

УДК 631.528.632:635.91.075

UDC 631.528.632:635.91.075

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

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

РАДИАЦИОННЫЙ МУТАГЕНЕЗ В СЕЛЕКЦИИ ДЕКОРАТИВНЫХ ЦВЕТОЧНЫХ КУЛЬТУР

RADIATION MUTAGENESIS IN THE BREEDING 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

Декоративное цветоводство стало важной отраслью во многих странах благодаря передовым научным методам и стабильным поставкам улучшенных сортов. Разработка новых сортов и их быстрый вывод на рынок являются основными задачами в сфере торговли цветочными растениями. Мутационная селекция является привлекательным методом создания генетической изменчивости и стала стандартным методом селекции многих декоративных растений. Селекция относится к генетическому улучшению культурных растений для различных хозяйственных целей путем использования индуцированных мутаций, представляющие собой внезапные наследственные изменения в фенотипе различных живых организмов. На молекулярном уровне это относительно редкое изменение в числе или последовательности нуклеотидов. Мутации возникают в клетках в результате изменений в ядерной и цитоплазматической ДНК. У мутантов среди декоративных цветов могут проявляться уникальные характеристики: необычная окраска и размеры цветков, форма листьев, что делает их особенно привлекательными для флористов и садоводов. В процессе селекции исследователи могут использовать различные методы, включая радиационное облучение и химические агенты, чтобы ускорить процесс мутации и выявить новые, перспективные сорта. Следует помнить, что подавляющее число мутаций являются нежелательными. В статье приводятся исследования с использованием радиомутагенеза у декоративных цветочных культур с использованием ионных пучков, рентгеновских и гамма-лучей

Decorative floriculture has become an important industry in many countries due to advanced scientific methods and stable supply of improved varieties. The development of new varieties and their rapid introduction to the market are the main tasks in the field of trade in flowering plants. Mutational breeding is an attractive method of creating genetic variation and has become a standard method of breeding many ornamental plants. Breeding refers to the genetic improvement of cultivated plants for various economic purposes by using induced mutations, which are sudden hereditary changes in the phenotype of various living organisms. At the molecular level, this is a relatively rare change in the number or sequence of nucleotides. Mutations occur in cells as a result of changes in nuclear and cytoplasmic DNA. Mutants among decorative flowers may exhibit unique characteristics: unusual color and size of flowers, leaf shape, which makes them especially attractive to florists and gardeners. During the breeding process, researchers can use various methods, including radiation exposure and chemical agents, to speed up the mutation process and identify new, promising varieties. It should be remembered that the vast majority of mutations are undesirable. The article presents studies using radiomutagenesis in ornamental flower crops using ion beams, X-rays and gamma rays

Ключевые слова: ЦВЕТОЧНЫЕ КУЛЬТУРЫ, ПРИЗНАКИ, СЕЛЕКЦИЯ, РАДИОМУТАГЕНЕЗ, МУТАНТЫ

Keywords: FLOWER CROPS, TRAITS, BREEDING, RADIOMUTAGENESIS, MUTANTS

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-206-002>

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

Введение. Начиная с 1930-х гг., индуцирование мутаций применяется в декоративном цветоводстве. Так, первый коммерческий мутант, официально выпущенный в продажу, был получен еще в 1936 г. у тюльпана сорта Фарадей с красной окраской цветков в результате облучения де Молем сорта Fantasy [8]. За последние десятилетия интенсивное развитие мутантной селекции стало обычной практикой для таких важных декоративных родов, как хризантема, роза и гвоздика, о чем свидетельствует более 3200 официально выведенных мутантных сортов по всему миру, 720 из которых представляют декоративные растения [11].

Использование ускоренных частиц позволяет нацеливаться на определенные участки генома, что значительно увеличивает вероятность получения желаемых мутаций. Это открывает новые горизонты для селекции, позволяя создавать сорта, устойчивые к болезням, вредителям и неблагоприятным климатическим условиям. С помощью радиационного мутагенеза можно достичь максимальной мутагенной активности при минимальных побочных эффектах, когда сохранение полезных свойств исходного сорта имеет первостепенное значение.

