Оригинальные статьи / Original articles

https://doi.org/10.18619/2072-9146-2020-5-38-42 УДК 635.649:631.527.52

Королева С.В., Полякова Н.В., Пистун О.Г.

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр риса» 350921, Россия, г. Краснодар, п. Белозерный, д.3 E-mail: arrri kub@mail.ru

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Королева С.В., Полякова Н.В., Пистун О.Г. К вопросу создания стерильных линий сладкого перца при селекции на гетерозис. *Овощи России*. 2020;(5):38-42. https://doi.org/10.18619/2072-9146-2020-5-38-42

Поступила в редакцию: 16.09.2020 Принята к печати: 20.09.2020 Опубликована: 25.09.2020

Svetlana V. Koroleva, Nelli V. Polyakova, Olga G. Pistun

Federal State Budgetary Scientific Institution «Federal Scientific Rice Centre» 3, Belozerny v., Krasnodar, Russia, 350921 E-mail: arrri kub@mail.ru

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

For citations: Koroleva S.V., Polyakova N.V. Pistun O.G. About the creation of sterile lines of sweet pepper in breeding for heterosis. Vegetable crops of Russia. 2020;(5):38-42. (In Russ.) https://doi.org/10.18619/2072-9146-2020-5-38-42

Received: 16.09.2020

Accepted for publication: 20.09.2020

Accepted: 25.09.2020

К вопросу создания стерильных линий сладкого перца при селекции на гетерозис



РЕЗЮМЕ

<u>Актуальность.</u> Создание ценных стерильных линий перца сладкого при использовании ядерно-цитоплазматической мужской стерильности связано с поиском стабильных закрепителей стерильности в коллекционном материале.

Материалы и методы. Цель исследований — оптимизация идентификации искомых генотипов и ускорение создания стерильных линий с применением камер искусственного климата. Материал исследований — стерильная линия msToл55, которая в условиях пленочной теплицы показывала частичную фертильность в начале или в конце вегетации. Место выращивания — камера искусственного климата, пленочная весенняя теплица. 50-дневная рассада высажена в горшки 10.01, период выращивания растений в камере — до 20.04, затем взрослые растения были пересажены в весеннюю пленочную теплицу. По традиционной технологии кассетная рассада той же линии была высажена в теплицу 15.04. Количество тестируемых растений — 16- 20 шт. Режим выращивания в камере: 12 час подсвечивали лампами ДРЛВ, при этом температура была на уровне 26-28°C, с 20.00 до 8.00 лампы не подсвечивали, температура при этом — 14-15°C. Фактическую стерильность/фертильность цветков определяли по уровню обсемененности плодов в начале их формирования.

Результаты. Поддерживаемый температурный режим выращивания в камере искусственного климата позволил уже в первые 2 недели цветения выявить стерильные (30%) и частично фертильные растения (70%). При пересадке взрослых растений в весеннюю теплицу количество стерильных растений увеличилось до 56%. При выращивании линии msTол55 в весенней теплице по обычной технологии частичное завязывание обсемененных и мало обсемененных плодов на 60% растений отмечалось в период с третьей декады мая по 2 декаду июля, затем все растения завязывали только необсемененные плоды. Исходя из полученных результатов, целесообразно идентификацию селекционного материала по гену Rf проводить в КИК, так как предлагаемый режим выращивания служит провокационным фоном и позволяет эффективней вести контроль за проявлением стерильности.

Ключевые слова: перец, гибриды, ядерно-цитоплазматическая мужская стерильность, стерильные линии, КИК (камера искусственного климата.

