

с бором и марганцем и в варианте  $N_{90}P_{80}K_{130}$  + Лифдрип и составил по меди 504 и 488 г/га, по цинку – 74,9 и 79,2, по марганцу – 2227,3 и 1269,3 г/га соответственно.

Удельный вынос меди и цинка по вариантам опыта существенно не изменялся, однако удельный вынос марганца при применении комплексных удобрений по сравнению с фоновым вариантом возрастал в 1,3–2,7 раза (таблица 5).

### Выводы

1. Комплексные удобрения к моменту уборки значительно увеличивали площадь листовой поверхности растений свеклы столовой, что и предопределило наибольшую урожайность корнеплодов в этих вариантах. Наибольшая площадь листовой поверхности была в вариантах применения комплексного АФК удобрения с  $V_{0,15}$  и  $Mn_{0,1}$  и Лифдрип на фоне  $N_{90}P_{80}K_{130}$  – 1127,0 и 1148,5 см<sup>2</sup>. В этих же вариантах урожайность корнеплодов за годы исследований была наибольшей и составила 54,9 и 54,1 т/га соответственно.

2. Наибольшее количество сухого вещества в корнеплодах (16,8 %) и сахаров (14,9 %) было в варианте с двукратной обработкой посевов свеклы комплексным удобрением с микроэлементами Лифдрип на фоне  $N_{90}P_{80}K_{130}$ . Применение комплексных удобрений не приводило к повышению содержания нитратов в корнеплодах свеклы свыше ПДК.

3. В результате применения комплексных удобрений в основной и побочной продукции свеклы столовой возрастало содержание макро- и микроэлементов и, в связи

с повышением урожайности, увеличивался общий вынос элементов питания.

### Литература

1. Столяров, А. И. Рекомендации по применению жидких комплексных удобрений в овощеводстве / А. И. Столяров, Э. К. Эйсерт, Ю. Е. Владимирский; под ред. Л. В. Ушкановой. – Краснодар: Произв. упр. сел. хоз-ва Краснодарского крайисполкома, 1979. – 20 с.
2. Петриченко, В. Н. Применение регуляторов роста растений нового поколения на овощных культурах / В. Н. Петриченко, С. В. Логинов // *Агрехимический вестник*. – 2010. – № 2. – С. 24–26.
3. Комплексные удобрения для сельскохозяйственных культур: перспективные разработки / В. В. Лапа [и др.] // *Почвоведение и агрохимия*. – 2009. – № 1 (42). – С. 197–201.
4. Хизанейшвили, Н. Э. Влияние макро- и микроудобрений на урожайность корнеплодов столовой свеклы, их качество и вынос элементов питания / Н. Э. Хизанейшвили // *Вестник БГСХА*. – 2020. – № 3. – С. 94–98.
5. Государственный реестр средств защиты растений и удобрений, разрешенных к применению на территории Республики Беларусь / М-во сел. хоз-ва и продовольствия РБ, ГУ «Главная гос. инспекция по семеноводству, карантину и защите растений»; сост.: А. В. Пискун [и др.]. – Минск: «Промкомплекс», 2017. – 688 с.
6. Организационно-технологические нормативы возделывания овощных, плодовых, ягодных культур и выращивания посадочного материала: сб. отраслевых регламентов / Нац. акад. наук Беларуси, РУП «Ин-т системных исследований в АПК НАН Беларуси». – Минск: Беларуская навука, 2010. – 518 с.
7. Эффективность применения микроудобрений и регуляторов роста при возделывании сельскохозяйственных культур / И. Р. Вильдфлуш [и др.]. – Минск: Беларус. навука, 2011. – 293 с.

УДК 631.811.2:633.521:631.442.1

## Эффективность фосфорного удобрения при возделывании льна-долгунца на супесчаной почве

В. А. Прудников, доктор с.-х. наук, Н. В. Степанова, Д. П. Чирик, кандидаты с.-х. наук, С. Р. Чуйко, С. В. Любимов, научные сотрудники  
Институт льна

(Дата поступления статьи в редакцию 11.02.2021 г.)

В работе представлены результаты исследований по влиянию фосфорного удобрения на содержание волокна в тресте и урожайность льнопродукции при возделывании льна-долгунца на дерново-подзолистой связно-супесчаной почве. При содержании в пахотном слое 160–165 мг/кг почвы подвижных фосфатов оптимальной дозой фосфорного удобрения установлена 30 кг/га д. в., что обеспечило урожайность семян 7,0 ц/га, тресты – 45,6, волокна – 13,8, в том числе длинного – 8,2 ц/га, рентабельность производства – 43 %. В общем выносе фосфора урожая льна доля фосфорного удобрения составляет 5–6 %, потребление фосфора из почвы – 94–95 %.