Кроме того, результаты таких исследований могут быть использованы для понимания механизмов мутагенеза и адаптации растений к действию внешних стрессовых факторов. Совершенствование методов селекции с применением ускоренных частиц может привести к значительному увеличению результативности селекции и улучшению качества получаемой продукции, что особенно актуально в условиях глобальных изменений климата и растущего населения Земли.

Селекция относится к генетическому улучшению культурных растений для различных хозяйственных целей путем использования индуцированных мутаций, представляющих собой внезапные наследственные изменения в фенотипе различных живых организмов. Мутации возникают в клетках в результате изменений в ядерной и цитоплазматической ДНК.

Обсуждение. Сегодня современная цветоводческая отрасль занимается поиском новых сортов и разновидностей растений с необычной окраской и формой цветов и листьев, более длительным сроком реализации для удовлетворения постоянно растущего спроса потребителей. Это требует использования современных технологий в селекции растений. Индукция мутагена является распространенной технологией для генетического и фенотипического улучшения растений. Спонтанные вариации происходят у декоративных культур крайне редко. Поэтому, используя селекцию посредством мутагенеза, можно выводить новые сорта.

Соответствующие стратегии индукции мутаций, такие как использование метода культивирования *in vitro* в сочетании с хроническим гамма-облучением, оказались эффективным методом индукции мутаций для получения новых перспективных сортов декоративных растений в течение достаточно короткого периода времени.

На протяжении последних 20 лет облучение ионными пучками было эффективным и уникальным методом мутагенеза для улучшения декоративных растений, поскольку оно вызывает более высокую скорость мутаций, чем рентгеновское или гамма-излучение. В настоящее время для улучшения декоративных признаков растений исследовательский интерес сместился в сторону применения молекулярной селекции и генной инженерии, хотя оба этих метода имеют как преимущества, так и недостатки.

Ключевым этапом селекции является отбор особей с желательными мутациями, что представляет собой сложную задачу, требующую применения различных методов скрининга. Он начинается с первичного отбора, часто проводимого визуальным путем. Селекционеры внимательно осматривают множество растений, отбраковывая заведомо непригодные. Например, при селекции на более раннее цветение, специалист будет обращать внимание на те растения, у которых бутоны появляются раньше,

чем у исходных родительских форм. При этом следует учитывать, что большинство мутаций являются нежелательными.

Физические мутагены включают все виды ионизирующего излучения и их источники, включая ультрафиолетовый свет, рентгеновские и гамма-лучи, альфа-и бета-частицы, протоны и нейтроны (излучение), широко использовались для индуцирования наследственных aberrаций, и более 70 % мутантных разновидностей были выведены с помощью физического мутагенеза.

Рентгеновские лучи были использованы первыми для индуцирования мутаций, но сегодня также широко используется γ -излучение, создаваемое, в частности, радиоактивным изотопом ^{60}Co . Гамма-лучи, обладая самой короткой длиной волны, имеют высокую энергию, что позволяет им эффективно проникать в ткани живых организмов. Это свойство делает их особенно перспективными в плане воздействия на такие важные биомолекулы, как ДНК, РНК, ферменты и др.

Эксперимент по изучению морфологических изменений у хризантемы сорта Local Golden под действием ионизирующего облучения с целью получения генетической вариативности, был проведен индийскими учеными во главе с Удайсингом Патилом.

Растения были облучены γ -лучами с формированием поглощенных доз в 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5 и 3,0 крад (килорад). Как и ожидалось, с увеличением дозы происходило снижение процента выживаемости, высоты растения, количества ответвлений и отпрысков. По результатам исследования полуметальная доза ($LD_{50/30}$) приближалась к 3 крад.

Появление химер в лучевых соцветиях цветка наблюдалась у одного растения после облучения дозой 1,5 крад. Первоначальная форма лучевых соцветий была плоской с маленькой трубочкой у основания, тогда как в случае трубчатого мутанта форма на кончике была ложкообразной, а прикорневая часть имела трубчатый вид [7].

Индийские ученые во главе с Баллой Паллави [6] для получения новых мутаций у циннии изящной (*Zinnia elegans Jacq.*) от материнского сорта Dreamland использовали три дозы γ -излучения мощностью 75, 100 и 125 Гр (греев). При этом наибольшая вариационная мутабельность цветков наблюдалась при действии дозы в 100 Гр (рисунок 1).