About the creation of sterile lines of sweet pepper in breeding for heterosis

ABSTRACT

Relevance. Development of valuable sterile lines of sweet pepper using nuclear-cytoplasmic male sterility is associated with the search for stable sterility maintainers in collection material. Material and methods. The purpose of the research is to optimize the identification of the desired genotypes and accelerate the development of sterile lines using artificial climate chambers. The research material was a sterile line msTol55, which under the conditions of a film greenhouse showed partial fertility at the beginning or at the end of the growing season. The place of cultivation is artificial climate chamber, a film spring greenhouse.50-day-old seedlings were planted in pots on 10.01, the period of growing plants in the chamber - until 20.04, then the adult plants were transplanted into a spring film greenhouse. According to the traditional technology, the cassette seedlings of the same line were planted in the greenhouse on 15.04. The number of tested plants is 16-20 pcs. Growing mode in the chamber: 12 hours were illuminated with DRLV lamps, while the temperature was at the level of 26-28°C, from 20.00 to 8.00 the lamps were not illuminated, the temperature was 14-15°C. The actual sterility / fertility of the flowers was determined by the level of contamination of the fruits at the beginning of their formation.

Results. The maintained temperature regime for growing in an artificial climate chamber made it possible to identify sterile (30%) and partially fertile plants (70%) in the first 2 weeks of flowering. When adult plants were transplanted into a spring greenhouse, the number of sterile plants increased to 56%. When growing the line msTol55 in a spring greenhouse using the usual technology, partial setting of seeded and little seeded fruits on 60% of the plants was observed from the third decade of May to the second decade of July, then all plants set only non-seeded fruits. Based on the results obtained, it is advisable to identify the breeding material for the Rf gene in the ACC, since the proposed growing regime serves as a provocative background and allows for more effective control over the manifestation of sterility.

<u>Keywords:</u> pepper, hybrids, nuclear-cytoplasmic male sterility, sterile lines, ACC (artificial climate chamber).

Введение.

ерец сладкий (Capsicum annuum L.) благодаря своим питательным свойствам и вкусовым достоинствам пользуется спросом у населения и является одной из самых распространенных овощных культур в мире. Согласно источника FruitNews (2020), производство его в мире составляет 752 тыс. т и к 2025 году увеличится до 840 тыс. т. До сих пор гибриды F1, благодаря своей гибридной силе, повышенной однородности, лучшей адаптивности к окружающей среде, а также способности защищать право интеллектуальной собственности, широко использовались в производстве перца. Однако с ростом стоимости рабочей силы, особенно в развивающихся странах, таких как Китай, стоимость производства гибридных семян в настоящее время увеличивается. Наряду с селекционными задачами, направленными на повышение урожайности, адаптивности культуры и интенсивно решаемыми с развитием молекулярных и биотехнологических методов, важным моментом для селекционеров и селекционных компаний является поиск эффективных способов производства гибридных семян. Снижение себестоимости предполагает использование материнских линий с мужской стерильностью [1,6,7], поскольку в технологии гибридизации исключаются самые затратные операции: кастрация бутонов и их маркировка. На перце практическую привлекательность имеют два вида стерильности: ядерная (GMS) и ядерно-цитоплазматическая, которая в зарубежных источниках рассматривается, как комбинация цитоплазматической мужской стерильности (CMS) с генами Rf [15]. Ядерно-цитоплазматическая мужская стерильность открыта впервые Петерсоном и описана в 1958 году [13].

Известно, что основной локус восстановления фертильности (Rf) восстанавливает фертильность этой S-цитоплазмы, но на восстановление фертильности также влияют температура, локусы количественных признаков (QTL) / модификаторы [15], 16] и дополнительный частичный локус восстановления (pr) [12]. Предполагается, что этот локус pr либо тесно связан с локусом pr либо является третьим аллелем локуса pr [13].

Применение ядерно-цитоплазматической мужской стерильности петерсоновского типа на сладком перце остается до сих пор проблематичным, поскольку восстановление фертильности у линий с CMS Петерсона является количественным и экологически зависимым [16]. По мнению ряда авторов [4, 11, 15], низкая стерильная устойчивость к изменениям окружающей среды, трудности поиска геников восстановления фертильности и переноса данной стерильности в другой селекционный материал ограничивают применение CMS в селекции перца сладкого.

