

и характеризовалось как высокое – выход плодов первого товарного сорта за годы исследований составил 98 %.

Литература

1. Еремин, Г. В. Косточковые сады XXI века / Г. В. Еремин // Садоводство и виноградарство. – 1999. – № 5–6. – С. 2–3.
2. Перспективы создания насаждений косточковых культур интенсивного типа / Г. В. Еремин [и др.] // Садоводство: формы и методы повышения экономической эффективности регионального садоводства и виноградарства. Организация исследований и их координация: юбилейн. темат. сб. науч. тр. / СКЗНИИСИВ; редкол.: Е. А. Егоров (гл. ред.) [и др.]. – Краснодар, 2001. – Ч. 1. – С. 150–153.
3. Еремин, Г. В. Перспективы создания сортов косточковых культур для интенсивных технологий возделывания / Г. В. Еремин // Роль сортов и новых технологий в интенсивном садоводстве: материалы к междунар. науч.-метод. конф., г. Орел, 28–31 июля 2003 г. / ВНИИСПК. – Орел, 2003. – С. 92–94.
4. Капичникова, Н. Г. Исследования по разработке технологий производства плодов в современных условиях / Н. Г. Капичникова, Т. В. Рябцева // Плодоводство Беларуси: традиции и современность: материалы междунар. науч. конф., посвящ. 90-летию образования РУП «Институт плодородия», аг. Самохваловичи, 13–16 окт. 2015 г. / РУП «Ин-т плодородия»; редкол.: В. А. Самусь (гл. ред.) [и др.]. – Самохваловичи, 2015. – С. 41–70.
5. Mika, A. Uprawa wisni w gestej rozstawie / A. Mika // Nowosci w technologii produkcji sliw, wisni i czeresni: Ogolnopolska Konferencja, Skierniewice, 27 kwietnia 2004 r. / Instytut sadownictwa i kwiaciarnictwa; zdj. A. Mika [et al.]. – Skierniewice, 2004. – S. 42–54.
6. Съцибиш, К. Рост и плодоношение яблони в зависимости от высоты окулировки и глубины посадки саженцев / К. Съцибиш // Посадочный материал для интенсивных садов: науч.-техн. конф., 13 сент. 1994., Варшава / Варшавская с.-х. академия; под ред. А. С. Девятова [и др.]. – Варшава, 1994. – С. 66–67.
7. Чендлер, У. Плодовый сад: листопадные плодовые культуры: пер. с англ. / У. Чендлер; под ред. З. А. Метлицкого. – М.: Сельхозгиз, 1960. – 620 с.
8. Nosal, K. Влияние высоты окулировки на рост и плодоношение деревьев яблони сорта «Szampion» на подвое Р 14 в первые два года после посадки / K. Nosal, A. Gonkiewicz // Doskonalenie produkcji owocow przy zachowaniu srodowiska naturalnego, przyjaznego czlowiekowi: XXXIX Ogolnopolska naukowa konferencja sadownicza, Skierniewice, 29–31 sierpnia 2000 r. / Instytut sadownictwa i kwiaciarnictwa (Skierniewice); eds.: A. Mika [et al.]. – Skierniewice, 2000. – S. 60–61.
9. Scibisz, K. Влияние высоты окулировки на рост и вступление в плодоношение яблони сорта Сава в различных условиях содержания почвы / K. Scibisz // Doskonalenie produkcji owocow przy zachowaniu srodowiska naturalnego, przyjaznego czlowiekowi: XXXIX Ogolnopolska naukowa konferencja sadownicza, Skierniewice, 29–31 sierpnia 2000 r. / Instytut sadownictwa i kwiaciarnictwa (Skierniewice); eds.: A. Mika [et al.]. – Skierniewice, 2000. – S. 87–90.
10. Sosna, I. Wplyw wysokosci okulizacji czterech podkladek na wzrost, plonowanie i jakosc owocow jabloni odmian «Jonagold» i «Golden delicious» / I. Sosna // Folia Univ. agriculturae stetinensis / Akad. rol. w Szczecinie. – Szczecin, 2004. – T. 240. – S. 179–184.
11. Schimmelpfeng, H. Einfluss unterschiedlicher Veredlungshohen auf Wachstum und Ertragsverhalten von Susskirschen auf schwachwuchsinduzierenden Unterlagen in den ersten 8 Standjahren / H. Schimmelpfeng, T. Vogel // Obstbau (Bonn). – 1985. – T. 10, № 3. – S. 104–107.
12. Грушева, Т. П. Рост и плодоношение яблони при различной высоте окулировки в беспересадочной культуре / Т. П. Грушева // Плодоводство: науч. тр. / РУП «Ин-т плодородия»; редкол.: В. А. Самусь (гл. ред.) [и др.]. – Самохваловичи, 2011. – Т. 23. – С. 37–44.
13. Турбин, П. А. Уплыў вышыні акуліроўкі на рост і развіццё дрэваў чарэшні / П. А. Турбин, Н. У. Ігнаткова // Плодоводство: науч. тр. / РУП «Ин-т плодородия»; редкол.: В. А. Самусь (гл. ред.) [и др.]. – Самохваловичи, 2013. – Т. 25. – С. 212–217.
14. Турбин, П. А. Рост и развитие деревьев вишни сорта Заранка на подвое ВСЛ-2 в зависимости от высоты окулировки и заглубления при посадке / П. А. Турбин, З. А. Козловская // РУП «Ин-т плодородия»; редкол.: В. А. Самусь (гл. ред.) [и др.]. – Самохваловичи, 2015. – Т. 27. – С. 122–128.
15. Возделывание черешни: Организационно-технологические нормативы возделывания овощных, плодовых, ягодных культур и выращивания посадочного материала: сб. отраслевых регламентов / Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т систем. исслед. в АПК НАН Беларуси; рук. разработ.: В. Г. Гусаков [и др.]. – Минск, 2010. – С. 275–287.
16. Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур / ВНИИСПК; под общ. ред. Е. Н. Седова и Т. П. Огольцовой. – Орёл: ВНИИСПК, 1999. – 608 с.
17. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта: (С основами статистической обработки результатов исследований): учеб. пособие / Б. А. Доспехов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Колос, 1979. – 416 с.

