

УДК 575.224.4:[631.52:635.051

UDC 575.224.4:[631.52:635.051

4.1.2. Селекция, семеноводство и биотехнология растений (биологические науки, сельскохозяйственные науки)

4.1.2. Plant breeding, seed production and biotechnology (Biological sciences)

ХЕМОМУТАГЕНЕЗ В СЕЛЕКЦИИ ДЕКОРАТИВНЫХ ЦВЕТОЧНЫХ КУЛЬТУР

CHEMOMUTAGENESIS IN THE SELECTION OF ORNAMENTAL FLOWER CROPS

Баюров Леонид Иванович

к. с.-х. н., доцент

SPIN-код: 3777-5470, AuthorID: 270952

Тел.: 8(918)413-51-86

E-mail: leo56@mail.ru

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина», г. Краснодар, Россия

Bayurov Leonid Ivanovich

Cand.Agr.Sci., associate Professor

RSCI SPIN-code: 3777-5470, AuthorID: 270952

Tel.: 8(918)413-51-86

E-mail: leo56@mail.ru

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin", Krasnodar, Russia

Цветочные культуры включают в себя широкий спектр декоративных однолетних и многолетних растений, которые выращиваются в коммерческих целях благодаря эстетической привлекательности их цветов. Выведение новых декоративных сортов с улучшенными характеристиками является одной из главных целей в современном декоративном цветоводстве. Индукция мутаций используется с начала XX века для увеличения генетического разнообразия и выведения новых сортов цветов с улучшенными характеристиками, качеством, адаптацией и рыночной ценностью. Эксперименты по индукции мутаций успешно создают генетическую изменчивость и новые фенотипы у различных видов растений. Мутационная селекция, основанная на индукции генетических вариаций с помощью как физических, так и химических мутагенов, стала важным методом улучшения декоративных свойств растений, таких как окраска и форма лепестков цветков, удлинение сроков цветения, а также устойчивость к вредителям, болезням и стрессам. Заметное преимущество индукции мутаций заключается в способности получать растения методами химического мутагенеза, закреплении генетической вариации и желательной модификации одного или нескольких признаков у растений. По сравнению с физическими мутагенами, некоторые химические вещества легко проникают в растительные клетки и эффективно модифицируют азотистые основания нуклеиновых кислот. Этилметансульфонат, N-нитрозо-N-метилмочевина, N-нитрозо-N-этилмочевина, метилметансульфонат, диэтилсульфат, этиленимин и N-нитрозогуанидин являются обычно используемыми химическими мутагенами в селекции декоративных цветочных культур

Flower crops include a wide range of ornamental annuals and perennials that are grown commercially due to the aesthetic appeal of their flowers. The development of new decorative varieties with improved characteristics is one of the main goals in modern decorative floriculture. Mutation induction has been used since the beginning of the 20th century to increase genetic diversity and breed new varieties of flowers with improved characteristics, quality, adaptation and market value. Mutation induction experiments successfully create genetic variation and new phenotypes in different plant species. Mutational selection, based on the induction of genetic variation by both physical and chemical mutagens, has become an important method for improving the decorative properties of plants, such as the color and shape of flower petals, lengthening flowering periods, and resistance to pests, diseases and stresses. A notable advantage of mutation induction is the ability to produce plants by chemical mutagenesis, the anchoring of genetic variation, and the desired modification of one or more traits in plants. Compared to physical mutagens, some chemicals easily penetrate plant cells and effectively modify nucleic acid nitrogenous bases. Ethylmethanesulfonate, N-nitroso-N-methylurea, N-nitroso-N-ethylurea, methyl methanesulfonate, diethyl sulfate, ethyleneimine, and N-nitrosoguanidine are commonly used chemical mutagens in the selection of ornamental flower crops

Ключевые слова: ЦВЕТОЧНЫЕ КУЛЬТУРЫ, ПРИЗНАКИ, СЕЛЕКЦИЯ, ХЕМОМУТАГЕНЕЗ, ИНДУЦИРОВАННЫЕ МУТАЦИИ

Keywords: FLOWER CROPS, TRAITS, SELECTION, CHEMOMUTAGENESIS, INDUCED MUTATIONS

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-207-002>

<http://ej.kubagro.ru/2025/03/pdf/02.pdf>

Введение. Цветоводство получило огромную выгоду от биотехнологий и индуцированных мутаций, и существует большой потенциал для дальнейшего улучшения декоративных растений, имеющих коммерческую ценность. Промышленное цветоводство является довольно прибыльным для экспорта на международном рынке, и оказывает большое воздействие на укрепление социально-экономических аспектов в странах.

Индуцированный мутагенез и индукция мутантов путем применения физических и химических мутагенов остается, несмотря на появление новых технологий производства нового сорта, важная часть селекции декоративных и флорикультурных растений. Благодаря относительно простой в применении технология, как в *in vitro*, так и *in vivo*, новые варианты в форме растений, цвете и форме листьев и цветов могут быть получены без отрицательного воздействия на здоровье людей.

О возникновении мутаций в результате воздействия химических веществ на зародышевые клетки сообщалось неоднократно. Однако изменчивость частоты спонтанных мутаций и ее зависимость не только от паратипических и физиологических факторов, но и от генотипа, чрезвычайно затрудняло оценку значимости тестов, в которых было установлено лишь небольшое увеличение частоты индуцированных мутаций.