В отличие от ЯЦМС, ядерная стерильность, обусловленная геном ms, более стабильна и не зависит от внешних факторов. Это определило ее широкое практическое использование в селекции и исследования по разработке молекулярных маркеров [2,6,7, 8], облегчающих процесс по идентификации стерильных растений.

При создании гибридов перца сладкого мы используем S-цитоплазму болгарского происхождения [5], при этом значительный вклад в получение полноценных стерильных линий с данной цитоплазмой внесла селекционер Аникеенко В.С. на Майкопской опытной станции ВИР в 70-80 годы [1]. Стерильные линии, созданные Аникеенко В.С., отличались стабильностью (S2, S5, S3), высокой репродук-

тивностью. Первый гибрид Фишт на основе линии S₆ был создан в 2004 году.

Селекционная работа по созданию новых стерильных линий зависит от наличия коллекции линий- закрепителей стерильности. Многолетняя практика показала, что большинство сортов при скрещивании со стерильной линией не дают стабильное закрепление стерильности, что характерно и для петерсоновского типа стерильности. Причем, проявление стерильности на таких линиях зависит от внешних условий: как правило, высокая температура способствует формированию стерильных цветков, понижение температуры, возможно, инициирует появление фертильных цветков. Такое частичное восстановление фертильности закрепителями стерильности в линиях также может быть связано с наличием локуса частичной фертильности (рг), который, как известно, экспрессирует (восстанавливает частичную фертильность) в гомозиготном рецессивном состоянии в присутствии S-цитоплазмы [12,13].

При создании новых стерильных линий на предварительном этапе несколько растений линии или селекционного образца скрещиваем со стерильной линией. При последующем тестировании гибридных растений выявляется закрепитель стерильности, в том случае, если все растения показывают стабильную стерильность. На протяжении длительного времени эту работу проводили в весенней теплице, где сложно оптимизировать условия выращивания, и высокая температура в период цветения линий в июне- июле способствовала проявлению стерильности на тестируемых образцах, по этой причине не всегда точно удавалось идентифицировать природу предполагаемого закрепителя стерильности. Чтобы ускорить процесс создания стерильных линий, целесообразно часть селекционной работы по идентификации и беккроссированию проводить в зимний период в камере искусственного климата. Опыт по применению камер в селекции других культур [3] весьма положительный и требовал подтверждения на перце сладком.

Цель исследований – определить, как влияет определенный температурный режим в КИК на проявление стерильности и возможность проведения идентификации исходного материала на предмет закрепления стерильности.

Условия, материалы и методы

Материал исследований - стерильная линия msToл55, которая в условиях пленочной теплицы показывала частичную фертильность в начале или в конце вегетации. Место выращивания - камера искусственного климата, пленочная весенняя теплица. Выращивание рассады для камеры - в кассете №96 в течение 50 дней от посева(20.11-10.01), затем была осуществлена пересадка в горшки, в которых растения вегетировали и сформировали плоды. Высадка в теплицу тестируемых растений из камеры - 20 апреля. Высадка кассетной рассады той же линии на размножение и тестирование на стерильность - 15 мая. Количество тестируемых растений - 16-20 шт. Режим выращивания в камере: 12 час подсвечивали лампами ДРЛВ, при этом температура была на уровне 26...28°C, с 20.00 до 8.00 - не подсвечивали, температура при этом -14...15°С. Фактическую стерильность/фертильностьцветков определяли по уровню обсемененности плодов в начале их формирования.