Рисунок 1 – Влияние γ -облучения сорта Dreamland циннии изящной:
С – контроль, V1–V8 – полученные мутанты

Их исследования позволили получить один карликовый и восемь обычных по высоте сортов циннии с различной окраской и формой лепестков цветков, которые могут иметь коммерческое значение.

Многие мутации могут быть летальными из-за ингибирования деления клеток. Также сообщается о значительном снижении высоты растений

при более высоких дозах облучения у сорта хризантемы садовой *Otome Pink*. До разработки методов *in vitro* многие мутанты декоративных растений, например, ахименеса, хризантемы, гвоздики, розы и стрептокарпуса, были получены путем облучения укорененных стеблевых черенков, отделенных листьев и спящих растений [3].

У декоративных растений, подвергшихся мутациям, можно наблюдать различные изменения. Например, мутации могут повлиять на характеристики цветка: его цвет, размер, форму и аромат. Также могут измениться листья: их форма, размер и цвет. Кроме того, мутации могут повлиять на морфологию самого растения: оно может стать более компактным, вьющимся или ветвящимся.

Наконец, мутации могут вызвать изменения в физиологических процессах растения. Например, оно может начать реагировать на изменение длины светового дня раньше, чем обычно. Также мутации могут привести к более раннему цветению, сохранению качества растения и его устойчивости к стрессовым факторам, как биотическим, так и абиотическим.

Согласно базам данных ФАО и МАГАТЭ, из 552 мутантных сортов цветочных растений больше всего было хризантем (232); за ними следовали альстромерия (35), георгин (36), бугенвиллея (12), роза (61), ахименес (8), бегония (25), гвоздика (18), стрептокарпус (30) и азалия (15) [5].

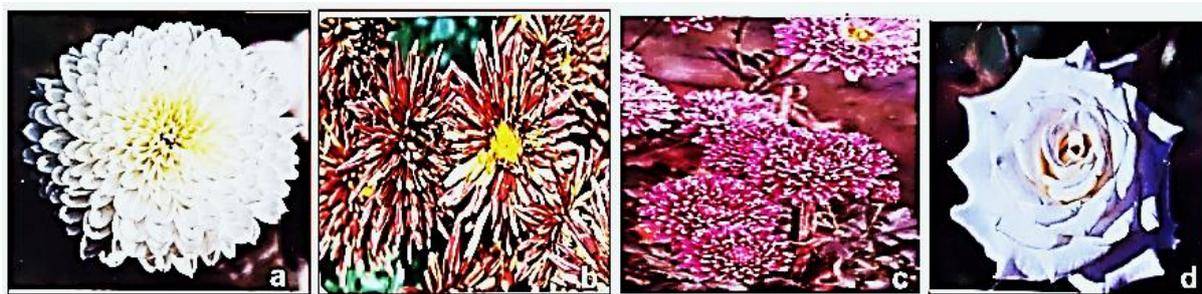


Рисунок 2 – Мутанты, индуцированные γ -облучением растений:

a – мутант белого цвета хризантемы «Пурнима»;

b – двухцветный мутант хризантемы «Батик»;

c – мутант по форме цветка хризантемы «Шабнам»;

d – мутант по цвету белого цветка розы «Сильвия Уайт»

Поскольку эффект изменения в декоративных растениях очень заметен, сделать выбор по измененному цвету, форме и размеру цветка не сложно, и практически все, что является новым, имеет ценность (рисунок 2).

Поэтапное совершенствование и доработка практических подходов к применению методов индуцированной мутации в лабораторных условиях позволили улучшить декоративные культуры, уделяя особое внимание интересным мутантам с измененным типом цветка, придатками на соцветиях, полосатыми цветками, трубчатыми соцветиями, поздними и ранними сортами, а также управлению химерами. Знания, полученные в области декоративных культур, служат в качестве модельной системы для подготовки рекомендаций по успешному и точному применению методов мутации в программах улучшения сельскохозяйственных культур [4].

Точное количество полученных декоративных сортов и их стоимость оценить довольно сложно. Коммерческие компании часто не сообщают о происхождении индуцированных мутантных сортов декоративных растений, а их стоимость держится в коммерческой тайне. Во многих развивающихся странах культуры зарегистрированы, но никаких записей об их распространении не ведется, поскольку сорта можно размножать свободно, не уведомляя селекционера.

