

Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2026-3-57-61>
УДК: 635.262:631.522

В.В. Мартынов^{1,2*}, А.В. Поляков²,
Е.И. Стружкин^{2,3}

¹ ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной биотехнологии 127550, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 42

² Всероссийский научно-исследовательский институт овощеводства – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства» 140153 Россия, Московская область, Раменский р-н, дер. Верея, стр. 500

³ Государственный университет просвещения 141014, Россия, Московская область, г. Мытищи, ул. Веры Волошиной, д. 24

*Автор для переписки: martynov.vik@gmail.com

Вклад авторов: Мартынов В.В.: концептуализация, методология, проведение исследования, верификация данных, формальный анализ, администрирование данных, визуализация, создание черновика рукописи, создание рукописи и её редактирование. Поляков А.В.: концептуализация, методология, проведение исследования, верификация данных, формальный анализ, администрирование данных, визуализация, создание черновика рукописи, создание рукописи и её редактирование. Стружкин Е.И.: проведение исследования, верификация данных, администрирование данных, визуализация, создание черновика рукописи, создание рукописи и её редактирование.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Мартынов В.В., Поляков А.В., Стружкин Е.И. Использование маркеров M281 и M671 для выявления мужской фертильности чеснока *Allium sativum* L. *Овощи России*. 2026;(3):57-61.
<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2026-3-57-61>

Поступила в редакцию: 07.04.2026

Принята к печати: 25.06.2026

Опубликована: 27.07.2026

Viktor V. Martynov^{1,2*}, Aleksey V. Polyakov²,
Evgeny I. Struzhkin^{2,3}

¹ All-Russian Research Institute of Agricultural Biotechnology 42, st. Timiryazevskaya, Moscow, Russia, 127550

² All-Russian Research Institute of Vegetable – Branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Vegetable Center" 500, Vereya village, Ramensky district, Moscow region, 140153, Russia

³ State University of Education 24, Vera Voloshina st., Mytishchi, Moscow region, 141014, Russia

*Corresponding Author: martynov.vik@gmail.com

Authors' Contribution: V.V. Martynov: conceptualization, methodology, investigation, validation, formal analysis, data curation, visualization, writing – original draft, writing – review & editing. A.V. Polyakov: conceptualization, methodology, investigation, validation, formal analysis, data curation, visualization, writing – original draft, writing – review & editing. E.I. Struzhkin: investigation, validation, data curation, visualization, writing – original draft, writing – review & editing. Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

For citations: Martynov V.V., Polyakov A.V., Struzhkin E.I. Use of M281 and M671 markers for detection of male fertility in garlic *Allium sativum* L. *Vegetable crops of Russia*. 2026;(3):57-61. (In Russ.)
<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2026-3-57-61>

Received: 07.04.2026

Accepted for publication: 25.06.2026

Published: 27.07.2026

Использование маркеров M281 и M671 для выявления мужской фертильности чеснока *Allium sativum* L.

Check for updates



РЕЗЮМЕ

Актуальность. Мужская стерильность чеснока (*Allium sativum* L.) ограничивает семенное размножение культуры и существенно замедляет селекционный процесс. Одним из предполагаемых молекулярных механизмов стерильности является нарушение деградации каллозной оболочки микроспор, связанное со снижением активности гена *AsaNRF1*. Цель исследования — изучить полиморфизм промоторной области *AsaNRF1* у сортов и селекционных образцов чеснока и оценить применимость маркеров M281 и M671 для предварительного отбора генотипов с различным репродуктивным потенциалом.

Материал и методика. Исследована коллекция *Allium sativum* L., включавшая 3 сорта и 57 сортообразцов. Тотальную ДНК выделяли из молодых листьев двухнедельных растений набором «Сорб-ГМО-Б». Наличие вставок длиной 281 и 671 п.н. определяли методом ПЦР с использованием маркера M281 и разработанной авторами пары праймеров M671. Амплификацию проводили в течение 35 циклов при температуре отжига 58 °С; продукты разделяли электрофорезом в 1%-ном агарозном геле. Каждый образец анализировали в двух аналитических повторностях.

Результаты. Маркер M281 выявлен у 26 образцов (43,3%), M671 – у 23 (38,3%). Обе вставки детектированы у 17 генотипов (28,3%); только M281 – у 9 (15,0%), только M671 – у 6 (10,0%). У 28 образцов (46,7%) исследованные вставки не обнаружены. Сорт Император имел генотип M281-/M671+, что подтверждает неполное перекрытие диагностических групп.