Таблица 1. Проявление стерильности у линии Тол55 в динамике, в зависимости от условий выращивания Table 1. Manifestation of sterility in the Tol55 line in dynamics, depending on the growing conditions

Номер расте- ния	Количество стерильных(S), частично фертильных (F _ч), фертильных цветков (F) в динамике	Соотношение S, F _ч , F	Количество стерильных(S), частично фертильных (F ₄) фертильных цветков (F) в динамике	Соотношение S, F _ч , F
1	S, 2S, 2F, S	4:0:2	2\$	2:0:0
2	S, F, S	2:0:1	5S, 6S, 10S, 2F ₄	21:2:0
3	F, 3S, F, 2S, 6S	11:0:2	3 F ₄ , 12S, S, 2F	13:3:2
4	F, 3S	3:0:1	1F, 1S	1:0:1
5	F, S	1:0:1	S, 2F ₄ , 3S, F ₄ , 4F, 4S	8:3:4
6	F, 2S	2:0:1	9S, F ₄	9:1:0
7	s	1:0:0	S	1:0:0
8	S, 2S	3:0:0	13S, 5S	18:0:0
9	S	1:0:0	5S, 3S, 12S	20:0:0
10	S, нет плодов	1:0:0	20S, F ₄ , S	21S:1:0
11	F, 3S, F ₄ , F, 4F, 3F ₄ , 2S	5:4:6	11S, F ₄ , S, 20F, F ₄	12:2:20
12	F, S, 2S, F ₄ , 2F, F ₄	3:2:3	S, 2S, 4S, 3F, 3S	6:0:7
13	F, 2S, 2F, 4 F ₄ , 6F	2:4:9	2S, 2S, F, 4S, 2F ₄	8:2:1
14	2F, 4S, 3F, 8F, 2S	6:0:13	3S, 4S, 12F, 12S	19:0:12
15	s	1:0:0	5 S	5:0:0
16	F, 3S	3:0:1	9S, F, 10S, 8S, 2F ₄	27:2:1

Результаты исследований

У растений, выращенных в светокамере, цветение отмечали на 62-72 день от всходов. Оценка на завязываемость семян показала, что линия msToл55, имеющая стерильную цитоплазму, уже в начале цветения расщепилась на разные биотипы: на стерильные и фертильные, в соотношении 7:9. Однако в процессе цветения статус большинства растений по изучаемому

признаку изменился. Все изначально фертильные растения, а также 2 растения со стерильными цветками стали периодически формировать то стерильные, то фертильные цветки, в отдельных случаях – частично фертильные цветки, которые давали малообсемененные плоды. Это указывает на их нестабильность и зависимость от температурных условий выращивания, которые характеризовались высокими температурами

Таблица 2. Проявление стерильности при выращивании в весенне-летнем обороте в пленочной теплице у линии msToл55
Table 2. Manifestation of sterility when grown in a spring-summer turnover in a film greenhouse near the line msTol55

Номер растения	Количество стерильных (S), частично фертильных (F _v), фертильных (F) цветков в динамике	Соотношение S, F _ч , F	Номер растения	Количество стерильных (S), частично стерильных (F _ч), фертильных (F) цветков в динамике	Соотношение S, F _ч , F
ī	2S, 3F ₄ ,, 6S	8:3:0	11	S, F ₄ , 3F	1:1:3
2	4S, 2F ₄ , 3F ₄ , 3S	7:5:0	12	2S, 2F ₄ , 6S	8:2:0
3	2\$, 2\$	4:0:0	13	3S, F ₄	3:1:0
4	S , 4F ₄ , 3S	4:4:0	14	F,2S, F, 3F ₄ ,, 2S	4:3:2
5	4S, F ₄ , 4F	4:1:4	15	5S, 2S	7:0:0
6	2S, F ₄ , 2S	4:1:0	16	5S, 6S	11:0:0
7	S, 8S	9:0:0	17	2S, 5F, F ₄ , 4S	6:1:5
8	4\$, 4\$	8:0:0	18	s, s	2:0:0
9	4S	4:0:0	19	S, F, 4F ₄ , 7S	8:4:1
10	4S, 2S	6:0:0	20	4S, F ₄ ,, F, 19S	23:1:1

в световую фазу – 26...28°С и довольно низкой температурой в темновую фазу – 14...16°С. 5 растений из 16 оставались стерильными и формировали мало плодов, что связано с осыпаемостью стерильных цветков.

