ЭКОБИОТЕХ
ISSN 2618-964X http://ecobiotech-journal.ru

УДК 576.08 UDC 576.08

ОЦЕНКА ЖИЗНЕСПОСОБНОСТИ ЗРЕЛЫХ ПЫЛЬЦЕВЫХ ЗЕРЕН ПО ПРИЖИЗНЕННОЙ КИСЛОТНОСТИ, ВЫЯВЛЕННОЙ С ПОМОЩЬЮ ИНДИКАТОРНОГО КРАСИТЕЛЯ НЕЙТРАЛЬНОГО КРАСНОГО

Зинатуллина А.Е.

Уфимский Институт биологии Уфимского федерального исследовательского центра РАН, Уфа, Россия
E-mail: aneta@ufaras.ru

Прижизненная кислотность, выявляемая по значению концентрации ионов водорода (pH), – важнейший физиологический показатель клеток. Один из способов оценки прижизненной кислотности клеток состоит в использовании синтетического красителя нейтрального красного. На примере зрелых пыльцевых зерен остролодочника башкирского *Oxytropis baschkirensis* Knjasev установлено, что этот индикаторный краситель в концентрации 0.01% отражает значение их прижизненной кислотности, окрашивая нативные клетки в красный цвет (кислая pH 6.8–6.9), ненативные – в желтый цвет (щелочная pH 7.2–7.5). Эти данные подтверждены выявлением жизнеспособности окрашенных в красный цвет пыльцевых зерен путем их успешного проращивания в пыльцевые трубки (1) в условиях *in vitro* на питательной среде, оптимизированной по концентрации сахарозы (5%); (2) в условиях *in planta* на рыльце пестика. Полученные результаты позволяют рекомендовать нейтральный красный для достаточно простой, быстрой и надежной прижизненной оценки качества зрелых пыльцевых зерен растений, произрастающих в различных экологических условиях, в том числе экстремальных, а также в экспресс-оценке качества пыльцы при гибридизации в генетико-селекционных исследованиях хозяйственно ценных культур.

Ключевые слова: пыльцевое зерно ◆ пыльцевая трубка ◆ жизнеспособность клетки ◆ прижизненная кислотность ◆ индикаторный краситель нейтральный красный ◆ *Oxytropis baschkirensis* Knjasev

ASSESSMENT OF THE VIABILITY OF MATURE POLLEN GRAINS BY LIFETIME ACIDITY, DETECTED USING THE INDICATOR DYE NEUTRAL RED

Zinatullina A.E.

Ufa Institute of Biology of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Ufa, Russia
E-mail: aneta@ufaras.ru

Lifetime acidity, detected by the concentration of hydrogen ions (pH), is the most important physiological indicator of cells. One approach to assess the cell lifetime acidity is to use the synthetic dye neutral red. Using the example of mature pollen grains of *Oxytropis baschkirensis* Knjasev, it was found that this indicator dye at a concentration of 0.01% reflects the value of their lifetime acidity, staining native cells in red color (acidic pH 6.8–6.9), non–native cells – in yellow color (alkaline pH 7.2–7.5). These data are confirmed by the identification of the viability of red-colored pollen grains by their successful germination into pollen tubes (1) under *in vitro* conditions on the nutrient medium optimized for sucrose concentration (5%); (2) under *in planta* conditions on the stigma of the pistil. The results obtained make it possible to recommend neutral red for fairly simple, fast and reliable lifetime assessment of the quality of mature pollen grains of plants growing in various environmental conditions, including extreme ones, as well as for rapid assessment of pollen quality during hybridization in genetic and breeding studies of economically valuable crops.