Например, Национальный институт ботанических исследований (NBRI), Лакхнау, Индия, за последние 17 лет вывел 70 сортов декоративных растений, вызванных мутациями, – хризантемы (42), розы (12), бугенвиллии (4), лантаны (3), гибискуса (1) и портулака (6). Аналогичным образом, кафедра прикладной радиации и изотопов Университета Касетсарт в Таиланде получила шесть мутантных сортов канны, пятнадцать сортов хризантемы и два сорта портулака.

Хризантема (*Chrysanthemum spp.*) является одним из наиболее широко культивируемых декоративных растений и выращивается для продажи

на рынках как срезанных цветов, так и горшечных растений. По данным ФАО/МАГАТЭ эта культура распространена в разных странах, но больше всего в Германии, Индии, Японии и Нидерландах. Наиболее желательными характеристиками для покупателей являются цвет, форма цветка и срок годности. Многие мутанты были разработаны и выпущены с изменениями в цветочном ассортименте.

Общепринятой практикой было отбирать сорта с розовыми цветками, из которых путем облучения черенков получали красные, белые и желтые мутанты. В нескольких случаях для выращивания хризантем использовалось повторное облучение. Например, дополнительное облучение рентгеновскими лучами, начиная с родительского сорта *Norim*, позволило получить 8 новых сортов с другой окраской цветков.

Индукцированные мутации использовались также для модификации более сложных характеристик. Исследования, проведенные в Германии и Нидерландах, привели к развитию холодоустойчивых и раннецветущих мутантов хризантемы. Эти мутанты, полученные с помощью рентгеновских лучей, позволили более экономично выращивать это растение в зимних условиях Европы.

Долгое время хризантема была – после роз – вторым по значимости срезанным цветком в Нидерландах. На него приходится около 20% общего годового оборота национального цветочного аукциона. Разведение хризантем в Нидерландах полностью находится в руках частных предприятий. Три крупные селекционные компании выводят большинство новых сортов, в то время как несколько небольших компаний занимается их промышленным разведением и реализацией. Доля мутантных или полученных от них сортов хризантемы в общем объеме цветочного рынка за последние 5 лет оценивалась в 30–40 %.

Голландский список сортов на 1994 г. включал в себя 42 рекомендуемых сорта хризантем, из которых 23 были либо мутантами, либо полученные

ны от них. Однако в этом списке сортов не проводится никакого различия между спонтанными мутантами и индуцированными мутантами. Селекционеры по коммерческим соображениям не разглашают информацию такого рода. По данным Цветочного совета Нидерландов, общая стоимость хризантем, представленных на цветочных аукционах в 1992 и 1993 годах, составила около 300–350 млн долларов США) соответственно.

Например, от официально зарегистрированного сорта Рейган (1991) была получена серия мутантов. Двадцать из них (Reagan White, Reagan Sunny, Reagan Dark Splendid, Reagan Yellow, Reagans Salmon, Reagan Orange и др.) появились в 1994 г. и составляли 35–40 % всего цветочного рынка Нидерландов.

Ряд исследователей изучали влияние радиационного повреждения на индукцию мутаций у хризантемы *in vitro*. Белые лепестки садовой хризантемы сорта Юка (*Chrysanthemum morifolium Ramat*) были отобраны для индукции мутаций с помощью гамма-излучения. Полученные каллусы облучали дозами 10, 15 и 20 Гр. Установлено, что растения, выращенные из облученных каллусов, отличались от контрольных по количеству, длине и ширине листьев, количеству и диаметру цветков, диаметру и длине цветоножек после пересадки в теплицу.

У растений, облученных 15 Гр, были обнаружены три мутанта по цвету и форме цветков. У первого типа мутанта (M1) лепестки были трубчатými. У второго (M2) и третьего (M3) цветки – желтые, при этом у одного из них лепестки были в форме ложки, как и у исходного, а у другого — плоские. Результаты исследования показали высокий уровень экспрессии в M2 и M3 по сравнению с контролем.

С другой стороны, паттерны экспрессии были схожими в контроле и M2. Эти желтые мутанты сохранялись вегетативно и оказались типичными для своего вида в одном из последующих поколений. Таким образом следует вывод о том, что гамма-излучение дозой 15 Гр можно использовать

для индукции мутаций цвета и формы цветков у хризантемы сорта Юка [10].