Совместное применение M281 и M671 повышает информативность предварительной молекулярной оценки, однако для надежного выявления фертильных форм результаты необходимо сопоставлять с морфологическими и цитологическими показателями развития репродуктивных органов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

Allium sativum L., мужская фертильность, ген *AsaNRF1*, ДНК маркеры

Use of M281 and M671 markers for detection of male fertility in garlic *Allium sativum* L.

ABSTRACT

Relevance. Male sterility in garlic (*Allium sativum* L.) restricts sexual reproduction and slows breeding.

One proposed molecular mechanism is impaired degradation of the callose wall surrounding microspores, associated with reduced activity of the *AsaNRF1* gene. The study aimed to characterize polymorphism in the *AsaNRF1* promoter region in garlic varieties and breeding accessions and to evaluate M281 and M671 markers for preliminary selection of genotypes with different reproductive potential.

Material and methods. A collection of *Allium sativum* L. comprising 3 varieties and 57 breeding accessions was examined. Total DNA was isolated from young leaves of two-week-old plants using the Sorb-GMO-B kit. Insertions of 281 and 671 bp were detected by PCR with the published M281 marker and an M671 primer pair designed by the authors. Amplification included 35 cycles with annealing at 58 °C; products were separated in a 1% agarose gel. Each accession was analyzed in two analytical replicates.

Results. M281 was detected in 26 accessions (43.3%), whereas M671 was detected in 23 (38.3%). Both insertions occurred in 17 genotypes (28.3%); M281 alone in 9 (15.0%), and M671 alone in 6 (10.0%). Neither insertion was detected in 28 accessions (46.7%). The variety Imperator had the M281-/M671+ genotype, confirming incomplete overlap between marker-defined groups.

Combined use of M281 and M671 improves preliminary molecular screening; however, reliable identification of fertile garlic forms requires integration of marker data with morphological and cytological assessment of reproductive organs.

KEYWORDS:

Allium sativum L., male fertility, *AsaNRF1* gene, DNA markers

Введение

Чеснок является важной овощной культурой, широко используемой в свежем виде в кулинарии, а также в консервной, мясоперерабатывающей и фармацевтической промышленности.

В процессе окультуривания диких форм человеком было создано большое разнообразие сортов чеснока, адаптированных к различным агроклиматическим условиям выращивания. Однако этот процесс привёл к тому, что перенесенный из условий своего изначального ареала чеснок утратил способность к половому размножению и, в первую очередь, способности формировать фертильную пыльцу и семена [1; 2]. В связи с этим в настоящее время размножение этого вида растений возможно только вегетативно – воздушными луковичками (бульбочками) и зубками [3]. Такой способ размножения осложняет выявление новых генетических комбинаций и замедляет селекционный процесс, направленный на создание новых сортов чеснока с улучшенными хозяйственно ценными признаками. Поэтому неудивительно, что в последнее время усилия исследователей и селекционеров по всему миру направлены на решение этой проблемы и получение фертильных форм чеснока.

Стерильность чеснока связывают прежде всего с конкуренцией за метаболиты между цветками и воздушными луковичками в соцветии. Экспериментальное удаление бульбочек и зубков в фазе интенсивного роста стимулировало закладку семян [4, 5, 6], а формы из горных районов Центральной Азии оказались способны давать жизнеспособные семена [7, 8], причём направленная селекция улучшила их завязываемость и качество зародышей [9]. Отмечено также образование семян у отдельных генотипов в контролируемых условиях [3, 10, 11, 12]. Помимо температуры и фотопериода, высокогорья характеризуются повышенным УФ-фоном [13], а ультрафиолетовое излучение может служить дополнительным фактором, модулирующим репродукцию чеснока [14, 15].

Среди нарушений андроеца ключевое место занимают дефекты пыльцевой стенки [11, 16]. Высвобождение микроспор из оболочки зависит от активности каллазы [17, 18], и её недостаток ведёт к мужской стерильности [19]. Аномалии тапетума также приводят к стерильности пыльцы [20], хотя получение гибрида *Allium cepa* × *A. sativum* с помощью эмбриокультуры свидетельствует о жизнеспособной пыльце у отдельных образцов [21, 22].