Эксперимент, проведенный еще в 1941 г. Шарлоттой Ауэрбах, Джоном Робсоном и Дж. Карром – сотрудниками Института генетики и молекулярной медицины Эдинбургского университета (Шотландия) – на самцах плодовой мушки (*Drosophila melanogaster*) с использованием иприта и родственных ему веществ, впервые доказал, что химические вещества могут вызывать мутации [5].

Одним из основоположников химического мутагенеза стал также советский ученый, член-корреспондент АН СССР Иосиф Абрамович Раппорт (1912–1990), который выдвинул теорию о том, что небольшая часть из огромного разнообразия химических мутагенов обладает супер- или ги-

пермутагенной активностью, что, помимо увеличения выхода самих мутантов, способствует проявлению у них доминантных признаков уже в первом поколении [2].

Цветочные культуры включают в себя широкий спектр декоративных однолетних и многолетних растений, которые выращиваются в коммерческих целях для придания их цветочным композициям эстетической привлекательности. Мутации используются с начала 20 века для увеличения генетического разнообразия и выведения новых сортов цветов с улучшенной урожайностью, качеством, адаптацией и рыночной стоимостью.

Эксперименты с мутациями успешно создали генетическую изменчивость и новые фенотипы у различных видов цветов. Мутационная селекция, которая включает в себя индукцию генетических вариаций с помощью физических и химических мутагенов, стала жизненно важным методом улучшения декоративных свойств растений, таких как окраска и форма цветков, устойчивость к болезням и стрессоустойчивость.

Международная индустрия цветоводства, которая включает в себя букеты из срезанных цветов, растения в горшках за последние несколько десятилетий резко расширилась и превратилась в предприятие стоимостью в несколько миллиардов долларов. По мере роста уровня доходов во всем мире спрос на товары для цветоводства становится все более устойчивым.

Мутации представляют собой фундаментальный источник всех генетических вариаций, которые служат основой эволюции и являются полезной стратегией для улучшения хозяйственных качеств растений. Эти генетические изменения могут происходить естественным путем с очень низкой частотой или могут быть вызваны искусственно с помощью как физических, так и химических мутагенов.

Результатом мутационной селекции стали тысячи улучшенных сортов с высокой декоративностью и повышенной устойчивостью к вредите-

лям, болезням и стрессам, что стало фундаментом современной селекции растений, наряду с рекомбинантными и трансгенными методами селекции.

Обсуждение. В коммерческом цветоводстве всегда есть спрос на новые сорта. Мутации наиболее успешно используются в этой отрасли, опубликовано много исследований по декоративным культурам, использующим классические методы и методы *in vitro*, в которой основное внимание уделялось различным аспектам: радиочувствительность, отбор исходного материала, подходящая доза мутагенов, комбинированное острое и хроническое облучение, технология ионного пучка, природа химеризма, классические и современные методы работы с химерами, мутагенез *in vitro*, директивная мутация, выделение мутантов и т. д.

Индукцированный мутагенез широко изучался у различных видов, что привело к некоторым ключевым успехам в разработке и выпуске коммерческих мутантных сортов. Несмотря на значительные исследования мутаций у цветочных культур, всестороннего анализа воздействия различных мутагенов не хватает. Кроме того, было проведено ограниченное изучение потенциального воздействия на окружающую среду и проблем безопасности, связанных с методами размножения мутаций в этих культурах.

Генетическая стабильность и долгосрочная устойчивость мутировавших сортов цветов также требуют дальнейшего изучения. Более того, сравнительные исследования традиционных методов селекции и методов мутационной селекции цветочных культур проводятся редко, что подчеркивает критический пробел в текущих исследованиях.

Традиционно мутагенез использовался для создания новых генетических вариаций у декоративных растений. Индуцированная, то есть искусственно вызванная, мутация может быть двух типов:

1) *макромутационной*, когда проявляются явные морфологические изменения в фенотипе определенного организма;

2) *микромутационной* – мутация с невидимыми фенотипическими изменениями, поддающиеся количественному измерению на уровне популяции. Микромутации приводят к генетической изменчивости количественных признаков растительных организмов. Поэтому селекционеры уделяют особое внимание именно им. К мутагенам относятся различные физические, химические и биологические агенты (рисунок 1).