Традиционно мутанты часто получали с использованием комбинации облучения и методов *in vitro*, таких как регенерация из клеток или редифференцировка каллуса, которые позволяют получать мутанты-химеры. Однако метод облучения ионным пучком также использовался на черенках (конечных почках) в некоторых программах селекции мутаций, таких как программы, связанные с цветением вишни, сальвия (шалфей), роза и хризантема. Растение (включая апикальную меристему его побега) состоит из трех слоев L1, L2 и L3 (от внешнего к внутреннему) у двудольных покрытосеменных растений и двух или трех слоев у однодольных.

В частности, в апикальной меристеме побега слоя L1 происходит мутация исходной клетки, которая приводит к образованию сектора с мутацией. Этот сектор остается в пределах слоя L1, что приводит к формированию мериклиальной химеры. Затем, путем многократного сокращения сектора с мутацией в слое L1, можно получить периклиальную химеру-мутанта.

Этот метод подходит для видов растений, для которых еще не разработаны методы *in vitro*, и позволяет избежать риска возникновения соматоклональной вариации при культивировании *in vitro*. Поскольку эпидермис (слой L1) отвечает за окраску цветка, мутация только в этом слое может привести к ее изменению. Мутант демонстрирует такой же рост, как и исходное растение, поскольку слои L2 и L3 сохраняют свой первоначальный генотип. Считается, что сочетание облучения и черенкования достаточно для получения мутантных сортов с разнообразной окраской.

Индийские исследователи [2] мутагенизировали в условиях *in vitro* сорт Pusa Mohit чайно-гибридной розы (*Rosa hybrida* L.). Одиночные черенки (25 черенков на обработку с тремя повторениями) облучали различными дозами γ -лучей (0, 5, 10, 15, 25, 40, 55, 65, 70 и 80 Гр) с использова-

нием радиоизотопа ^{60}Co . Было установлено, что доза в 40 Гр обладала полетальным действием (LD_{50}).

У эксплантатов, обработанных более высокими дозами (65, 70 и 80 Гр), проявились вредные эффекты действия ионизирующего излучения. Морфологические аномалии, такие как слитые листья, альбинизм листьев, листья с более низким уровнем хлорофилла, пестроцветные листья и задержка роста, наблюдались при промежуточных дозах (25, 40 или 55 Гр). Уменьшение длины побегов, количества корней на побег и их длины наблюдались при дозе 55 Гр. Было выделено 4 цветочных мутанта с измененными или новыми окрасками цветов по сравнению с оригинальным сортом (рисунок 3).



Рисунок 3 – Мутации окраски цветков у гибридной розы при γ -облучении растений сорта Pusa Mohit:

А – необработанный контроль;

В–Е – мутации цветков розы при дозах 25 (В), 40 (С, D) и 55 Гр (Е)

Ионные пучки могут вызывать значительные изменения ДНК, такие как инверсии, транслокации, крупные делеции, а также точечные мутации. Характеристики ионных пучков для индукции мутаций заключаются в следующем: 1) индуцировать мутанты с высокой частотой, 2) демонстрировать широкий спектр мутаций и 3) получать больше новых мутантных форм по сравнению с рентгеновскими или гамма-лучами.

Ионные пучки могут широко использоваться в качестве новых мутагенов, потому что они действуют с высокой энергией на биологическую «мишень». Исследования в области биологических эффектов и эффектов индукции мутаций ионных пучков в серии экспериментов, направленных на понимание их характеристик, дали понять, что можно индуцировать у новых мутантов высокую устойчивость к действию ультрафиолета типа В, а также получать необычную окраску цветков у гвоздики (рисунок 4).



Рисунок 4 – Цветочные мутанты гвоздики, полученные путем облучения ионным пучком (вверху справа – родительский сорт; остальные – мутантные формы)

Традиционно, селекция цветочно-декоративных растений в Никитском ботаническом саду базировалась на знаниях и опыте специалистов из отделов цветоводства, физиологии растений и защиты растений. Это был тщательный и порой довольно долгий процесс гибридизации, отбора и постепенного улучшения существующих сортов. Ученые работали над улучшением декоративности растений: яркости окраски, формы цветка, длительности цветения, устойчивости к болезням и неблагоприятным погодным условиям.