УДК 631.526.32:635.262»324»

Идентификация сортообразцов чеснока озимого (*Allium sativum* L.) с использованием микросателлитных маркеров

И. Г. Кохтенкова, В. В. Скорина, доктор с.-х. наук
Белорусская государственная сельскохозяйственная академия
А. С. Домблдес, доктор с.-х. наук
Федеральный научный центр овощеводства, Россия

(Дата поступления статьи в редакцию 22.03.2021 г.)

В статье изложены результаты молекулярного анализа по идентификации сортообразцов чеснока озимого, отобранных из различных районов и областей Беларуси. Использованы 17 микросателлитных локусов для выявления генетического полиморфизма среди 54 селекционных образцов чеснока озимого (*Allium sativum* L.). В результате амплификации с микросателлитными ло-

The article presents the results of molecular analysis for the identification of varieties of winter garlic, selected from different regions and regions of Belarus. We used 17 microsatellite loci to identify genetic polymorphism among 54 selection samples of winter garlic (*Allium sativum* L.). As a result of amplification with microsatellite loci, 115 alleles were obtained, with an average of 6,7

кусам было получено 115 аллелей, с 6,7 аллели на локус в среднем. По результатам проведенного исследования выявлено генетическое разнообразие между сортообразцами, которые были распределены по 10 кластерам. Выявлены различия по генотипу чеснока озимого как между сортообразцами, так и пунктами, в которых проводили отбор.

Введение

Род *Allium* L. (*Alliaceae*) один из важнейших родов однодольных растений, насчитывающий более 780 видов, одним из которых является чеснок озимый (*Allium sativum* L.). Однако молекулярное исследование генома чеснока озимого по сравнению с другими представителями рода *Allium* L. изучено недостаточно.

