

льна масличного фунгицидом Абакус ультра, СЭ позволяет снизить развитие антракноза на 83,3–92,6 %, Амистар экстра, СК – на 92,5–93,6 %, Рекс дуо, КС – на 91,6–93,4 % и получить биологическую эффективность на уровне 81,9–84,8 %.

Литература

1. Государственный реестр средств защиты растений и удобрений, разрешенных к применению на территории Республики Беларусь: справ. изд. / сост. А. В. Пискун [и др.]. – Минск: Промкомплекс, 2020. – 742 с.
2. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б. А. Доспехов. – 5-е изд., доп. и перераб. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
3. Теоретические и методические инновации в учетах и прогнозах болезней, вредителей и сорняков льна в испытании против них нового высокомолекулярного препарата, способствующего фитосанитарной стабилизации льноводства /

Н. А. Кудрявцев [и др.] // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2018. – № 3 (72). – С. 215–220.

4. Методические указания по регистрационным испытаниям фунгицидов в сельском хозяйстве / РУП «Институт защиты растений»; подгот.: С. Ф. Буга [и др.]. – Несвиж: Несвиж. укруп. тип. им. С. Будного, 2007. – 511 с.
5. Саскевич, П. А. Управление вредными организмами агроценозов льна-долгунца: монография. / П. А. Саскевич, С. Н. Козлов. – Горки: БГСХА, 2010. – 348 с.
6. Защита посевов льна масличного от болезней и вредителей в условиях Южного Федерального округа РФ / В. Т. Пивень [и др.] // Масличные культуры. Науч.-техн. бюл. Всерос. науч.-иссл. инстит. масл. к-р. – 2011. – Вып. 1 (146–147). – С. 138–146.
7. Снижение вредоносности основных вредителей и болезней льна масличного в условиях центральной зоны Краснодарского края / В. Т. Пивень [и др.]. // Агро XXI. – 2011. – № 4–6. – С. 25–27.
8. Яровые масличные культуры / Под общей ред. В. А. Щербакова. – Мн.: ФУАинформ, 1999. – 288 с.

УДК 633.521:58.056

Влияние метеорологических факторов на продуктивность и содержание масла в семенах льна масличного

Е. Л. Андроник¹, Е. В. Иванова¹, Е. М. Минина², Н. А. Дуктова³, кандидаты с.-х. наук

¹Институт льна

²Гродненский государственный аграрный университет

³Белорусская государственная сельскохозяйственная академия

(Дата поступления статьи в редакцию 22.09.2021)

В статье представлены результаты проведения полного факторного эксперимента (анализ Парето) по изучению условий получения высоких показателей продуктивности и содержания масла у линий льна масличного селекционного сортоиспытания. Из обзора литературы следует, что в климате республики с каждым годом все более ощутимы последствия глобальных климатических изменений, которые требуют усиления изучения и улучшения условий роста и развития растений в процессе онтогенеза. Дано описание климатических условий вегетационных периодов 2016–2019 гг. и их влияния на величину урожаев и масличности селекционных линий льна масличного. Установлено, что оптимальными значениями суммы среднесуточных температур и суммы осадков, при которых формируется масличность семян не ниже 38 % в сочетании с высокой продуктивностью, являются 270 °C – 285 °C и 340 мм – 450 мм соответственно.

The article presents the results of a complete factorial experiment (Pareto analysis) in order to study the conditions for obtaining high productivity and oil content in flax lines of oilseed breeding variety testing. It follows from the literature review that the consequences of global climate changes are becoming more and more noticeable in the climate of the republic every year, which require increased study and improvement of plant growth and development conditions in the process of ontogenesis. The description of the climatic conditions of the growing seasons of 2016–2019 of the selection lines of oilseed flax and their influence on the value of yields and oil content is given. It was found that the optimal values of the sum of average daily temperatures and precipitation, at which the oil content of seeds is formed at least 38 % in combination with high productivity, are 270 °C – 285 °C and 340 mm – 450 mm, respectively.

