

Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2025-5-13-20>
УДК: 635.649:631.527.56

Е.В. Шумилова*, С.В. Королёва

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный научный центр риса»
350921, Россия, г. Краснодар,
п. Белозерный, д. 3

*Автор для переписки:
79186778737agro@gmail.com

Финансирование: Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, грант №075-15-2025-574.

Вклад авторов: Е.В. Шумилова: методология, формальный анализ, проведение исследования, создание черновой рукописи, создание рукописи и её редактирование; С.В. Королёва: концептуализация, руководство исследованием, создание рукописи и её редактирование.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Шумилова Е.В., Королёва С.В. Влияние температурного режима на проявление стерильности у ЦМС-линии перца сладкого. *Овощи России*. 2025;(5):13-20.
<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2025-5-13-20>

Поступила в редакцию: 14.05.2025

Принята к печати: 12.08.2025

Опубликована: 28.10.2025

Ekaterina V. Shumilova*, Svetlana V. Koroleva

Federal State Budgetary Scientific Institution
"Federal Scientific Rice Centre"
3, Belozerny village, Krasnodar, Russian
Federation, 350921

*Correspondence Author:
79186778737agro@gmail.com

Funding: The study was carried out with the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, grant No. 075-15-2025-574.

Authors' Contribution: E.V. Shumilova: methodology, formal analysis, investigation, writing – original draft, writing – review and editing; S.V. Koroleva: conceptualization, supervision, writing – review and editing.

Conflict of interest. The author declares that there is no conflict of interest.

For citation: Shumilova E.V., Koroleva S.V. The effect of the temperature regime on the manifestation of sterility in the CMS line of sweet pepper. *Vegetable crops of Russia*. 2025;(5):13-20. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2025-5-13-20>

Received: 14.05.2025

Accepted for publication: 12.08.2025

Published: 28.10.2025

Влияние температурного режима на проявление стерильности у ЦМС-линии перца сладкого

Check for updates



РЕЗЮМЕ

Актуальность. С течением лет наблюдается тенденция роста производства товарных плодов сладкого перца на территории России, как в защищенном, так и открытом грунте. Однако отечественное семеноводство на сегодняшний день не производит достаточное количество качественных гибридных семян перца сладкого. Использование в семеноводстве гибридов F₁ цитоплазматической мужской стерильности и ведение гибридизации в условиях защищенного грунта позволяет повысить рентабельность производства и произвести качественный семенной материал. Существует проблема при работе с некоторыми ЦМС – линиями: под влиянием слабо контролируемых факторов среды (в частности, ночной температуры) такие линии могут образовывать фертильные цветки, самоопыляться и производить потомство с нестандартной гибриднойностью, тем самым снижая гетерозисный потенциал гибридного поколения.

Цель исследования. Изучить влияние ночной температуры на проявление стерильности у нестабильной по этому признаку ЦМС – линии перца сладкого.

Материалы и методы. Опыт проводился в 2024-2025 годах на базе отдела овощеводства и лаборатории биотехнологий и молекулярной биологии ФГБНУ «ФНЦ риса» в условиях камеры искусственного климата с разделением исследуемого материала на два варианта опыта: 1 – ночная температура менее 18°C, 2 – ночная температура более 18°C. Материал исследования – подверженная влиянию температурного фактора ЦМС – линия ms Янт 85. В опыте проводили следующие учеты и наблюдения: измерение длины бутонов по порядкам ветвления в мм с фиксацией стадии развития бутона; визуальная оценка стерильности и фертильности цветков по порядкам ветвления; микроскопический анализ стерильных и фертильных цветков; по мере образования и созревания плодов подсчитывалось количество завязавшихся семян.

Результаты. Проведенное исследование выявило тенденцию проявления стерильности и фертильности на подверженной влиянию температурного фактора ЦМС – линии. Так, ночная температура менее 18°C в первом варианте опыта, которая сохранялась на протяжении всего цветения по ярусам вплоть до шестого порядка, повлияла на образование фертильных цветков, с последующим образованием плодов на части исследуемых растений. Во втором варианте опыта установленная ночная температура более 18°C повлияла на образование, в основном, стерильных цветков.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

перец сладкий, гибрид первого поколения, семеноводство, цитоплазматическая мужская стерильность, температурный фактор, стерильность, фертильность, камера искусственного климата

The effect of the temperature regime on the manifestation of sterility in the CMS line of sweet pepper

ABSTRACT

Relevance. Over the years, there has been a growing trend in the production of commercial sweet pepper fruits in Russia, both in protected and open ground. However, the domestic seed industry currently does not produce enough high-quality hybrid sweet pepper seeds. The use of cytoplasmic male sterility F₁ hybrids in seed production and hybridization in protected soil conditions makes it possible to increase the profitability of production and produce high-quality seed material. There is a problem when working with some CMS lines: under the influence of poorly controlled environmental factors (in particular, temperature) Such lines can form fertile flowers, self-pollinate and produce offspring with non-standard hybridity, thereby reducing the heterotic potential of the hybrid generation.

The purpose of the study. To study the effect of the temperature regime on the manifestation of sterility in the CMS line of sweet pepper, which is unstable for this reason.

Materials and Methods. The experiment was conducted in 2024-2025 on the basis of the Department of vegetable growing and the Laboratory of Biotechnology and molecular Biology of the Federal State Budgetary Scientific Institution "FNC Rice" in an artificial climate chamber with the separation of the studied material into two experimental variants: 1 – night temperature less than 18°C, 2 – night temperature more than 18°C. The research material is a temperature-affected CMS line ms Yant 85. In the experiment, the following calculations and observations were carried out: measuring the length of buds in branching orders in mm with the stage of bud development fixed; visual assessment of the sterility and fertility of flowers by branching order; microscopic analysis of the sterility and fertility of flowers, as the fruits formed and matured, the number of seeds that had set was calculated.

