

ИНГИБИТОРНЫЙ МЕТОД СОХРАНЕНИЯ ДЕКОРАТИВНЫХ КАЧЕСТВ ЦВЕТОВ В СРЕЗКЕ

ПАНФИЛОВА О., ПИЛЬЩИКОВА Н.

Российский государственный аграрный университет-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия, e-mail: panfilova.of@yandex.ru

Abstract. Carnation and Alstroemeria petals senescence was studied. With the use of silver thiosulfate and 1-methylcyclopropene, the relativity of the concept of ethylene sensitivity was established. Installed differences in sensitivity to ethylene modern varieties of Carnation. In Alstroemeria ethylene only participates in the final stage of petals shedding. The effectiveness of Chrysal to prolong vase life is shown.

Key words: cut flower, ethylene, 1-methylcyclopropene, petal senescence, silver thiosulfate

Современное цветоводство характеризуется все возрастающими требованиями к качеству продукции, которая оценивается разнообразием, декоративностью и продолжительностью жизни в вазе. Прогресс в изучении процессов старения органов растения обеспечил развитие послеуборочной физиологии продовольственных и цветочных культур и ее приложение к практическим проблемам в связи с большими потерями продукции при транспортировке и хранении. Это находит отражение в публикациях журнала *Postharvest Biology and Technology*. После уборки в растительном материале продолжают протекать процессы жизнедеятельности, сопровождающиеся использованием запасенных питательных веществ, потерей воды, ускоренным старением и снижением товарных качеств продукции. Изучение послеуборочной физиологии не только способствует пониманию регуляции фундаментальных физиологических процессов, но также может обеспечить контроль старения для продления долговечности срезанных цветов.

Продолжительность сохранения декоративных качеств определяется наследственными свойствами гибрида или сорта, условиями выращивания и всей цепочкой распределения от производителя до потребителя, а также условиями жизни цветов в вазе. Старение растения и любого его органа является развертыванием во времени определенного блока программы развития, тесно связано с апоптозом и контролируется множеством генетических подпрограмм. Лепестки цветков имеют листовое происхождение, поэтому можно ожидать общность механизмов старения. Тем не менее, листья и лепестки выполняют разные функции, отличаются по продолжительности жизни, характеру развития и зависимости от внешних условий, поэтому можно ожидать различия в сигнальных системах и регуляции генов в процессе старения этих органов. Опыление является основным триггером, регулирующим гибель околоцветника. У многих видов растений его влияние опосредовано этиленом, который первоначально образуется в гинецее и вызывает автокаталитический синтез этилена в лепестках, приводящий к их завяданию. В процесс возрастных изменений вовлечено множество гормональных сигналов. Этилен является основным гормоном, способствующим старению цветков и листьев. В стареющих органах увеличи-

вается содержание абсцизовой кислоты (АБК), которая ускоряет распад белков, нуклеиновых кислот, хлорофилла, усиливает образование отделительного слоя в листовых черешках и цветоножках. Установлено, что в генеее цветков гвоздики содержание АБК начинает повышаться сразу же после срезки, достигая максимума через 5-7 дней, а затем снижается. В лепестках содержание АБК начинает повышаться через сутки после срезки, достигая максимума, как и содержание этилена, на 5-е сутки [1]. Эти данные указывают на важную роль взаимодействия АБК и этилена в детерминации старения цветка у гвоздики. Классическими и активно изучаемыми этилен чувствительными цветочными культурами являются гвоздика и петунья. Показано, что ингибирование биосинтеза этилена у трансгенных растений гвоздики ведет к сильному замедлению старения цветков. Установлено, что повышение уровня этилена при старении коррелирует с изменением экспрессии восьми генов *OLD*. Для воссоздания картины старения необходимы знания изменений в физиологических процессах и их структурной организации.

Неблагоприятными последствиями срезки цветов является нарушение целостности, приводящее к изменению гормонального баланса и метаболизма, отсутствию поступления из корней цитокининов, обладающих омолаживающим действием, возрастанию содержания этилена, затруднению поступления воды вследствие эмболии сосудов в отсутствии корневого давления, активации окислительного стресса с образованием активных форм кислорода.