После пересадки взрослых растений в весеннюю теплицу наблюдения за репродуктивной способностью растений были продолжены, вплоть до 9 июня. Надо отметить, что 5 стерильных растений в условиях теплицы также оставались стерильными (табл.1). У нестабильных растений в условиях теплицы соотношение между стерильными и фертильными цветками увеличилось в сторону стерильных, надо полагать из-за высоких температур в теплице, начиная со 2-й декады мая. В сложившихся условиях 4 растения с нестабильным проявлением стерильности показывали высокую стерильность. А соотношение между стерильными и нестабильными биотипами составило 9:7.

Тестирование линии msToл55 на стерильность при выращивании в пленочной теплице по стандартной технологии показало, что в интервале с третьей декады мая по вторую декаду июля 8 растений из 20 завязывали только бессемянные плоды, остальные 12 были нестабильными, формируя стерильные, фертильные или частично фертильные цветки, которые завязывали не более 15 семян в плоде (табл.2). Все растения были задействованы в гибридизации с целью их размножения. Для дальнейшего воспроизводства плоды убирали только со стерильных растений. После уборки плодов растения продолжали обильно цвести и все завязали только бессемянные плоды при тестировании 14 августа. Таким образом, частичное проявление фертильности на 40% растений наблюдалось при цветении на 1-3 порядках ветвления, R период благоприятный ДЛЯ гибридизации. Поскольку визуально отличить стерильные и частично фертильные цветки довольно сложно, то получение гибридных семян на подобной линии приводит к снижению их гибридности, что недопустимо. Практика показала, что количество материнских растений гибриде может достигать 8-10%.

Ввиду того, что на базе линии msToл55 получены перспективные гибриды, проведена селекционная работа, направленная на стабилизацию данной стерильной линии. Для этого закрепитель стерильности Toл55, который, вероятно, несет ген модификатор, влияющий на завязывание семян, скрестили с закрепителем стерильности ПМ1, который стабильно закрепляет стерильность. Путем 2-х кратного беккросса получили закрепитель стерильности для линии msToл55. В текущем году выявлены биотипы полученного закрепителя, которые показали 100% закрепление стерильности в линии msToл55 в летнем обороте.Выделенные биотипы использовали для дальнейшего размножения стерильной линии.

Проведение беккроссов в камере искусственного климата в зимний период позволили сократить процесс по созданию стабильной стерильной линии msToл55 практически в два раза.

Заключение.

Тестирование нестабильной стерильной линии перца сладкого msToл55 в камере искусственного климата при 12 час подсвечивании при температуре



Рис. 1. Плоды от самоопыления на линии ms Тол55



Рис. 2. Побег с необсемененными плодами на линии ms Тол55



Рис. 3. Оценка на стерильность в камере искусственного климата

СЕЛЕКЦИЯ И СЕМЕНОВОДСТВО СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ

26...28°С и ночной температуре 14...16° С позволяет выявить вариации по стерильности и фертильности уже в первые 2 недели цветения. В камере искусственного климата соотношение между стерильными и нестабильными растениями составляло 5:11 или 30 и 70%, соответственно.

Выращивание тестируемых растений в пленочной теплице в течение 55 дней после пересадки повысило стерильность отдельных растений и соотношение между стерильными и нестабильными составило 9:7.

При выращивании изучаемой стерильной линии в теплице при обычной технологии нестабильное проявление стерильности на 60% растений отмечалось в

период с третьей декады мая по вторую декаду июля. В дальнейшем на всех растениях завязывались только стерильные плоды.

Идентификацию селекционного материала с целью выделения стабильных закрепителей стерильности целесообразно проводить в камере искусственного климата.

