

- рерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. – 2015. – № 2. – С. 65–71.
7. Flax and flaxseed oil: an ancient medicine & modern functional food / A. Goyal [et al.] // J Food Sci Technol. – 2014. – № 51. – P. 1633–1635.
 8. Oomah, B. D. Flaxseed as a functional food source / B. D. Oomah // J Sci Food Agric. – 2001. – № 81. – P. 889–894.
 9. Методические указания по селекции льна-долгунца / под ред. доктора с.-х. наук В. Ф. Козловской. – М., 2004. – 43 с.
 10. Возделывание льна масличного. Типовые технологические процессы / В. А. Прудников [и др.] // Организационно-технологические нормативы возделывания зерновых, зернобобовых, крупяных, кормовых и технических растений: сб. отраслевых регламентов / РУП «НПЦ НАН Беларуси по земледелию»; под общ. ред. Ф. И. Привалова. – Минск: ИВЦ Минфина, 2022. – С. 425–437.
 11. Агротемперологический бюллетень / ГУ «Республиканский гидрометеорологический центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды»; редактор О. М. Клинецвич, начальник Т. С. Гомонова, 2020–2021 гг. – (Обзорная информация / Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь).
 12. ГОСТ 10846-91. Зерно и продукты его переработки. Методы определения белка. – М.: Стандартинформ, 2010. – 4 с.
 13. Чудинова, Ю. В. Эколого-генетические аспекты возделывания льна в условиях Западно-Сибирского региона: монография / Ю. В. Чудинова. – Новосибирск: ИЦ «Золотой колос», 2014. – 161 с.
 14. Федорова, Т. Ц. Семена масличного льна – источник белка при производстве рыбных полуфабрикатов / Т. Ц. Федорова, Ю. Ю. Забалуева, И. В. Хамаганова // Ползуновский вестник. – 2017. – № 2. – С. 28–32.
 15. Косых, Л. А. Лен масличный – культура пищевого использования (обзор) / Л. А. Косых // Аграрная наука. – 2021. – № 353 (10). – С. 56–59.

УДК 631.472.56:633.521

Влияние органического вещества дерново-подзолистой почвы на рост и развитие растений льна-долгунца

В. А. Прудников, доктор с.-х. наук,
Н. В. Степанова, кандидат с.-х. наук, **С. Р. Чуйко**,
Д. Ю. Фесько, **Н. В. Коробова**, **Е. В. Пашкевич**, научные сотрудники,
 РУП «Институт льна»

(Дата поступления статьи в редакцию 16.02.2024)

Аннотация. В статье изложены результаты исследований 2021–2023 гг. по влиянию содержания органического вещества дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы (1,5–2,0–2,5 %) на онтогенез растений льна-долгунца. Установлено положительное влияние органического вещества почвы на основные анатомические показатели стебля, определяющие продуктивность растения (площадь выполненной части стебля и центральной полости, мощность фотосинтезирующей хлоренхимы, соотношение луба и древесины), химический состав растений в основные фазы их развития, что обеспечило к уборке увеличение длины стебля ($r = 0,84–0,90$), числа коробочек и семян на растении ($r = 0,94–0,99$).

Введение

Органическое вещество почвы представляет собой совокупность органических веществ, находящихся в виде гумуса, остатков животных, растений, микроорганизмов и является одним из важных показателей ее плодородия. В процессе биологического разложения оно служит источником основных элементов минерального питания растений, преимущественно азота.

Органическое вещество почвы аккумулирует в себе запасы углерода, азота, калия, фосфора и микроэлементов; способствует созданию оптимальных режимов и структуры почвы; препятствует эрозионным процессам; оптимизирует корневое питание растений; нивелирует отрицательные последствия неблагоприятных природно-климатических условий; обеспечивает полную реализацию генетического потенциала сортов сельскохозяйственных культур. Оно является един-

The article deals with the results of the research for 2021–2023 on the influence of the organic matter content in sod-podzolic medium loamy soil (1.5–2.0–2.5 %) on ontogenesis of fiber flax. It's established that organic matter in soil affects positively the main anatomical indicators of the stem, determining the plant productivity (the area of the completed part of the stem and the central cavity, the power of chlorenchyma, the ratio of bast phloem to wood), the chemical composition of plants at the main stages of their development, which provides the increase of the stem length ($r = 0.84–0.90$), the number of bolls and seeds per plant ($r = 0.94–0.99$).