Keywords: pollen grain ◆ pollen tube ◆ cell viability ◆ lifetime acidity ◆ indicator dye neutral red ◆ *Oxytropis baschkirensis* Knjasev

Поступила в редакцию: 04.03.2025 *Принято в печать: 17.03.2025*

Цитировать | Cite as

DOI: 10.31163/2618-964X/2025-6 EDN: OPLEMU

ВВЕДЕНИЕ

Качество зрелых пыльцевых зерен – один из основных показателей репродуктивной биологии, во многом определяющий способность амфимиктично размножающихся растений к формированию полноценных семян [Батыгина, 2014]. Роль качества пыльцы особенно возрастает в условиях воздействия различных внешних стрессовых факторов. Органы

растений по-разному реагируют на стрессовые воздействия, однако именно пыльники в силу своего как правило открытого расположения на цветке особенно восприимчивы к негативным факторам среды [Browne et al., 2021]. В этой связи статус зрелых пыльцевых зерен можно расценить как “самое слабое звено”, поскольку индуцируемое стрессовыми факторами снижение качества пыльцы, а также раннее ее осыпание отрицательно влияют на общий репродуктивный успех и отдельного растения, и всей популяции.

Выявлению качества пыльцевых зерен растений из различных семейств и отделов посвящены многие публикации [Бажина и др., 2020; Zhang et al., 2021; Круглова, 2022; Goel et al., 2023; Kruglova, Zinatullina, 2023]. Отдельное направление в этой области – использование пыльцевых зерен в биотестировании экологической ситуации [Impe et al., 2020; Zhao et al., 2024]. Подчеркивается важность применения качественной зрелой пыльцы в генетико-селекционных программах, направленных на создание перспективных гибридных линий и сортов хозяйственно ценных растений ([Gomes-Mena et al., 2022; Бабро, Воронова, 2024] и мн. др.).

Как правило, оценку качества развивающихся пыльцевых зерен ведут с использованием растительного материала, зафиксированного в тех или иных реактивах (фиксатор Карнуа, Кларка, FAA и др.), с последующим окрашиванием различными красителями (ацетокармин, ацетолакмоид, толуидиновый синий, гематоксилин и др.). Более корректно, однако, вести оценку качества не зафиксированных в реактиве, а нативных пыльцевых зерен. Такого рода методы в отношении пыльцевых зерен различных растений предложены в литературе, например, использование ионселективных электродов, погруженных в водные экстракты пыльцевых зерен [Hepler, Winship, 2015], окрашивание флуоресцеиндиацетатом с дальнейшим использованием метода проточной цитометрии [Impe et al., 2020], выявление ряда биохимических показателей зрелой пыльцы (подробнее см. [Kruglova, Zinatullina, 2023]), однако все эти методы достаточно трудоемки. При массовой рутинной работе по оценке экологической ситуации или проведении генетико-селекционных исследований необходимо использование более доступных способов оценки качества нативной зрелой пыльцы.

Важнейший физиологический показатель клетки – её прижизненная кислотность, оцениваемая по значению концентрации ионов водорода (pH), при этом нативные клетки характеризуются кислой цитоплазмой, тогда как ненативные клетки демонстируют щелочную реакцию цитоплазмы [Raghavendra et al., 2023]. Один из способов оценки прижизненной кислотности клеток состоит в использовании синтетического красителя нейтрального красного (3-амино-6-диметиламино-2-метилфеназоний хлористый). Этот липофильный феназиновый краситель действует как индикатор pH в диапазоне от 6.8 до 8.0, избирательно прокрашивая клетки с кислой (pH 6.8–6.9) цитоплазмой в красный цвет, клетки с нейтральной (pH 7.0) цитоплазмой – в малиновый цвет, клетки с щелочной (pH 7.1–8.0) цитоплазмой – в желтый цвет [Hernandez, Katinas, 2019].

В экспериментальной ботанике и физиологии растений нейтральный красный нашел применение при оценке прижизненной кислотности пыльцы и клеток тканей пестика [Бритиков, 1954], а также клеток корней [Dubrovsky et al., 2006], листьев [Mahlberg, 2011; Kastury et al., 2015; Бурмистрова и др., 2017] и цветков [Hernandez, Katinas, 2019] ряда

растений. Показана относительно низкая токсичность нейтрального красного, подтвержденная сохранением актинового цитоскелета и системы микротрубочек клеток корней *Phaseolus vulgaris* после кратковременного применения этого красителя [Dubrovsky et al., 2006]. Выявлено, что в нативных растительных клетках нейтральный красный накапливается в вакуолях [Schwab, Hulskamp, 2010], локализуясь в лизосомах [Chazotte, 2011]. В то же время, судя по анализу доступной литературы, исследования, связанные с применением этого красителя в отношении клеток растений, в целом немногочисленны.