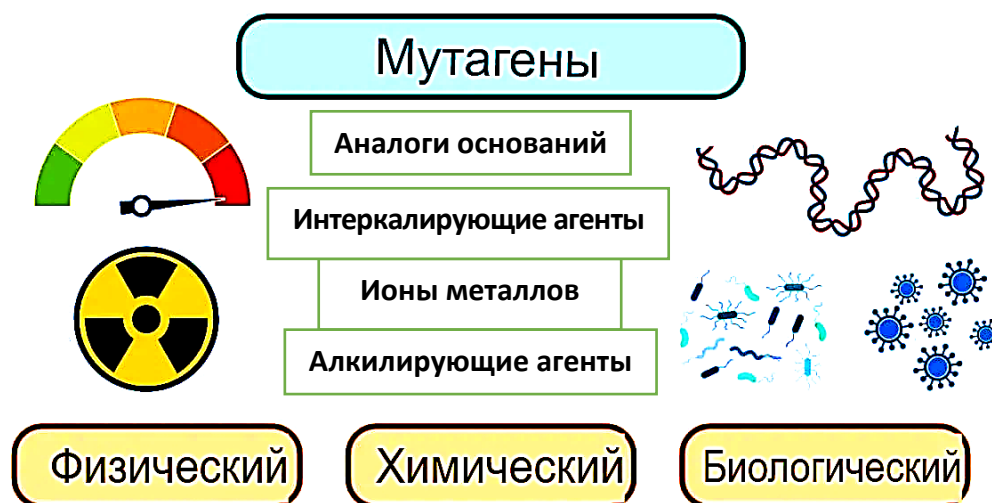


Рисунок 1 – Группы мутагенных факторов

Физические мутагены — это ионизирующие излучения, которые ионизируют молекулы воды в клетках, высвобождая гидроксильный радикал (OH^\bullet), который является мощным окислителем. Он окисляет фосфодиэфирную связь ДНК. Высокая доза рентгеновских лучей может даже привести к гибели организма.

Азотистые основания максимально поглощают ультрафиолетовый свет при длине его волны 260 нм. Если два тимина находятся рядом в одной цепи ДНК, то ультрафиолет вызывает их слияние с образованием димера тимина. В месте образования димера тимина структура ДНК меняется, поэтому при репликации молекул ДНК вероятность мутации очень высока.

Известно, что многие химические соединения повышают изменчивость генов. Химические мутагены воздействуют на хромосомную ДНК прямым изменением гена либо ошибкой копирования. По своей химической природе они могут быть отнесены к различным группам, таким как: аналоги азотистых оснований, интеркалирующие агенты, ионы металлов и алкилирующие агенты.

Аналоги азотистых оснований имеют структурное сходство с основаниями, то есть пуринами и пиримидинами. Они встраиваются в структуру ДНК во время репликации из-за структурного сходства между этими веществами и основаниями ДНК. Примерами этих соединений являются 5-бромурацил, аминопурин, 5-хлорурацил, азотистая кислота, гидроксамин, азид натрия. Как и аденин, аминопурин может образовывать пару оснований с цитозином или тимином (хотя первый вариант встречается достаточно редко). Некоторые дополнительные аналоги оснований, в том числе уретановый триазин, кофеин, фенол, акридин, профлавин и другие, также являются мутагенами. 5-бромурацил образует таутомерные формы. Кетоформа 5-бромурацила заменяет тимин в ДНК и образует пару с аденином в ДНК. Энольная форма 5-бромурацила образует комплементарную пару оснований с гуанином.

Интеркалирующие молекулы имеют гидрофобную структуру гетероциклического кольца, напоминающую структуру кольца пары азотистых оснований. К наиболее распространенным интеркалирующим факторам относятся бромид этидия ($C_{21}H_{20}BrN_3$), профлавин ($C_{13}H_{11}N_3$), акридиновый оранжевый ($C_{17}H_{19}N_3$), дактиномицин ($C_{62}H_{86}N_{12}O_{16}$) и даунорубицин ($C_{27}H_{29}NO_{10}$). Эти вещества, встраиваясь в спираль молекулы ДНК, препятствуют транскрипции, репликации и вызывают удаление или вставку пар азотистых оснований, то есть мутации со сдвигом рамки считывания или даже двухцепочечные разрывы (профлавин).

Под воздействием катионов металлов, таких как никель, хром, кобальт, кадмий, мышьяк, хром и железо образуются активные формы кислорода, которые могут приводить к гиперметилованию молекул ДНК. Это способствует повреждению ДНК и затрудняет процесс ее восстановления. Кроме того, у многих организмов некоторые неорганические вещества, как, например, хлорид марганца, являются мутагенными, поскольку связывают кальций и нарушают целостность структур хромосом.

Алкилирующие агенты — это химические вещества, индуцирующие образование алкильных групп, которые увеличивает ионизацию, что приводит к ошибкам в спаривании оснований и в конечном итоге к образованию разрывов в цепи ДНК. К наиболее распространенным алкилирующих факторам относятся азотистая кислота, этилнитрозомочевина, метилгидразин, дакарбазин, формальдегид, винилхлорид, эпоксида, диметил- и диэтилсульфонат, сернистый и азотистый иприт, метил- и этилметансульфонат (ММС и ЭМС) и нитрозогуанидин (НГ). Однако эти вещества могут быть удалены из молекул ДНК в процессе ее восстановления во время депуринизации.