ственным источником энергии для жизнедеятельности почвенной микрофлоры и биоты, участвует в саморегуляции разложения. Почти 80–90 % от всей органической части почвы составляет гумус, в котором сосредоточены почти все запасы азота (до 5 %) [1, 2]. Почвы с высоким содержанием гумуса биологически активнее: в них больше численность микроорганизмов, разнообразнее их видовой состав, интенсивнее образуется углекислый газ CO_2 , повышена ферментативная активность [3, 4].

Анализ выделяемых для посева льна почв свидетельствует, что в пределах одной организации они имеют широкий диапазон по содержанию органического вещества с варьированием по отдельным полям от 1,1 до 3,5 % [5].

Целью исследований являлось установление особенностей развития растений при возделывании льна-долгунца на дерново-подзолистой почве с разным содержанием органического вещества.

Методика и условия проведения исследований

Исследования проводили на опытном поле РУП «Институт льна» в засушливых условиях вегетации льна-долгунца 2021 г. (ГТК Г. Т. Селянинова – 0,74), в слабо засушливых 2022 г. (ГТК – 1,24), в экстремальных 2023 г. (ГТК мая – 0,08; июня – 0,68; июля – 3,71; периода вегетации – 1,63). Период вылежки соломы в 2021 г. установлен как оптимальный (ГТК – 1,53) в 2022 г. и 2023 г. – переувлажненные (ГТК – 1,85 и 2,16).

Вегетационно-полевой опыт проводился согласно методике Б. А. Доспехова [6] с ручным посевом льна-долгунца с нормой высева семян 22 млн шт./га и ширине междурядий 10 см; применением минеральных удобрений: цинка – 1,0, фосфора – 60, калия – 90 кг/га д.в. Дерново-подзолистая среднесуглинистая почва характеризовалась содержанием органического вещества 1,51–2,56 %, повышенным содержанием подвижных форм фосфора (242–250) и калия (216–232), средним – бора (0,56–0,62) и меди (2,7–2,9), низким – цинка (2,5–2,9 мг/кг почвы) при кислотности 5,4–5,5 рН_{КС}. Площадь учетной делянки – 1 м², повторность – четырехкратная.

Уход за посевами в период вегетации проводился согласно отраслевому технологическому регламенту возделывания льна-долгунца [7]. Уборка льна-долгунца осуществлялась ручным тереблением стеблей, обмолотом коробочек и расстилом соломы. Классификация фенологического развития растений проводилась по системе К. Хеллера [8]. Анатомическое строение стебля изучалось методом сканирующей электронной микроскопии при использовании микро-

скопа NICON с компьютерным анализатором [9]. Химический состав растений определялся методом мокрого озоления согласно действующим ГОСТам [10, 11, 12].

Результаты исследований и их обсуждение

Установлено, что в среднем за 2021–2023 гг. содержание органического вещества почвы в пределах 1,5–2,5 % не оказывало существенного влияния на полевую всхожесть семян льна-долгунца и сохранность растений к уборке. При норме высева семян 22 млн шт./га их средняя полевая всхожесть составляла 81–84 %, сохранность растений к уборке – 88–90 %.

С увеличением содержания органического вещества почвы с 1,5 до 2,5 % варьирование длины стебля в годы исследований находилось на уровне: в фазе елочка – с 7–11 до 9–15 см; в фазе бутонизации – с 35–57 до 45–67 см; в фазе цветения – с 60–75 до 67–77 см; в фазе ранней желтой спелости – с 65–79 до 75–82 см. Варьирование сухой биомассы 100 растений находилось на следующем уровне: в фазе елочка – с 1,7–3,3 до 3,9–4,8 г; в фазе бутонизации – с 10,0–18,7 до 10,7–28,0 г; в фазе цветения – с 20,2–39,6 до 25,6–43,8 г; в фазе ранней желтой спелости – с 29,5–46,5 до 35,7–55,7 г (таблица 1). Следовательно, с увеличением содержания органического вещества в почве с 1,5 до 2,0–2,5 % повышалась средняя длина стебля: в фазе «елочка» – на 20–36 %, в фазе бутонизации – на 13–24 %, в фазе ранней желтой спелости – на 6–11 %, а также сухая биомасса растений – соответственно на 44–68 %, 12–33 % и 11–29 % (рисунок).