Один из основных показателей качества зрелых пыльцевых зерен цветковых растений – их жизнеспособность как способность к формированию пыльцевых трубок [Круглова, 2020]. Однако работы, посвященные выявлению прижизненной кислотности пыльцевых трубок, в доступной литературе единичны [Kozlowska et al., 2016].

Цель данного исследования – дать оценку возможности применения красителя нейтрального красного в выявлении жизнеспособности зрелых пыльцевых зерен, оцененной по прорастанию в пыльцевые трубки в условиях как *in viro*, так и *in planta*.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования послужили средневозрастные генеративные растения остролодочника башкирского *Oxytropis baschkirensis* Knjasev (семейство Fabaceae Lindl.). Выбор объекта обусловлен тем, что ранее нами детально исследованы органогенез пыльника и развитие пыльцевых зерен этого растения [Круглова, Зинатуллина, 2018].

Растения выращивали в условиях интродукционного питомника Уфимского Института биологии УФИЦ РАН (г. Уфа). Фенологические наблюдения за развитием растений вели согласно [Бейдеман, 1974]. В фенофазу массового цветения (третья декада июня) при благоприятных для развития пыльцы условиях (положительные среднесуточные температуры воздуха) отбирали 10 растений; из средней трети соцветия каждого растения отбирали по 10 зрелых пыльников, всего 100 пыльников. Зрелые пыльцевые зерна механически вытряхивали из пыльников, просеивали через марлю, упаковывали в кальку и использовали в экспериментах в день сбора.

Для выявления прижизненной кислотности свежесобранных зрелых пыльцевых зерен использовали метод, дающий возможность оценить показатель концентрации водородных ионов (pH) с помощью красителя нейтрального красного. Заранее готовили 0,01%-й раствор нейтрального красного (Ленреактив, РФ) и эталонную шкалу растворов этого красителя на фосфатном буфере (по [Бритиков, 1954]) в диапазонах pH от 6.8 до 8.0 с интервалом 0.1 единицы.

Временные давленые препараты готовили по [Световой микроскоп..., 2013] после размещения зрелых пыльцевых зерен на 5 мин в несколько капель 0,01%-й раствора красителя. Окраску исследуемого пыльцевого зерна сравнивали с цветом эталона шкалы растворов реактива нейтрального красного, учитывая, что пыльцевые зерна в зависимости от pH цитоплазмы принимали различные оттенки красного цвета в кислой среде, малиновый в нейтральной среде и различные оттенки желтого в щелочной среде.

Применили способ оценки жизнеспособности свежесобранных пыльцевых зерен по их способости к прорастанию в пыльцевые трубки в жидкой питательной среде в течение

12 час при комнатной температуре. Среду готовили заранее с использованием сахарозы и дистиллированной воды; частоту появления пыльцевых трубок длиной более диаметра пыльцевого зерна оценивали в процентах у 100 проросших пыльцевых зерен, расположенных в десяти полях зрения (по [Зинатуллина, 2016]). Каждый вариант опыта анализировали в 3–кратной повторности. Статистическую обработку полученных результатов проводили с применением программы Microsoft Office Excel 2010.

Применили способ искусственного опыления, при этом в лабораторных условиях свежесобранные зрелые пыльцевые зерна наносили на рыльце пестика цветков, не позднее 1 час срезанных на участке интродукционного питомника. Через 3 час готовили временные давленые препараты рылец с проросшими на них пыльцевыми зернами. Препараты окрашивали 0,01%-й раствором нейтрального красного.