Results. The conducted research revealed a tendency of sterility and fertility on the temperature-affected CMS line. Thus, the night temperature of less than 18 °C in the first version of the experiment, which persisted throughout the entire flowering in tiers up to the sixth order, affected the formation of fertile flowers, followed by the formation of fruits on parts of the studied plants. In the second version of the experiment, the established night temperature of more than 18°C affected the formation of mostly sterile flowers. **Keywords:** sweet pepper, first-generation hybrid, seed production, cytoplasmic male sterility, temperature factor, sterility, fertility, artificial climate chamber.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

перец сладкий, гибрид первого поколения, семеноводство, цитоплазматическая мужская стерильность, температурный фактор, стерильность, фертильность, камера искусственного климата

Введение

Из года в год производство товарных плодов перца сладкого (*Capsicum annuum* L.) на территории России увеличивается. Статистика говорит о возрастающем интересе производителя к этой культуре: питательная ценность, витаминный состав, характерный вкус, разнообразие биотипов и сортовых вариации по форме и окраске плода, - эти, и не только, характеристики делают перец сладкий интересной товарной культурой, которая занимает свою нишу на рынке [1-3].

Сегодня производители товарных плодов предпочитают возделывать гетерозисные гибриды, раскрытие генетического потенциала которых даёт заметный экономический эффект при выращивании и реализации продукта: раннеспелость, ранняя и дружная отдача урожая, устойчивость к биотическим и абиотическим факторам среды [4-6].

В Государственном реестре селекционных достижений зарегистрировано 458 наименований гибридов первого поколения перца сладкого, которые классифицируются по срокам созревания, условиям выращивания, форме плода и регионам возделывания. Диапазон существующих достижений позволяет удовлетворить потребности, как производителей, так и потребителей товарных плодов [7].

Однако существует проблема обеспечения производителя достаточным объёмом качественных гибридных семян перца сладкого. На территории России нет специализированных семеноводческих хозяйств овощных культур, а то количество семян, которое производится оригинаторами – настолько мало, что даже не учитывается статистикой. Семена импортной селекции отличаются своей дороговизной и затраты на них составляют существенную долю расходов на возделывание перца сладкого [8].

Гибридное семеноводство перца сладкого достаточно трудоемкое дело, так как большая часть манипуляций производится вручную. Если мы говорим о семеноводстве на фертильной основе, то обязательная к выполнению процедура – кастрация (удаление фертильных тычинок), – во-первых, это манипуляция крайне утомительна, а, во-вторых, требует сноровки и бережного отношения к цветку, так как повреждение пестика сведет на нет всю проводимую перед этим работу; так же не исключено самоопыление материнской линии и снижение гибридности потомства.

Если мы говорим о семеноводстве на стерильной основе, то здесь существует ряд подходов: использование линий с ех-мутацией, ЯЦМС и ЦМС. Каждая основа имеет свои плюсы и минусы [9-11].

Ведение семеноводства гибридов первого поколения перца сладкого на базе материнских линий с ЦМС даёт ряд экономических и практических преимуществ [12]. Но существует главная проблема, которая беспокоит селекционеров, работающих с ЦМС, – нестабильное проявление стерильности на некото-

рых материнских линиях в течение вегетации. Проявление фертильности на ЦМС – линиях создает риск снижения гибридности потомства и появление в гибридном поколении растения, полученных от самоопыления материнского компонента гибридизации. Такие линии чувствительны к температурным условиям (ночная температура) возделывания. Под влиянием низких ночных температур (менее 18°C) они образуют фертильных цветки. Мировая практика селекционного процесса исключает такие линии из работы, если не удается методами отборов и повторяющихся беккроссов стабилизировать проявление стерильности. Такой подход ведет к браковке ценного по ОКС и СКС генетического материала, так как с экономической точки зрения не целесообразно его использование в массовом гибридном семеноводстве.

Однако существуют некоторые подходы при работе с нестабильной стерильностью, при этом, решающий фактор стабилизации – температурный фактор. Рядом авторов установлено, что ночные температуры менее 17°C оказывают влияние на проявление стерильности у ЦМС – линий перца сладкого, кроме этого, использование в схеме размножения материнских линий закрепителей стерильности приводит к накоплению QTL-генов, которые играют роль в частичном завязывании семян, в том числе под влиянием пониженных ночных температур [13]. Если в скрещивании задействован стабильный материнский компонент с ЦМС, то без учета температурных условий можно не сомневаться в степени гибридности потомства от такой линии. Напротив, работа с нестабильным проявлением ЦМС, подверженной влиянию среды и действию генов-модификаторов, требует строгого соблюдения температурных условий скрещивания, иначе будет получено потомство, которое не соответствует принятому стандарту: гибридность 98 % и более [14]. Так, исследование, проведенное в камере искусственного климата в 2020 году, выявило, что высокие температуры в световую фазу (26...28°C) и низкие температуры в темновую фазу (14...16°C) повлияли на периодичность формирования стерильных и фертильных цветков на линии с нестабильной ЦМС. Пересадка растений в весеннюю теплицу и наблюдения до второй декады июня показало, что соотношение фертильных и стерильных цветков на линии с нестабильной ЦМС увеличилось в сторону стерильных, что, предположительно, связано с высокими ночными температурами в теплице: от 19 до 22°C [15].