Создание новых стерильных линий путем беккросса с выделенными закрепителями стерильности более надежно также проводить в КИК, так как предлагаемый температурный режим выращивания служит провокационным фоном и позволяет эффективней вести контроль за проявлением стерильности.

Об авторах:

Королева Светлана Викторовна – кандидат с.-х. наук, зав. отделом овощеводства

Полякова Нелли Владимировна – младший научный сотрудник Пистун Ольга Геннадьевна – младший научный сотрудник

About the authors:

Svetlana V. Koroleva – Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, head of department of vegetable breeding

Nelli V. Polyakova – Junior Researcher of department of vegetable breeding Olga G. Pistun – Junior Researcher of department of vegetable breeding

• Литература

- 1. Аникеенко, В.С. Высокоурожайные гибриды перца, полученные на стерильной основе. *Научные труды Майкопской опытной станции ВИР.* 1980;2(14):65-68.
- 2. Бартошевский Г., Ващак С., Гавронский П. и др. Картирование гена мужской стерильности ms8 в сладком перце (*Capsicum annuum* L.) на хромосоме Р4 с использованием маркеров на основе ПЦР, полезных для программ селекции. Euphytica. 2012;(186):453–461.
- 3. Бондарева Л.Л., Разин О.А. Использование камер искусственного климата при селекции капусты. *Овощи России*. 2014;(4):37-39. https://doi.org/10.18619/2072-9146-2014-4-37-39
- 4. Гикало, Г.С. Культур перца и баклажана в Краснодарском крае. Краснодар. 1972, 78 с.
- 5. Дикий, С.П., Аникеенко В.С. К вопросу восстановления фертильности у бестычинковых форм перца. *Научные труды Майкопской опытной станции ВИР*. 1973;(7):76-82.
- 6. Монахос, Г.Ф., Королева, С.В., Авдеева, А.А. Особенности использования мужской стерильности в селекции F1 гибридов перца сладкого. Картофель и овощи. 2016;(4):35-37.
- 7. Тимина, О.О. Селекция на гетерозис перца сладкого на стерильной основе [Использование ядерной стерильности]. *Гетерозис с.-х. растений*. 1997. C.157-158.
- 8. Cheng Q., Wang P., Liu, J. et al. Identification of candidate genes underlying genic male sterile msc 1 locus via genome resequencing in *Capsicum annuum* L. *Theor.Appl Genet.* 2018;(131):1861–1872.
- 9. Gulyas, G., Pakozdi, K., Lee, J.-S., Hirata, Y. Analysis of fertility restoration by using cytoplasmic male-sterile red pepper (*Capsicum annuum* L.) lines. *Breeding Science*. 2006;(56):331-334.
- 10. Kim D.H., Kim B.D. The organization of mitochondrial atp6 gene region in male fertile and CMS lines of pepper (*Capsicum annuum* L.). *Curr. Genetics*. 2006;49(1):59-67.
- 11. Kumar, R., Kumar, S., Dwivedi, N., Kumar, S., Ray, A., Singh, M., Singh Yadav, D., Ray, M. Validation of SCAR markers, analysis of the diversity of male sterile (S-) cytoplasm and isolation of alloplasmic S-cytoplasm in paprika. *Scientia Horticulturae*. 2009;120(2):167-172.
- 12. Lee, J, Yoon, J.B., Park, H.G. A CAPS marker associated with the partial restoration of cytoplasmic male sterility in chilly pepper (*Capsicum annuum* L.). *Mol. Breed.* 2008;(21):95-104.
- 13. Lee, J, Yoon, J.B., Park, H.G. Linkage analysis between the partial restoration (pr) and the restorer of fertility (Rf) loci in pepper cytoplasmic male sterility. *Theor.Appl.Genet.* 2008;(117):383-389.
- 14. Peterson, P.A. Cytoplasmically inherited male sterile in Capsicum. *Am Nat.* 1958;(92):111–11.
- 15. Shifriss, C. Male-sterility in pepper (*Capsicum annuum* L.). *Euphytica*. 1997:(93):83-85
- 16. Wang, L. H., Zhang, B.X., Lefebvre, V., Huang, S.W., Daubèze, A.M., Palloix, A. QTL analysis of fertility restoration in cytoplasmic male sterile pepper. *TheorAppl Gene*. 2004;(109):1058-1063.