Препараты анализировали с использованием светового микроскопа Axio ImagerA1 light microscope (Carl Zeiss, Германия), оснащенного объективом EC Plan-NEOFLURAL, и фотографировали с использованием цифровой камеры AxioCam MRc5 с программным обеспечением Axio Vision 4.7 (Carl Zeiss, Германия).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Установлено, что зрелые двуклеточные пыльцевые зерна *O. baschkirensis* характеризовались полиморфизмом прижизненной кислотности pH, обладая кислотными, нейтральными и щелочными показателями. При этом нормально развитые пыльцевые зерна в сравнении с эталонной шкалой демонстрировали кислый показатель pH 6.8–6.9, окрашиваясь нейтральным красным в красный цвет, тогда как аномальные пыльцевые зерна проявляли слабощелочной показатель pH 7.2–7.5, окрашиваясь в желтоватый цвет (рис. 1).

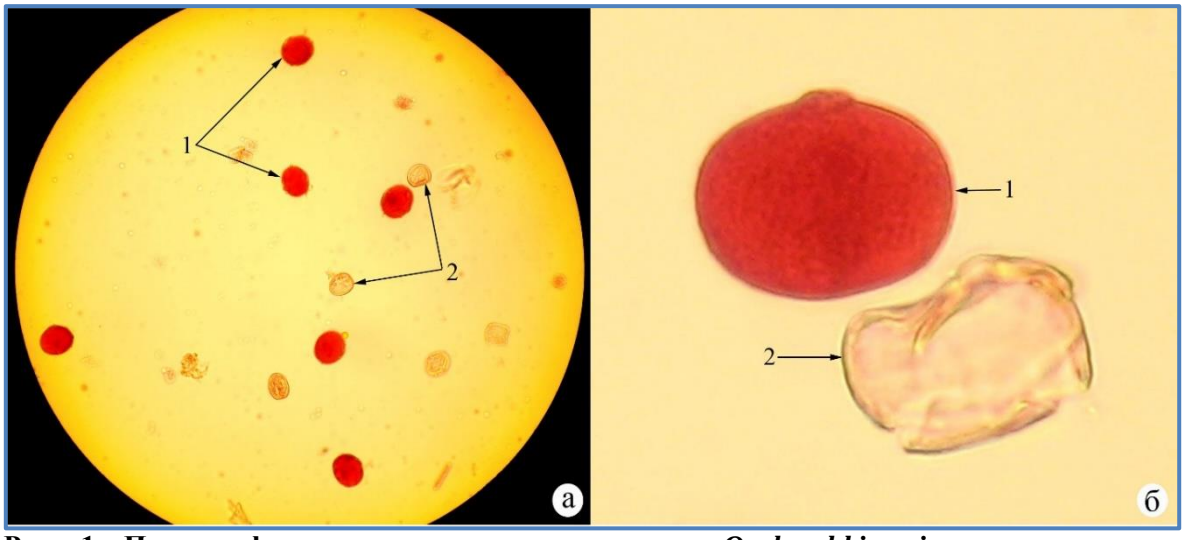

Рис. 1. Полиморфизм зрелых пыльцевых зерен *O. baschkirensis* по показателю прижизненной кислотности. Световая микроскопия, временные давленые препараты, x10 (а), x63 (б). *Условные обозначения:* 1 – жизнеспособное пыльцевое зерно (pH 6.8), 2 – нежизнеспособное пыльцевое зерно (pH 7.5).

Известно, что сахароза играет роль как питательного субстрата, так и физической среды, поддерживающей определенное осмотическое давление цитоплазмы растущей пыльцевой трубки [Impe et al., 2020]. Анализ прорастания пыльцевых зерен на жидкой

питательной среде, оптимизированной по концентрации сахарозы (от 1 до 15%), позволил выявить оптимизированный состав питательной среды. Максимальное (89,6%) количество проросших в пыльцевые трубки зрелых пыльцевых зерен *O. baschkirensis* соответствует 5%-ному раствору сахарозы в дистиллированной воде (табл.).

Таблица. Оптимизация питательной среды для прорастания зрелых пыльцевых зерен *O. baschkirensis*

Количество пыльцевых трубок в растворах сахарозы, % от общего количества инокулированных зрелых пыльцевых зерен				
1% р-р	5% р-р	7% р-р	10% р-р	15% р-р
29.1±2.2	83.3±1.9	42.1±1.3	15.4±1.1	3.1±0.5
33.8±1.4	89.6±3.1	57.4±2.8	19.1±1.7	6.7±0.3
38.2±1.9	76.5±3.4	50.1±2.1	11.2±1.5	1.9±0.1

Примечание. Частоту появления пыльцевых трубок длиной более диаметра пыльцевого зерна оценивали в процентах у 100 пыльцевых зерен, расположенных в десяти полях зрения.