Введение

В настоящее время интенсификация сельскохозяйственного производства идет по двум путям: выведение новых сортов соответствующего уровня урожайности и качества продукции и разработка системы земледелия, агротехнических приемов. Направление по созданию новых сортов использует теоретические разработки моделей сортов с определенными признаками и свойствами, соответствующими высоким уровням урожая и его качества в заданных условиях среды. Второй путь направлен на изучение и улучшение условий роста и развития растений в процессе онтогенеза с целью получения высококачественного и высокого урожая.

Однако надо отметить, что эти направления тесно взаимосвязаны между собой, так как они опираются на знание окружающей среды, в которой растет и развивается растение [1].

Климат Республики Беларусь характеризуется как умеренно-континентальный с мягкой и влажной зимой и относительно прохладным солнечным летом, однако и в нем с каждым годом все более ощутимы последствия глобальных климатических изменений. В Беларуси отмечается самый продолжительный период потепления за все время инструментальных наблюдений за последние 130 лет [2], особенность которого не только в небывалой его продолжительности, но и в более высокой температуре воздуха (за последние 25 лет она повысилась на

1,2 °С относительно климатической нормы). За последнее десятилетие в республике зафиксированы самая высокая абсолютная температура воздуха +38,9 °С (2010 г.) и самая высокая среднегодовая температура 8,8 °С (2019 г.).

Последствия изменения климата оказывают существенное влияние на сельское хозяйство, на которое приходится 40 % всего ущерба, наносимого неблагоприятными погодными явлениями [3]. Главными факторами внешней среды, первично воздействующими на развитие сельскохозяйственных отраслей (в том числе и льноводства), являются температура и влажность.

Лён масличный относится к культурам, предъявляющим к складывающемуся в период вегетации температурному режиму умеренные требования [4]. Продолжительность вегетационных периодов в зависимости от спелости и погодных условий северо-западной части республики составляет 70–110 суток. Вследствие интенсивного роста и относительно высокого транспирационного коэффициента (400–430), культура требовательна к влаге, но, благодаря развитой корневой системе, способна получать ее из глубоких горизонтов почвы [5–7].

Для прорастания семян льна необходимо около 140 % воды от их собственной массы. Это поясняется присутствием в них ослизняющего слоя, который впитывает из почвы воду и крепко её удерживает [8], в то время как за вегетацию в среднем для образования 1 т семян растения льна расходуют до 440 т воды [9].

В период всходы – конец фазы «ёлочка» отсутствие дождей не оказывает решающего значения на урожайность семян, однако с начала периода бутонизации и в течение последующих двух-трех недель до образования коробочек, растениям льна масличного необходимо достаточное количество осадков и их равномерное распределение для формирования высокого урожая семян [10]. Высокая температура воздуха (более 22 °С) в период цветения – зелёная спелость снижает высоту растений льна масличного, а при недостатке влаги в этот период снижается ветвление соцветия, уменьшается продолжительность цветения, формируются коробочки с низкой массой семян, снижается масличность.

Большинство селекционных экспериментов со льном, как правило, являются многофакторными и связаны с оптимизацией качества продукции, поиском оптимальных условий проведения опытов, разработкой наиболее рациональных подходов и т. д. Системы признаков, которые служат объектом селекционных исследований, очень часто являются весьма сложными. Несмотря на значительный объем выполняемых научно-исследовательских работ, из-за отсутствия реальной возможности достаточно полно изучать значительное число объектов селекционных исследований, многие решения принимаются на основании информации, имеющей случайный характер.

Решением данной проблемы могут стать статистические методы планирования эксперимента, предложенные английским статистиком Рональдом Фишером (конец 1920-х гг.), который впервые показал целесообразность одновременного варьирования всеми факторами в противостав широко распространенному однофакторному эксперименту [11].

Планирование эксперимента – это комплекс мероприятий, направленных на эффективную постановку опытов, основная цель которого – достижение максимальной точности измерений при минимальном количестве про-

веденных опытов и сохранении достоверности результатов. Важным достоинством планирования является универсальность, пригодность в огромном большинстве областей исследований [12].

Исходя из вышеизложенного, необходимость поиска пути, позволяющего изучить условия формирования высоких показателей продуктивности и содержания масла у генотипов льна масличного, является достаточно актуальным. Поэтому целью исследований стало проведение полного факторного эксперимента (анализ Парето) для изучения условий получения высоких показателей продуктивности и масличности у линий селекционного сортоиспытания.