По данным ФАО, мировое производство чеснока озимого составляет более 26 млн т в год. Селекция чеснока требует использования новых сортов, отвечающих современным требованиям, среди которых высокая урожайность, зимостойкость, пригодность к механизированному возделыванию, лежкость, устойчивость к факторам окружающей среды и получение луковиц с высокими вкусовыми качествами. Идентификация генотипов сортов и образцов более точно и быстро помогает решать вышеперечисленные задачи, поставленные перед селекцией с культурой чеснока.

Для успешной селекционной работы большое значение имеет идентификация как сортов, так и клонов, что существенно облегчает селекционный процесс в поиске исходного материала. Растения чеснока озимого фенотипически трудноотличимы, поскольку культура чеснока под воздействием факторов окружающей среды может изменять свои признаки, свойственные сорту. Поэтому использование молекулярного генотипирования и маркирования рационально в классификации генетических коллекций сельскохозяйственных культур.

Чеснок является вегетативно размножающимся видом, а оценка коллекций и биоразнообразия данного вида производится с использованием морфологического описания, поэтому информация, полученная с помощью этого подхода, крайне ограничена в силу воздействия окружающих факторов на проявление того или иного морфологического признака. Кроме того, многие важные особенности селекционных образцов могут быть скрыты также под воздействием внешних факторов. Использование ДНК маркеров позволяет генетически типировать каждый селекционный образец, что позволяет в дальнейшем контролировать процесс селекции, полностью располагая данными о генетической изменчивости селекционных образцов, которые используют в качестве исходного материала для отбора новых форм.

Цитологические исследования генома видов *Allium* позволили установить его большой размер, связанный с содержанием большого количества мобильных генетических элементов и повторяющихся последовательностей [1].

Генотипирование и изучение структуры коллекций чеснока проводили с использованием разных техник ДНК анализа: RAPD [3, 10, 23], SRAP [6], ISSR [5, 13, 23], AFLP [11, 16, 25], SSR [7, 15, 18, 26]. Тип маркеров SSR в последнее время остается наиболее привлекательным для выявления генетической изменчивости по причине высокой эффективности в выявлении полиморфизма у очень близкородственных генотипов [9].

alleles per locus. Based on the results of the study, genetic diversity was revealed between the accessions, which were distributed over 10 clusters. Differences in the genotype of winter garlic were revealed both between the cultivars and the points at which the selection was carried out.

Использование микросателлитных локусов (SSR маркеры) в идентификации различных форм культурных растений весьма распространено и активно используется, однако для культуры чеснока все еще ограниченное число разработанных и используемых SSR маркеров [7, 17, 18]. Разработка дополнительных, весьма эффективных маркеров на основе последовательностей экспрессирующихся локусов (EST-SSR) позволило выявить полиморфизм среди близкородственных клонов чеснока [12]. Изучение генетической изменчивости культивируемого чеснока крайне актуальная задача с целью выявления новых форм и клонов для дальнейшей селекции.

Цель исследований заключалась в изучении генетического разнообразия коллекции чеснока озимого.

Методика проведения исследований

Геномную ДНК выделяли из 54 селекционных сортообразцов чеснока озимого (*Allium sativum* L.), возделываемых на территории Беларуси, методом на основе СТАВ буфера с использованием набора реагентов Сорб-ГМО-Б (ООО «Синтол», Россия) согласно прилагаемому протоколу производителя.