Так же интерес представляют опыты, связанные с изучением гибридности потомства, которое получено от скрещиваний на различных порядках ветвления семенного куста линии с нестабильным проявлением стерильности. При стандартных сроках посадки опытных растений в весеннюю пленочную теплицу были получены такие данные: наибольший показатель гибридности получен с четвертого порядка ветвления материнской линии – 100 %, наименьший показатель гибридности

Таблица 1. Стадии развития цветка перца сладкого, связанные с развитием микроспор, длиной бутона и днями до цветения (при температуре 25/21°C)
Table 1. Stages of sweet pepper flower development related to microspore development, bud length and days before flowering (at a temperature of 25/21°C)

Стадия развития бутона	Длина бутона, мм	Стадии микроспорогенеза	Дни до цветения
1	Менее 2,5	Премейотическая, различные фазы мейоза	14-17
2	3,0-4,0	Образование и растворение тетрад	9-13
3	4,5-6,5	Молодая свободная микроспора	6-8
4	7,0-8,0	Созревание микроспоры, утолщение оболочки	3-5
5	8,5-11,0	Митоз пыльцевых зерен, оболочка утолщенная, темная	1-2

получен от материнских растений, цветки которых не нормировались при скрещивании – 69 %; при этом, уровень гибридности на первом, втором и третьем порядках составлял 91,0 %, 96,2 %, 93 %, соответственно, что ниже принятого стандарта – 98,0 % [16]. Таким образом, наблюдается тенденция увеличения гибридности потомства в связи с повышением средней суточной температуры и качественным вкладом ночных температур (более 18-19°C) во время гибридизации.

В связи с приведенными выше наблюдениями важно понять существенность влияния ночных температур на конкретные ЦМС – линии, а так же выявить стадии развития бутонов перца сладкого, чувствительные к данному фактору.

В литературе выделяют пять стадий развития цветка перца сладкого, причем, достоверно известно, что длина бутона тесно связана с фазами развития микроспор (см. табл. 1) [17].

В приведенном исследовании установлено, что в контролируемых условиях завязывание плодов на опытных сортах перца сладкого снижалось, когда цветки были подвержены влиянию высоких дневной и ночной температуры (34/ 21 °C) на стадиях 1 и 4-5 (мейоз и позднее развитие цветка, соответственно).

Интерес представляет чувствительность первой стадии развития цветка, в тот период, когда функционально тапетум обеспечивает питание и доставку спорополленина, который участвует в образовании экзины пыльца после растворения тетрад. Важно отметить, что мужская стерильность на функциональном уровне ассоциирована с неисправностью тапетума.

Таким образом, возможно за счет генетически обусловленной мужской стерильности и контроля внешних условий (в частности, ночной температуры) стабилизировать стерильность у подверженных влиянию температуры ЦМС –линий.

В связи с вышеизложенными данными, цель исследования – изучить влияние температурных условий на проявление стерильности у нестабильной по этому признаку ЦМС - линии перца сладкого.

Материалы и методика проведения исследований

Опыт проводили в 2024-2025 годах на базе отдела овощеводства и лаборатории биотехнологий и молекулярной биологии ФГБНУ «ФНЦ риса» в условиях камеры искусственного климата (рис. 1) с разделением исследуемого материала на два варианта опыта: 1 – ночная температура менее 18°C, 2 – ночная температура более 18°C.

Семена исследуемого материала перца сладкого (ms Янт 85) предварительно замачивали в 1 % растворе перманганата калия и прогревали при температуре 40°C в течение 3 часов. Обработанные таким образом семена оставляли при температуре 22-24°C до момента наклевывания единичных семян. Посев проклюнувшихся семян проводился 13.11.2024 в кассеты № 64 (в качестве субстрата использовался торфяной универсальный грунт Агробалт) с помещением в камеру искусственного климата (до момента начала опытов были установлены единые температурные условия – 25/17°C). Проводилась фиксация единичных – 18.11, и массовых – 19.11, всходов. Начиная с появления у растений 1-2 настоящих листьев, проводилась подкормка Тетрафлексом каждые 4-5 дней из расчета 30 г препарата на 10 л воды. Пересадка растений в горшки объемом 5 л проводилась в фазе 4-5 листьев. В качестве субстрата использовался универсальный торфяной грунт Агробалт с добавлением гранулированного органического удобрения «Конский перегной». После пересадки растений горшки расставлялись согласно вариантам опыта по 10 растений в каждом. В опыте использовалась ЦМС – линия ms S6 в качестве стандарта стабильной стерильности.

В первом варианте опыта массовая бутонизация отмечена 08.01, массовое цветение – 10.01; во втором варианте опыта: массовая бутонизация – 09.01, массовое цветение – 12.01. Цветки с нулевого порядка семенного куста удалялись. В период вегетации линии проводилась двукратная листовая подкормка препаратом Спарк-Виридов из расчета 60 мл препарата на 10 л воды. Пятнадцатого января в камеру искусственного климата, которая предназначалась для обеспечения температурных условий второго варианта опыта, установлен кварцевый обогреватель для поддержания необходимой в опыте ночной температуры (более 18°C).

Каждую неделю проводились следующие наблюдения и анализы: фиксация ночной и дневной температуры проводилась ежедневно; измерение длины бутонов по порядкам ветвления в мм с фиксацией стадии развития бутона; визуальная оценка стерильности и фертильности цветков по порядкам ветвления (рис. 2); микроскопический анализ стерильных и фертильных цветков. Подготовка к микроскопическому анализу проводилась следующим образом: за сутки до манипуляции брали исследуемый материал, зафиксировав порядок ветвления и стадию развития цветка. Изъятый материал помещался в холодильную камеру на сутки, температура содержания – 4-6°C. Микроскопический анализ проводился согласно рекомен-



Рис. 1. Вегетирующие растения ЦМС – линий перца сладкого в камере искусственного климата, 2025 год
Fig. 1. Vegetative plants of sweet pepper CMS lines in an artificial climate chamber, 2025



Рис. 2. Стерильный (слева) и фертильный (справа) цветки нестабильной ЦМС – линии перца сладкого, 2025 год
 Fig. 2. Sterile (left) and fertile (right) flowers of the unstable CMS line of sweet pepper, 2025

дациям: методами йодного и ацитокарминового окрашивания при помощи микроскопа [18]. В поле зрения микроскопа детектировали количество пыльцы, цвет, форму и выполненность окрашенного материала. Таким образом, фиксировали факт стерильности или фертильности исследуемой пыльцы. По мере образования и созревания плодов подсчитывалось количество завязавшихся семян. Отбор материала и микроскопический анализ осуществлялся до шестого порядка ветвления ЦМС – линии.

