УДК 581.8:633.521

ИЗМЕНЕНИЕ АНАТОМИИ СТЕБЛЯ ЛЬНА-ДОЛГУНЦА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СТАДИИ ЕГО СПЕЛОСТИ

Н. В. СТЕПАНОВА

РУП «Институт льна»
аг. Устье, Республика Беларусь, 211003

(Поступила в редакцию 30.06.2026)

Выход и качество льняного волокна определяются численностью, размерами и строением лубяных пучков, расположенных в коровой части стебля и состоящих из элементарных волокон. Об этом свидетельствуют полученные результаты анатомического строения стеблей льна-долгунца, отобранных в разные стадии спелости. Самые технологические параметры продуктивного стебля по площади лубяных пучков, числу элементарных волокон в пучке и их диаметру обеспечивает стадия ранней желтой спелости. В это время сильные достоверные корреляционные связи отмечены между выходом фракций льняного волокна и числом пучков (r = 0,89…0,91), числом волокон (r = –0,97–0,98), площадью пучков на срезе (r = 0,88…0,96), степенью одревеснения элементарных волокон (r = –0,95…–0,99), а также между гибкостью и прочностью длинного волокна с числом волокон на поперечном срезе (r = –0,92 и 92 соответственно) и степенью их одревеснения (r = –0,94 и 0,94 соответственно). Снижение выхода и качества длинного волокна при уборке растений в стадиях желтой и полной спелости связано со снижением площади лубяных пучков на 24–30 %, числа элементарных волокон в пучке – на 24–35 %, а также с увеличением одревеснения элементарных волокон – на 10–15 %, что делает получаемое волокно грубым и хрупким. В стадии зеленой спелости льна-долгунца лубяные пучки недостаточно сформированы по форме и расположению в лубе стебля и имеют незрелые элементарные волокна, что обеспечивает получение слабого на разрыв волокна.

Ключевые слова: *лен-долгунец, стадия спелости, анатомическое строение стебля.*

The yield and quality of flax fiber are determined by the number, size, and structure of the bast bundles located in the cortex of the stem and consisting of elementary fibers. This is evidenced by the obtained results of the anatomical structure of fiber flax stems selected at different stages of maturity. The early yellow stage of maturity provides the most productive stem parameters in terms of bast bundle area, the number of elementary fibers per bundle, and their diameter. At this time, strong reliable correlations were noted between the yield of flax fiber fractions and the number of bundles (r = 0.89...0.91), the number of fibers (r = -0.97–0.98), the area of bundles on the section (r = 0.88...0.96), the degree of lignification of elementary fibers (r = -0.95...-0.99), as well as between the flexibility and strength of long fiber with the number of fibers on the cross section (r = -0.92 and 92, respectively) and the degree of their lignification (r = -0.94 and 0.94, respectively). The decrease in long fiber yield and quality during harvesting of plants at the yellow and full maturity stages is due to a 24–30 % reduction in bast bundle area, a 24–35 % reduction in the number of elementary fibers per bundle, and a 10–15 % increase in lignification of elementary fibers, making the resulting fiber coarse and brittle. At the green maturity stage of fiber flax, bast bundles are insufficiently formed in shape and arrangement within the stem bast and contain immature elementary fibers, resulting in fiber with low tensile strength.

Key words*: fiber flax, maturity stage, stem anatomical structure.*

Введение

У льна-долгунца различают четыре стадии спелости: зеленую, раннюю желтую, желтую и полную. Их определяют по комплексу признаков: облиственности и окраске стеблей, цвету коробочек, выполненности и цвету семян. Известно, что сроки физиологического созревания семян не совпадают с созреванием волокна. При двухстороннем использовании сортов льна-долгунца для получения семян и волокна приходится жертвовать частью одной, либо другой продукции.

На практике уборку льна-долгунца осуществляют во все фазы спелости. В научной среде до сих пор нет единого мнения об оптимальной фазе уборочной спелости стеблестоя товарных посевов льна-долгунца и научного обоснования сроков проведения уборочных мероприятий. Некоторые авторы утверждают, что для получения волокна лён можно убирать как в стадии зелёной спелости с получением тонкого, блестящего волокна [1–4], так и в стадиях ранней желтой спелости [5–8], ранней желтой и желтой спелости [9–12]. Более объективно оценить значение стадии спелости льна позволяет анатомическое строение стебля на поперечных срезах центральной части технической длины методом сканирующей электронной микроскопии.

Цель исследований – установить закономерности трансформации структурных элементов стебля льна-долгунца в процессе его созревания и влияние их на физико-механические свойства волокна.