Что касается гинецея, репродуктивные признаки сильно варьируют: у одних форм цветки почти не развиваются, у большинства доминируют воздушные луковички, и лишь изредка встречаются генотипы без бульбочек, с фертильной пыльцой, но без завязывания семян. Причиной могут быть нарушения в формирова-

нии зародышевого мешка [16, 23], поэтому особый интерес представляет оценка активности и периода восприимчивости рылец, а также поиск линий с высокой жизнеспособностью гинецея.

Так были выдвинуты предположения, что стерильность чеснока обусловлена аномалиями в развитии тапетума, зародышевого мешка и пыльцевой стенки [16]. В частности, аномальная деградация пыльцевых стенок, вероятно, является основной причиной появления мужской стерильности у петунии, сорго, сои [24] и арабидопсиса [25]. При этом основным компонентом пыльцевой стенки является полисахарид каллоза, состоящий из 1,3-β-глюканов. Этот полисахарид расщепляется ферментом эндо-1,3-β-глюкозидазой или каллазой [26, 27]. Было показано, что постмейотическое высвобождение микроспор из пыльцевой оболочки строго обусловлено активностью каллазы [17, 18], а недостаток активности этого фермента может вызывать мужскую стерильность у риса [19].

Недавно ген, кодирующий каллазу, был обнаружен у чеснока, он получил название *AsaNRF1*, и было показано, что у стерильных форм растений в промоторной области этого гена имеются две вставки нуклеотидов размером 281 п.н. и 671 п.н. соответственно [28]. Также в данной работе было показано, что наличие вставки 281 п.н. коррелирует со снижением экспрессии гена *AsaNRF1* и нарушением деградации каллозы на критической 7-й стадии развития пыльника, что приводит к мужской стерильности, при этом растение, не имеющее такой вставки, имело фертильный фенотип.

Таким образом, принимая во внимание, что выявление форм чеснока с высоким репродуктивным потенциалом на сегодняшний день по-прежнему представляет собой актуальную и сложную задачу, целью настоящего исследования было изучение полиморфизма гена *AsaNRF1* у селекционных образцов чеснока из коллекции ВНИИО при помощи молекулярных маркеров для выявления потенциальных доноров мужской фертильности.

Методика

Научные исследования проведены в секторе агробιοтехнологий в лабораторных условиях, в защищенном грунте и на экспериментальном участке открытого грунта во ВНИИО-филиале ФГБНУ ФНЦО, а также в лаборатории ДНК маркеров растений ВНИИСБ с использованием методик постановки и проведения опытов молекулярно-генетического анализа. Лабораторные исследования проведены с использованием современного технологического оборудования.

Материалом для исследований служила коллекция чеснока *Allium sativum* L. ВНИИО-филиала ФГБНУ ФНЦО. В молекулярный ПЦР-скрининг были включены 3 сорта и 57 сортообразцов.

Для выращивания растений чеснока в защищенном грунте сосуды Митчерлиха наполняли заранее подготовленной почвой, взятой с опытного участка, подготовленной для выращивания чеснока в открытом грунте. Опыты проведены на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, в которой содержание гумуса в слое 0-20 см в пересчете на сухую массу, изначально, составляло 2,9 %, реакция среды – pH солевой вытяжки 5,6. Степень обеспеченности питательными веществами: фосфором – очень высокая, содержание P_2O_5 составляло 458 мг/кг почвы (по Чирикову); калием – очень высокая, содержание K_2O – 190 мг/кг почвы (по Масловой), азотом – низкая, содержание азота составляло 20 мг/кг почвы (по Корнфилду).

В третьей декаде октября в сосуды помещали по два типичных зубка 12 сортообразцов массой, примерно, 5 г каждый. После посадки сосуды в течение 80 суток выдерживали в открытом грунте для яровизации растений. После этого сосуды были перенесены в условия защищенного грунта – остекленной зимней теплице, в которой поддерживали температуру около 15°C и проводили досвечивание лампами ДНаЗ/Reflux Ag 600 W 400V/Z соблюдая фотопериод 16 ч день и 8 ч ночь.

В условиях открытого грунта выращивали все образцы в период с октября 2024 г по июль 2025 г. Сема посадки предусматривала следующее размещение растений – расстояние между рядами 25 см, между растениями в ряду – 10 см.