Результаты исследований и их обсуждение

Исследование чувствительности ЦМС - линий к температурным условиям выращивания обусловлено дестабилизацией стерильности в течение вегетации под влиянием низких (менее 18°C) ночных температур. Следствие влияния данного фактора – появление фертильных цветков и снижение гибридности потомства из-за самоопыления материнского компонента скрещивания. Данные о максимальных и минимальных температурах в опыте представлены на рис. 3.

Инициация и развитие одиночных цветков перца сладкого на ярусе происходит не одновременно, в связи с этим, в зависимости от разных ночных температур, влияющих на конкретный цветок (1 фазу развития), в процессе цветения

всего порядка, происходит дифференциация яруса по качеству стерильности. Подобная динамика проявления стерильности и фертильности наблюдалась в двух вариантах опыта, если установленная температура опыта выходила за пределы допустимого для конкретного варианта.

Из данных рис. 1 видно, что температурные условия в 1-м варианте опыта можно охарактеризовать так: средняя максимальная температура – 25,9°C (диапазон максимальной температуры: 23,0-28,3°C); средняя минимальная (ночная) температура – 16,8°C (диапазон ночной температуры: 14,5-19,2°C).

Характер температурных условий 2-го варианта опыта: средняя максимальная температура – 28,1°C (диапазон максимальной температуры: 23,0 – 31,0°C), средняя минимальная (ночная) температура – 20,1°C (диапазон ночной температуры: 16,9 – 22,3°C).

Таким образом, как в 1-м, так и во 2-м, вариантах в отдельные периоды отмечались небольшие отклонения минимальных ночных температур от критической (18°C), влияющей на стабильность стерильности. Надо полагать, что это внесет некоторые погрешности в полученные результаты.

Динамика развития бутонов по вариантам опыта представлена в табл. 2 и 3. Фиксация длины бутонов проводилась со

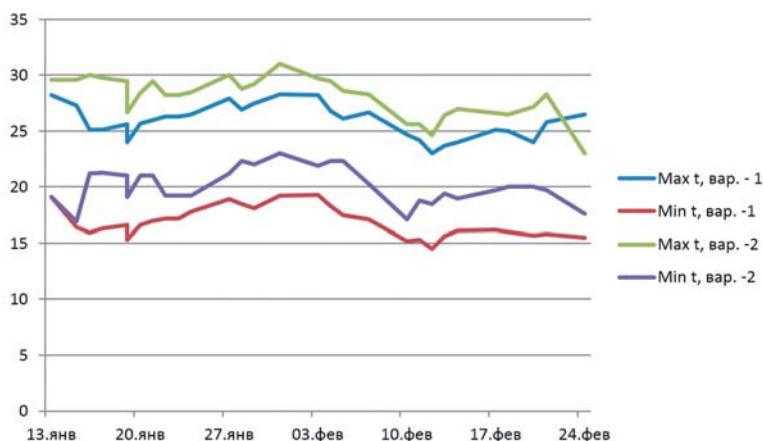


Рис. 3. Максимальные и минимальные температурные условия выращивания линии ms Янт 85 в камере искусственного климата по вариантам опыта, 2025 год
 Fig. 3. Maximum and minimum temperature conditions for growing the ms Yant 85 line in an artificial climate chamber according to experimental options, 2025

Таблица 2. Стадии развития бутонов по датам на линии ms Янт 85 (первый вариант опыта), 2025 год
Table 2. Stages of bud development by date on the ms Yant 85 line (the first version of the experiment), 2025

Порядок ветвления	Даты измерения бутонов и их размеры в мм					
	17.01	24.01	31.01	07.02	14.02	21.02
2	1-2	2-3	2-4			
3	1	2	3-4			
4		1-2	2-3	3-5		
5		1	1-2	2-3	2-5	
6				1-3	2-4	3-4

Таблица 3. Стадии развития бутонов по датам на линии ms Янт 85 (второй вариант опыта), 2025 год
Table 3. Stages of bud development by date on the ms Yant 85 line (the second version of the experiment), 2025

Порядок ветвления	Даты измерения бутонов и их размеры в мм					
	17.01	24.01	31.01	07.02	14.02	21.02
2	1-2	2-4	2-4			
3	1-2	2	2-4			
4		1-2	2-3	3-4		
5			1-2	2-3	3-5	
6			2	1-3	2-4	3-5

второго порядка ветвления. Показатель учитывался как основополагающий в определении ассоциированной с развитием цветка стадии микроспорогенеза, чувствительной к температурным условиям.

В двух вариантах опытов происходило синхронное развитие цветков и наступление 1-2 фаз бутонизации по порядкам ветвления: 2-й порядок – 17.02, 3-й порядок – 17.02-24.02, 4-й порядок – 24.02, 5-й порядок – 24.01-31.01, 6-й порядок – 31.01. По датам фиксации стадии развития цветка видно, что на конкретном ярусе одновременно отмечались цветки, находящиеся в разных стадиях развития, что говорит о не линейном развитии цветков и важности поддержания необходимой ночной температуры в течение развития цветков всего порядка. В противном случае, можно получить недостаточный процент стерильности на конкретном ярусе и снижение гибридности потомства, полученного со всего материнского куста.