Таблица 1 – Влияние содержания органического вещества почвы на развитие растений льна-долгунца (среднее за 2021–2023 гг.)

Признак		Содержание органического вещества в почве, %			$\bar{x} \pm Sx$
		1,5	2,0	2,5	
Фаза «елочка», ВВСН 16					
Длина стебля, см	Среднее значение	8,3	10,0	11,3	9,9±0,41
	Диапазон варьирования	7–11	9–12	9–15	–
Сухая масса 100 растений, г	Среднее значение	2,5	3,6	4,2	3,4±0,21
	Диапазон варьирования	1,7–3,3	2,9–4,3	3,9–4,8	–
Фаза бутонизации, ВВСН 57					
Длина стебля, см	Среднее значение	48,0	54,0	59,3	53,8±1,88
	Диапазон варьирования	35–57	45–59	45–67	–
Сухая масса 100 растений, г	Среднее значение	13,7	15,4	18,3	29,0±0,87
	Диапазон варьирования	10,0–18,7	10,5–20,6	10,7–28,0	–
Фаза цветения, ВВСН 65					
Длина стебля, см	Среднее значение	66,7	69,3	73,0	69,7±1,06
	Диапазон варьирования	60–75	65–76	67–77	–
Сухая масса 100 растений, г	Среднее значение	26,8	28,4	31,9	29,0±0,87
	Диапазон варьирования	20,2–39,6	21,3–41,5	25,6–43,8	–
Фаза ранней желтой спелости, ВВСН 83					
Длина стебля, см	Среднее значение	70,3	74,7	78,3	74,4±1,34
	Диапазон варьирования	65–79	69–80	75–82	–
Сухая масса 100 растений, г	Среднее значение	35,5	39,4	45,9	40,3±1,75
	Диапазон варьирования	29,5–46,5	32,8–52,3	35,7–55,7	–



Рисунок – Влияние содержания органического вещества почвы на развитие льна-долгунца в фазе «елочка» (2021 г.)

Химический анализ растений льна-долгунца, отобранных в фазе «елочка», показал, что увеличение содержания органического вещества почвы с 1,5 до 2,0–2,5 % повышало в сухом веществе растений содержание азота с 2,78 до 2,98–3,46 %, фосфора – с 0,61 до 0,67–0,78 % и калия – с 3,85 до 4,27–4,41 % (таблица 2).

В фазе бутонизации льна содержание азота в сухом веществе растений повышалось с 1,40 до 1,68–1,80 %, фосфора – с 0,49 до 0,56–0,59 %, калия – с 1,96 до 2,08–2,17 %. В фазе цветения льна установлено повы-

шение содержания азота в растениях с 1,22 % на фоне органического вещества почвы 1,5 % до 1,45–1,59 % – на фоне 2,0–2,5 % без существенного изменения содержания в растениях фосфора и калия.

Условия минерального питания тесно связаны с анатомическим строением стебля льна. Выборка каждого варианта включала 10 типичных по толщине, длине и цвету стеблей, из которых на половине технической длины посередине междоузлия выделяли отрезки длиной 10 см и в течение 3 суток размягчали в смеси спирта, глицерина и воды в соотношении 1:1:1.

Таблица 2 – Влияние органического вещества почвы на содержание основных элементов питания в сухом веществе растений льна-долгунца (среднее за 2021–2023 гг.)