### Введение

Среди супесчаных почв пригодными для посева льна-долгунца являются дерново-подзолистые связно-супесчаные, подстилаемые суглинком и песком, рыхло-супесчаные, подстилаемые суглинком [1]. В сравнении с суглинистыми супесчаные почвы характеризуются меньшим содержанием физической глины, минеральных

*The paper presents the results of a study on the effect of phosphorus fertilization on the fiber content in the trust and the yield of products when cultivating flax on sod-podzolic sandy loam soil. With the content of mobile phosphates in the arable layer of 160–165 mg/kg of soil, the optimal dose of phosphorus fertilizer was set at 30 kg/ha, which ensured seed yield 7,0 c/ha, trusts – 45,6, fiber – 13,8, including long – 8,2 c/ha, profitability of production – 43 %. In the total removal of phosphorus by the flax crop, the proportion of phosphorus fertilizer is 5–6 %, and 94–95 % of phosphorus is consumed by flax from the soil.*

и органических коллоидов, гумуса, элементов питания и менее устойчивым водным режимом.

Определяющим фактором эффективности минеральных удобрений в формировании урожайности культуры является азотное удобрение, однако роль других элементов питания не менее значительна, в том числе фосфора. При возделывании льна-долгунца на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве установлено,

что эффективность фосфорного удобрения зависит от содержания подвижных фосфатов в почве, а избыточное фосфорное питание снижает содержание волокна в стеблях, урожайность волокна и рентабельность производства [2].

Оптимизация фосфорного питания льна-долгунца, направленная на повышение урожайности и применения экономически оправданных доз удобрений, является одним из главных элементов технологии возделывания данной культуры.

Цель исследований заключалась в установлении влияния доз фосфорного удобрения на урожайность и качество льнопродукции, экономическую эффективность их применения при возделывании льна-долгунца на дерново-подзолистой связносупесчаной почве.

### Материалы и методы исследований

Полевые опыты закладывали на опытном поле ОАО «Хотимский льнозавод» Хотимского района, Могилевской области с использованием сорта льна-долгунца Грант. Исследования осуществлялись в слабо засушливых погодных условиях периода вегетации 2019 г. (ГТК 1,3) и переувлажненных 2020 г. (ГТК 1,9).

Почва опытного участка дерново-подзолистая связносупесчаная, развивающаяся на водно-ледниковых пылевато-песчаных супесях, подстилаемых моренным суглинком с глубины 0,7–0,8 м. Агрохимические показатели пахотного слоя почвы были следующие:  $pH_{KCl}$  – 5,2–5,3, содержание органического вещества – 1,6–1,8 %, подвижных фосфатов – 160–165, калия – 145–180, цинка – 3,6–4,6, бора – 0,47–0,52, меди – 1,2–2,4 мг/кг почвы. Почва характеризовалась средним содержанием фосфора, калия, бора, цинка, низким и средним содержанием меди. Повторность полевого опыта четырехкратная, площадь общей делянки – 28, учетной – 15 м<sup>2</sup> [3].

Семена льна обрабатывали защитно-стимулирующим составом, включающим протравитель Витавакс 200ФФ (2,0 л/т), инсектицид Табу (1,0 л/т), микроэлементы – цинк (120 г/т д. в.) и бор (100 г/т д. в.).

Минеральные удобрения вносили весной в виде КАСа, двойного суперфосфата, хлористого калия согласно схеме опыта. Обработка почвы включала осеннюю вспашку на глубину пахотного слоя 20 см, весеннюю культивацию для закрытия влаги на глубину 5–7 см, вторую культивацию для заделки минеральных удобрений на глубину 8–10 см, предпосевную обработку почвы агрегатом АКШ-6. Сев льна-долгунца осуществляли сеялкой СПУ-6Л с шириной междурядий 6,25 см, норма высева – 20 млн шт./га всхожих семян.

Против сорной растительности посевы обрабатывали композиционным составом: Агритокс, 0,7 л/га + Секатор турбо, 0,05 л/га (фаза «ёлочка») → Миура, 1,0 л/га (через 7 дней); против болезней льна – Феразим, 1,0 л/га. Уборку льна-долгунца осуществляли тереблением (ТЛН-1,5) с последующей вязкой стеблей в снопы, ручным обмолотом и расстилом в ленты. Качество льнотресты определяли согласно действующему стандарту [4], пораженность растений болезнями – согласно практическому руководству по фитосанитарному контролю посевов льна-долгунца [5], химический состав растений льна – методом мокрого озоления с последующим определением макроэлементов [6].