Далее рассмотрим влияние температурных условий опытов на число дней от 1-2 фаз развития цветка до цветения. Данные представлены в табл. 4 и 5.

Из табл. 4, 5 следует, что температурные условия не повлияли на динамику развития бутонов, но оказали некоторое влияние на скорость формирования цветка, в частности, на 3 и 5 порядках ветвления цветки распускались на 5 и 2 дня раньше при более высоких «дневных» температурах.

Исходя из выше изложенных наблюдений, составлен рис. 4, где представлены данные о датах и температурном режиме 1-2 фаз развития цветка, а так же микроскопический анализ цветков на предмет их стерильности и фертильности.

Первый этап наблюдений заключался в определении дат наступления 1-2 фаз развития цветков по порядкам ветвления при определенных температурных условиях по вариантам опыта. Так, в 1-ом варианте опыта мы можем отметить следующие условия развития 1-2 фаз по порядкам: 3-й порядок –

Таблица 4. Сводная таблица 1, 2 фаз бутонизации, начала цветения по порядкам ветвления на линии ms Янт 85 (первый вариант опыта), 2025 год
Table 4. Summary table 1, 2 of the budding phase, the beginning of flowering in the order of branching on the ms Yant 85 line (the first version of the experiment), 2025

Порядок ветвления	Даты цветения	Количество дней до цветения
2	24-28.01	8-12
3	(28)31.01-04.02	(12)16-20
4	04.02-07.02	11-14
5	10.02-14.02	16-20
6	21.02	16

Таблица 5. Сводная таблица 1, 2 фаз бутонизации, начала цветения по порядкам ветвления на линии ms Янт 85 (второй вариант опыта), 2025 год
Table 5. Summary table 1, 2 of the budding phase, the beginning of flowering in the order of branching on the ms Yant 85 line (the second version of the experiment), 2025

Порядок ветвления	Даты цветения	Количество дней до цветения
2	24-27.01	8-12
3	27-31.01	11-15
4	03-07.02	10-15
5	(07)14-17.02	15-18
6	21.02	16

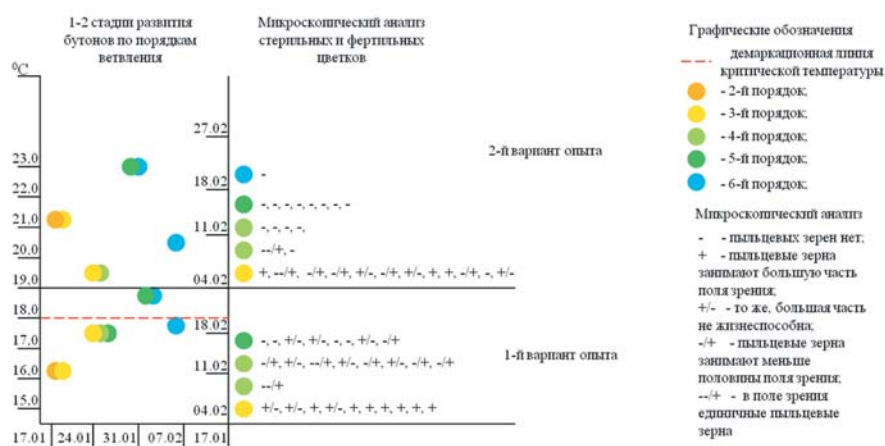


Рис. 4. Температурный режим и даты 1-2 фаз развития цветков, микроскопический анализ цветков по порядкам ветвления на линии ms Янт 85, 2025 год

Fig. 4. Temperature regime and dates of 1-2 phases of flower development, microscopic analysis of flowers by branching orders on the ms Yant 85 line, 2025

16,3-17,6 °С (дата наступления фаз 17.01-24.01), 4-й порядок – 17,6-19,2 °С (дата наступления фаз – 24.01-31.01), 5-й порядок – 17,6-18,9°С (даты наступления фаз – 24.01-31.01), 6-й порядок – 17,9-18,9°С (даты наступления фаз 31.01 – 07.02). Некоторые слабо контролируемые факторы повлияли на температурные условия в период 1-2 фаз развития цветков на 4-ом и 5-ом порядках в первом варианте опыта, когда ночная температура превышала 18°С, что обусловило проявления частичной стерильности в этих условиях.

Во 2-ом варианте опыта мы можем отметить следующие условия развития 1-2 фаз по порядкам: 3-й порядок – 19,3-21,3°С (даты наступления фаз 17.01-24.01), 4-й порядок – 19,3°С (дата наступления фаз – 24.01), 5-й порядок – 23,0°С (дата наступления фаз – 31.01), 6-й порядок – 20,3-23,0°С (даты наступления фаз 31.01 – 07.02). Некоторые слабо контролируемые факторы повлияли на температурные условия в период 1-2 фаз развития некоторых цветков на 3-ем порядке, когда ночная температура была менее 18 °С до создания соответствующих варианту условий и проведения учетов, что обусловило проявления некоторой «степени» фертильности в этих условиях.

Второй этап исследования заключался в проведении микроскопического анализа стерильных и фертильных цветков по вариантам опыта.