Содержание органического вещества в почве, %	Содержание элементов питания в сухом веществе растений, %								
	фаза «елочка»			фаза бутонизации			фаза цветения		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1,5	2,78	0,61	3,85	1,40	0,49	1,96	1,22	0,36	1,45
2,0	2,98	0,67	4,27	1,68	0,56	2,08	1,45	0,38	1,47
2,5	3,46	0,78	4,41	1,80	0,59	2,17	1,59	0,40	1,51

Стебли льна-долгунца, выращенные на почве с содержанием органического вещества 1,5 %, имели диаметр 1,05 мм, толщину стенки – 288,07 мкм, площадь выполненной части – 0,73 мм² и центральной полости – 0,15 мм² (таблица 3). На почве с содержанием органи-

ческого вещества 2,0–2,5 % диаметр стебля повышался до 1,11–1,25 мм (на 6–19 %), толщина стенки – до 300,26–340,43 мкм (на 4–18 %), площадь выполненной части стебля – до 0,81–0,94 мм² (на 11–29 %) и центральной полости – до 0,23–0,26 мм² (на 53–73 %).

Таблица 3 – Влияние содержания органического вещества почвы на толщину и выполненность стебля льна-долгунца (поперечное сечение)

Содержание органического вещества почвы, %	Диаметр стебля, мм	Толщина стенки стебля, мкм	Площадь стебля, мм ²			Выполненность стебля, %
			всего	выполненной части	центральной полости	
1,5	1,05	288,07	0,88	0,73	0,15	82,9
2,0	1,11	300,26	1,04	0,81	0,23	77,9
2,5	1,25	340,43	1,20	0,94	0,26	78,3
$\bar{x} \pm Sx$	1,14±0,05	309,59±4,64	1,04±0,09	0,83±0,05	0,21±0,03	–

На продуктивность растения большое влияние оказывают параметры фотосинтезирующей хлоренхимы (паренхимы). С увеличением содержания органического вещества почвы с 1,5 до 2,0–2,5 % ради-

альный размер хлоренхимы стебля увеличивался с 21,59 до 25,53–27,99 мкм (на 18–30 %), площадь хлоренхимы – с 0,072 до 0,089–0,096 мм² (на 24–33 %) (таблица 4).

Таблица 4 – Гистологические параметры стебля в зависимости от содержания органического вещества почвы (поперечное сечение)

Органическое вещество почвы, %	Хлоренхима		Луб		Древесина		Отношение луб / древесина
	радиальный размер, мкм	площадь, мм ²	радиальный размер, мкм	площадь, мм ²	радиальный размер, мкм	площадь, мм ²	
1,5	21,59	0,072	92,15	0,29	149,73	0,37	0,78
2,0	25,53	0,089	99,01	0,31	156,18	0,41	0,76
2,5	27,99	0,096	108,23	0,37	177,56	0,51	0,73
$\bar{x} \pm Sx$	25,04±1,12	0,09±0,01	99,80±2,47	0,32±0,02	161,16±3,53	0,43±0,03	–

Примечание – \bar{x} – среднее значение переменной; Sx – стандартная ошибка.

Повышение содержания органического вещества почвы с 1,5 до 2,0–2,5 % способствовало увеличению радиального размера и площади луба соответственно с 92,15 до 99,01–108,23 мкм² (на 7–17 %) и с 0,29 до 0,31–0,37 мм² (на 7–28 %), что свидетельствует о повышении урожайности волокна.

Анализ структуры урожая льна-долгунца свидетельствует, что в среднем за 2021–2023 гг. на почве с

содержанием органического вещества 1,5 % растения имели среднюю длину стебля (\bar{x}) 71,0 см, количество коробочек на стебле – 1,8 шт. и семян – 10,7 шт. (таблица 5). На почве с содержанием органического вещества 2,0–2,5 % длина стебля увеличивалась до 74,7–78,3 см (на 5–10 %); число коробочек на растении – до 2,2–2,5 шт. (на 22–39 %) и семян – до 15,6–17,7 шт. (на 46–65 %).

Таблица 5 – Влияние содержания органического вещества почвы на структурно-функциональные показатели растений льна-долгунца (среднее за 2021–2023 гг.)