Обработка почвы в условиях открытого грунта включала фрезерование на глубину 20-22 см и выравнивание поверхности. Внесение удобрений осуществляли трижды: в рядки при посадке (азофоска – 50 г/м²), в период 3-4 листьев (аммиачная селитра – 30 г/м²) и в период начала стрелкования (азофоска – 50 г/м²). Перед посадкой проведена обработка зубков препаратом Максим, КС в концентрации 0,3% в течение 30 минут.

Тотальную ДНК выделяли из молодых листьев 2-недельных растений при помощи набора реагентов Сорб-ГМО-Б («Синтол», Россия) по протоколу фирмы производителя.

Для ПЦР-амплификации вставки в промоторной области гена *AsaNRF1* размером 281 п.н. использовали праймеры

M281F 5'-CAACTCCTCCAAAGTCTAAAG-3'
и M281R 5'-CAAAGATGGTGGGTGTAGC-3'

последовательности которых были взяты из статьи Liu et al., 2024. Также на основе литературных данных (13) о наличии в промоторной области гена *AsaNRF1* инактивирующей этот ген вставки размером 671 п.н. нами был осуществлен дизайн праймеров

M671F 5'-GATGTTGGGAGAAGAGGTCTG-3' и
M671R 5'-GATTCCTTCTTCCACAGCAAG-3'

для последующей ПЦР-амплификации этой вставки у образцов рабочей коллекции. Дизайн праймеров осуществлялся на основе нуклеотидной последовательности четвертой хромосомы чеснока, содержащей ген *AsaNRF1*.

Программа амплификации включала: первичную денатурацию 3 мин при 94 °C; 35 циклов денатурации 30 с при 94 °C, отжиг праймера 30 с при 58 °C, элонгацию 1 мин при 72 °C и финальный синтез 5 мин при 72 °C. Объем реакционной смеси составлял 25 мкл. На одну реакцию брали 50 нг тотальной ДНК. Для амплификации использовали прибор GeneAmp PCR System 2700 («Applied Biosystems, Inc.», США). Электрофоретическое разделение продуктов амплификации проводили в 1 % агарозном геле в 1× TAE-буфере.

Молекулярный скрининг каждого сортообразца проводили в двух аналитических повторностях; при расхождении результатов ПЦР реакцию повторяли. В защищенном грунте биологическая повторность составляла два растения на сортообразец.

Результаты

На основании проведенного молекулярного скрининга 3 сортов и 57 сортообразцов чеснока с использованием маркера M281, разработанного в исследовании Liu et al. [28] и маркера M671, сконструированного авторами настоящей работы, установлено, что маркер M281, ассоциированный с наличием 281 п.н. инсерции в промоторной области гена *AsaNRF1*, был детектирован у 26 образцов (43,3% от общей

Таблица. Характеристика сортообразцов чеснока по маркерам M281 и M671
Table. Characterization of garlic accessions based on the M281 and M671 markers

Генотип по маркерам	Количество, шт.	Доля от общей выборки, %	Интерпретация
M281+/M671+	17	28,3	детектированы обе инсерции промоторной области <i>AsaNRF1</i>
M281+/M671-	9	15,0	детектирована вставка 281 п.н. при отсутствии M671
M281-/M671+	6	10,0	детектирована вставка 671 п.н. при отсутствии M281
M281-/M671-	28	46,7	исследованные вставки не детектированы
Итого	60	100,0	M281+ – 26 образцов; M671+ – 23 образца

выборки). Согласно цитируемому исследованию, наличие данной инсерции коррелирует со снижением экспрессии гена *AsaNRF1* и нарушением деградации каллозы на критической 7-й стадии развития пыльника, что приводит к мужской стерильности. Таким образом, образцы, показавшие положительный результат по маркеру M281, такие как с.о. 2019-4, с.о. 2019-3, с.о. 2017, с.о. 2020-6, с.о. 2020-8 и другие, с высокой вероятностью относятся к группе с повышенным риском мужской стерильности (табл.).

Маркер M671, соответствующий 671 п.н. инсерции в промоторной области гена *AsaNRF1*, был идентифицирован у 23 образцов (38,3%). Совместное наличие M281 и M671 отмечено у 17 сортообразцов (28,3% от общей выборки; 65,4% от числа M281-позитивных образцов). Следовательно, маркеры M281 и M671 частично перекрываются по диагностируемым образцам, но не являются полностью взаимозаменяемыми, что указывает на необходимость их совместного использования при предварительной

молекулярной оценке репродуктивного потенциала чеснока (рис. 1, 2).