Для оценки стерильности и фертильности тычинок использовали микроскопический метод (см. рис. 5):

1. если пыльцевые зерна занимали больше половины поля зрения, цветок считался фертильным (графическое обозначение – «+»);
2. если пыльцевые зерна занимали больше половины поля зрения, но большая часть была нестандартная, деформированная, слипшаяся, такой цветок обозначался как «+/-»;
3. если пыльцевые зерна занимали меньше половины поля зрения, такой цветок обозначался как «-/+»;
4. если в поля зрения обнаруживались единичные пыльцевые зерна, такой цветок обозначался как «--/+»;

5. если в поле зрения не было пыльцы, такой цветок считался стерильным и обозначался как «-».

Следует обратить внимание на то, что нестабильные ЦМС – линии, в принципе, образуют отличную от фертильных линий по количеству и качеству пыльцу, – это отражается как в данных микроскопического анализа стерильных линий, так и в характере завязывание плодов и семян на таких линиях, что будет видно в дальнейшем обсуждении опыта.

Проведенный анализ показал, что в 1-ом варианте опыта цветки с 3-го порядка, в основном, были фертильными, лишь пыльники некоторых цветков образовывали нестандартную пыльцу (деформированную, слипшуюся и так далее); на 4-ом порядке образовывались цветки как с фертильной (и большим количеством нестандартной) пыльцой, так и с пыльцой, которая занимала меньше половины поля зрения, несколько образцов имели единичное количество пыльцы, что, вероятно, связано с неконтролируемым повышением ночной температуры до 19,2°С в период 1-2 фаз развития некоторых цветков; стерильных цветков на данном ярусе не было; на 5-ом порядке образовались цветки, как с большим количеством нестандартной пыльцы, так и без неё, что, вероятно, обусловлено влиянием температуры более 18°С (31.01) на ранние стадии развития цветков на этом ярусе. Цветочная масса с 6-го порядка не подвергалась микроскопическому анализу, однако непосредственный визуальный анализ цветков показал, что цветки, 1-2 фазы развития которых пришлась на 31.01 (18,9°С), не образовали пыльцу, а пыльники были темно-фиолетового цвета и щуплые, при этом, цветки, 1-2 фазы развития которых пришлась на 07.02 (17,9°С), пыльцу образовали.

Во втором варианте опыта цветки с 3-го порядка имели разнокачественный состав при анализе фертильности и стерильности: так, некоторое количество цветков были фертильными, однако, большая часть исследуемого материала имела единично визуализируемую, в основном, нестандартную пыльцу, – на образование фертильных цветков повлияли неустанов-

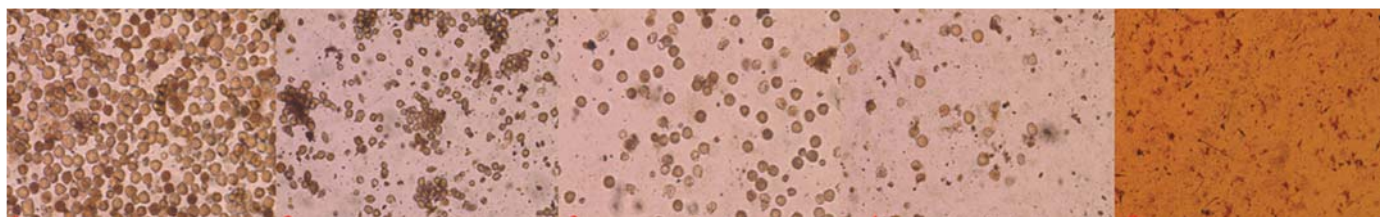


Рис. 5. Микроскопический анализ стерильных и фертильных цветков линии ms Янт 85
Fig. 5. Microscopic analysis of sterile and fertile flowers of the ms Yant 85 line

Таблица 6. Учет обсеменности плодов на линии ms Янт 85 (первый вариант), 2025 год
 Table 6. Consideration of fruit seeding on the ms Yant 85 line (the first version of the experiment), 2025

№ растения	Порядок ветвления	Количество семян на плод, шт.	Характер стерильности (S – стерильность, F – фертильности, F _M – мало семян)
Я-1	3	0	S
	4	До 10	F _M
Я-2	2	Много	F
Я-3	2	До 10	F _M
Я-4	2	До 30	F
	3	3	S
Я-5	2	20	F
	3	До 20	F
	4	До 10	F _M
		До 30	F
Я-6	3	До 10	F _M
Я-8	4	До 20	F
Я-10	4	До 10	F _M

ленные температуры соответствующего режима (менее 18°C). На 4-ом, 5-ом и 6-ом порядках микроскопический анализ показал полную стерильность исследуемого материала.

Таким образом, мы можем отметить тенденцию проявления стерильности и фертильности при определенных ночных температурах у ЦМС – линии: если показатели ночных температур в течение развития ярусов материнского куста менее 18°C, мы можем ожидать появления фертильных цветков; если – более 18°C, то мы ожидаем стабилизацию стерильности от порядка к порядку.

Данные об образовании плодов и количестве завязавшихся семян на линии ms Янт 85 представлены в табл. 6.

Примечательно, что в условиях второго варианта опытов (ночная температура более 18°C) не образовалось ни одного плода, что, вероятно, также связано с высокими дневными температурами и реакцией ЦМС – линии на такие «стрессовые» условия.



Рис. 6. Образование плодов на нестабильной ЦМС – линии ms Янт 85 в условия первого варианта опыта, 2025 год
 Fig. 6. Fruits formation on the unstable CMS line ms Yant 85 under the conditions of the first experimental variant, 2025

Условия первого варианта опытов позволили линии на некоторых порядках завязать плоды (рис. 6). Так, на 7-ми из 10-и участвующих в опыте растениях образовалось от 1 до 3 плодов. Образование плодов наблюдалось на 2-ом, 3-ем и 4-ом порядках (с завершением опытов дальнейшее образование плодов на порядках выше не учитывалось). Внутри варианта выделялись генотипы по количеству завязавшихся плодов и семян: образовывались плоды как с незначительным количеством семян: от 0 до 3 штук, – такие плоды считались стерильными; так и плоды, которые вмещали в себя до 10 штук семян, – они считались «потенциально» стерильными. Плоды, которые вмещали более 10 семян, учитывались как фертильные. В результате анализа отобрано одно (№ Я-1) растение, которое было пересажено в весеннюю пленочную теплицу для дальнейшего наблюдения.