Анализ прорастания зрелых пыльцевых зерен *O. baschkirensis*, окрашенных нейтральным красным, в условиях *in vitro* на оптимизированной питательной среде показал следующее. Пыльцевые зерна, окрашенные этим реактивом в красный цвет (pH 6.8), проявили свойство жизнеспособности, формируя пыльцевые трубки (рис. 2). При этом отмечены случаи перемещения генеративной клетки пыльцевого зерна внутри прорастающей пыльцевой трубки (рис. 2а). Такие перемещения, характерные для прорастающих зрелых двуклеточных пыльцевых зерен при опылении в условиях *in planta*, свидетельствуют об удачном подборе концентрации сахарозы в 5%.

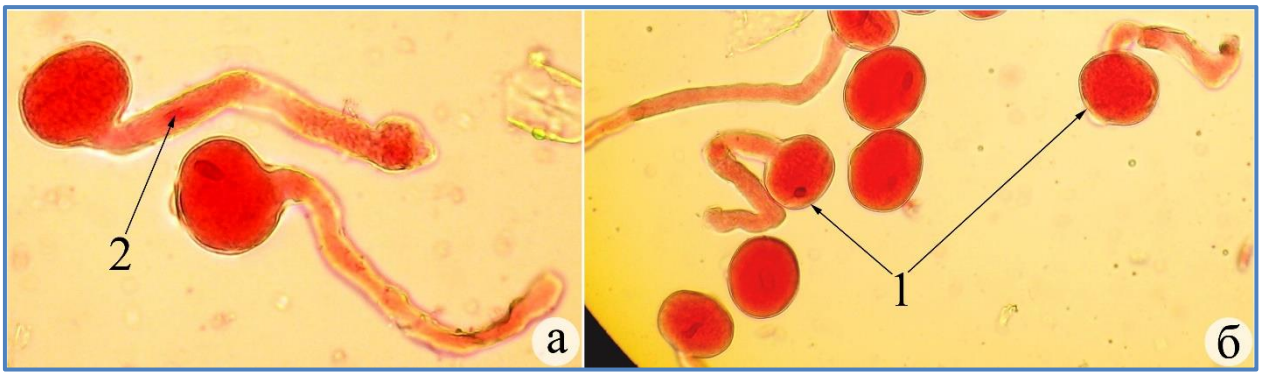

Рис. 2. Жизнеспособные пыльцевые зерна *O. baschkirensis*, проросшие в пыльцевые трубки в условиях *in vitro* на оптимизированной питательной среде. Световая микроскопия, временные давленые препараты, х40 (а), х30 (б). *Условные обозначения:* 1 – жизнеспособное пыльцевое зерно, 2 – генеративная клетка в пыльцевой трубке.

Искусственное опыление цветков *O. baschkirensis* с последующим окрашиванием давленых препаратов рыльца пестика и прорастающих в условиях *in planta* пыльцевых трубок нейтральным красным подтвердило жизнеспособность окрашенных в красный цвет (pH 6.8) пыльцевых зерен, прорастающих в пыльцевые трубки, и нежизнеспособность пыльцевых зерен, окрашенных в желтый цвет (pH 7.5), которые не прорастали в пыльцевые трубки (рис. 3). Интересно отметить, что в красный цвет окрашивалась цитоплазма и клеток тканей рыльца пестика, что также свидетельствует об их витальности.