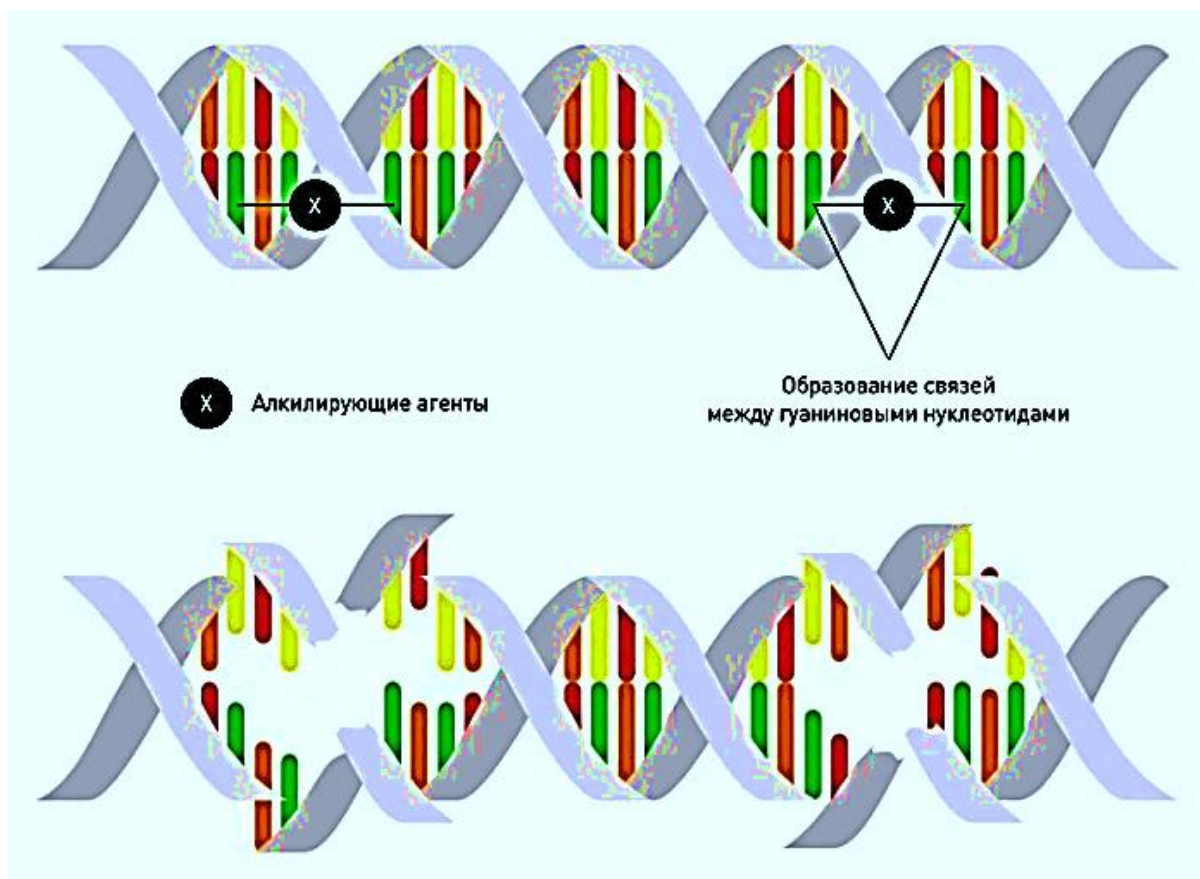


Рисунок 2 – Действие алкилирующих агентов на молекулу ДНК

Более 80 % зарегистрированных новых мутантных сортов растений были получены с помощью алкилирующих агентов. Они могут вступать в реакцию с ДНК путем алкилирования фосфатных групп в фосфодиэфирном остове, а также различных имино- или карбонильных групп, присутствующих на пуриновых или пиримидиновых основаниях (рисунок 2). Из них важны три соединения: этилметансульфонат, 1-метил-1-нитрозомочевина ($C_2H_5N_3O_2$) и 1-этил-1-нитрозомочевина ($C_3H_7N_3O_2$), на долю которых приходится до 65 % этих разновидностей.

И, наконец, биологические мутагены включают в себя *транспозоны* – участки ДНК, способные к транспозиции (то есть передвижению), инсерционные последовательности (IS), вирусы и бактерии. Первые из них представляют собой единицы ДНК, которые обеспечивают самонаправленное образование и перемещение фрагментов ДНК. Они являются самыми короткими транспозонами (длиной от 10 до 50 пар оснований).

Поскольку IS и транспозоны перемещаются по ДНК, их называют «прыгающими» генами. Функциональность генов нарушается, когда транспозоны встраиваются в хромосомную ДНК. Информация для фермента транспозазы, который помогает создавать новые места транспозиции в ДНК, кодируется как IS, так и транспозонами. Обычно встречаются три типа транспозонов:

- а) *репликативные*, которые сохраняют исходный локус и перемещают свою копию;
- б) *консервативные*, когда исходный транспозон перемещает сам себя;
- в) *ретро-*, которые перемещаются через промежуточные РНК-последовательности.

Вирусы. Включение вирусной ДНК в геном может привести к нарушению генетической функции. Вирусы вызывают делеции (потери участков хромосом), инсерции (включение в хромосому дополнительного

участка другой молекулы ДНК) и точечные изменения, в том числе замена азотистых оснований. Некоторые *бактерии*, вызывающие воспаление, такие как, например, *Helicobacter pylori*, вырабатывают активные формы кислорода, что приводит к повреждениям молекул ДНК и снижению их способности к репарации. Повышение активности индуцированной активацией цитидиндезаминазы (фермента, способствующего утилизации пиримидина) связывают мутагенез с раком.

Все вещества, способные вызывать изменения в генетическом материале, можно разделить на две группы: участники первой из них приводят к увеличению числа хромосом (полиплоидии) и включают в себя колхицин ($C_{22}H_{25}NO_6$), аценафтен ($C_{12}H_{10}$), гамма-ГХС или линдан ($C_6H_6Cl_6$), закись азота (N_2O) и др. Мутагены второй группы вызывают точечные мутации – изменения в структуре хромосом. К ним относятся метилметансульфонат ($(CH_3)_2SO_3$), диметилсульфат ($(CH_3)_2SO_4$), этиленмин (C_2H_5N) и ряд др.