Таким образом, видно, что температурные условия опытов повлияли на фактическое образование или отсутствие плодов по вариантам и характер завязывания плодов и семян внутри первого варианта опыта.

Заключение

В исследовании, проведенном в камере искусственного климата, выявилась тенденция влияния температурного режима на проявление стерильности цветков у линий с цитоплазматической мужской стерильностью. В частности, влияние оказывают ночные температуры в течение вегетации материнского компонента. Так, ночная температура менее 18°C является причиной появления фертильных цветков, завязывания плодов и семян на ЦМС – линии, причем, выделяются растения, в плодах которых завязалось небольшое количество семян (от 0 до 10). Напротив, ночная температура более 18°C увеличивает количество стерильных цветков на порядках ветвления, при этом, в данном варианте опыта не образовалось ни одного плода на исследуемой линии. Данное исследование представляет интерес в виду разработки семеноводческой стратегии на основе таких линий и включения их в схемы скрещиваний.

• Литература

1. Рынок перца – объем импорта в 2015 году снизился на 30,4 %. Экспертно-аналитический центр бизнеса «АБ Центр»; 2015 [обновлено 1 февраля 2025; процитировано 6 мая 2025]. <https://abcenre.ru/news/rynok-perca---obem-importa-v-2015-godu-snizilsya-na-304>
2. Buczkowska H., Michaojæ Z. Comparison of qualitative traits, biological value, chemical compounds of sweet pepper fruit. *J. Elem.* 2012;(1):367-377. <https://doi.org/10.5601/jelem.2012.17.3.01>
3. Литвинов С.С., Шатилов М.В. Эффективность овощеводства России (анализ, стратегия, прогноз). М.: ФГБНУ ВНИИО. 2015. 169 с. <https://elibrary.ru/vvlhzt>
4. Королёва С.В., Пистун О.Г., Полякова Н.В. Испытание гибридов перца сладкого на основе мужской стерильности в весенних пленочных теплицах. *Рисоводство*. 2022;1(54):46-52. <https://doi.org/10.33775/1684-2464-2022-54-1-46-52> <https://elibrary.ru/kfbtbc>
5. Королёва С.В. О секретах успешной политики импортозамещения в сельском хозяйстве. *Гавриш*. 2017;(1):3-6.
6. Капустина Р.Н. Перспективные гибриды сладкого перца для юга России. *Вестник овощевода*. 2010;(2):2-4.
7. Реестр селекционных достижений. 2025 (обновлено 31 мая 2024; процитировано 28 апреля 2025). <https://gossortrf.ru/registry>
8. Огнев В.В. Товарное семеноводство перца сладкого в открытом грунте на юге России. *Картофель и овощи*. 2023;(2):36-40. <https://doi.org/10.25630/PAV.2022.65.93.006> <https://elibrary.ru/tpnjbu>
9. Монахос Г.Ф. Селекция и первичное семеноводство: состояние и перспективы. *Картофель и овощи*. 2017;(3):2-4. <http://potatoveg.ru/glavnaya-tema/selekcija-i-pervichnoe-semenovodstvo-sostoyanie-i-perspektivy.html>
10. Монахос Г.Ф., Королёва С.В., Авдеева А.А. Особенности использования мужской стерильности в селекции F1 гибридов перца сладкого. *Картофель и овощи*. 2016;(4):35-37. <https://elibrary.ru/vsusv>
11. Dhaliwal M.S., Jindal S.K. Induction and exploitation of nuclear and cytoplasmic male sterility in pepper (*Capsicum* spp.): a review. *The Journal of Horticultural science and biotechnology*. 2014;5(89):471-479. <https://doi.org/10.1080/14620316.2014.11513108>
12. Юрченко С.А., Королева С.В. Экономическая эффективность семеноводства гибридов F1 сладкого перца, созданных на основе ядерно-цитоплазматической мужской стерильности. Международный саммит молодых ученых. Современные решения в развитии сельскохозяйственной науки и производства. 26-30.06.2016. <https://elibrary.ru/xgqxgp>
13. Wang L., Zhang B., Lefebvre V., Huang S., Daubèze A., Palloix A. QTL analysis of fertility restoration in cytoplasmic male sterile. *Theoretical and Applied Genetics*. 2004;109(5):1058-1063. DOI: 10.1007/s00122-004-1715-8
14. ГОСТ 32592-2013 «Межгосударственный стандарт. Семена овощных, бахчевых культур, кормовых корнеплодов и кормовой капусты. Сортосовые и посевные качества. Общие технические условия»; 2013. <https://fsvps.gov.ru/files/gost-32592-2013-mezhgosudarstvennyj-standart>
15. 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> <https://elibrary.ru/jlfvhn>
16. Королева С.В., Шумилова Е.В. Изучение посевных и сортовых качеств гибридных семян, полученных на различных порядках ветвления растения материнской ЦМС-линии перца сладкого. *Рисоводство*. 2025;1(66):58-66. <https://doi.org/10.33775/1684-2464-2025-66-1-58-66> <https://elibrary.ru/vxlzsa>
17. Erickson A.N., Markhart A.H. Flower developmental stage and organ sensitivity of bell pepper (*Capsicum annuum* L.) to elevated temperature. *Plant, Cell and Environment*. 2002;(25):121-130. <https://doi.org/10.1046/j.0016-8025.2001.00807.x>
18. Бунин М.С., Шмыкова Н.А. Методические рекомендации по определению жизнеспособности пыльцы рода *Capsicum annuum* L. М., 2004. 32 с. <https://elibrary.ru/yuhxut>

