

ЭКОЛОГО-ГЕНЕТИЧЕСКОЕ ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ НА АДАПТАЦИЮ РАСТЕНИЙ

Кротова Л.А.¹, Чибис С.П.¹

¹ФГБОУ ВО «Омский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина», Омск, e-mail: la.krotova@omgau.org

В статье обоснована актуальность проблемы влияния химических соединений на адаптацию растений. Обсуждаются возможности и результаты использования мутаций в повышении разнообразия растений. Мутационный процесс, исполняя роль элементарного эволюционного фактора, происходит постоянно на протяжении всего периода существования жизни, а отдельные мутации возникают многократно у разных организмов. Мутации, спонтанные или естественные, а также индуцированные, являются основой наследственной изменчивости всех живых организмов. Способность многих факторов внешней среды вызывать генные, хромосомные, геномные, плазмемные и пластомные мутации эффективно используется в фундаментальных исследованиях по общей биологии, что существенно расширяет генотипическое разнообразие наследственных структур в организмах. Используя воздействие различных факторов среды, среди которых наиболее эффективными оказались ионизирующие излучения, ультрафиолетовые лучи, многие химические соединения, можно искусственно вызывать мутации и влиять на состояние наследственных структур организмов. Наиболее опасными естественными мутагенами окружающей среды являются нитрозосоединения: окислы азота, нитраты, нитриты, нитрозоамины. Установлено мутагенное влияние ионов тяжёлых металлов, перекиси водорода, антибиотиков, пестицидов и других химических веществ. С середины прошлого столетия и до настоящего времени резко обострились проблемы, связанные с химическим загрязнением биосферы. Необходимо расширять масштабы поиска эффективных приемов охраны окружающей среды, ставить вопрос об изучении генетического действия мутагенов в небольших концентрациях. Необходимо изучать воздействие химических соединений на посевные качества семян, рост и развитие растений, выраженность количественных признаков растений, расширить исследования по выявлению мутагенного эффекта применяемых пестицидов.

Ключевые слова: мутагенный фактор, мутации, пестициды, селекция растений.

ENVIRONMENTAL AND GENETIC EFFECTS OF CHEMICAL COMPOUNDS ON PLANT ADAPTATION

Krotova L.A.¹, Chibis S.P.¹

¹Omsk State Agrarian University n.a. P.A. Stolypin, Omsk, e-mail: la.krotova@omgau.org

In the article there is substantiated the urgency of the problem of the influence of chemical compounds on the adaptation of plants. There are discussed the possibilities and results of using mutations in increas variety of plants. Mutation process plays the role of elementary evolutionary factor and occurs continuously throughout the period of the existence of life. Individual mutations occur over and over again in different organisms. Mutations are spontaneous or natural and induced. They are the basis of genetic variability of all living organisms. The ability of many environmental factors to cause genetic, chromosomal, genomic, plasma and plastome mutations are effectively used in basic research on general biology. This significantly expands the genotypic diversity of genetic structures in organisms. It is possible to artificially cause mutations and influence the state of genetic structures of organisms, using the effect of various environmental factors, such as ionizing radiation, ultraviolet rays, many chemical compounds. The most dangerous natural environmental mutagens are nitroso compounds. Has been established a mutagenic effect of ions of heavy metals, hydrogen peroxide, antibiotics, pesticides and other chemicals. Since the middle of last century to the present day problems, associated with the chemical pollution of the biosphere, deteriorated sharply. It is necessary to expand the scope of search for effective methods of environmental protection, to raise the issue of the study of the genetic effect of mutagens in small concentrations. It is necessary to study the effect of chemical compounds on the seed quality of seeds, the growth and development of plants, quantitative traits. It is necessary to expand research to identify the mutagenic effect of pesticides used.

Keywords: mutagenic factor, mutations, pesticides, plant breeding.

В теории биологической эволюции центральное место занимает принцип адаптации

видов к среде их обитания. Адаптация означает приобретение видами морфологических, физиологических, поведенческих и других особенностей, позволяющих более эффективно использовать ресурсы природной среды, сохранять оптимальную численность [1], противостоять воздействиям экологических факторов, предъявляемых средой обитания [2].