Методика проведения исследований

Объектом исследований являлись 19 селекционных линий льна масличного. Предметом исследований – данные по урожайности семян и содержанию масла, полученные в результате испытаний селекционных линий в питомнике селекционного сортоиспытания в севообороте лаборатории селекции льна масличного РУП «Институт льна» в 2016–2019 гг., а также среднесуточные температуры воздуха и сумма выпавших осадков вегетационных периодов этих лет.

Агрохимические показатели почвенных участков, обработка почвы под посев льна масличного, уход и наблюдения за посевами отвечали требованиям технологического регламента и методике закладки полевых опытов со льном [13, 14].

Для определения оптимальных значений суммы среднесуточных температур и суммы осадков, при которых формируются семена льна с содержанием масла не ниже 38 % и продуктивностью не ниже 15 ц/га, использовали метод математического планирования полного факторного эксперимента ПФЭ 2² с помощью компьютерной системы планирования двухфакторного эксперимента STATGRAPHICS Centurion for Windows [15].

Результаты исследований и их обсуждение

Для прохождения растением той или иной стадии развития необходим определенный комплекс внешних условий: влажность, температура воздуха, свет, минеральное питание. Метеорологические условия 2016–2019 гг. характеризовались колебаниями температуры и количества выпавших осадков по месяцам и годам исследований, вследствие чего масличность и урожайность семян селекционных линий варьировала в широких пределах (8,38 ц/га – 26,20 ц/га при НСР₀₅ – 4,15 ц/га и 35,3 % – 50,1 % при НСР₀₅ – 0,98 % соответственно) (рисунок 1).

Относительно тёплые погодные условия весной 2016 г. позволили вовремя провести весенние полевые работы (переход средней суточной температуры воздуха через +10 °С в сторону повышения произошел на северо-восточной части территории страны 25 апреля – 2 мая). Сухими месяцами за вегетационный период были май, июнь и август. В III декаде июня, при вступлении льна масличного в фазу бутонизации, наблюдали благоприятные погодные условия для формирования семенной продуктивности (индекс среды (*I_j*) = +4,04). Средняя продуктивность линий питомника в 2016 г. была наибольшей за годы исследований (20,75 ц/га – 25,70 ц/га)

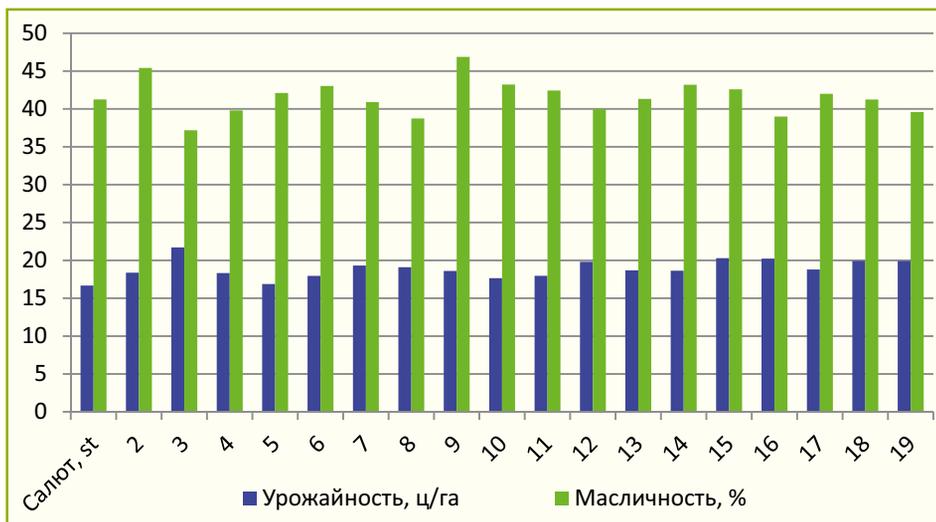


Рисунок 1 – Семенная продуктивность и масличность селекционных линий льна масличного (2016–2019 гг.)

с самым низким размахом варьирования (таблица 1), что свидетельствует о выравнивании фенотипов в условиях вегетации.