Воздействие химических мутагенов на растительный материал обычно считается более мягким, чем лучевое. Обычно растительный материал замачивают в растворе мутагена, чтобы вызвать мутации. Концентрация мутагена, продолжительность обработки и температура влияют на эффективность мутагенеза. Преимущество химических мутагенов состоит в том, что их можно применять без сложного оборудования.

Однако существует несколько практических проблем, связанных с химическими мутагенами (замачивание семян, проникновение в соответствующие клетки-мишени, безопасность обращения и утилизации, плохая воспроизводимость, стойкость мутагена или его метаболитов). Несмотря на большое количество мутагенных соединений, лишь небольшое их количество было протестировано на растениях. По сравнению с физическими мутагенами, некоторые химические вещества легко проникают в растительные клетки и эффективно модифицируют азотистые основания нуклеиновых кислот.

Мутагены могут вызывать множество мутаций в различных органах растений, таких как семена, луковицы, каллус, пыльца и т. д. Таким образом, химические мутагены не только дополняют физические мутагены, но и, в некоторых случаях, помогают преодолеть межвидовые барьеры стерильности.

Однако эти химические вещества представляют проблему остаточной токсичности и требуют принятия сложных мер безопасности во время мутагенной обработки. Использование химических мутагенов в селекции растений увеличивает генетическое разнообразие растений за счет индуцирования изменчивости, значительно расширяя диапазон вариативности и увеличивая возможность выведения и отбора сортов с экономически ценными признаками [1].

Химический мутагенез – достаточно эффективный инструмент индуцирования мутаций у растений. В качестве материала для него часто используются семена. Биологическое воздействие химического мутагена на них определяется поглощенной дозой (то есть произведением концентрации мутагена на время воздействия после поглощения мутагена семенами). Однако на практике обычно используется понятие экспозиционной дозы (произведения концентрации мутагена на время обработки), поскольку время поглощения мутагена неизвестно.

Очевидно, что поглощения является более важной. Это связано с тем, что химические мутагены начинают оказывать биологическое действие на организм только после того, как будут поглощены. На этот процесс могут повлиять такие факторы, как концентрация раствора мутагена и содержание воды в тканях организма. Поэтому одна и та же экспозиционная доза не обязательно создаст одну ту же поглощенную дозу.

Было обнаружено, что предварительное замачивание может замедлить всасывание ЭМС и, следовательно, уменьшить вред, наносимый этим

мутагеном в течение времени обработки, хотя вряд ли может повлиять на биологический эффект после его всасывания.

Исследование, проведенное В. Лаваньей с соавторами, показало, что предварительное двухчасовое замачивание черенков жасмина (*Jasminum auriculatum*) и обработка ЭМС в концентрациях 5–30 мМ (миллимолей) в течение 2 ч способствовало росту числа мутаций [8].

Летальность, стерильность, а также снижение способности растений к регенерации из таких тканей, как цветочные цветоножки, относится к числу вредных последствий, которые могут возникнуть в результате действия ЭМС. Это один из наиболее часто используемых алкилирующих агентов, который может вызывать химическую модификацию нуклеотидов путем введения алкильной группы, что приводит к изменениям оснований и мутациям нуклеотидов.

Азид натрия (NaN_3) и диметилсульфат $(\text{CH}_3)_2\text{SO}_4$ являются химическими мутагенами, которые действуют как алкилирующие агенты и считаются наиболее мощными мутагенами для растений. Их применение на растениях достаточно просто, недорого и приводит к улучшению их свойств. Эффективность получения мутантов зависит от многих условий, таких как pH, уровня влажности, температуры, концентрации и продолжительности обработки. Мутагены вызывают точечные мутации, повреждая отдельные локусы хромосом, и, таким образом, повышают устойчивость растений к действию неблагоприятных паратипических факторов [4].

Роза. Благодаря своей популярности во всем мире в качестве срезанных цветов и садового растения, она на протяжении десятилетий оставалась очень подходящим видом для исследования индуцированного мутагенеза. Несмотря на высокую экономическую значимость, о генетике роз, структуре их генома и функциях их генов известно пока немного.

Причинами недостатка информации являются полиплоидия большинства сортов, простые стратегии селекции, высокая скорость выведения новых сортов и недостаточное государственное финансирование.

Мутагенная обработка включает целенаправленные обработки верхушек побегов, спящих черенков, культур побегов *in vitro* и эмбрионных каллусов в дополнение к семенному материалу. ЭМС и азид натрия обычно применяются для обработки семян при замачивании. Ключевые признаки, улучшенные в результате отбора индуцированных мутантов, включают изменение цвета цветков, размера, запаха и способности к повторному цветению, а также повышенную устойчивость к биотическим стрессам, таким как мучнистая роса, черная пятнистость и вирус розовой мозаики.

Гвоздика (*Dianthus caryophyllus*), как важный коммерческий цветок, с 1940-х гг. претерпела обширные программы селекции с мутациями при использовании различных физических и химических мутагенов. В исследовании индийских ученых во главе с Раджибом Ройчоудхури [11] для анализа их влияния на прорастание семян, выживаемость и стерильность пыльцы в первом (F_1) и втором (F_2) поколениях мутантов использовались этилметансульфонат, азид натрия и колхицин в трех разных концентрациях (0,1; 0,4 и 0,7 % – соответственно).