Особый интерес представляет сорт Император, у которого детектирован только маркер M671 при отсутствии M281. Данный случай требует дополнительного изучения, включая анализ полной геномной последовательности локуса *AsaNRF1* и оценки уровня экспрессии гена, чтобы определить, является ли он исключением из установленной закономерности или его стерильность обусловлена иным молекулярным механизмом.

Возможно, что вставки в промоторной области гена *AsaNRF1*, детектируемые маркерами M281 и M671, надёжно связаны с нарушениями мужского гаметогенеза, но не являются единственной и достаточной причиной репродуктивной стерильности чеснока; для точной оценки репродуктивного потенциала генотипа необходима комбинированная стратегия, объединяющая молекулярную диагностику по *AsaNRF1* и морфолого-цитологическую оценку развития соцветий, пыльников и завязей.

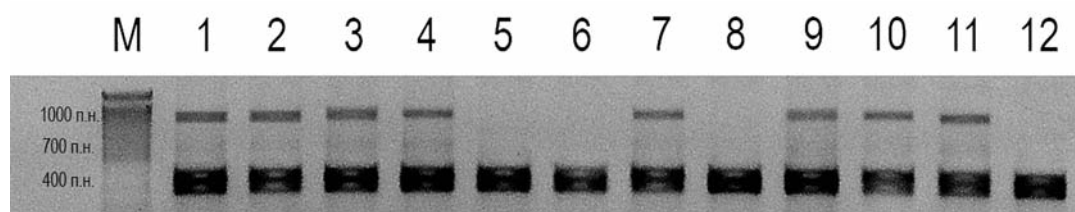


Рис. 1. Электрофореграмма продуктов ПЦР-амплификации тотальной ДНК образцов чеснока (*Allium sativum* L.) с праймером маркера M671: M – маркер молекулярной массы, 1 – с.о. 2019-4, 2 – с.о. 2020-1, 3 – с.о. 2019-3, 4 – с.о. 2017, 5 – с.о. 2021-2, 6 – Гладиатор, 7 – Император, 8 – с.о. 2016, 9 – с.о. 2020-6, 10 – с.о. 2020-8, 11 – Гиппократ 2, 12 – с.о. 2020-7.
Fig. 1. Electropherogram of PCR amplification products of total DNA of garlic (*Allium sativum* L.) samples with the M671 marker primer

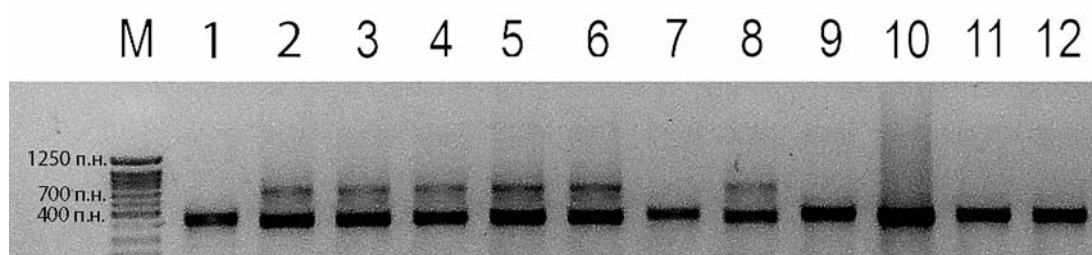


Рис. 2. Электрофореграмма продуктов ПЦР-амплификации тотальной ДНК образцов чеснока (*Allium sativum* L.) с праймером маркера M281: M – маркер молекулярной массы, 1 – с.о. 2024-8, 2 – с.о. 2021-6, 3 – с.о. 2024-3, 4 – с.о. 2024-2, 5 – с.о. 2019-2, 6 – с.о. 2022-7, 7 – с.о. 2023-9, 8 – с.о. 2011, 9 – с.о. 2019-5, 10 – с.о. 2015, 11 – с.о. 2024-5, 12 – с.о. 2023-4.
Fig. 2. Electropherogram of the products of PCR amplification of total DNA of garlic samples (*Allium sativum* L.) with the M281 marker primer

• Литература / References

1. R. Garlic: botany and horticulture. In: Janick J., editor. Horticultural Reviews. Vol. 33. New York: John Wiley & Sons; 2007. p. 123-172.
2. Rivlin R.S. Historical perspective on the use of garlic. *The Journal of Nutrition*. 2001;131(3):951S-954S. <https://doi.org/10.1093/jn/131.3.951S>
3. Shemesh-Mayer E., Kamenetsky-Goldstein R. Traditional and novel approaches in garlic (*Allium sativum* L.) breeding. In: Al-Khayri J.M., Jain S.M., Johnson D.V., editors. *Advances in Plant Breeding Strategies: Vegetable Crops*. Cham: Springer; 2021. p.