В настоящей работе ставилась задача изучить физиологические особенности старения лепестков с разными способами регулирования этого процесса. Для выявления участия этилена в регуляции старения использованы ингибиторы его синтеза и чувствительности: тиосульфат серебра – STS (4 mM AgNO₃ : 32 mM NaS₂O₃) и 1 мкл л⁻¹ 1-метилциклопропен (1-MCP) [2], коммерческий препарат для продления жизни цветов в вазе Chrysal; в качестве контроля использована дистиллированная вода. Использованы популярные во флористике сорта гвоздики садовой (*Dianthus caryophyllus*) и альстромерии (*Alstroemeria peruviansis*).

Исследования проводили в осенне-зимние периоды 2016-2018 годов на облиственных цветущих побегах в лаборатории с естественным рассеянным светом при температуре воздуха 18-20°C. Декоративные качества цветов оценивали по 5-балльной шкале, учитывая стадию развития цветка, тургесцентность и окраску лепестков и листьев, наличие некротических пятен. Оценка 5 баллов: отличное состояние, 2-3 стадии развития цветка, яркая неповрежденная листва; 3-4 балла: 4-5 стадия развития цветка, листва в хорошем состоянии, при оценке 2 и ниже – 6-7 стадии развития цветка с наличием видимых признаков старения и завядания. Показатели водного обмена и активности антиоксидантных ферментов определяли общепринятыми методами [3]. Индекс стабильности мембран определяли по выходу электролитов из тканей, помещенных в деионизированную воду.

Двухфакторный дисперсионный анализ данных об изменчивости количества дней сохранения декоративных качеств в срезке в зависимости от раствора и сорта растения проведен в Microsoft Excel.

Утрата декоративных качеств срезанных цветов во многом определяется нарушением водного режима в связи с затруднением поглощения воды в результате закупорки проводящей системы пузырьками воздуха и продуктами жизнедеятельности гнилостных бактерий. Поэтому в первой серии опытов с гвоздикой основное внимание было уделено изучению параметров водного обмена в послеуборочный период. Срезка гвоздики в первые 6-8 дней характеризуется достаточно высоким уровнем водного обмена. В начале опыта лепестки и листья характеризовались близкими значениями интенсивности транспирации на уровне 150-200 мг/(г·ч) и водоудерживающей способности, о величине которой судили по водоотдаче за 30 минут. Водный дефицит тканей 6-7% свидетельствует о достаточной насыщенности тканей водой. После 2-х недель поглощение воды заметно снизилось, особенно в варианте Crusal. В варианте обработки STS у сортов Eskimo, Grana, Tico Tico поглощение воды было выше, чем в контроле.

Для гвоздики со слабо облиственным цветоносом наибольшее значение имеет не сохранность листьев, а состояние стебля. Уже через 5-7 дней жизни в вазе появляется ослизнение нижней части стебля и возрастает его ломкость. Из-за низкой облиственности побега основным органом, испаряющим воду, является цветок. У гвоздики при старении не происходит опадение лепестков. Один из самых очевидных симптомов старения лепестков – потеря воды, что обусловлено утратой целостности мембран. При этом увеличение выхода электролитов наблюдается раньше, чем появляются видимые признаки повреждения цветков.

Зависимость жизни в вазе от водного баланса побега усугубляется тем, что водный стресс в послеуборочный период приводит к существенному изменению гормонального баланса листьев и лепестков. Это выражается прежде всего в экспрессии генов биосинтеза и чувствительности к этилену, а также биосинтезе АБК. Считается, что этилен играет ключевую роль в инициации старения цветков. АБК является усилителем процесса старения, вызванным этиленом в большей степени, чем иницирующим фактором, поскольку обработка АБК не влияет на старение, если проведена предобработка ингибиторами действия этилена. Однако синхронное изменение увеличения содержания этих гормонов при естественном старении цветка делает невозможным вычленивать роль каждого из них в этом процессе после срезки [7, 8]. Так или иначе водный стресс приводит к нарушениям обменных процессов и состояния мембран, что ускоряет старение и смерть клеток. Изучение механизмов реализации запрограммированной гибели клеток (ЗКГ) при увядании

представляет интерес с точки зрения взаимодействия различных программ клеточной гибели, которыми, очевидно, располагают растения.