Было отмечено, что при увеличении дозы ЭМС и азида натрия процент прорастания и выживаемость снижались, в то время как увеличенные дозы колхицина способствовали пропорциональному увеличению прорастания семян на стадии рассады, хотя сами растения не доживали до зрелости. С увеличением дозы мутагенов также повышалась стерильность пыльцы. Влияние химического мутагенеза на биологические показатели при обработке азидом натрия (0,7 %) в F_1 и ЭМС (0,7 %) в F_2 было более благоприятным по сравнению с колхицином. Для каждого исследуемого параметра химический мутагенез в M_1 был выше, чем в M_2 . Таким обра-

зом, эти мутагены можно использовать для улучшения всхожести и метрических характеристик гвоздики.

Обработка верхушек побегов, узловых сегментов и каллусных культур привела к появлению широкого спектра вариаций цвета и формы цветков. Ключевые агрономические свойства, такие как повышенная устойчивость к фузариозу, повышенная урожайность и более длительный срок хранения в вазах, также были успешно достигнуты с помощью индуцированного мутагенеза.

Более 13 новых сортов с измененной окраской цветков были выведены с помощью рентгенографии и ЭМС-обработки [6]. Гвоздики являются одними из самых первых растений, включенных в программы селекции с мутациями, при этом первые зарегистрированные мутанты демонстрировали изменения в окраске и типах цветков. Индийский институт садоводческих исследований в Бангалоре вывел первый сорт в Индии, Пламя Арки (Arka Flame), в результате селекции мутации *in vitro*. Недавно была получена еще одна разновидность – Арка Техас (Arka Tejas).

Хризантема (*Chrysanthemum*) широко выращивается и является незаменимой срезочной культурой в Китае, Японии, Франции, США, Индии и Великобритании. Она занимает второе место среди срезочных культур, продаваемых на международном рынке цветов, после розы. Хризантема содержит большинство мутантных сортов, что делает мутационную селекцию одним из наиболее широко используемых методов селекции.

Благодаря своему природному разнообразию и гетерозиготному генотипу хризантема обладает высокой способностью вызывать генетические вариации с помощью физических или химических мутагенов. Соответственно, мутагенные методы лечения хризантемы были довольно широко изучены для изменения формы, размера, цвета цветка, чувствительности к фотопериоду и реакции на биотические и абиотические стрессы.

Согласно базе данных МАГАТЭ (2022), количество отобранных сортов-мутантов декоративных растений составляет 728, из которых 285 (или около 40 %) являются сортами хризантем. Характеристики мутантов включают окраску, форму и размер цветков [7].

Азид натрия использовали для индуцирования фенотипической изменчивости растений хризантемы садовой (*Chrysanthemum morifolium*). Кроме того, были получены мутации 4-х сортов хризантемы («Хома», «Фариба 2», «Арина» и «Делкаш») с помощью обработки 0,5%-ным раствором ЭМС. Была подтверждена эффективность используемого препарата. При виртуальном мутагенезе индуцированные ЭМС-мутации могут быть полезны для дальнейшей селекции новых сортов хризантемы [3, 9].

Мутанты могут быть отобраны и размножены вегетативно для получения пригодных для срезки цветов. Колхицин (в концентрации 0,06 %) был успешно использован для развития мутации окраски цветков у сорта хризантемы Шарад Бахар (Sharad Bahar) с фиолетовой окраской, тогда как у мутанта Колчи Бахар (Colchi Bahar) она стала терракотово-красной.

Бугенвиллея (*Bougainvillea*) — одна из самых интересных и популярных многолетних декоративных культур в цветоводстве, которая используется в различных целях и является очень подходящим растением для междисциплинарных исследований благодаря разнообразию окраски прицветников, листьев и размеров растения (рисунок 3).

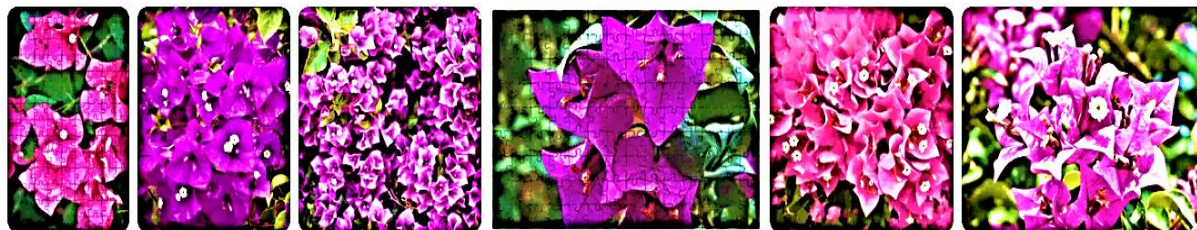


Рисунок 3 – Различные мутантные формы бугенвиллеи

Необычный рисунок на листьях делает это растение еще более привлекательным. Это универсальное растение, которое хорошо растет в тропических и субтропических условиях. Были предприняты попытки улучшить бугенвиллею для выведения новых сортов путем индуцированной мутации. Хотя большинство сортов бугенвиллеи выведены посредством естественных мутаций, в то же время индуцированные мутации и гибридизация также вносят значительный вклад в получение ее новых коммерческих форм.

Для получения новых мутаций у *эустомы крупноцветковой* (*Eustoma grandiflora*) *in vitro* использовали различные концентрации колхицина (30, 60, 120 и 240 мг/л) и азида натрия (5, 10, 15 и 20 мг/л). Побеги эустомы обрабатывали в течение 7, 14 и 28 дней. На стадии акклиматизации большинство морфологических параметров и содержание антоцианового пигмента в цветках снизилось при большинстве обработок азидом натрия.