Однако в это же время происходило незначительное снижение накопления масла в семенах ($Ij = -0,34$).

Условия вегетации в период посев – всходы в 2017 г. имели характерные особенности, связанные с недостатком осадков и резкого понижения температуры в I декаде мая. Это негативно сказалось на появлении всходов, они были растянуты во времени (до 12 суток). Растянутым был и период начало – конец цветения (от 7 до 13 суток).

Июньская температура воздуха 2017 г. соответствовала климатической норме. Сочетание оптимальной температуры воздуха в период бутонизации с небольшим количеством осадков (33 % от нормы), несмотря на их последующее чрезмерное выпадение (300 % от нормы) в виде проливных дождей в период формирования и созревания семян, позволили сформировать линиям питомника достаточно высокую урожайность семян (20,23–26,20 ц/га) с высоким содержанием масла в них (до 46,6 %).

На протяжении всего вегетационного периода 2018 г. наблюдались положительные аномалии температуры воздуха. 29–30 апреля, почти на месяц раньше своих обычных сроков, произошел переход средней суточной температуры воздуха через +14 °C в сторону более высоких значений. В результате аномально теплых и сухих III декады апреля и I декады мая со среднесуточной температурой выше климатической нормы на 1,5 °C и 6,7 °C соответственно и суммой осадков от 30 % до 0 % от нормы, сев линий селекционного питомника начали в конце I декады мая, а всходы отмечали на 7–8 сутки.

В июне – августе 2018 г. средняя температура воздуха составляла +18,9 °C, что на 1,6 °C выше нормы. Самым влажным месяцем периода вегетации был июль,

с выпавшими 153 мм осадков (191 % от месячной нормы), что в сочетании с сильными порывами ветра вызывало сильное полегание посевов льна масличного в период формирования и налива семян. При повышенных увлажнении почвы и температуре воздуха II и III декад июля происходило относительно медленное формирование семян. Условия года оказались неблагоприятными для формирования продуктивного ценоза ($Ij = -3,41$) и накопления масла в семенах образцов сортоиспытания ($Ij = -1,09$).

Температура воздуха в апреле – мае в 2019 г. находилась в пределах нормы. Отсутствие

осадков в III декаде апреля компенсировалось дождями в I декаде мая (240 % от нормы). Недостаток осадков в I и II декадах июля (быстрый рост – бутонизация) отрицательно отразился на формировании генеративных органов, обеспечивающих урожай семян ($Ij = -4,26$). В результате произошло снижение числа коробочек на одном растении и количества семян в них.

При проведении полного факторного эксперимента ПФЭ 2² в качестве факторов были выбраны сумма среднесуточных температур и сумма осадков за вегетационный период 2016–2019 гг., а в качестве выходного показателя – семенная продуктивность льна (рисунок 2). Сумма средних температур за вегетационный период 2016–2019 гг. в среднем составила 263,6 °C, сумма осадков – 400,6 мм.

Анализ карты Парето показал распределение влияния факторов на выходной показатель. На семенную продуктивность льна наибольшее влияние оказывает совместное воздействие суммы среднесуточных температур и суммы осадков. С их увеличением семенная продуктивность уменьшается.

Вторым по значимости фактором является среднесуточная температура. С ее увеличением продуктивность

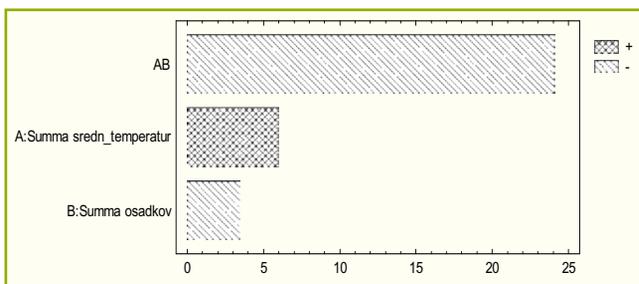


Рисунок 2 – Карта Парето для семенной продуктивности льна масличного

Таблица 1 – Характеристика условий испытания генотипов льна масличного по индексу среды

Показатель	1*	2**	1	2	1	2	1	2
	2016 г.		2017 г.		2018 г.		2019 г.	
$X_{cp} \pm \sigma$	22,94 ± 1,22	41,23 ± 2,54	22,52 ± 1,53	42,05 ± 2,36	15,48 ± 3,21	40,48 ± 2,40	14,63 ± 3,06	42,54 ± 2,82
Ij	4,04	-0,34	+3,62	+0,47	-3,41	-1,09	-4,26	+0,96

Примечание – *1 – урожайность семян, ц/га; **2 – масличность семян, %.