Экологический фактор – это любое условие среды, на которое живое реагирует приспособительными (адаптационными) реакциями. Экологические факторы чрезвычайно разнообразны по происхождению, характеру действия на живые организмы, времени воздействия и другим особенностям. Они никогда не действуют изолированно, а всегда комплексно [3].

Приспособленность растений к новым условиям среды достигается за счёт модификационной и генотипической изменчивости. С помощью модификационной изменчивости растения приспособляются к наиболее значимым в процессе их индивидуального развития условиям среды. Генотипическая гибкость популяции и отбор обеспечивают приспособление к долговременным изменениям факторов внешней среды [4; 5].

В природе создается огромное разнообразие признаков в системах живых организмов благодаря возникновению мутаций. Это составляет материальную основу для действия естественного отбора, для эволюционного процесса. Спонтанно возникающая изменчивость представляет богатый материал для действия естественного отбора в процессе эволюции. Его можно эффективно использовать, создавая с помощью искусственного отбора новые, обладающие набором хозяйственно-ценных признаков сорта растений, породы животных, штаммы микроорганизмов [6].

Использование ионизирующего излучения, ультрафиолетовых лучей, многих химических соединений позволяет значительно повысить частоту мутирования генов, генотипическую и фенотипическую изменчивость признаков, достичь резкого повышения эффективности искусственного отбора и интенсивности селекционного процесса [7].

Химические мутагены по сравнению с радиационными обладают большей упорядоченностью действия, образуют широкий спектр генетических изменений, обладают большей избирательностью, вызывают резкое возрастание выхода ценных для селекции мутаций. Преобладающее большинство химических мутагенов появилось в результате специальных поисков. По механизму действия химических веществ выделяют девять основных классов химических мутагенов: алкилирующие соединения, перекиси, альдегиды, гидросиламины, азотистая кислота, антиметаболиты, в том числе аналоги азотистых оснований, соли тяжёлых металлов, акридиновые красители, ряд веществ, различных по химическому составу: уретан, гидросиламид, алкалоиды, свободные радикалы, некоторые лекарственные вещества, гербициды, инсектициды [8].

Мутагенное действие химических соединений испытано на различных генетических системах: насекомых, млекопитающих, растениях, микроорганизмах [6]. Установлено мутагенное влияние пестицидов, нитритов, ионов тяжёлых металлов [9], перекиси водорода [10], антибиотиков [11] и других химических веществ.

И.А. Рапопорт с соавторами (1980) разделяют химические мутагенные факторы на нуклеотид-аналоги и неаналоги (или основные). Аналоги вызывают мутации не сразу, при последующих актах генной репликации, и спектр мутаций, ими вызываемых, беднее спектра основных мутагенов. Нуклеотид-аналоги, несмотря на скромную мутагенную активность, привлекают внимание исследователей как тонкий инструмент в изучении ряда биологических процессов, включая систему синтеза ДНК [6; 7].

Среди мутагенов неаналогового типа наиболее обширная группа алкилирующих соединений, к которым относятся этиленимин, диметилсульфат, диэтилсульфат, нитрозоэтилмочевина, нитрозодиметилмочевина, нитрозодиэтилмочевина, 1,4-бисдиазоацетилбутан и др. Высокую мутационную способность алкилирующих соединений на примере этиленимина в 1939 году доказал И.А. Рапопорт, на примере иприта - в 1940-1941 гг. Сущность мутагенного действия алкилирующих соединений связана с тем, что они при реакциях метилирования, этилирования и т.д. являются источником введения в молекулы ДНК таких радикалов, как метил (CH_3), этил (C_2H_5), пропил (C_3H_7) и других [8].

Алкалоид клубнелуковиц безвременника великолепного (*Colchicum speciosum* Stev.) – колхицин – химический мутаген, хорошо известный своей полиплоидизирующей способностью, был использован для индукции изменений во многих видах растений. Рехман (1967) обнаружил, что концентрации колхицина 0,005% малоэффективны в производстве вариаций на пшенице, но более высокие концентрации вызывают карликовость [12]. Колхицин способен влиять на некоторые метаболические процессы, увеличивая скорость ферментативных реакций пропорционально его концентрации. Хайнзель (1963) сравнил результаты использования колхицина с результатами облучения и отметил, что при облучении мутируют отдельные гены внутри растения, что часто приводило к разрушению хромосом. Колхицин, в отличие от облучения, продуцировал много жизнеспособных мутантов [13].