Основная часть

Объектом настоящих исследований являлся среднеспелый сорт льна-долгунца (Linum usitatissimum L.) селекции РУП «Институт льна» Лада, выращенный в северо-восточной части Беларуси при оптимальной плотности агроценоза 1680–1740 стеблей на квадратный метр в оптимальных погодных условиях вегетации (ГТК – 1,37–1,45). Для определения анатомического строения стебля льна отбирались 10 типичных по длине и толщине стеблей каждого варианта [13–14]. Измерение параметров волоконных клеток производилось с помощью светового микроскопа Ergaval Carl Zeiss Jena

при увеличении 20×16, диаметра – при увеличении 20×3,2. Поперечные срезы производились на середине технической длины стебля и фиксировались в размягчительной смеси спирта воды и глицерина в соотношении 1:1:1. Приготовление тресты осуществлялось способом росяной мочки при расстиле стеблей в поле, переработка тресты – на лабораторном мяльно-трепальном станке СМТ–200М. Физико-механические свойства длинного трепаного волокна, полученного из стеблей разной спелости, определялись согласно СТБ 1195-2008. Результаты исследований анализировались методами дисперсионного и корреляционного анализов с использованием пакета программ анализа данных *Microsoft Excel.*

Анатомическое строение стебля льна-долгунца имеет схожую топографию тканей с большинством стеблей двудольных растений [15]. При оценке волокна анатомический метод признан самым перспективным, так как морфологические, биометрические и анатомические признаки льна находятся в тесной взаимосвязи [16–20]. Хорошее качество волокна формируют некрупные выровненные по размеру лубяные пучки правильной овальной или вытянутой формы с ровными краями [21], а также некрупные выровненные элементарные волокна граненой формы с толстыми стенками и небольшими просветами внутри, плотно расположенные в пучке [16, 22].

В начале стадии зеленой спелости льна-долгунца (зеленец) лубяные пучки стебля тангентальной или овальной формы, расположены по окружности среза практически сплошной линией, но сформированы плохо (много выступов и заливов). Элементарные волокна крупные с большими просветами в центре.

В стадии зеленой спелости льна лубяные пучки недостаточно сформированы, имеют овальную или округлую форму с не выровненными краями. Средняя площадь пучка достигает 10158,16 мкм^2, число элементарных волокон с тонкими стенками и большими внутренними просветами в пучке – 28 шт., при их диаметре 21,67 мкм (табл.).

В стадии ранней желтой спелости лубяные пучки хорошо сформированные, плотные, овальной формы, со средней площадью 9930,80 мкм^2. Они имеют максимальное количество элементарных волокон – 35 шт. диаметром 18,95 мкм.

Стебли, отобранные в стадии желтой спелости, имеют правильные, плотные, хорошо сформированные пучки овальной формы. Но по сравнению с ранней желтой стадией спелости средняя площадь пучков снижается на 2348,22 мкм^2 (на 24 %), количество элементарных волокон в них – на 9 шт. (на 24 %), а степень их одревеснения на срезе увеличивается на 10 %.

В стадии полной спелости стебли имеют плотные пучки правильной овальной формы, но по сравнению с ранней желтой стадией снижается их площадь на 3007,14 мкм^2 (на 30 %) и количество в них элементарных волокон – на 12 шт. (на 35 %), а степень одревеснения волокон увеличивается на 15 %.