Специалисты активно изучали воздействие рентгеновских и гамма-лучей на геном растений. В результате этого были получены новые, уникальные сорта цветочно-декоративных растений, отличающиеся яркостью окраски, необычной формой цветков или повышенной устойчивостью. Эта работа доказала, что даже такие нетрадиционные методы, как использование ионизирующих излучений, при правильном подходе могут стать эффективным инструментом для улучшения существующих и создания новых, уникальных сортов цветочных культур [1].

Мутагенез *in vitro* предлагает эффективный подход к выведению новых сортов орхидей с помощью γ -излучения (10, 20, 40, 60, 80 Гр) для изучения реакции на рост *in vitro* и индукции мутаций у *Dendrobium* сорта Эмма Уайт (рисунок 5). Оптимальной для мутагенеза доза γ -излучения была в диапазоне от 10 до 25 Гр.

Анализ с помощью высокопроизводительного клеточного анализатора выявил значительное снижение содержания ядерной ДНК при дозах облучения более 40 Гр. При облучении дозой 10 Гр такие показатели роста, как длина корня, высота растения и количество листьев, значительно увеличились на 36, 26 и 20 % – соответственно по сравнению с контролем [9].



Рисунок 5 – Мутабельная разновидность орхидеи сорта Emma White

Были опубликованы различные научные статьи по селекции декоративных цветочных культур, использующей как классические, так и методы *in vitro*. Основное внимание в них уделялось таким аспектам как радиочувствительность растений, выбор генетического материала, воздействие мутагенов, острое и хроническое облучение, технология ионного пучка, выявление мутаций, природа химеризма, классические и современные методы работы с химерами и т. д.

Поэтапное совершенствование и доработка практических подходов к применению методов индуцированной мутации в лабораторных условиях позволили улучшить декоративные культуры, уделяя особое внимание интересным мутантам с измененным типом цветка, придатками на соцветиях, полосами на цветках, трубчатыми соцветиями и т. д.

Знания, полученные в области декоративных культур, послужат в качестве модельной системы для подготовки рекомендаций по успешному и точному применению методов мутации в программах улучшения также различных сельскохозяйственных культур.

Выводы. Более чем 30-летний опыт применения радиационного мутагенеза открывает новые возможности для создания и улучшения не только сельскохозяйственных, но и различных декоративных цветочных культур. Тем не менее, необходимо продолжать исследования в области молекулярной биологии и генетики, чтобы лучше понять механизмы, лежащие в основе повреждения и восстановления ДНК, а также их влияние на наследственные признаки и устойчивость растений к различным стрессовым факторам.

Мутанты декоративных растений с оригинальными признаками, полученные с помощью этой технологии, могут быть использованы непосредственно для выведения новых сортов или в качестве родительских форм для последующего скрещивания.

Селекция с помощью ионных пучков может привести к появлению широкого спектра мутантов с измененным цветом и формой цветков, а комбинированный метод облучения ионными пучками и культивирования тканей полезен для получения коммерческих сортов за короткое время. Транспонируемые элементы в значительной степени связаны с мутациями из-за их потенциальной способности к транспозиции.

Важно отметить, что радиационный мутагенез требует тщательного контроля и оценки. После применения мутагенов необходимо проводить скрининг и отбор тех растений, которые проявляют желаемые признаки, а также оценивать их генетическую стабильность. Это связано с тем, что некоторые мутации могут приводить к нежелательным эффектам, негативно сказывающимся на жизнеспособности растений или его признаках.

Кроме того, в связи с тем, что повреждения ДНК могут вызывать не только мутации, но и другие клеточные реакции, такие как апоптоз или сенесценция, понимание этих процессов является важным аспектом селекции. Исследования в этой области могут помочь разработать более эффек-

тивные методы селекции, которые учитывают адаптацию растений к меняющимся условиям окружающей среды.