увеличивается. Третье по значимости влияние оказывает сумма выпавших осадков – их увеличение снижает семенную продуктивность, о чем свидетельствует знак «минус» на карте Парето.

При значениях суммы осадков 400,6 мм и суммы среднесуточных температур 263,6 °С семенная продуктивность составит 15,3 ц/га (рисунок 3).

Анализируя контурную диаграмму, можно выделить две области, в которых происходит увеличение семенной продуктивности: сочетание суммы среднесуточных температур в диапазоне 240 °С – 257 °С и суммы осадков – 420 мм – 460 мм в период вегетации или же 270 °С – 290 °С и 340 мм – 410 мм соответственно.

Анализ карты Парето содержания масла (рисунок 4) показал, что влияние факторов на выходной показатель распределилось следующим образом: на содержание масла в семенах льна наибольшее влияние оказывает среднесуточная температура (увеличение значений этого фактора приводит к уменьшению содержания масла).

Вторым по значимости фактором является совместное воздействие суммы среднесуточных температур и суммы осадков, с их увеличением увеличивается и содержание масла. Третье по значимости влияние оказывает сумма выпавших осадков – их увеличение снижает содержание масла, о чем свидетельствует знак «минус» на карте Парето.

При значениях суммы осадков (400,6 мм) и суммы среднесуточных температур (263,6 °С), которые были в среднем характерны для вегетационного периода 2016–2019 гг., содержание масла в семенах будет находиться в пределах 42 %

(рисунок 5). Снижение суммы среднесуточных температур (240 °С – 257 °С) и увеличение суммы осадков (390 мм – 450 мм) приведет к увеличению содержания масла. Увеличение суммы среднесуточных температур до 290 °С и снижение суммы осадков до 340 мм приведет к снижению содержания масла до 38 %, что является допустимым.

Заключение

На основании полученных данных можно заключить, что семенная продуктивность льна масличного будет значительно снижаться при одновременном увеличении суммы среднесуточных температур и суммы осадков вегетационного периода. На содержание масла значительное отрицательное влияние оказывает в большей мере рост суммы средних температур вегетационного периода.

Оптимальными значениями суммы среднесуточных темпера-

тур и суммы осадков, при которых формируются семена льна с содержанием масла не ниже 38 % в сочетании с высокой продуктивностью, являются 270 °С – 285 °С и 340 мм – 450 мм соответственно.

Литература

1. Галицкий, Г. Н. Влияние условий окружающей среды на накопление масла в семенах льна масличного и его качество / Г. Н. Галицкий, В. П. Шаманин // «Вестник НГАУ». – 2015. – № 2 (35). – С. 18–24.
2. Мельник, В. Что происходит с изменением климата в Беларуси? [Электронный ресурс] / В. Мельник // ПРООН в Беларуси. – Режим доступа: https://www.by.undp.org/content/belarus/ru/home/presscenter/articles/agriculture_climate_change_belarus.html. – Дата доступа: 03.11.2020.
3. Корзун, О. С. Адаптивные особенности селекции и семеноводства сельскохозяйственных растений: пособие / О. С. Корзун, А. С. Бруйло. – Гродно: ГГАУ, 2011. – 140 с.
4. Лен Беларуси: монография / РУП «Белорусский НИИ льна»; под ред. И. А. Голуба. – Минск: ЦУП «Орех», 2003. – 245 с.