References

- 1. Anikeenko, V.S. High-yielding pepper hybrids obtained on a sterile basis. *Scientific works of the Maikop VIR experimental station*. 1980;2(14):65-68.
- 2. Bartoshevsky G., Vaschak S., Gavronsky P. et al. Mapping the gene of male sterility ms8 in sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) on chromosome P4 using PCR-based markers useful for breeding programs. 2012;(186):453–461.
- 3. Bondareva L.L., Razin O.A. USE OF GROWTH CHAMBERS FOR CABBAGE BREEDING. *Vegetable crops of Russia*. 2014;(4):37-39. (In Russ.) https://doi.org/10.18619/2072-9146-2014-4-37-39
- 4. Gikalo, G.S. Pepper and eggplant crops in Krasnodar region. Krasnodar. 1972. 78 p.
- 5. Dikiy, S. P., Anikeenko, V.S. To the issue of restoring fertility in nonchine forms of pepper. *Scientific works of the Maikop VIR experimental* station. 1973;(7):76-82.
- 6. Monakhos, G.F., Koroleva, S.V., Avdeeva, A.A. Features of the use of male sterility in the breeding F1 sweet pepper hybrids. *Potatoes and vegetables*. 2016;(4):35-37.
- 7. Timina, O.O. Breeding of sweet pepper for heterosis on a sterile basis [Use of nuclear sterility]. *Heterosis of agricultural. plants.* 1997. P.157-158.
- 8. Cheng Q., Wang P., Liu, J. et al. Identification of candidate genes underlying genic male sterile msc 1 locus via genome resequencing in *Capsicum annuum* L. *Theor.Appl Genet.* 2018;(131):1861–1872.
- 9. Gulyas, G., Pakozdi, K., Lee, J.-S., Hirata, Y. Analysis of fertility restoration by using cytoplasmic male-sterile red pepper (*Capsicum annuum* L.) lines. *Breeding Science*. 2006;(56):331-334
- 10. Kim D.H., Kim B.D. The organization of mitochondrial atp6 gene region in male fertile and CMS lines of pepper (*Capsicum annuum* L.). *Curr. Genetics*. 2006;49(1):59-67.
- 11. Kumar, R., Kumar, S., Dwivedi, N., Kumar, S., Ray, A., Singh, M., Singh Yadav, D., Ray, M. Validation of SCAR markers, analysis of the diversity of male sterile (S-) cytoplasm and isolation of alloplasmic Scytoplasm in paprika. *Scientia Horticulturae*. 2009;120(2):167-172.
- 12. Lee, J, Yoon, J.B., Park, H.G. A CAPS marker associated with the partial restoration of cytoplasmic male sterility in chilly pepper (*Capsicum annuum* L.). *Mol. Breed*. 2008;(21):95-104.
- 13. Lee, J, Yoon, J.B., Park, H.G. Linkage analysis between the partial restoration (pr) and the restorer of fertility (Rf) loci in pepper cytoplasmic male sterility. *Theor.Appl.Genet.* 2008;(117):383-389.
- 14. Peterson, P.A. Cytoplasmically inherited male sterile in Capsicum. *Am Nat.* 1958;(92):111-111.
- 15. Shifriss, C. Male-sterility in pepper (*Capsicum annuum* L.). *Euphytica*. 1997;(93):83-85.
- 16. Wang, L. H., Zhang, B.X., Lefebvre, V., Huang, S.W., Daubèze, A.M., Palloix, A. QTL analysis of fertility restoration in cytoplasmic male sterile pepper. *TheorAppl Gene*. 2004;(109):1058-1063.