Успех работы в экспериментальном мутагенезе во многом зависит от правильно выбранной дозы мутагена, экспозиции, условий обработки и выращивания мутантов.

В Национальном научно-исследовательском институте джута в Калькутте (Западная Бенгалия, Индия) ученые Монталван и Андо (2005) изучали мутагенную эффективность при воздействии этилметансульфоната (EMS) на генетическую изменчивость кунжута (*Sesamum indicum* L.). Результаты показали, что более низкие дозы мутагенов были эффективными и

действенными в возникновении полигенной изменчивости. При использовании 0,5% EMS зарегистрировано максимальное процентное изменение (207,78%) количества плодов на растении. Степень вариабельности количества плодов на растении была чрезвычайно высокой, но была низкой для массы 1000 семян [14]. Эти результаты согласуются с данными Arulbalachandran D. и соавторов (2009) для бобов мунг [15], D. Dhanavel (2008) для вигны [16], S. Ganapathy (2008) для проса [17].

Нитрозосоединения имеют широкое распространение в компонентах окружающей среды: почве, воде, воздухе, растениях. Они могут образовываться в растениях при наличии предшественников: аминов, амидов, нитратов, нитритов. Многие из нитрозосоединений обладают канцерогенным действием даже в небольших концентрациях при длительном поступлении с продуктами питания [18].

Для ряда сильных мутагенов характерна отчётливая корреляция мутагенных и канцерогенных свойств [7]. У многих мутагенов из класса алкилирующих соединений высокая генетическая активность совмещается с высокой канцерогенностью, а для ряда мутагенов характерна и канцеролитическая активность [6].

При применении мутагенных факторов возможно нарушение отдельных отрицательных корреляций, существующих между содержанием белка и его аминокислотным составом, между размером семян и содержанием белка, между продуктивностью и белковостью зерна. Под действием химических мутагенов у пшеницы получено большое разнообразие макромутаций: хлорофильные мутации, морфологические мутации листьев – спиральная скрученность листовой пластинки [19], мутации по срокам созревания и устойчивости к заболеваниям [20].

Как прямое использование мутантов, так и включение их в скрещивания позволили существенно повысить уровень генетического разнообразия яровой и озимой пшеницы за счет рекомбинации генных комплексов, реорганизовать генотип растений в нужном направлении [21].

Положительный эффект любого мутагена в селекции растений зависит не только от его мутагенного действия, но также от его мутагенной эффективности. Эффективный мутагенез является продуктом максимальных желательных изменений, сопровождаемых наименее возможными нежелательными изменениями. Действенность и эффективность являются двумя различными свойствами мутагенов [22-24].

Действенность обычно означает скорость точечных мутаций относительно дозы, тогда как эффективность относится к скорости точечных мутаций относительно других биологических эффектов, индуцируемых мутагеном, и считается мерой повреждения. Таким образом, два агента могут быть равными по мутагенному воздействию потому, что в данной

дозе они индуцируют мутацию с той же частотой. Однако когда они расходятся в своей способности производить нежелательные изменения, такие как бесплодие и летальность, тогда можно сказать, что они отличаются мутагенной эффективностью. Важным шагом является выбор эффективного мутагена и дозы, которая будет использоваться. Предпочтительна та доза, которая вызывает большую изменчивость в любой культуре [25].

Хотя ионизирующее излучение все еще остается наиболее подходящим средством для появления изменчивости, некоторые химические вещества являются одинаково и даже во много раз более эффективными и действенными мутагенами [6; 7]. Известно, что для ионизирующих излучений и преобладающего большинства химических мутагенов выраженный мутагенный эффект находится в области средних и высоких доз, вызывающих значительную летальность. Мутагены в низких дозах вызывают стимуляцию жизненных процессов, оказывают модифицирующий, а иногда даже мутагенный эффект. Действие малых доз мутагенов является также одним из составляющих проблемы мутагенной опасности загрязнения окружающей среды. При прогнозировании генетической опасности химических загрязнителей окружающей среды должно учитываться не только их мутагенное действие, но и сложные множественные ненаследственные изменения, вызываемые различными модификационными агентами, также встречающимися в природе [6]. Всё ещё остаются неизвестными последствия воздействия микроколичеств химических соединений на микробную популяцию, высшие растения, животных и человека.