- 3-49. https://doi.org/10.1007/978-3-030-66965-2_1
4. Kuznetsov A.V. Cultivated garlic. Moscow: Selkhozgiz; 1954. 119 p. (In Russ.)
5. Kononkov P.F. Methods of obtaining garlic seeds. *Sad i ogorod*. 1953;(8):38-40. (In Russ.)
6. Katargin M.S., Katargina I.M. Generative reproduction of garlic. *Trudy po prikladnoi botanike, genetike i selektsii*. 1982;72(3):135-136. (In Russ.)
7. Hong C.-J., Etoh T. Fertile clones of garlic (*Allium sativum* L.) abundant around the Tien Shan Mountains. *Breeding Science*. 1996;46(4):349-353.
8. Etoh T. True seeds in garlic. *Acta Horticulturae*. 1997;433:247-

255.
<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1997.433.24>
9. Etoh T., Simon P.W. Diversity, fertility and seed production of garlic. In: Rabinowitch H.D., Currah L., editors. *Advances in Allium Science*. Wallingford: CABI Publishing; 2002. p. 101-118.
10. Winiarczyk K., Jaroszuk-Ścisł J., Kupisz K. Characterization of callase (β -1,3-D-glucanase) activity during microsporogenesis in the sterile anthers of *Allium sativum* L. and the fertile anthers of *A. atropurpureum*. *Sexual Plant Reproduction*. 2012;25:123-131.
<https://doi.org/10.1007/s00497-012-0184-5>
11. Shemesh-Mayer E., Winiarczyk K., Błaszczuk L., Kosmala A., Rabinowitch H.D., Kamenetsky R. Male gametogenesis and sterility in garlic (*Allium sativum* L.): barriers on the way to fertilization and seed production. *Planta*. 2013;237:103-120.
<https://doi.org/10.1007/s00425-012-1748-1>
12. Ben Michael T.E., Rozenblat L., Faigenboim A., Shemesh-Mayer E., Forer I., Peters R., Klein J.D., Rabinowitch H.D., Kamenetsky-Goldstein R. From embryo to adult: low temperatures affect phase transitions of *Allium sativum* L. from germination to flowering. *Agronomy*. 2020;10(11):1651.
<https://doi.org/10.3390/agronomy10111651>
13. Piazena H. The effect of altitude upon the solar UV-B and UV-A irradiance in the tropical Chilean Andes. *Solar Energy*. 1996;57(2):133-140.
[https://doi.org/10.1016/S0038-092X\(96\)00049-7](https://doi.org/10.1016/S0038-092X(96)00049-7)
14. Llorens L., Badenes-Pérez F.R., Julkunen-Tiitto R., Zidorn C., Fereres A., Jansen M.A.K. The role of UV-B radiation in plant sexual reproduction. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*. 2015;17(3).
<https://doi.org/10.1016/j.ppees.2015.03.001>
15. Feng H., An L., Tan L., Hou Z., Wang X. Effect of enhanced ultraviolet-B radiation on pollen germination and tube growth of 19 taxa *in vitro*. *Environmental and Experimental Botany*. 2000;43(1):45-53.
16. Shemesh-Mayer E., Ben-Michael T., Kimhi S., Forer I., Rabinowitch H.D., Kamenetsky R. Effects of different temperature regimes on flower development, microsporogenesis and fertility in bolting garlic (*Allium sativum*). *Functional Plant Biology*. 2015;42:514-526.
17. McCormick S. Control of male gametophyte development. *The Plant Cell*. 2004;16:S142-S153.
<https://doi.org/10.1105/tpc.016659>
18. Mamun E.A., Cantrill L.C., Overall R.L., Sutton B.G. Cellular organisation in meiotic and early post-meiotic rice anthers. *Cell Biology International*. 2005;29:903-913.
<https://doi.org/10.1016/j.cellbi.2005.08.001>
19. Wan L., Zha W., Cheng X., Liu C., Lv L., Liu C., et al. A rice β -1,3-glucanase gene *Osg1* is required for callose degradation in pollen development. *Planta*. 2011;233:309-323.
<https://doi.org/10.1007/s00425-010-1301-z>
20. Novák F.J. Tapetal development in the anthers of *Allium sativum* L. and *Allium longicuspis* Regel. *Experientia*. 1972;28(11):1380-1381.
<https://doi.org/10.1007/BF01965358>
21. Gonzalez L.G., Ford-Lloyd B.V. Facilitation of wide-crossing through embryo rescue and pollen storage in interspecific hybridization of cultivated *Allium* species. *Plant Breeding*. 1987;98:318-322.
<https://doi.org/10.1111/j.1439-0523.1987.tb01136.x>
22. Ohsumi C., Kojima A., Hinata K., Etoh T., Hayashi T. Interspecific hybrid between *Allium cepa* and *Allium sativum*. *Theoretical and Applied Genetics*. 1993;85:969-975.
<https://doi.org/10.1007/BF00215036>
23. Kamenetsky R., Rabinowitch H.D. Florigenesis. In: Rabinowitch H.D., Currah L., editors. *Allium Crop Science: Recent Advances*. Wallingford: CABI Publishing; 2002. p. 31-57.
24. Leubner-Metzger G., Meins F. Jr. Functions and regulation of plant β -1,3-glucanases (PR-2). In: Datta S.K., Muthukrishnan S., editors. *Pathogenesis-Related Proteins in Plants*. Boca Raton: CRC Press; 1999. p. 49-76.
25. Fei H., Sawhney V.K. MS32-regulated timing of callose degradation during microsporogenesis in Arabidopsis is associated with the accumulation of stacked rough ER in tapetal cells. *Sexual Plant Reproduction*. 1999;12:188-193.
26. Shi X., Han X., Lu T.-G. Callose synthesis during reproductive development in monocotyledonous and dicotyledonous plants. *Plant Signaling & Behavior*. 2016;11:e1062196.
<https://doi.org/10.1080/15592324.2015.1062196>
27. Pu Y., Hou L., Guo Y., Ullah I., Yang Y., Yue Y. Genome-wide analysis of the callose enzyme families of fertile and sterile flower buds of the Chinese cabbage (*Brassica rapa* L. ssp. *pekinensis*). *FEBS Open Bio*. 2019;9:1432-1449.
<https://doi.org/10.1002/2211-5463.12685>
28. Liu Z., Duan N., Yang Z., Yue L., Fei Z., Kong S. Identification of male fertility gene *AsaNRF1* and molecular marker development in cultivated garlic (*Allium sativum* L.). *Frontiers in Plant Science*. 2024;15:1419260.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1419260>