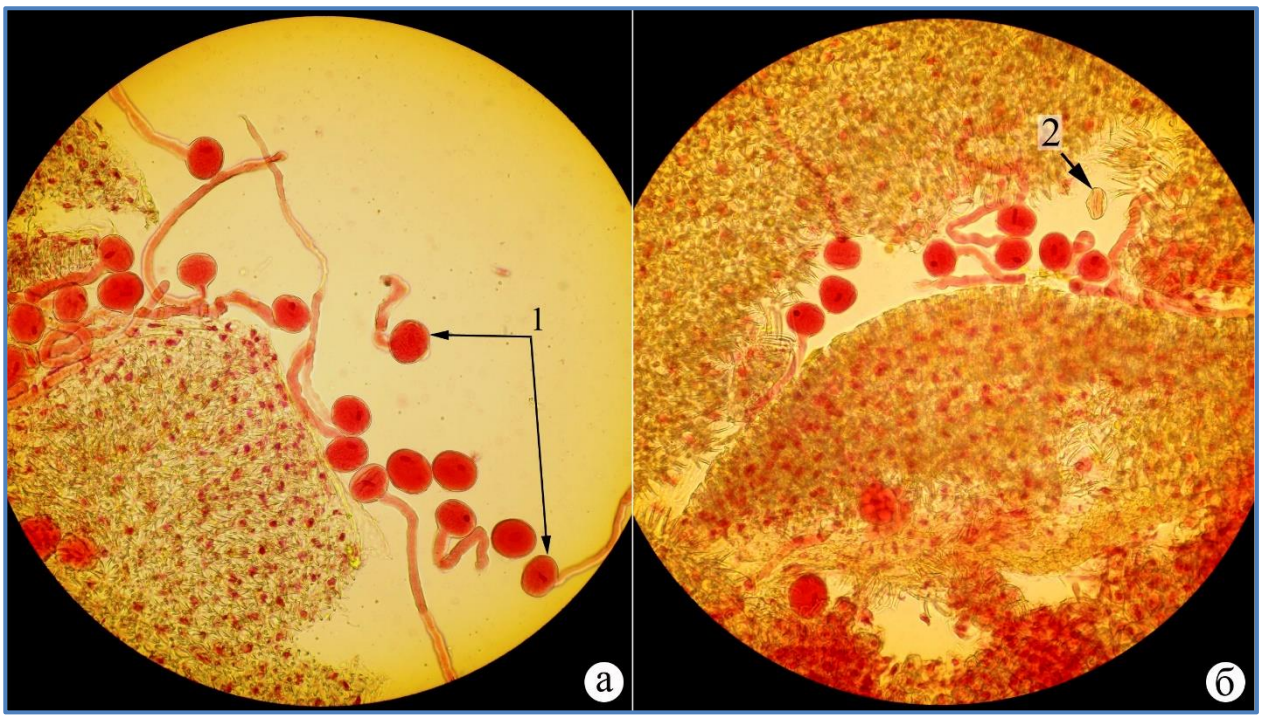

Рис. 3. Пыльцевые зерна *O. baschkirensis*, проросшие в пыльцевые трубки в условиях *in planta* на рыльце пестика. Световая микроскопия, временные давленые препараты, x25 (а), x10 (б). *Условные обозначения:* 1 – жизнеспособное пыльцевое зерно, 2 – нежизнеспособное пыльцевое зерно.

ОБСУЖДЕНИЕ

Нейтральный красный в качестве прижизненного красителя с различными целями широко применяется в гистологических исследованиях тканей человека и животных, микробиологии и вирусологии [Rodrigues et al., 2023]. В отношении же изучения клеток растений этот краситель менее популярен, а результаты его применения к оценке жизнеспособности пыльцы, судя по доступной литературе, опубликованы в единичных работах. Тем не менее полученные нами результаты о жизнеспособности окрашенных 0,01%-ным раствором нейтрального красного в красный цвет (pH 6.8–6.9) зрелых пыльцевых зерен *O. baschkirensis*, оцененной проращиванием их в пыльцевые трубки, соотвествуют данным, полученным в отношении пыльцевых трубок *Lilium candidum* L. [Бритиков, 1954] и *Hyacinthus orientalis* L. [Kozlowska et al., 2016].

Полученные результаты позволяют рекомендовать нейтральный красный для достаточно простой, быстрой и надежной прижизненной оценки качества зрелых пыльцевых зерен растений, произрастающих в различных экологических условиях, в том числе экстремальных. Немаловажно и то, что данный краситель может быть использован для экспресс-оценки качества зрелой пыльцы при гибридизации в генетико-селекционных исследованиях хозяйственно ценных культур.