Борьба против болезней и вредителей растений является одной из важных задач современного сельскохозяйственного производства, где используют различного рода пестициды. Многие из них обладают мутагенным или онкогенным эффектом, они не имеют избирательности действия, при их систематическом применении происходит быстрая генетическая адаптация вредителей. Пестициды возглавляют список опасных загрязнителей окружающей среды, поскольку одни из них токсичны, а другие, будучи сами по себе безвредными, могут превращаться, особенно при участии микроорганизмов и метаболитов высших организмов, в ядовитые продукты с канцерогенными и цитотоксическими свойствами [6].

Преимущества использования пестицидов хорошо известны, в том числе и их роль в производстве обильного, разнообразного и недорогого продовольствия. Однако в последние десятилетия наблюдается повышенное критическое внимание общественности и научного сообщества относительно применения пестицидов, возможность сокращения их использования в сельском хозяйстве [26].

Одним из способов борьбы с патогенами является применение пестицидов на семенном материале перед посевом. Системная обработка семян обеспечивает защиту от патогенов почвенного происхождения и насекомых, листовых болезней. Для обработки

семян требуется небольшое количество активного вещества, в отличие от внесения при полевом применении или подкормке. Однако остатки системных пестицидов могут присутствовать в клеточном соке, пыльце растений и нектаре семенных сортов [27].

Анализ действия пестицидов и их доз на всхожесть семян и морфофизиологические особенности проростков культурных растений, на количественные признаки растений даст возможность получения нового исходного материала для практической селекции растений.

Список литературы

1. Степановских А.С. Общая экология: учебник для вузов. – 2-е изд., доп. и перераб. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2015. – 687 с.
2. Биология: учеб. для мед. спец. вузов: в 2-х кн. Кн. 2 / В.Н. Ярыгин [и др.]; под ред. В.Н. Ярыгина. - Изд. 9-е, стер. - М.: Высш. шк., 2008. - 334 с.
3. Захваткин Ю.А. Основы общей и сельскохозяйственной экологии: методология, традиции, перспективы. – Изд. 2, перераб и доп. - М.: URSS, 2013. - 352 с.
4. Жученко А.А. Адаптивный потенциал культурных растений (эколого-генетические основы). Теория и практика: в 3-х тт. - М.: Агрус, 2008. - 816 с.
5. Laurence Loewe, William G. Hill The population genetics of mutations: good, bad and indifferent Phil. Trans. R. Soc. B 365, 2010, p. 1153–1167.
6. Рапопорт И.А. Химический мутагенез: проблемы и перспективы / И.А. Рапопорт, И.Х. Шигаева, И.Б. Ахматуллина. - Алма-Ата: Наука Каз. ССР, 1980. – 320 с.
7. Ауэрбах Ш. Проблемы мутагенеза. - М.: Мир, 1978. - 452 с.
8. К столетию академика Н.П. Дубинина: по материалам научной конференции «Генетика на рубеже веков» (Москва, 22-23 марта 2007 г.) / Рос. акад. наук, Ин-т общ. генетики им. Н.И. Вавилова, Мемор. музей-кабинет Н.П. Дубинина [сост.: Л.Г. Дубинина, И.Н. Овчинникова; отв. ред. А.А. Жученко, Н.К. Янковский]. – М.: Наука, 2009. – 259 с.
9. Babich H. The mediation of mutagenicity and clastogenicity of heavy metals by physicochemical factors. Environ.res, 1985, Vol. 37, № 1, p. 253.
10. Berlin E.N. Effect of hydrogen sulfide on the mutagenicity of H₂O₂ in *S. typhimurium*, Strain TA 102. Mut. Res, 1986, Vol. 175, № 1, p. 5.
11. Nakajima T. Stabiliti of plasmids in mutagen treatments of streptomycin-dependent strain *E.coli*. Mut. Res., 1976, Vol. 38, № 5, p. 344.
12. Rehman S. Effect of chemical mutagens on chromosomes of wheat (*Triticum aestivum L.*), variety 'Dirk'. M. Sc. (Hons) Agric. Thesis. Peshawar Univ., 1967, p. 71-73.
13. Haenzel H.D., Ross J.G. and Huang C.C. Irradiation induced mutations in a colchicine

reactive genotype in sorghum. *Crop Sci.*, 1963, no. 3, p. 242-245.