Изучение влияния обработки побегов раствором тиосульфата серебра (STS) подтвердило значительное увеличение сохранения декоративных качеств цветов у сортов Eskimo, Grana, Tico Tico. Время жизни в вазе увеличивалось в 2-2,5 раза. Однако для сортов Everest, Selima и Charon, как и в других сериях опытов [5, 6] эта обработка не дала значимого положительного эффекта. Это указывает на сортовые различия в реакции на этилен и, вероятно, на достижения селекции в выведении этилен нечувствительных сортов для увеличения их жизни в вазе. В литературе есть указания на использование селекционных линий, у которых длительная жизнь цветов связана либо с отсутствием производства этилена, либо с этилен нечувствительностью. И в том, и другом случае это связано с нарушением развития генеcea [2, 9].

Голландский препарат Chrysal увеличивал время жизни в вазе гвоздики на 25%. Его состав не известен. Но как все препараты для свежесрезанных цветов должен содержать питательные вещества и антисептики. pH раствора близко к нейтральному. Особенностью действия Chrysal является замедление развития срезанного цветка. В отдельных случаях в этом варианте цветки долго сохранялись полностью не распусившись, но затем завядали.

Дисперсионный анализ данных об изменчивости количества дней сохранения декоративных качеств гвоздики в срезке в зависимости от вазового раствора и сорта показал, что доля влияния вазового раствора составила 69 %, сорта – 12 %, взаимодействия факторов – 10%, случайных факторов – 9 %.

Альтромерия в последние годы становится важной частью мирового рынка цветов. Созданы гибриды с разнообразной окраской и длительным сроком жизни в вазе. Потеря декоративности часто бывает связана с пожелтением листьев, которое начинается раньше, чем происходит старение всех цветков в соцветии. Развитие цветка от стадии бутона до опадения околоцветника проходило примерно за 10 дней. В срезке происходит открытие новых бутонов соцветия. В первые 10-15 дней цветущие побеги характеризовались интенсивной жизнедеятельностью. За сутки хорошо облиственный побег поглощал 18-20 мл воды. Наблюдались закономерные устьичные движения с открыванием устьиц утром и закрыванием в вечернее время. Интенсивность транспирации днем составляла 250-350 мг/(г·ч). Листья сохраняли зеленую окраску, более темно-зеленой она была у сорта «Climate» за счет более высокого содержания хлорофилла а. По содержанию хлорофилла b и каротиноидов изученные сорта практически не различались. Через 20 дней отмечено снижение интенсивности водного обмена побегов. Устьица часто и днем оставались закрытыми, интенсивность транспирации снизилась до 130-180 мг/(г·ч). При этом водо-

удерживающая способность тканей также снижалась, что может быть связано с распадом белков при старении листьев. Содержание пигментов в листьях уменьшилось в 2-2,5 раза, в основном за счет хлорофиллов. Наиболее интенсивно процессы старения листьев были выражены в варианте с STS. По состоянию лепестков, о котором судили по выходу электролитов из ткани, именно этот вариант характеризовался более медленным старением цветков. Обработка STS задерживала время опадения лепестков у изученных сортов на 2 - 3 дня. Более эффективной оказалась обработка 1-МСП, блокирующим рецепторы этилена. Сохранение декоративных качеств увеличилось на 6 дней. При этом во всех случаях увеличение продолжительности жизни происходило за счет более медленного прохождения заключительных стадий развития цветка. Ключевые события старения лепестков происходят на стадии полного открытия околоцветника без видимых признаков старения. Индекс стабильности мембран сохранялся на уровне 82% на ранних стадиях развития цветка как в контрольном, так и опытных вариантах, его падение до 42% в контроле и 60% в опыте предшествовало видимым признакам старения. Дестабилизация мембран, сопровождающая старение, является следствием перекисного окисления липидов в условиях снижения антиоксидантной активности клетки. Триггером процесса старения может выступать пороговый эффект одного или нескольких постепенных биохимических процессов, связанных с протеолитической активностью и разрушением сложных липидов, обеспечивающих мобилизацию питательных веществ. Детальное изучение в динамике изменения сырой и сухой массы [4] показало, что относительные потери массы были сравнимы при старении листьев и лепестков. Это свидетельствует о том, что у альстромерии завядание лепестков связано с реутилизацией веществ. Однако старение лепестков не является следствием постепенного использования ресурсов и истощения клеток. Показано, что у многих видов растений некоторые индикаторы ЗГК проявляются на ранних стадиях развития цветка. Они включают постепенное возрастание экспрессии цистеин протеазы, а также резкое снижение липоксигеназной активности и содержания липидов [9].