БЛАГОДАРНОСТИ

В ходе выполнения работы использована приборная база ЦКП «Агидель» УФИЦ РАН.

ФИНАНСОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Работа выполнена по теме № 123020800002-2 в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ № 075-01134-23-00.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабро А.А., Воронова О.Н. Особенности микроспорогенеза и формирования пыльцевого зерна у *Helianthus occidentalis* (Asteraceae) // Бот. журн. 2024. Т. 109(9). С. 876–885. DOI: 10.31857/S0006813624090033
2. Бажина Е.В., Седаева М.И., Экарт А.К. Жизнеспособность пыльцы ели сибирской в южной тайге Красноярского края // Лесоведение. 2020. № 4. С. 377–384. DOI: 10.31857/S002411482003002X
3. Батыгина Т.Б. Биология развития растений. Симфония жизни: монография. СПб.: Изд-во ДЕАН, 2014. 764 с.
4. Бейдеман И.Н. Методика изучения фенологии растений и растительных сообществ монография. Новосибирск: Наука, 1974. 155 с.
5. Бритиков Е.А. К физиолого-биохимическому анализу прорастания пыльцы и роста пыльцевых трубок в тканях пестика // Труды Ин-та физиол. раст. 1954. Т. VIII. Вып. 2. С. 3–58.
6. Бурмистрова Н.А., Лунькова Н.Ф., Красавина М.С., Паничкин Л.А. Использование Эванса голубого и нейтрального красного для оценки жизнеспособности клеток // Изв. ТСХА. 2017. Вып. 3. С. 39–50.
7. Зинатуллина А.Е. Оптимизация способа оценки жизнеспособности пыльцы // Междунар. журн. прикл. и фунд. исследований. 2016. № 2. Ч. 1. С. 130–132.
8. Световой микроскоп как инструмент в биотехнологии растений: монография / Круглова Н.Н., Егорова О.В., Сельдимирова О.А., Зайцев Д.Ю., Зинатуллина А.Е. Уфа: Гилем, 2013. 128 с.
9. Круглова Н.Н. Оценка качества пыльцевых зерен цветковых растений // Бюлл. ГНБС. 2020. Вып. 135. С. 50–56. DOI: 10.36305/0513-1634-2020-135-50-56
10. Круглова Н.Н. Экспериментальное выявление засухоустойчивых генотипов хлебных злаков на основе использования пыльников как интегрированных систем // ТВАН. 2022. № 4(32). С. 106–121. EDN AHNJVD
11. Круглова Н.Н., Зинатуллина А.Е. Системный подход к органогенезу пыльника *in vivo* как методологическая основа экспериментальных исследований *in vitro* (на примере злаковых и бобовых) // Экобиотех. 2018. Т. 1(3). С. 143–160. DOI: 10.3163/2618-964X-2018-1-3-143-160
12. Gomes-Mena C., Honys D., Datla R., Testilliano P. Editorial: Advances in Pollen Research: Biology, Biotechnology, and Plant Breeding Applications // Front. Plant Sci. 2022. V. 13. DOI: 10.3389/fpls.2022.876502
13. Browne R.G., Li S.F., Iacuone S., et al. Differential responses of anthers of stress tolerant and sensitive wheat cultivars to high temperature stress // Planta. 2021. V. 254(1). DOI: 10.1007/s00425-021-03656-7
14. Chazotte B. Labeling lysosomes in live cells with neutral red // Cold Spring Harb. Protoc. 2011. V. 2. DOI: 10.1101/pdb.prot5570
15. Dubrovsky J.G., Guttenberger M., Saralegui A., et al. Neutral red as a probe for confocal laser scanning microscopy studies of plant roots // Ann. Bot. 2006. V. 97(6). P. 1127–1138. DOI: 10.1093/aob/mcl045
16. Goel K., Kundu P., Sharma P., Zinta G. Thermosensitivity of pollen: a molecular perspective // Plant Cell Rep. 2023. V. 42(5). P. 843–857. DOI: 10.1007/s00299-023-03003-y