### Результаты исследований и их обсуждение

На супесчаной почве, содержащей в пахотном слое 160–165 мг/кг подвижных фосфатов, изучали дозы фосфорного удобрения от 30 до 150 кг/га д. в. на фоне минерального питания  $N_{25}K_{120}$ . Запас подвижного фосфора в пахотном слое почвы составлял 480–495 кг/га.

Проведенные исследования в 2019–2020 гг. не установили влияния фосфорного удобрения на распространение и развитие основных болезней льна-долгунца в посевах. В условиях дефицита осадков 2019 г. пораженность льна-долгунца болезнями к уборке была невысокой: распространенность антракноза достигала 19–20 % при его развитии 8–9 %. В переувлажненном 2020 г. установлено сильное распространение септориоза льна – 79–83 % при его развитии 48–56 % и невысокое распространение и развитие фузариоза – 2–3 %.

Анализ структуры урожая показывает, что высокая доза фосфорного удобрения – 150 кг/га д. в. снижала общую и техническую длину на 4 и 5 % соответственно по сравнению с вариантом без внесения фосфорного удобрения (таблица 1). Изучаемые дозы фосфора не оказывали влияния на количество коробочек на растении, семян в коробочках и их массу.

При возделывании льна-долгунца на дерново-подзолистой связносупесчаной почве в среднем за 2019–2020 гг. в варианте без внесения фосфорного удобрения на фоне азотно-калийного  $N_{25}K_{120}$  урожайность семян составила 6,6 ц/га, тресты – 42,7, волокна – 12,7 ц/га, в т. ч. длинного – 7,5 ц/га (таблица 2).

Внесение 30–90 кг/га д. в. фосфорного удобрения в почву обеспечило лишь тенденцию к повышению урожайности семян льна-долгунца, но достоверно повышало урожайность тресты на 4–7 %, общего волокна – на 7–10 % и длинного – на 4–9 %. Повышение дозы фосфорного удобрения до 150 кг/га д. в. по сравнению

Таблица 1 – Влияние фосфорного удобрения на структуру урожая льна-долгунца (2019–2020 гг.)

Доза фосфора, кг/га д. в.	Длина стебля, см		Количество, шт.			Масса 1000 семян, г
	общая	техническая	коробочек на растении	семян в коробочке	семян на растении	
0	81,0	66,0	4,2	7,1	29,8	5,1
30	80,5	65,5	4,4	7,2	31,7	5,1
60	81,5	66,0	4,4	7,2	31,7	5,1
90	81,0	65,5	4,4	7,2	31,7	5,1
120	80,0	64,5	4,4	7,2	31,7	5,1
150	78,0	63,0	4,2	7,2	30,2	5,1
$HCP_{05}$	1,6	0,62	0,25	–	2,3	–

с 30 кг/га д. в. достоверно снижало урожайность тресты на 4 %, волокна – на 5 %, в т. ч. длинного – на 11 %.

При внесении в почву минерального фосфора 30 кг/га д. в. урожайность тресты составила 4,56 т/га, волокна – 1,38 т/га, на формирование которого потребуется 28–35 кг  $P_2O_5$ . Это, примерно, 6–7 % от запаса подвижных фосфатов пахотного слоя почвы. Поэтому внесение в почву фосфорного удобрения свыше 30 кг/га д. в. в условиях вегетационных периодов 2019–2020 гг. не требовалось.

По данным многих исследований [7, 8, 9], на формирование тонны волокна культура льна потребляет 20–25 кг  $P_2O_5$ . В наших исследованиях на суглинистой почве, содержащей подвижных фосфатов 159–171 мг/кг, внесение фосфорного удобрения в дозе 30 кг/га д. в. обеспечивало лишь тенденцию к повышению урожайности волокна и семян, а дозы фосфора 60 и 90 кг/га д. в. – тенденцию к снижению урожайности льна-долгунца [2]. Кроме того, фосфорное удобрение не способствовало повышению качественных показателей длинного волокна. Исследованиями Всероссийского института льна выявлено, что избыток фосфатов в почве способствует образованию нерастворимого фосфата цинка  $Zn(PO_4)_2$ , что затрудняет поступление цинка в растения [8]. Недостаток цинка тормозит работу ферментов в растительной клетке и, как следствие, рост растений. При избыточном фосфорном питании в растениях снижаются синтетические процессы, в результате чего происходит преждевременное созревание и снижение урожайности и качества продукции [9].