Об авторах:

Виктор Викторович Мартынов – старший научный сотрудник, заведующий лабораторией ДНК маркеров растений ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной биотехнологии

Алексей Васильевич Поляков – профессор, главный научный сотрудник сектора агробиотехнологий лаборатории репродуктивной биотехнологии предбридингового центра

Евгений Игоревич Стружкин – младший научный сотрудник сектора агробиотехнологий лаборатории репродуктивной биотехнологии предбридингового центра, старший лаборант кафедры общей биологии и биоэкологии факультета естественных наук

About the Authors:

Viktor V. Martynov – Senior Researcher, Head of the Laboratory of Plant DNA Markers, All-Russia Research Institute of Agricultural Biotechnology, SPIN-code: 6546-2641, <https://orcid.org/0000-0003-1784-3429>, Corresponding Author, martynov.vik@gmail.com

Aleksey V. Polyakov – Professor, Chief Researcher of the Agrobiotechnology Sector of the Reproductive Biotechnology Laboratory of the Pre-breeding Center, SPIN-code: 8248-1588, <https://orcid.org/0000-0002-0951-0942>, vita100plus@yandex.ru

Evgeny I. Struzhkin – Junior Researcher of the Agrobiotechnology Sector of the Laboratory of Reproductive Biotechnology of the Pre-breeding Center, Senior Laboratory Assistant at the Department of General Biology and Bioecology of the Faculty of Natural Sciences, SPIN-code: 9724-9369, <https://orcid.org/0009-0009-7987-6286>, struzhkinvegeny@yandex.ru