Для осуществления SSR-анализа было использовано 17 микросателлитных локуса с известными для них последовательностями праймеров, разработанными ранее для выявления генетической изменчивости у чеснока [7]. Базовую постановку ПЦР проводили в реакционной смеси (объем 25 мкл), которая включала 2,5 мкл 10х ПЦР буфера, 2,5 мМ MgCl₂, 0,25 мМ каждого dNTP, 0,3 мкМ каждого праймера, 1,5 ед. Taq ДНК-полимеразы (ООО «Синтол», Россия) и 3 мкл ДНК каждого исследуемого образца. Основной протокол амплификации включал следующие этапы: 45 с. при 92–95 °С (денатурация), 30 с. при температуре от 47,2 до 58 °С в зависимости от пары праймеров (отжиг), от 30 с. до 1 мин. при 72 °С (элонгация). Амплификацию, рассчитанную на 35 циклов, осуществляли на приборе C1000 Touch («Bio-Rad», США).

ПЦР-продукты разделяли методом вертикального электрофореза с использованием системы Sequi-Gen GT («Bio-Rad», США) в 6 % полиакриламидном секвенирующем геле при напряжении 1600 V в течение 1,5–2 ч. После электрофореза гели окрашивали красителем для гелей SYBR™ Safe DNA Gel Stain («Invitrogen», США), результаты документировали с использованием системы ChemiDoc XRS+ («Bio-Rad», США). Размеры амплифицированных фрагментов определяли в сравнении с маркером молекулярных масс GeneRuler100 bp plus DNA ladder («Thermo Fisher Scientific», США). Полученные цифровые фотографии электрофореграмм анализировали в программе Image Lab 3.0 («Bio-Rad», США).

Все аллели были определены как присутствие (1) и (0) для составления бинарной матрицы. Анализ был проведен с использованием Dice коэффициента схожести [8].

Значение PIC (polymorphism information content, величина информационного полиморфизма) для каждой пары праймеров посчитана согласно Ю. В. Чеснокову

и А. М. Артемьевой [2]. Кладограмму построили с использованием программы Darwin 6 [21].

Результаты исследований и их обсуждение

Для выявления генетического полиморфизма были использованы 17 микросателлитных локусов (таблица) среди 54 коллекционных образцов чеснока озимого (*Allium sativum* L.).

В результате амплификации с микросателлитными локусами было получено 115 аллелей, с 6,7 аллели на локус в среднем. Наименьшее число амплифицированных аллелей – 3 наблюдали у локуса GB-ASM-080 и наибольшее – 15 у локуса GB-ASM-040, что соответствовало литературным данным, где у этих локусов число аллелей было 2 и 9 соответственно [18]. При анализе результатов амплификации можно было отметить четкие отличимые фрагменты, показывающие видимую разницу между исследуемыми образцами, как, например, по локусу GB-ASM-053. Подсчитанные PIC (содержание полиморфной информации) для каждой пары праймеров амплифицирующего определенный локус существенно не отличались от значений, полученных в предыдущих исследованиях. Кроме GB-ASM-078, Asa18 и Asa17 со значениями 0,32; 0,22 и 0,31 соответственно, практически для всех локусов показатель PIC был выше 0,5, что доказывает высокую информативность этих микросателлитных локусов (таблица).

В результате статистического анализа полученных фрагментов с использованием коэффициента схожести Dice была построена кладограмма с привлечением метода невзвешенных присоединенных соседей (Unweighted Neighbor Joining). Кластерный анализ показал, что все

Полиморфные микросателлитные локусы, использованные для генетической классификации 54 селекционных образцов чеснока озимого

Название	Последовательность в GenBank NCBI	Ta, °C	PIC
Asa07	JN084087	56	0,60
Asa08	JN084088	56	0,59
Asa10	JN084089	47,2	0,81
Asa14	JN084090	47	0,715
Asa16	JN084091	54	0,55
Asa17	JN084092	57,5	0,31
Asa18	JN084093	57	0,22
Asa24	JN084096	55	0,79
Asa25	JN084097	56,5	0,66
Asa31	JN084099	57	0,69
GB-ASM-040	EU909133	54	0,75
GB-ASM-053	EU909134	60	0,68
GB-ASM-059	EU909135	54	0,69
GB-ASM-072	EU909136	58	0,60
GB-ASM-078	EU909137	56	0,32
GB-ASM-080	EU909138	54	0,66
GB-ASM-109	EU909139	56,5	0,80