Список литературы:

1. Клименко З.К. Селекция цветочно-декоративных растений в Никитском ботаническом саду. Биология растений и садоводство: теория, инновации / З. К. Клименко, В. К. Зыкова, Л. М. Александрова [и др.] // Сборник научных трудов ГНБС. – 2017. – Т. 145. – С. 26–33.
2. Bala M. & Pal Singh K. Mutagenesis of rose (*Rosa hybrida* L.) explants using gamma-radiation to induce novel flower colour mutations. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology* (2013) 88 (4) 462-468.
3. Broertjes C, van Harten AM (1988) Applied mutation breeding for vegetatively propagated crops. *Developments in crop science* No. 12. Elsevier, Amsterdam.
4. Datta SK Induced mutations: technological advancement for development of new ornamental varieties / *Nucleus (India)*, February 2020; 63(3), pp. 119-129.
5. Maluszynski M, Ahloowalia BS, Sigurbjornsson B (1995) Application of in-vivo and in-vitro mutation techniques for crop improvement. *Euphytica* 85:303-315.
6. Pallavi B., Nivas S.K., D'Souza L., et al. (2017). Gamma rays induced variations in seed germination, growth and phenotypic characteristics of *Zinnia elegans* var. Dreamland. *Advances in Horticultural Science*. 31(4): 267-273.
7. Patil UH, Deshmukh GN and Kazi NA (2015). Mutation breeding in chrysanthemum (*Dendranthema grandiflora* T.). *Asian Journal of Multidisciplinary Studies*. 3(4): 25-27.
8. Schum A. Mutation breeding in ornamentals: an efficient breeding method? *Acta Horticulturae*. (2003), 612: 47-60.
9. Sherpa R, Devadas R, Bolbhat SN, et al. Gamma radiation induced in-vitro mutagenesis and isolation of mutants for early flowering and phytomorphological variations in *Dendrobium* 'Emma White'; *Plants (Basel)*. 2022 Nov 18;11(22):3168.
10. Tarek S, Suhui Lv, Huifang Y, et al. Isolation of flower color and shape mutations by gamma radiation of *Chrysanthemum morifolium* Ramat cv. Youka. Published: 27 May 2014, Volume 199, pages 317-324.
11. Yamaguchi H. (2018). Mutation breeding of ornamental plants using ion beams. *Breeding Science*. 68: 71-78.

References

1. Klimenko Z.K. Selekcija cvetochno-dekorativnyh rastenij v Nikitskom botanicheskom sadu. *Biologiya rastenij i sadovodstvo: teoriya, innovacii* / Z. K. Klimenko, V. K. Zykova, L. M. Aleksandrova [i dr.] // *Sbornik nauchnyh trudov GNBS*. – 2017. – T. 145. – S. 26–33.
2. Bala M. & Pal Singh K. Mutagenesis of rose (*Rosa hybrida* L.) explants using gamma-radiation to induce novel flower colour mutations. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology* (2013) 88 (4) 462-468.
3. Broertjes C, van Harten AM (1988) Applied mutation breeding for vegetatively propagated crops. *Developments in crop science* No. 12. Elsevier, Amsterdam.
4. Datta SK Induced mutations: technological advancement for development of new ornamental varieties / *Nucleus (India)*, February 2020; 63(3), pp. 119-129.
5. Maluszynski M, Ahloowalia BS, Sigurbjornsson B (1995) Application of in-vivo and in-vitro mutation techniques for crop improvement. *Euphytica* 85:303-315.

6. Pallavi B., Nivas S.K., D'Souza L., et al. (2017). Gamma rays induced variations in seed germination, growth and phenotypic characteristics of *Zinnia elegans* var. Dreamland. *Advances in Horticultural Science*. 31(4): 267-273.

7. Patil UH, Deshmukh GN and Kazi NA (2015). Mutation breeding in chrysanthemum (*Dendranthema grandiflora* T.). *Asian Journal of Multidisciplinary Studies*. 3(4): 25-27.

8. Schum A. Mutation breeding in ornamentals: an efficient breeding method? *Acta Horticulturae*. (2003), 612: 47-60.

9. Sherpa R, Devadas R, Bolbhat SN, et al. Gamma radiation induced in-vitro mutagenesis and isolation of mutants for early flowering and phytomorphological variations in *Dendrobium* 'Emma White'; *Plants (Basel)*. 2022 Nov 18;11(22):3168.

10. Tarek S, Suhui Lv, Huifang Y, et al. Isolation of flower color and shape mutations by gamma radiation of *Chrysanthemum morifolium* Ramat cv. Youka. Published: 27 May 2014, Volume 199, pages 317-324.

11. Yamaguchi H. (2018). Mutation breeding of ornamental plants using ion beams. *Breeding Science*. 68: 71-78.