Влияние стадии спелости льна-долгунца на структурные элементы стебля

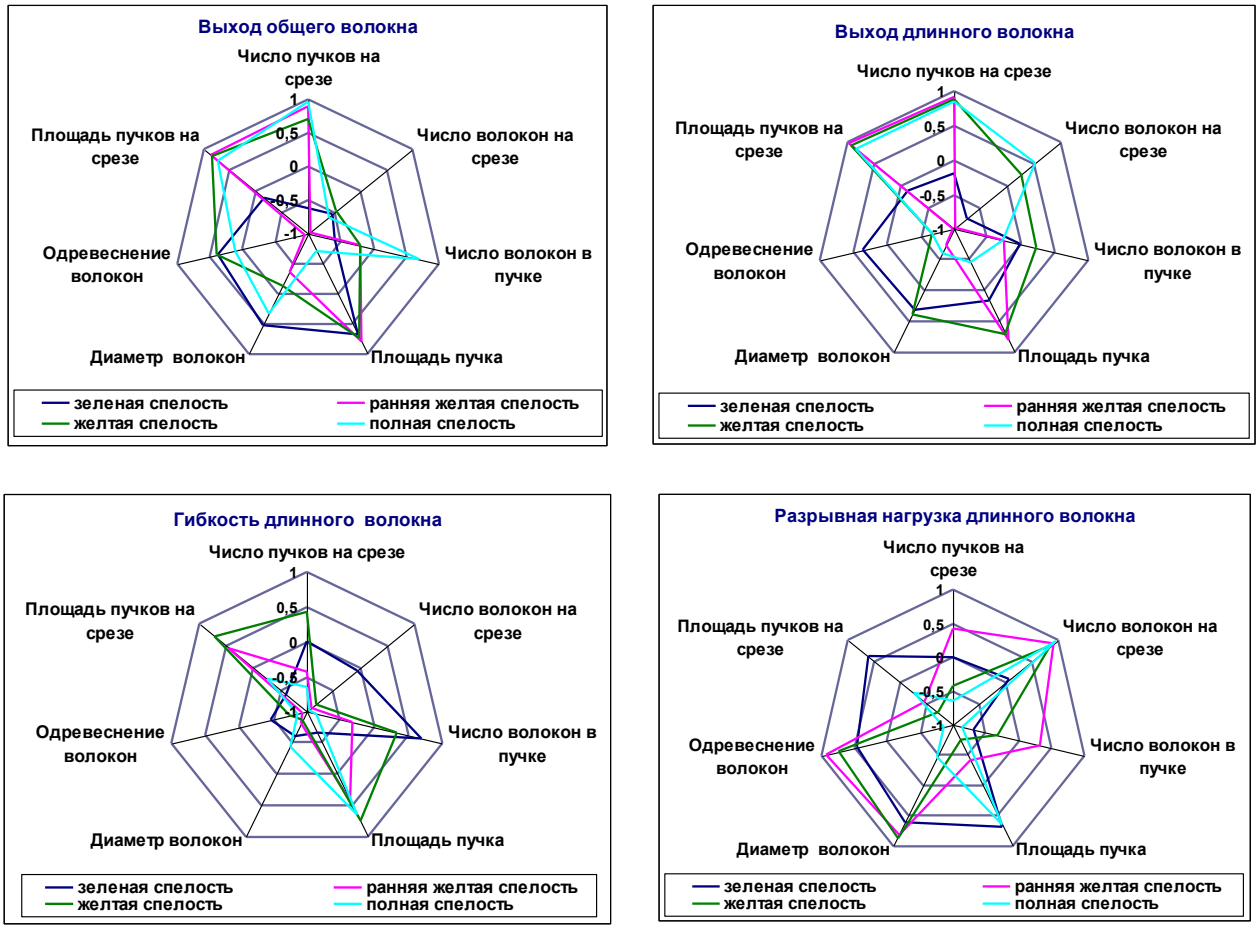
Стадия спелости	$\bar{x}$	$S\bar{x}$	V, %	$\bar{x}$	$S\bar{x}$	V, %	$\bar{x}$	$S\bar{x}$	V, %
	диаметр стебля, мм			число пучков на поперечном срезе, шт.			средняя площадь пучка, мкм^2		
Зеленец	2,70	0,11	12,7	30,40	0,91	9,5	12077,62	595,01	15,6
Зеленая	2,27	0,09	12,9	31,70	0,86	8,5	10158,16	436,70	13,6
Ранняя желтая	2,11	0,09	12,8	29,80	0,51	5,4	9930,80	383,44	12,2
Желтая	1,78	0,09	15,2	27,80	0,70	7,9	7582,58	377,03	15,7
Полная	1,75	0,10	18,4	27,70	0,71	8,2	6923,66	451,51	20,6
НСР $_{05}$	*0,27*			*2,3*			*1301,5*		
	число волокон в пучке, шт.			диаметр элементарных волокон, мкм			одревеснеющие волокна, %		
Зеленец	27,94	1,66	18,8	23,31	1,03	14,0	4,09	0,25	19,2
Зеленая	27,78	1,57	17,8	21,67	0,89	13,0	5,38	0,33	19,3
Ранняя желтая	35,44	1,75	15,6	18,95	0,38	6,3	6,58	0,34	16,4
Желтая	26,96	1,40	16,5	18,49	0,58	9,9	16,49	0,94	18,0
Полная	22,99	1,42	19,6	19,35	0,52	8,6	21,32	1,47	21,8
НСР $_{05}$	*4,5*			*2,0*			*2,3*		

Примечание: $\bar{x}$ – среднее арифметическое значение величины; Sx – среднее квадратическое отклонение среднего арифметического; V – коэффициент вариации.