В среднем за годы исследований, максимальное качество тресты – 1,50 номера получено при внесении в почву 30–90 кг/га д. в. фосфора. Увеличение дозы фосфора до 120–150 кг/га д. в. снижало номер тресты до 1,38–1,25 единиц.

При средней урожайности тресты 42,7 ц/га и семян 6,6 ц/га в варианте без внесения фосфорного удобрения расчетная прибыль составила 524,4 руб./га при рентабельности выращивания 37 % (таблица 3). Максимальная прибыль – 639,4 руб./га и рентабельность 43 % получены при урожайности тресты 45,6 ц/га номером 1,50 и семян – 7,0 ц/га в варианте с дозой фосфора 30 кг/га д. в. Повышение дозы фосфорного удобрения до 60–90 кг/га д. в. снижало прибыль на 40,1–106,6 руб./га и рентабельность – на 4–9 %; при дозах 120–150 кг/га д. в. – на 224,0–359,1 руб./га и 17–26 % соответственно.

Следует отметить, что применение высоких доз фосфорного удобрения – 120–150 кг/га д. в. снижает прибыль и рентабельность даже по сравнению с вариантом без их внесения (с контролем) на 109,0–244,1 руб./га и 11–20 % соответственно, что объясняется высокой стоимостью удобрения.

Расчеты хозяйственного выноса фосфора урожаем показывают, что в среднем за два года при урожайности волокна 12,7 ц/га в варианте без фосфорного удобрения вынос фосфора составил 24,7 кг/га (таблица 4). При внесении фосфорного удобрения в дозах 30–60 кг/га д. в. вынос фосфора урожаем повышался до 26,2 кг/га (+1,5 кг/га). Увеличение дозы фосфора свыше 60 кг/га д. в. проявляло тенденцию к снижению урожайности и выноса фосфора урожаем.

Затраты фосфора на формирование одной тонны волокна в контроле и вариантах с внесением фосфорного удобрения были практически идентичные – 18,7–19,5 кг.

Доля потребленного из запасов почвы элемента питания  $P_2O_5$  от общего количества его подвижных форм в пахотном слое на одном гектаре пашни выражается коэффициентом, который зависит от плодородия почвы, погодных условий, уровня агротехники и др. [2].

**Таблица 2 – Влияние фосфорного удобрения на содержание волокна в тресте и урожай льнопродукции (2019–2020 гг.)**

Доза фосфора, кг/га д. в.	Урожайность, ц/га				Номер тресты	Содержание волокна в тресте, %	
	семена	треста	волокно			общее	длинное
			общее	длинное			
0	6,6	42,7	12,7	7,5	1,38	29,7	17,5
30	7,0	45,6	13,8	8,2	1,50	30,2	18,0
60	7,0	45,8	14,0	8,2	1,50	30,6	18,0
90	7,0	44,6	13,6	7,8	1,50	30,4	17,6
120	7,0	44,3	13,3	7,6	1,38	30,1	17,1
150	6,8	43,7	13,1	7,3	1,25	29,9	16,6
$HCP_{05}$	0,52–0,60	2,1–1,6	0,48–0,67	0,28–0,38			

**Таблица 3 – Экономическая эффективность применения фосфорного удобрения при возделывании льна-долгунца на дерново-подзолистой связносупесчаной почве (2019–2020 гг.)**

Доза фосфора, кг/га д. в.	Урожайность, ц/га		Качество тресты, номер	Производственные затраты, руб./га	Стоимость продукции, руб./га	Прибыль, руб./га	Рентабельность, %
	семена	треста					
0	6,6	42,7	1,38	1403,9	1928,3	524,4	37,3
30	7,0	45,6	1,50	1491,6	2131,0	639,4	42,8
60	7,0	45,8	1,50	1537,9	2137,1	599,3	39,0
90	7,0	44,6	1,50	1553,4	2086,2	532,8	34,3
120	7,0	44,3	1,38	1585,8	2001,2	415,4	26,2
150	6,8	43,7	1,25	1609,0	1889,3	280,3	17,4

Таблица 4 – Влияние доз фосфорного удобрения на потребление фосфора урожаем льна-долгунца из почвы и удобрения (2019–2020 гг.)

