9(215). С. 5–11.
115. *Корнейкова Ю.С., Ходянков А.А.* Агрономическая и экономическая эффективности совместного применения минеральных удобрений и регуляторов роста растений на льне масличном // Почвовед. и агрохим. 2012. № 1(48). С. 99–109.
116. *Черенков О.А., Шевяков Р.В., Вьюнова Т.Н., Сурнина Ю.В.* Влияние азотоса на формирование основных показателей качества льна масличного (межеумка) в зоне засушливой степи // Вестн. АлтайГАУ. 2009. № 11(61). С. 20–23.
117. *Першаков А.Ю., Белкина Р.И., Сулейменова А.К.* Урожайность и качество семян сортов льна масличного под влиянием удобрений в условиях северной лесостепи Тюменской области // Вестн. МичуринскГАУ. 2021. № 4(67). С. 83–87.
118. *Хаустова С.А., Першаков А.Ю., Белкина Р.И.* Влияние удобрений на урожайность и содержание жира в семенах сортов льна масличного // Достижения молодежной науки для агропромышленного комплекса: сб. мат-лов LVI научн.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых (Тюмень, 14–18 марта 2022 г.). Тюмень: ГАУ Северного Зауралья, 2022. С. 62–68.

Effect of Fertilizers on Productivity and the Quality of Oilseed Flax Products

A. V. Ivoilov[#]

*N.P. Ogarev National Research Mordovian State University,
Bolshevistskaya ul. 68, Saransk 430005, Russia*

[#]*E-mail: ivoilov.av@mail.ru*

A review of domestic and foreign literature on the effect of fertilizers on the yield and quality of oilseed flax products (*Linum usitatissimum* L. ssp. *intermedium*) is given. It is shown that the use of fertilizers is an effective way to increase the seed productivity of flax. The effectiveness of fertilizers on the yield and oil content of seeds depends on many reasons: meteorological conditions during plant vegetation, fertilizer dosage, timing and methods of their application, methods of soil treatment, varietal characteristics, etc. In the first minimum, nitrogen acts to form an increase in the yield of oilseed flax seeds. Its optimal doses depend on environmental conditions and correspond to N30–60. At the same time, the best payback of 1 kg of applied nitrogen is achieved at a dose of no more than 30 kg of a.s./ha. The use of fertilizers is ambiguous, depending on the specific growing conditions: it affects the content of vegetable fat in seeds, reducing or increasing its concentration. At the same time, the use of fertilizers in most cases leads to an increase in oil collection per unit area. The database of removal of the main elements of nutrition (N, P₂O₅, K₂O) by oilseed flax is presented. The average values and approximate intervals of the cost of nutrients per unit of basic production were calculated: for nitrogen they amounted to 34.8 kg/t (30.5–39.2 kg/t), phosphorus – 13.0 (11.4–14.5), and potassium – 29.9 kg/t (25.8–33.9 kg/t). They can be used as normative indicators when calculating fertilizer doses for the planned harvest.

Keywords: oilseed flax (*Linum usitatissimum* L. ssp. *intermedium*), fertilizers, yield, oil content of seeds, relative removal of nutrition elements.