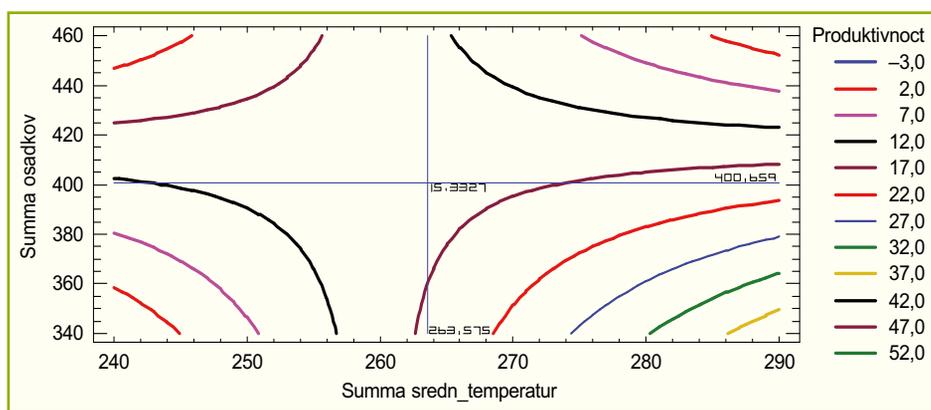


Рисунок 3 – Контурная диаграмма для семенной продуктивности льна масличного

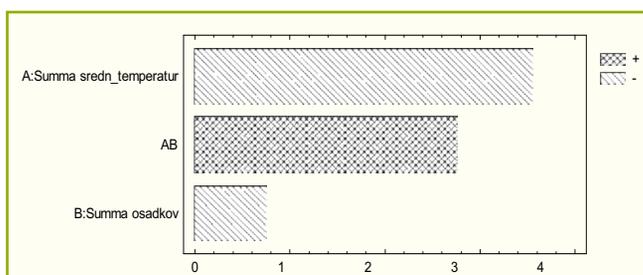


Рисунок 4 – Карта Парето для содержания масла в семенах льна

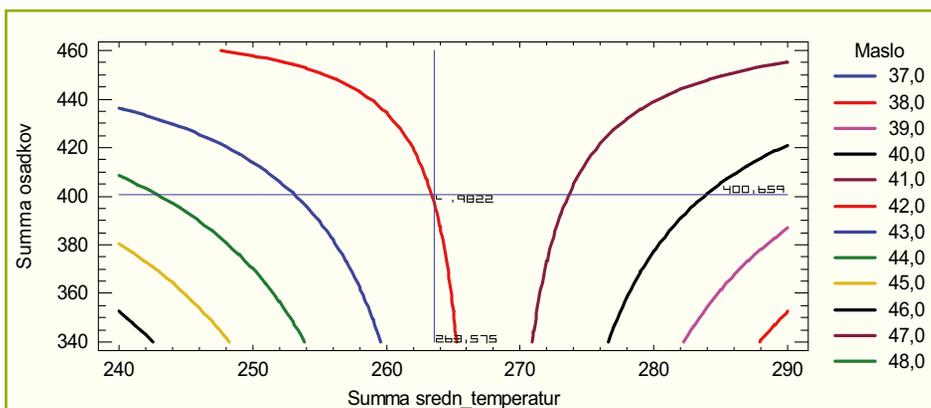


Рисунок 5 – Контурная диаграмма для содержания масла в семенах льна

5. Применение льняного масла холодного прессования в качестве лечебно-профилактического средства при атерогенном нарушении липидного обмена / В. Ф. Виноградов [и др.] // Итоги и перспективы развития селекции, семеноводства, совершенствования технологии возделывания и первичная переработка льна-долгунца. – Торжок, 2000. – С. 83–85.
6. Галкин, Ф. М. Лён масличный – перспективная рыночная культура для Северного Кавказа / Ф. М. Галкин, Л. Г. Рябенко // Главный агроном. – 2005. – № 5. – С. 77.
7. Дьяков, А. Б. Физиология и экология льна / А. Б. Дьяков. – Краснодар, 2006. – 224 с.
8. Перспективная ресурсосберегающая технология производства льна масличного: методические рекомендации. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2010. – 52 с.
9. Доронин, С. В. Лён-долгунец. Технология возделывания и селекции: монография / С. В. Доронин, С. Ф. Тихвинский. – Киров: Вятская ГСХА, 2003. – 112 с.
10. Лён масличный: селекция, семеноводство, технология возделывания и уборки / Галкин Ф. М. [и др.] // РАСХН, ГНУ ВНИИМК. – Краснодар, 2008. – С. 30.
11. Хамканов, К. М. Основы планирования эксперимента: методическое пособие / К. М. Хамканов. – 2001, ВСГУТУ. – Улан-Удэ. – 94 с.
12. Никитина, М. А. Применение методов планирования эксперимента в технологических исследованиях / М. А. Никитина, В. Б. Крылова, Е. Б. Сусь // Все о мясе. – 2016. – № 1. – С. 14–17.
13. Возделывание льна масличного в Республике Беларусь / И. А. Голуб [и др.] // Современные ресурсосберегающие технологии производства растениеводческой продукции в Беларуси: сб. науч. материалов / РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию». – Минск, 2017. – С. 666–682.
14. Методические указания по изучению коллекции льна (*Linum usitatissimum* L.); под ред. Н. К. Лемешева. – Ленинград, 1988. – 29 с.
15. Кошак, Ж. В. Моделирование и оптимизация технологических процессов зерноперерабатывающей и хлебопекарной промышленности: учеб. пособие / Ж. В. Кошак, А. Э. Кошак. – Минск: ИВЦ Минфина, 2015. – 152 с.

УДК 633.521:631.527

Генетическая паспортизация новых сортов льна-долгунца белорусской селекции с использованием молекулярных маркеров

В. З. Богдан¹, кандидат с.-х. наук, В. А. Лемеш², М. В. Богданова², кандидаты биологических наук, Т. М. Богдан¹, М. А. Литарная¹, кандидаты с.-х. наук

¹Институт льна

²Институт генетики и цитологии НАН Беларуси

(Дата поступления статьи в редакцию 14.09.2021)