17. Hepler P., Winship L. The pollen tube clear zone: clues to the mechanism of polarized growth // J. Integr. Plant Biol. 2015. V. 57(1). P. 79–92. DOI: 10.1111/jipb.12315
18. Hernandez M.P., Katinas L. Technique for the identification of osmophores in flowers of herbarium material (TIOFH) // Protplasma. 2019. V. 256(6). P. 1753–1765. DOI: 10.1007/s00709-019-01398-8
19. Impe D., Reitz J., Kopnick C., et al. Assessment of Pollen Viability for Wheat // Front. Plant. Sci. 2020. V. 10. DOI: 10.3389/fpls.2019.01588
20. Kastury F., Juhasz A., Beckmann S., Manefield M. Ecotoxicity of neutral red (dye) and its environmental applications // Ecotoxicol. Environ. Saf. 2015. V. 122. P. 186–192. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2015.07.028
21. Kozlowska M., Niedojadlo K., Brzostek M., et al. Epigenetic marks in the *Hyacinthus orientalis* L. mature pollen grain and during in vitro pollen tube growth // Plant Reprod. 2016. V. 29. P. 251–263. DOI: 10.1007/s00497-016-0289-3
22. Kruglova N.N., Zinatullina A.E. Some Methodological Approaches to the Identification of Heat-Resistant Genotypes of Crop Plants (by the Examples of Cereals) // Biol. Bull. Rev. 2023. V. 13(4). P. 371–381. DOI: 10.1134/s2079086423040060
23. Mahlberg P. Localization of neutral red in lysosome structures in hair cells of *Tradescantia virginiana* // Canad. J. Bot. 2011. V. 50(4). P. 857–859. DOI: 10.1139/b72-102
24. Raghavendra A.S., Ye W., Kinoshita T. Editorial: pH as a signal and secondary messenger in plant cells // Front Plant Sci. 2023. V. 14. DOI: 10.3389/fpls.2023.1148689
25. Rodrigues R.M, Stinckens M., Ates G., Vanhaecke T. Neutral Red Uptake Assay to Assess Cytotoxicity In Vitro // Methods Mol. Biol. 2023. V. 2644. P. 237–245. DOI: 10.1007/978-1-0716-3052-5_15
26. Schwab B., Hulskamp M. Neutral red staining for plant vacuoles // Cold Spring Harb. Protoc. 2010. V. 6. DOI: 10.1101/pdb.prot4953
27. Zhang Z., Hu M., Xu W., et al. Understanding the molecular mechanism of anther development under abiotic stresses // Plant Mol. Biol. 2021. V. 105(1-2). P. 1–10. DOI: 10.1007/s11103-020-01074-z
28. Zhao C., Siddique A.B., Guo C., et al. A high-throughput protocol for testing heat-stress tolerance in pollen // *aBIOTECH*. 2024. DOI: 10.1007/s42994-024-00183-3

Цитировать как
Зинатуллина А.Е. Оценка жизнеспособности зрелых пыльцевых зерен по прижизненной кислотности, выявленной с помощью индикаторного красителя нейтрального красного // Экобиотех. 2025. Т. 8. № 1. С. 62-69. DOI: 10.31163/2618-964X/2025-6 EDN: OPLEMU

Cited as
Zinatullina A.E. Assessment of the viability of mature pollen grains by lifetime acidity, detected using the indicator dye neutral red. *Ecobiotech*. 2025. V. 8 (1). P. 62-69. DOI: 10.31163/2618-964X/2025-6 EDN: OPLEMU (In Rus.)

Сведения об авторе

Анна Евгеньевна Зинатуллина, к.б.н., Уфимский Институт биологии Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, Уфа, Россия. E-mail: aneta@ufaras.ru, AuthorID: 156746, ORCID: 0000-0002-8371-8557

Information About the Author

Anna E. Zinatullina, PhD in Biological Sciences, Ufa Institute of Biology of the Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Ufa, Russian Federation. E-mail: aneta@ufaras.ru, AuthorID: 156746, ORCID: 0000-0002-8371-8557