Содержание органического вещества в почве, %	Техническая длина стебля		Количество на растении				Масса 1000 семян, г	
	\bar{x} , см	V, %	коробочек		семян		\bar{x} , г	V, %
			\bar{x} , шт.	V, %	\bar{x} , шт.	V, %		
1,5	71,0	11,0	1,8	30,3	10,7	25,0	4,91	8,0
2,0	74,7	8,9	2,2	20,2	15,6	19,1	4,94	7,5
2,5	78,3	6,2	2,5	18,7	17,7	16,7	5,06	6,6
HCP ₀₅	2,2 (1,7–3,0)		0,29 (0,18–0,46)		1,4 (1,3–1,6)		0,18 (0,12–0,27)	

Коэффициент вариации (V) при определении массы 1000 семян во всех вариантах опыта составил менее 10 %, что свидетельствует о незначительном варьировании данного показателя. Установлено высокое варьирование показателей по количеству коробочек (V = 30,3 %) и семян (V = 25,0 %) на растении и среднее по технической длине стебля (V = 11,0 %) при возделывании льна на почве с содержанием органического вещества 1,5 %, а также среднее – по количеству семян (V = 16,7–19,1 %) и коробочек на растении (V = 18,7–20,2 %) и слабое – по длине стебля (V = 8,9–6,2 %) на почве с содержанием органического вещества 2,0–2,5 %. Следовательно, повышение содержания органического вещества в почве обеспечивает формирование более однородного и выровненного ценоза льна-долгунца.

Выводы

Повышение содержания в почве органического вещества с 1,5 до 2,0–2,5 % при предпосевном внесении фосфора 60 и калия 90 кг/га д.в. увеличивало длину и сухую биомассу льна-долгунца, повышало содержание NPK в сухом веществе растений на протяжении всего онтогенеза, что обеспечило к уборке увеличение длины стебля на 5–10 % ($r = 0,84–0,90$); числа коробочек – на 22–39 % и семян на растении – на 46–65 % ($r = 0,94–0,99$). Это подтверждает анализ анатомического строения стебля. Увеличение в почве содержания органического вещества с 1,5 до 2,0–2,5 % повышало диаметр стебля льна-долгунца на 6–19 %, площадь его выполненной части – на 11–29 %, а также площади хлоренхимы – на 24–33 %, луба – на 7–28 % и древесины – на 11–38 %.

Литература

- Кулаковская, Т. Н. Почвенно-агрохимические основы получения высоких урожаев / Т. Н. Кулаковская. – Минск: Ураджай, 1978. – 328 с.
- Александрова, Л. Н. Органическое вещество почвы и процессы его трансформации / Л. Н. Александрова. – Л.: Наука, 1980. – 288 с.
- Ковда, В. А. Биохимия почвенного покрова / В. А. Ковда. – М.: Наука, 1985. – 264 с.
- Почвоведение с основами геологии: учеб. пособие / А. И. Горбылева [и др.]; под ред. А. И. Горбылева. – Минск: Новое знание, 2002. – 479 с.
- Прудников, В. А. Сборник работ по агрохимии / В. А. Прудников. – Минск: Полиграфт, 2018. – 250 с.
- Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта: (С основами статистической обработки результатов исследований) / Б. А. Доспехов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Колос, 1979. – 416 с.
- Отраслевой регламент. Возделывание льна-долгунца. Типовые технологические процессы / И. А. Голуб [и др.] // утвержден: Минсельхозпрод РБ. – Минск: РУП «Институт льна», 2019. – 15 с.
- Heller, K. Fibre flax cultivation in sustainable agriculture / K. Heller, P. Baraniecki, M. Praczyk // Handbook of natural fibres. – 2012. – V. 1. – С. 508–531.
- Методические указания по селекции льна-долгунца. – Торжок, 1987. – 63 с.
- Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения содержания азота и сырого протеина. ГОСТ 13496.4-93. – Введ. 01.01.1995. – М.: Международный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2011. – 18 с.
- Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Метод определения содержания фосфора. ГОСТ 26657-97. – Введ. 01.01.1999. – Минск: Международный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1999. – 10 с.
- Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Пламенно-фотометрический метод определения содержания калия. ГОСТ 30504-97. – Введ. 01.01.1999. – Минск: Международный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1999. – 10 с.