селекционные образцы распределились по 10 кластерам, где наиболее генетически удаленными от основной группы были образцы, относящиеся к VI кластеру, CR1-18 и MM2-18. Среди всех проанализированных образцов существенных генетических различий по изученным локусам не было выявлено внутри кластера I между сортообразцами Полесский сувенир, Полет, БМ-18, однако внутри этого кластера выделился сорт Юниор и образец № 73; не было выделено различий у группы образцов в кластере II – MM1-18, ББ2-18, AM2-18, BLI-18, OP6-18, OP2-18; в III кластере – KM3-18, № 204, БМ1-18, БТ-18 и двумя образцами БГ4-18 и БГ1-18 из V кластера. Наибольший кластер (II) состоял из 17 достаточно генетически близких образцов, где выделился генотип сорта Союз, менее отдаленными от общей группы были образцы ORS-18 и БК2-18. Вместе сгруппировались клоны МГ7-18 и SY-18.

Остальные кластеры кладограммы содержали меньшее количество образцов с большей генетической разницей. Так, кластер X объединяет 8 образцов с наиболее генетически удаленным генотипом МН-18. Другие кластеры были образованы из 1 (БК3-18) – 6 образцов с достаточным генетическим отличием между ними. Так, например, кластер IX – с образцами МГ5-18, OR3-18, UG-18; VIII – с образцами п57, UK-18 и п70; кластер V – с клонами БГ1-18, БГ4-18 и образцами ВМ1-18, БГ2-18; кластер VII – с образцами БР1-18, КМ1-18, ВМ-18, БК1-18 (рисунок).

Полученные результаты еще раз подтверждают удобство в использовании микросателлитных маркеров в классификации генетических коллекций сельскохозяйственных растений. Однажды разработанные микросателлитные маркеры могут быть использованы на различных наборах генотипов с использованием одного и того же протокола. В данной работе выявлена группа как очень сходных генотипов, так и небольшие группы (кластеры) генетически отдаленных генотипов чеснока.

Выводы

Выявлены различия по генотипу чеснока озимого как между сортообразцами, отобранными из различных пунктов, так и пунктами, в которых проводили отбор.

Наибольшей генетической отдаленностью характеризовались образцы MM2-18, CR1-18, № 57 (МГ4-18), UK-18, МН-18, сорт Антоник.

Между сортообразцами, относящимися к I кластеру, различия были отмечены у образцов BD-18, ВМ3-18 и сорта Юниор. В кластере II различный генотип отмечен у сорта Союз и образцов: ORS-18, БК2-18, BR-18, OR1-18, МГ2-18, КМ2-18, ЮМ1-18; в кластере III и IV – МГ1-18, OP4-18 и БК3-18 соответственно. Остальные кластеры были образованы с высоким генотипическим разнообразием между образцами, за исключением клонов БГ4-18 и БГ1-18, относящихся к кластеру V, у которых не было выделено различий по генотипу, что свидетельствует об их идентичности.

Так, по результатам генетического анализа было установлено, что сорта Полет и Полесский сувенир, а также клон БМ-18 – однородны (кластер I). В кластере II близкими были клоны BLI-18, OP2-18, MM1-18, ББ2-18, OP6-18, AM2-18, а также различий не наблюдалось между клоном МГ7-18 и SY-18.

Отбор образцов из различных районов произрастания и их идентификация позволяет выделить генетически

25. Volk, G. M. Genetic diversity among US garlic clones as detected using AFLP methods / G. M. Volk, A. D. Henk, C. M. Richards // JASHS. – 2004. – Vol. 129 (4). – P. 559–569.

26. Molecular genetic diversity and population structure of a selected core set in garlic and its relatives using novel SSR markers / W. G. Zhao [et al.] // Plant Breed. – 2011. – Vol. 130. – P. 46–54.