Препарат Chrysal достоверно повысил сохранение декоративных качеств цветущих побегов альстромерии до 25-28 дней, не замедляя развитие отдельных цветков. Результаты двухфакторного дисперсионного анализа данных показали, что наиболее сильное влияние на сохранение срезки оказывает вазовый раствор (доля влияния – 61%), сорт – 15%, взаимодействие факторов – 18%.

Современные нанотехнологии сохранения декоративных качеств срезанных цветов уделяют особое внимание стратегии управления этиленом путем загрузки в коллоидные носители ингибиторов биосинтеза этилена и чувствительности к нему, технологий удаления этилена на всей цепочке распределения от производителя до потребителя. Однако,

признавая значение этилена в старении, надо понимать, что только у ограниченного круга растений он является триггером процесса старения. Чувствительность к этилену является дополнительным уровнем управления темпами старения лепестков на заключительном этапе для повышения эффективности использования органических веществ на формирование семян.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Кошкин Е.И., Адрианов В.Н., Панфилова О.Ф., Пильщикова Н.В. Физиологические основы качества продукции цветоводства – М.: РГАУ-МСХА. – 2012. – 295 с.
2. Кошкин Е.И., Панфилова О.Ф., Пильщикова Н.В. Качество продукции цветоводства: проблемы и решения. Интерактивный курс. – М.: РГАУ-МСХА. – 2012. – 266 с.
3. Панфилова О.Ф., Пильщикова Н.В., Фаттахова Н.К. Практикум по физиологии растений – М.: РГАУ-МСХА. – 2010. – 110 с.
4. Панфилова О.Ф., Пильщикова Н.В. Жизнь в вазе срезанных цветов гвоздики садовой и альстромерии // Научные труды Субтропическое и декоративное садоводство. – Сочи: ВНИИЦиСК. – 2014. – Вып. 51. – С. 248-255.
5. Панфилова О.Ф., Пильщикова Н.В. Изучение действия ингибиторов этилена на стабильность мембран лепестков в связи с жизнью в вазе срезанных цветов. В сборнике: Современные аспекты структурно-функциональной биологии растений: от молекул до экосистем Всероссийская научная конференция с международным участием. IV чтения, посвященные памяти профессора Ефремова Степана Ивановича. 2017. – С. 202-209.
6. Пильщикова Н.В., Панфилова О.Ф. Чувствительность к этилену и регуляция старения лепестков гвоздики и альстромерии. // Доклады ТСХА. – 2016. – № 288-1. – С. 68-72.
7. Ebrahimzadeh, A. S., Jimenez-Becker A., Manzano-Medina S., Jamilena- Quesada M., Lao-Arenas M. T. Evaluation of ethylene production by ten Mediterranean carnation cultivars and their response to ethylene exposure // Spanish Journal of Agricultural Research. – 2011. – Vol. 9. No 2. – P. 524-530.
8. Paliyath G. Postharvest Biology and Technology of Fruit, Vegetables and Flowers. –Wiley-Blackwell. – 2008. – 496 p.
9. Rogers H.J. Programmed cell death in floral organs: how and why do flower die? /H.J. Rogers // Annals of Botany. – 2006. – V. 97. – P. 309-315