Самый высокий процент выживаемости акклиматизированных растений (70 %) и самые высокие значения количества побегов, их длины, площади листьев, большинства цветочных параметров, фотосинтетических пигментов, каротиноидов и морфологической структуры были получены при экспозиции 28 дней и использовании на один литр раствора 5 и 10 мг азида натрия, а также 30 и 60 мг колхицина (рисунок 4).



Рисунок 4 – Мутационные формы эустомы крупноцветковой

Бальзамин садовый, недотрога (*Impatiens balsamina*) — популярное декоративное растение с красивыми цветками и необычными формами. Исследование вьетнамских ученых было посвящено применению этилметансульфоната (ЭМС) в селекции бальзаминов для создания разнообразных вариаций и повышения декоративной и эстетической ценности этого вида растений. С этой целью семена бальзамина обрабатывали ЭМС в разных концентрациях (0; 0,4; 0,6 и 0,8 %) в течение 3 дней перед посевом в горшки.

Исследуемые параметры включали всхожесть, гибель по сравнению с контролем (%), способность к выживанию на разных стадиях (%), частоту и эффективность мутаций, а также морфологические характеристики бальзамина. В результате все дозы ЭМС снизили всхожесть и выживаемость растений, изменила высоту растений и длину листьев, но не оказали существенного влияния на диаметр стебля, ширину и площадь листовых пластинок растений.

Всего было получено 10 морфологических мутаций. Мутации, связанные с окраской цветков, такие как E3 (темно-фиолетовый), E5 (розово-оранжевый) и E9 (бледно-фиолетовый с частичной потерей пигментации на нижней кромке лепестков), E7 (светло-розовый) и E8 (красновато-фиолетовый), с большим количеством цветков, чем у контрольной группы, указывают на их потенциал для выведения новых сортов. Концентрация 0,6 % ЭМС в течение 3 дней была наиболее подходящим вариантом с самой высокой частотой мутаций и эффективностью 14,3 и 0,7 % — соответственно [10].

Тубероза (*Polianthes tuberosa*) — один из 15 видов монотипного рода однодольных многолетних луковичных растений семейства Амариллисовых. Применение технологии мутаций для создания генетической изменчивости у туберозы ограничено. Почти все эксперименты по мутагенезу проводились с белыми цветами. Различные мутагены, дозы их применения

и их влияние на различные вегетативные и цветочные признаки представлены в хронологическом порядке.

С помощью классических методов мутации не удалось получить ни одного мутанта с измененной окраской цветков. Были зарегистрированы вариации в характере роста, типе цветков и пятнистости листьев. В Индии было проведено исследование мутагенного эффекта по влиянию мутагенов (диэтилсульфата в концентрациях 15, 20, 25 и 30 мМ и этилметансульфоната в концентрациях 30, 45, 60 и 75 мМ) на прорастание, выживаемость и рост луковиц.

Результаты проведенного исследования показали, что низкие дозы способствовали прорастанию луковиц и улучшали параметры роста. В целом, изменения в характеристиках цветков наблюдались во всех вариантах обработки, кроме контроля. Значения ЛД₅₀ для химических мутагенов составили 25 мМ для диэтилсульфата и 60 мМ – для этилметансульфоната. При этом вариативность морфологических параметров растений и цветков были выше при обработке низкими дозами мутагенов, чем в необработанном контроле.

Селекция мутагенов оказала значительное влияние на мировой рынок, внося свой вклад в создание новых и разнообразных декоративных сортов, которые отвечают различным потребительским предпочтениям и культурной эстетике. Расширяя диапазон доступных признаков, таких как уникальные цвета, формы и размеры, селекция мутагенов позволила селекционерам удовлетворить потребности рынков и сезонный спрос, повысив коммерческую ценность цветочных культур. Это обеспечило регионам с развивающейся цветочной промышленностью более эффективную работу на международном рынке, способствуя росту и диверсификации мирового сектора цветоводства.

Выводы. Таким образом, индуцированный мутагенез расширил разнообразие декоративных признаков (таких как цвет, форма и размер), ха-

рактических характеристик декоративности, приспособляемости и устойчивости к биотическим стрессам. Этот подход был широко применен ключевыми исследовательскими институтами и коммерческими селекционерами по всему миру, в результате чего было выведено более 1000 официально признанных мутантных сортов 170 различных декоративных видов. Эффективность мутагенеза еще больше возрастает, когда мутагенез сочетается с передовыми технологиями молекулярной биологии и *in vitro*.

Тем не менее, проблемы, связанные с мутагенной эффективностью, типам мутаций, стерильности и возможности скрининга подчеркивают необходимость включения технологии селекции нового поколения для дальнейшего улучшения разработку продукта.

Хорошо интегрированный подход сочетание традиционных методов мутагенеза с передовые геномные инструменты и целевое редактирование генома методы могут привести к следующему этапу флорикультурного инновации для удовлетворения растущих потребностей обоих производителей и потребители. Мутационное размножение имеет важное значение в развитии климатически устойчивых декоративных культур, которые могут успешно выращиваться при изменяющихся условиях внешней среды.

Сосредоточив внимание на признаках, повышающих эффективность выращивания декоративно-цветочных культур, устойчивость к болезням и приспособляемость растений выведение и размножение новых мутаций может также помочь в становлении и дальнейшем развитии цветочных рынков.