УДК 635.262:631.86

Экономическая эффективность применения минеральных удобрений на различных фонах действия и последствия органических удобрений при выращивании чеснока

М. Ф. Степуро, доктор с.-х. наук¹, Г. И. Гануш, доктор экономических наук²,
А. В. Крапивка, соискатель¹

¹Институт овощеводства

²Белорусский государственный аграрный технический университет

(Дата поступления статьи в редакцию 10.01.2021 г.)

В статье приведена экономическая эффективность доз минеральных удобрений при внесении их на различных фонах действия и последствия органических удобрений при капельном орошении при выращивании чеснока на дерново-подзолистой супесчаной почве. Дана экономическая оценка, включая полную себестоимость, прибыль, рентабельность 1 т реализованной продукции. Приведены данные по дозам и фонам средней окупаемости 1 кг NPK продукцией чеснока. Рассчитаны отклонения от минимального значения в варианте произведенной продукции на 1 кг NPK. Определены экономически эффективные гуматсодержащие виды и дозы удобрений при выращивании отечественных сортов чеснока.

The article presents the economic efficiency of doses of mineral fertilizers when applied against various backgrounds of the action and aftereffect of organic fertilizers under drip irrigation when growing garlic on sod-podzolic sandy loam soil. An economic assessment is given, including full cost, profit, profitability of 1 ton of sold products. The data on doses and backgrounds of average payback of 1 kg of NPK by garlic production are presented. Calculated deviations from the minimum value for the option of manufactured products per 1 kg of NPK. The economically efficient humate-containing types and doses of fertilizers for growing domestic varieties of garlic have been determined.

Введение

Овощеводство – одна из самых высокозатратных по трудоемкости и финансовым издержкам отраслей. На сегодняшний день уровень комплексной механизации трудоемких процессов в овощеводстве Республики Беларусь, особенно уборка и предреализационная подготовка, не достигает даже 10 %.

Применение ручного труда при выполнении большинства технических операций сильно повышает затратность производства овощей. Удельный вес оплаты труда в структуре затрат превышает порой 50 %, что, в свою очередь, ведет к резкому удорожанию продукции и ее неконкурентоспособности на внешнем рынке [1, 2, 4].

Известно, что овощеводство при всей специфичности имеет целый ряд преимуществ по сравнению с другими отраслями агропромышленного комплекса, главными из которых являются рентабельность, растущий спрос на овощи у населения, сырьевой источник для промышленной переработки, обеспечение занятости населения в сельской местности [3, 8].

Для определения эффективности изучаемых элементов технологий выращивания чеснока проведена их экономическая оценка. Разработанные нами агротехнические приемы возделывания чеснока на дерново-подзолистой супесчаной почве при капельном орошении не только способствовали получению наибольшего валового сбора луковиц, но и обеспечили высокую доходность их производства. Экономическую эффективность

производства чеснока рассчитывали по основным элементам технологии [9].

Г. И. Гануш [5] отмечает, что важной проблемой при любом технологическом процессе в отрасли овощеводства является снижение трудовых затрат и повышение рентабельности производства продукции.

Поэтому разработка экономически эффективной системы питания, включающей широкий спектр удобрений, таких как перегной, куриный помет, простые минеральные удобрения, в настоящее время весьма актуальна при выращивании чеснока на дерново-подзолистых почвах легкого гранулометрического состава.

Материалы и методы исследований

Исследования проводили на опытном участке КФХ «Дружба К» Смолевичского района в 2018–2020 гг. Объектом исследований служили районированные сорта чеснока отечественной селекции Светлогорский и Сармат.

Минеральные удобрения простые и комплексные вносили в соответствии с расчетными дозами удобрений на фонах действия перегноя 20 т/га и последствия куриного помета 20 т/га, которые представлены согласно схемам опытов.

Наблюдения и учеты проведены согласно «Методике полевого опыта» Б. А. Доспехова [6] и «Методике полевого опыта в овощеводстве и бахчеводстве» под редакцией В. Ф. Белика и Л. Г. Бондаренко. Экономическую эффективность определяли по «Методике определения