Представлены результаты изучения генетического полиморфизма 9 сортов льна-долгунца, созданных в РУП «Институт льна»: Грант, Лада, Мара, Рубин, Маяк, Дукат, Талер, Алтын, Эверест с использованием SSR-маркеров. По микросателлитным ДНК-маркерам были идентифицированы пики на электрофореграмме, что позволило выявить генетическое разнообразие по уникальным локусам у новых сортов льна-долгунца. На основе выбранной системы маркеров, включающих 11 локусов с высоким уровнем информативности, составлены генетические паспорта новых сортов льна-долгунца. Полученные результаты исследований в дальнейшем будут способствовать повышению эффективности селекционной и семеноводческой работы по культуре льна, а также послужат механизмом защиты авторских прав.

The results of the study of genetic polymorphism of 9 varieties of flax, created in Institute of Flax: Grant, Lada, Mara, Rubin, Mayak, Dukat, Taler, Altyn, Everest using SSR markers are presented. The peaks on the electrophoregram were identified using microsatellite DNA markers, which made it possible to identify genetic diversity by unique loci in new varieties of flax. On the basis of the selected system of markers, including 11 loci with a high level of informativeness, genetic passports of new varieties of flax have been compiled. The obtained research results will further contribute to improving the efficiency of breeding and seed-growing work on flax culture, as well as serve as a mechanism for copyright protection.

Введение

Лён-долгунец представляет собой уникальную культуру, потенциал которой необычайно велик для многих отраслей промышленности. Для отечественной текстильной промышленности льноволокно является практически единственным натуральным экологически чистым целлюлозным сырьем. Сопряженной продукцией при производстве льна-долгунца являются льносемена, представляющие сырье для получения льняного масла, содержащего в своем составе уникальный комплекс незаменимых жирных кислот Омега-3, Омега-6 и др.

Важная роль в повышении урожая и качества льнопродукции принадлежит сорту. Селекция льна-долгунца

в Республике Беларусь имеет богатый опыт и традиции успешного производства сортов с отличными потребительскими показателями. Некоторые из них (например, эталон по качеству волокна Оршанский 2) доминировали в посевах льносеющих республик бывшего СССР, широко использовались в селекционных учреждениях в качестве источников продуктивности, тонковолокнистости и других показателей, характерных для белорусских сортов [5].

Основной ресурсного материала для селекционного процесса является национальный генофонд льна-долгунца, включающий 628 образцов различного эколого-географического происхождения из 34 стран мира. На настоящем этапе развития селекции льна-долгунца