Список литературы:

1. Кротова Л.А. Эколого-генетическая роль химических мутагенов в повышении генотипической изменчивости при создании сортов мягкой пшеницы в условиях Западной Сибири : автореф. дис. д-ра с.-х. н. / Л. А. Кротова. – Тюмень, 2013. – 32 с.
2. Рапопорт И.А. Микрогенетика / И. А. Рапопорт. – М., 1965. – С. 130–141.
3. Abdelaziz HR, Mohamed M A-H, Aly MK, Mostafa inducing phenotypic variation on *Chrysanthemum morifolium* plants using sodium azide (2019) The 5th International Con-

ference of Youth Researchers on Agricultural and Veterinary Sciences Faculty of Agriculture, South Valley University, Qena.

4. Al-Qurainy, F. and S. Khan, 2009. Mutagenic effects of sodium azide and its application in crop improvement. *World Applied Sci. J.*, 6: 1589-1601.

5. Auerbach C, Robson JM, Carr JG The Chemical Production of Mutations. *Science*. 1947 Mar 7;105(2723):243-247.

6. Broertjes C. Application of mutation breeding methods in the improvement of vegetatively propagated crops/ V2. Elsevier. 2012.

7. IAEA, International Atomic Energy Agency, Mutant varieties database. Available at: Available at: <https://mvd.iaea.org/> >Accessed on: Jan 22nd 2022.

8. Lavanya V., Ganga M., Rajamani K., et al. Optimization of chemical mutagen treatment techniques and determination of absorption dose in *Jasminum auriculatum* ecotype «Muthu Mullai» for inducing variation. *Agricultural Science Digest*, V. 43, Issue 4 (August 2023): 431-436.

9. Nasri, F., Zakizadeh, H., Vafae, Y., Mozafari, A. A., et al. (2022). In vitro mutagenesis of *Chrysanthemum morifolium* cultivars using ethyl methane sulphonate (EMS) and mutation assessment by ISSR and IRAP markers. *Plant Cell Tissue Organ Culture* 149 (3), 657–673.

10. Pha NT, Sang BM, Thao MT, Gioi TD Effect of ethyl methane sulfonate on the mutant's inducement in balsam plants (*Impatiens balsamina* Linn.). *Asian Journal of Plant Sciences* Year: 2023; Volume: 22; Issue: 4; Page No.: 628-636.

11. Roychowdhury R., Alam M.F.J., Bishnu S., et al. Comparative Study for Effects of Chemical Mutagenesis on Seed Germination, Survivability and Pollen Sterility in M1 and M2 Generations of *Dianthus*. January 2012 *Plant Breeding and Seed Science* 65(1):29-38.

References

1. Krotova L.A. *Ekologo-geneticheskaya rol' himicheskikh mutagenov v povyshenii genotipicheskoy izmenchivosti pri sozdanii sortov myagkoj pshenicy v usloviyah Zapadnoj Sibiri* : avtoref. dis. d-ra s.-h. n. / L. A. Krotova. – Tyumen', 2013. – 32 c.

2. Rapoport I.A. *Mikrogenetika* / I. A. Rapoport. – M., 1965. – S. 130–141.

3. Abdelaziz HR, Mohamed M A-H, Aly MK, Mostafa inducing phenotypic variation on *Chrysanthemum morifolium* plants using sodium azide (2019) The 5th International Conference of Youth Researchers on Agricultural and Veterinary Sciences Faculty of Agriculture, South Valley University, Qena.

4. Al-Qurainy, F. and S. Khan, 2009. Mutagenic effects of sodium azide and its application in crop improvement. *World Applied Sci. J.*, 6: 1589-1601.

5. Auerbach C., Robson JM., Carr JG. The Chemical Production of Mutations. *Science*. 1947 Mar 7;105(2723):243-247.

6. Broertjes C. Application of mutation breeding methods in the improvement of vegetatively propagated crops/ V2. Elsevier. 2012.

7. IAEA, International Atomic Energy Agency, Mutant varieties database. Available at: Available at: <https://mvd.iaea.org/> >Accessed on: Jan 22nd 2022.

8. Lavanya V., Ganga M., Rajamani K., et al. Optimization of chemical mutagen treatment techniques and determination of absorption dose in *Jasminum auriculatum* ecotype «Muthu Mullai» for inducing variation. *Agricultural Science Digest*, V. 43, Issue 4 (August 2023): 431-436.

9. Nasri F, Zakizadeh H, Vafae Y, Mozafari A., et al. (2022). In vitro mutagenesis of *Chrysanthemum morifolium* cultivars using ethyl methane sulphonate (EMS) and mutation assessment by ISSR and IRAP markers. *Plant Cell Tissue Organ Culture* 149 (3), 657-673.

10. Pha NT, Sang BM, Thao MT, Gioi TD Effect of ethyl methane sulfonate on the mutant's inducement in balsam plants (*Impatiens balsamina* Linn.). *Asian Journal of Plant Sciences* Year: 2023; Volume: 22; Issue: 4; Page No.: 628-636.

11. Roychowdhury R., Alam M.F.J., Bishnu S., et al. Comparative Study for Effects of Chemical Mutagenesis on Seed Germination, Survivability and Pollen Sterility in M1 and M2 Generations of *Dianthus*. January 2012 *Plant breeding and seed science* 65(1):29-38.