Доза фосфора, кг/га д. в.	Урожайность волокна, ц/га	Вынос фосфора урожаем, кг/га	Затраты P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , кг/т волокна	Коэффициент потребления фосфора, %	
				из почвы	из удобрения
0	12,8	24,7	19,3	5,0	–
30	13,8	26,2	19,0	5,0	5,0
60	14,0	26,2	18,7	5,0	2,5
90	13,6	25,9	19,0	5,0	1,3
120	13,3	26,0	19,5	5,0	1,1
150	13,1	25,2	19,2	5,0	0,3

Примечание – Содержание подвижного P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> перед закладкой опыта – 160–165 мг/кг почвы.  
Запасы фосфора в пахотном слое почвы – 488 кг/га P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

Из общего запаса подвижных фосфатов в изучаемой связносупесчаной почве (488 кг/га P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) потребление фосфора урожаем льна-долгунца из почвы составляло 5,0 %. Коэффициент использования фосфора льном из внесенного удобрения, рассчитанный разностным методом, при дозе внесения фосфорного удобрения 30 кг/га д. в. достигал 5,0 %. С увеличением дозы фосфора коэффициент использования удобрения снижался: при дозе 60 кг/га д. в. – до 2,5 %, при 90 кг/га д. в. – до 1,3 %, при 150 кг/га д. в. – до 0,3 %. Расчеты использования фосфора из почвы и удобрений показывают, что в общем выносе фосфора урожаем льна доля фосфорного удобрения составляет в среднем 5–6 %, а 94–95 % фосфора лен потребляет из почвы.

#### Заключение

На дерново-подзолистой связносупесчаной почве при содержании подвижных фосфатов 160–165 мг/кг оптимальной дозой внесения фосфорного удобрения установлена 30 кг/га д. в., обеспечившая получение урожайности семян 7,0 ц/га, тресты – 45,6, волокна – 13,8, в т. ч. длинного – 8,2 ц/га, расчетной прибыли – 639,4 руб./га и рентабельности выращивания льна – 43 %. Применение фосфорного удобрения в дозах 60–90 кг/га д. в. снижало прибыль на 40,1–106,6 руб./га, рентабельность – на 4–9 %; в дозах 120–150 кг/га д. в. соответственно – на 224–359,1 руб./га и 17–25 % по отношению к дозе 30 кг/га д. в.

Использование фосфатов урожаем льна-долгунца составляло 5,0 % от общего их запаса на гектаре. Коэффициент использования фосфора льном из внесенного удобрения в дозе 30 кг/га д. в. достигал 5,0 %.

Увеличение дозы внесения фосфора с 30 до 150 кг/га снижало коэффициент использования удобрения с 5,0 до 0,3 %. В общем выносе фосфора урожаем льна доля его использования из фосфорного удобрения составляет 5–6 %, из почвы – 94–95 %. Применение разных доз фосфорного удобрения практически не влияло на затраты фосфора при формировании тонны волокна, которые составляли 18,7–19,5 кг P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

#### Литература

1. Отраслевой регламент. Возделывание льна-долгунца. Типовые технологические процессы / В. Г. Гусаков [и др.] – Минск: Институт системных исследований в АПК НАН Беларуси, 2012. – 47 с.
2. Прудников, В. А. Исследования по агротехнике льна / В. А. Прудников. – Минск: Полиграфт, 2016. – 174 с.
3. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта: (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б. А. Доспехов. – Изд. 4-е, перераб. и доп. – М.: Колос, 1979. – 416 с.
4. Треста льняная. Требования при заготовках. СТБ 1194–2007. – Введ. 01.07.2011. – Минск: Госстандарт РБ, 2009. – 12 с.
5. Фитосанитарный контроль при возделывании льна-долгунца. Практическое руководство / П. А. Саскевич [и др.]. – Горки, 2006. – 112 с.
6. Агрохимия. Практикум: учебное пособие / И. Р. Вильдфлуш [и др.]; под ред. И. Р. Вильдфлуша, С. П. Кукреша. – Минск: ИВЦ Минфина, 2010. – 368 с.
7. Агрохимия: учебник / И. Р. Вильдфлуш [и др.]; под общ. ред. И. Р. Вильдфлуша. – Минск: ИВЦ Минфина, 2013. – 704 с.
8. Усовершенствованная система применения удобрений в льняном севообороте / В. Я. Тихомирова [и др.]; под общ. ред. В. Я. Тихомировой. – Торжок, 2005. – 81 с.
9. Мосолов, И. В. Физиологические основы применения минеральных удобрений / И. В. Мосолов. – Москва: Колос, 1979. – 252 с.

УДК 631.452 (476)

## Пути повышения эффективности использования азотных удобрений в земледелии Беларуси

Н. Н. Семененко, доктор с.-х. наук  
Институт почвоведения и агрохимии

(Дата поступления статьи в редакцию 03.11.2020 г.)

На основании анализа результатов фундаментальных, проведенных с изотопом азота <sup>15</sup>N, и прикладных

Based on the analysis of fundamental carried out with the nitrogen<sup>15</sup> isotope results and the applied researches, the