14. Montalvan R., Ando A. Effect of gamma-radiation and sodium azide on quantitative characters in rice (*Oryza sativa L.*). *Genet Mol Biol.*, 2005, no 2, p. 117–126.

15. Arulbalachandran D., Mullainathan L., Velu S. Screening of mutants in blackgram (*Vigna mungo (L.) Hepper*) with effect of DES and COH in M2 generation. *Journal of Phytology*, 2009, p. 213–218.

16. Dhanavel D., Pavadai P., Mullainathan L., Mohana D., Raju G., Girija M., Thilagavathi C. Effectiveness and efficiency of chemical mutagens in cowpea (*Vigna unguiculata L.*). *Walp. Afr J Biotechnol.*, 2008, no. 7, p. 4116–4117.

17. Ganapathy S., Nirmalakumari A., Senthil N., Souframanien J., Raveendran TS Isolation of macromutations and mutagenic effectiveness and efficiency in little millet varieties. *World J Agric Sci.*, 2008, no. 4, p. 483–486.

18. Экологически безопасная продукция: рек. М-вом сел. хоз-ва РФ в кач-ве учебного пособия для студентов вузов, обучающихся по сельскохозяйственным специальностям / В.А. Черников, О.А. Соколов; Ассоц. «Агрообразование». - М.: КолосС, 2009. - 437 с.

19. Эйгес Н.С. Новый сорт озимой мягкой пшеницы Солнечная, полученный с использованием метода химического мутагенеза И.А. Рапопорта / Н.С. Эйгес, Г.А. Волченко, С.Г. Волоченко и др. // Инновационные технологии в АПК: сб. ст. 4-й междуна. науч.-практ. конф. Пенза, 21-22 марта, 2016. - Пенза, 2016. - С. 124-130.

20. Кротова Л.А. Эколого-генетическая роль химических мутагенов в повышении генотипической изменчивости при создании сортов мягкой пшеницы в условиях Западной Сибири: автореф. дис. ... докт. с.-х. наук. - Тюмень, 2013. - 32 с.

21. Белецкая Е.Я. Создание селекционного материала мягкой пшеницы на мутантной основе, адаптированного к условиям Западной Сибири / Е.Я. Белецкая, Л.А. Кротова // Стратегии устойчивого развития национальной и мировой экономики: м-лы междуна. науч.-практ. конф. (Челябинск, 10 ноября 2015 г.). – Челябинск: Аэтерна, 2015. - С. 34-38.

22. Khan M.H., Tyagi S.D. Studies on effectiveness and efficiency of gamma rays, EMS and their combination in soybean (*Glycine max (L.) Merrill*). *J. Plant Breed. Crop Sci.*, 2010, p. 175–180.

23. Shah T.M., Mirza J.I., Haq M.A., Atta B.M. Induced genetic variability in chickpea (*Cicer arietinum L.*). II. Comparative mutagenic effectiveness and efficiency of physical and chemical mutagens. *Pak J Bot.*, 2008, no. 40, p. 605–613.

24. Girija M., Dhanavel D. Mutagenic effectiveness and efficiency of gamma rays, ethyl methane sulphonate and their combined treatments in cowpea (*Vigna unguiculata L. Walp*). *Global J Mol Sci.*, 2009, no. 4, p. 68–75.

25. Tamina Begum, Tapash Dasgupta. A comparison of the effects of physical and chemical mutagens in sesame (*Sesamum indicum L.*). *Genetics and molecular Biology*, 2010, vol. 33, no. 4, p.761–766.
26. Яшутин Н.В. Биоземледелие: научные основы, инновационные технологии и машины: монография / Н.В. Яшутин, А.П. Дробышев, А.И. Хоменко. – Барнаул: Изд-во АГАУ, 2008. - 191 с.
27. Nuyttens D., Devarrewaere W., Verbovenb P., Foque D. Pesticide-laden dust emission and drift from treated seeds during seed drilling: a review. *Pest Manag Sci*, 2013, no. 69, p. 564–575.