• References

1. Pepper market – the volume of imports decreased by 30.4% in 2015. Expert and Analytical Business Center "AB Center"; 2015 [updated on February 1, 2025; quoted on May 6, 2025]. <https://abcenre.ru/news/rynok-perca---obem-importa-v-2015-godu-snizilsya-na-304>
2. Buczkowska H., Michaojæ Z. Comparison of qualitative traits, biological value, chemical compounds of sweet pepper fruit. *J. Elem.* 2012;(1):367-377. <https://doi.org/10.5601/jelem.2012.17.3.01>
3. Litvinov S.S., Shatilov M.V. Efficiency of Vegetable Growing in Russia (Analysis, Strategy, Forecast). Moscow, 2015. 169 p. (In Russ.) <https://elibrary.ru/vvlhzt>
4. Koroleva S.V., Pistun O.G., Polyakova N.V. Testing of sweet pepper hybrids based on male sterility in spring film greenhouses. *Rice growing*. 2022;1(54):46-52. (In Russ.) <https://doi.org/10.33775/1684-2464-2022-54-1-46-52> <https://elibrary.ru/kfbtbc>
5. Koroleva S.V. On the secrets of a successful import substitution policy in agriculture. *Gavrish*. 2017;(1):3-6. (In Russ.)
6. Kapustina R.N. Promising sweet pepper hybrids for the South of Russia. *Bulletin of the vegetable grower*. 2010;(2):2-4. (In Russ.)
7. Register of breeding achievements. 2025 (updated May 31, 2024; quoted April 28, 2025). <https://gossortrf.ru/registry>
8. Ognev V.V. Commercial seed production of sweet pepper in the open ground in the south of Russia. *Potato and vegetables*. 2023;(2):36-40. (In Russ.) <https://doi.org/10.25630/PAV.2022.65.93.006> <https://elibrary.ru/tpnjbu>
9. Monakhos G.F. Breeding and primary seed production: status and prospects. *Potato and vegetables*. 2017;(3):2-4. (In Russ.) <http://potatoveg.ru/glavnaya-tema/selekcija-i-pervichnoe-semenovodstvo-sostoyanie-i-perspektivy.html>
10. Monakhos G.F., Koroleva S.V., Avdeeva A.A. Features of the use of male sterility in the breeding of F1 sweet pepper hybrids. *Potato and vegetables*. 2016;(4):35-37. (In Russ.) <https://elibrary.ru/vsusv>
11. Dhaliwal M.S., Jindal S.K. Induction and exploitation of nuclear and cytoplasmic male sterility in pepper (*Capsicum* spp.): a review. *The Journal of Horticultural science and biotechnology*. 2014;5(89):471-479. <https://doi.org/10.1080/14620316.2014.11513108>
12. Yurchenko S.A., Koroleva S.V. Economic efficiency of seed production of sweet pepper F1 hybrids based on nuclear cytoplasmic male sterility. International Summit of Young Scientists. Modern solutions in the development of agricultural science and production. 26-30.06.2016. (In Russ.) <https://elibrary.ru/xgqxgp>
13. Wang L., Zhang B., Lefebvre V., Huang S., Daubèze A., Palloix A. QTL analysis of fertility restoration in cytoplasmic male sterile. *Theoretical and Applied Genetics*. 2004;109(5):1058-1063. DOI: 10.1007/s00122-004-1715-8
14. "Interstate standard. Seeds of vegetable, melon crops, fodder root crops and fodder cabbage. Varietal and sowing qualities. General technical conditions"; 2013. <https://fsvps.gov.ru/files/gost-32592-2013-mezhgosudarstvennyj-standart>
15. 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> <https://elibrary.ru/jlfvhn>
16. Koroleva S.V., Shumilova E.V. Study of sowing and varietal qualities of hybrid seeds obtained at various branching orders of the plant of the maternal CMS line of sweet pepper. *Rice growing*. 2025;1(66):58-66. (In Russ.) <https://doi.org/10.33775/1684-2464-2025-66-1-58-66> <https://elibrary.ru/vxlzsa>
17. Erickson A.N., Markhart A.H. Flower developmental stage and organ sensitivity of bell pepper (*Capsicum annuum* L.) to elevated temperature. *Plant, Cell and Environment*. 2002;(25):121-130. <https://doi.org/10.1046/j.0016-8025.2001.00807.x>
18. Bunin M.S., Shmykova N.A. Methodological recommendations for determining the viability of pollen of the genus *Capsicum annuum* L. M. 2004. 32 p. (In Russ.) <https://elibrary.ru/yuhxut>

Об авторах:

Екатерина Владимировна Шумилова – младший научный сотрудник, аспирант, SPIN-код: 5194-4752,

автор для переписки, 79186778737agro@gmail.com

Светлана Викторовна Королёва – кандидат с.-х. наук,

ведущий научный сотрудник отдела овощеводства,

<https://orcid.org/0000-0002-8247-7261>, SPIN-код: 2917-4467

About the Authors:

Ekaterina V. Shumilova – Junior Researcher,

Postgraduate Student, SPIN-code: 5194-4752,

Corresponding Author, 79186778737agro@gmail.com

Svetlana V. Koroleva – Cand. Sci. (Agriculture),

Leading Researcher, Vegetable Growing Department,

<https://orcid.org/0000-0002-8247-7261>, SPIN-code: 2917-4467