Стебли, отобранные в ранней желтой, желтой и полной стадиях спелости, имеют толстостенные элементарные волокна граненой формы с небольшим просветом внутри. Но снижение размерных параметров элементов стебля и увеличение одревеснеющих элементарных волокон в стадиях желтой и полной спелости объясняют снижение выхода и качества волокна.

Анатомические характеристики стебля были сопоставлены с продукционными и физико-механическими показателями волокна. Взаимосвязь между структурными элементами стебля, содержанием волокна в тресте и основными показателями качества длинного трепаного волокна отобра-

жена на диаграммах (рис.). Выход длинного и общего волокна в сильной степени зависит от площади лубяных пучков (r = 0,72…0,96) и их числа на поперечном срезе стебля (r = 0,70…0,97). С увеличением числа волокон в стебле снижается гибкость (r = –0,84...–0,96) и повышается разрывная нагрузка волокна (r = 0,85…0,96). Отрицательная корреляция установлена между гибкостью волокна и степенью одревеснения элементарных волокон (r = –0,46…–0,94), диаметром элементарных волокон (r = –0,61…–0,87). Повышение степени одревеснения (r = 0,46…0,94) и диаметра элементарных волокон (r = 0,61…0,87) увеличивает разрывную нагрузку длинного волокна.



Корреляционные связи (r) между структурными элементами стебля, выходом фракций и показателями качества волокна в зависимости от стадии спелости льна-долгунца

Сильные достоверные корреляционные связи между выходом фракций волокна и числом пучков (r = 0,89…0,91), числом волокон (r = –0,97…0,98), площадью пучков на срезе (r = 0,88…0,96), степенью одревеснения элементарных волокон (r = –0,95…–0,99), а также между гибкостью и прочностью длинного волокна с числом волокон на поперечном срезе (r = –0,92 и 92 соответственно), степенью их одревеснения (r = –0,94 и 0,94 соответственно) установлены в раннюю желтую стадию спелости.

Заключение

Стадия ранней желтой спелости льна-долгунца обеспечивает самые технологические параметры продуктивного стебля по площади лубяных пучков, числу элементарных волокон в пучке и их диаметру. В этот период созревания отмечены сильные достоверные корреляционные связи между выходом фракций волокна и числом пучков и волокон, площадью пучков на поперечном срезе стебля, степенью одревеснения элементарных волокон, а также между гибкостью и прочностью длинного волокна с числом волокон на срезе и степенью их одревеснения.

Снижение выхода и качества длинного волокна при уборке растений в стадиях желтой и полной спелости связано с изменением структурных элементов стебля: снижением площади лубяных пучков на 24–30 % и числа элементарных волокон в пучке – на 24–35 %, увеличением одревеснения элементарных волокон – на 10–15 %, что делает получаемое волокно грубым и хрупким.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мансапова, А. И. Особенности технологий возделывания льна-долгунца на волокно и семена в подтаежной зоне Омской области / А. И. Мансапова, М. А. Горбова // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2020. – № 12 (194). – С. 24–30.

2. The influence of stages of maturity on the agronomic traits of fibre flax introduced varieties Utjecaj vremena zriobe na agronomska svojstva introduciranih kultivara predivog lana / J. Butorac, R. Brunsek, Z. Augustinovic, M. Pospisil // Journal of Central European Agriculture. – 2018. – 19 (1). – P.142–152.

3. A two-year study of the maturity stages influence on the properties of flax (Linum usitatissimum L.) plants and fibres / R. Brunsek, Z. Augustinovic, M. Pospisil, J. Butorac // Journal of Central European Agriculture. – 2025. – № 26 (1). – P. 98–107.

4. Universityagro.ru**:** [сайт]. – РФ. – URL: https:// https://universityagro.ru/растениеводство/лен (дата обращения: 12.05.2025).

5. Прудников, В. А. Исследования по агротехнике льна / В. А. Прудников. – Минск: Поликрафт, 2016. – 174 с.

6. Голуб, И. А. Уборка льна-долгунца – важный этап в получении высококачественной льнопродукции / И. А. Голуб, А. А. Снежинский, М. Е. Маслинская // Аграрная наука – производству: сб. науч.-практ. статей. / НАНБ, РУП «НПЦ НАН Беларуси по земледелию. – Минск, 2024. – Вып. 14. – С. 32–35.

7. Савельев, Н. С. Приемы повышения качества льнопродукции в период приготовления льнотресты / Н. С. Савельев, Е. В. Череухина, А. А. Снежинский // Аграрная наука – производству: сб. науч.-практ. статей. / Науч.-практ. центр НАН Беларуси по земледелию; отв. за выпуск Э. П. Урбан. – Минск, 2024. – Вып. 9. – С. 42–44.

8. Kozłowski, R. M. Bast fibres: flax / R. M. Kozłowski, M. Mackiewicz-Talarczyk, A. M. Allam // Handbook of natural fibres: Types, properties and factors affecting breeding and cultivation; ed.: Ryszard M. Kozłowski. – V. 1. – Sawston, 2012. – P. 56–113.

9. Семеницкая, Г. А. Технологические особенности возделывания льна-долгунца на семена и волокно / Г. А. Семеницкая, Н. М. Петракова // Достижения науки и техники АПК. – № 3. – 2011. – С. 32–34.

10. Влияние сроков посева и уборки на продуктивность сортов льна-долгунца в подтайге Западной Сибири / А. И. Мансапова, М. А. Горбова, С. Ю. Храмов, Л. О. Берендеева // Достижения науки и техники АПК. – 2018. – Т. 32. – № 12. – С. 20–23.

11. Алисеевич, С. О. Исследование влияния условий возделывания льна-долгунца на качественные показатели льнотресты и результаты её механической обработки / С. О. Алисеевич, Л. Е. Соколов, А. И. Коган // Вестник Витебского государственного технологического университета. – 2013. – № 2 (25). – С. 7–12.

12. The influence of stages of maturity on fiber flax yield and share of fiber / J. Butorac, Z. Augustinović, R. Šurina, M. Pospišil // Proceedings of 47th Croatian and 7th International Symposium on Agriculture, 13–17 feb. 2012 yr., Opatija / Univ. of Zagreb. – Opatija, 2012. – P. 464–468.

13. Методические указания по селекции льна-долгунца / А. Р. Рогаш [и др.]. – Торжок: ВНИИЛ, 1987. – 63 с.

14. Андреева, И. И. Практикум по анатомии и морфологии высших растений / И. И. Андреева, Л. С. Родман, А. В. Чичев. – М.: Колос, 2019. – 144 с.

15. Рой, Ю. Ф. Анатомическое строение стебля льна-долгунца и реакция лубяных волокон на обработку некоторыми агрохимическими препаратами / Ю. Ф. Рой // Веснік Брэсцкага ўніверсітэта. Серыя 5. Біялогія. Навукі аб Зямлі. – 2024. – № 2 – С. 85–92.

16. Миронов, Е. Д. К методике оценки качества волокна на ранних этапах селекции по анатомическим признакам стебля льна-долгунца / Е. Д. Миронов // Пути повышения качества урожая сельскохозяйственных культур: сб. науч. тр. / БелНИИЗ. – Жодино, 1982. – Вып. 1. – С. 175–179.

17. Тихвинский, С. Ф. Методы оценки качества льняного волокна на первых этапах селекции / С. Ф. Тихвинский, С. В. Доронин, А. Н. Дудина // Вестник ВНИИЛК. – 2003. – № 1. – С. 73–75.

18. Стадии формирования лубяных волокон Linum usitatissimum (Linaceae) / Т. А. Горшкова, М. В. Агеева, В. В. Сальников [и др.] // Ботанический журнал. – 2003. – Т. 88, № 12. – С. 1–11.

19. Матаруева, И. А. Особенности анатомического строения стебля льна-долгунца (Linum Usitatissimum L.) при обработке растений биологически активными препаратами / И. А. Матаруева, Е. А. Жучкова, Н. С. Арыкова // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2014. – № 3 (40). – С. 25–30.

20. Анатомическое строение стебля и качество волокна новых отечественных сортов льна-долгунца (Linum usitatissimum L.) в условиях Кировской области / А. А. Хлопов, Е. С. Лыбенко, Т. А. Леконцева, Е. С. Софронова // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2008. – № 12 (50). – С. 23–27.

21. Яцевич, А. П. Наследование анатомических показателей стебля у льна-долгунца / А. П. Яцевич, Л. И. Куделко, И. А. Голуб // Молекулярная генетика, геномика и биотехнология: материалы Междунар. науч. конф., г. Минск, 24-26 нояб. 2004 Г. / ГУ «ИГиЦ НАН Беларуси»; редкол.: А. В. Кильчевский [и др.]. – Минск, 2004. – С. 287–289.

22. Тихвинский, С. Ф. Влияние различных факторов на анатомическое строение стебля льна-долгунца в связи с содержанием и качеством волокна: автореф. дис. … д-ра с.-х. наук / Тихвинский Сергей Федорович; НИИР им. Н. И. Вавилова. – Л., 1968. – 65 с.