

Л. В. НАВРОЦКАЯ, канд. техн. наук, доцент
 В. И. ЗАГИНАЙЛОВ, доктор техн. наук, профессор
 С. Р. НАВРОЦКАЯ, магистрантка

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия имени А. К. Тимирязева», Российская Федерация, г. Москва

L. V. NAVROTSKAYA, Ph. D. of Engineering, Associate professor

V. I. ZAGINAYLOV, Doctor of Engineering, Professor

S. R. NAVROTSKAYA, Undergraduate

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Russian State Agrarian University – Moscow agricultural Academy named after K. A. Timiryazev", Russian Federation, Moscow

ВОЗДЕЙСТВИЕ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА СЕМЕНА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

THE IMPACT OF LASER RADIATION ON SEEDS OF AGRICULTURAL CROPS

Аннотация. В статье говорится о том, что проблема создания ценного исходного материала для селекции новых сортов является весьма острой. В сложившейся ситуации возникает необходимость разработать новые методы изменения наследственности, которые давали бы возможность в большом масштабе индуцировать мутационную или рекомбинативную изменчивость, не используя ГМО. Поэтому необходимо исследовать собственные скрытые резервы развития растений для увеличения всхожести их семян, роста проростков, продуктивности и урожайности будущей сельскохозяйственной продукции. При обработке влажных семян физическими факторами происходит мобилизация сил и высвобождение энергетических резервов организма, активируются физиолого-биохимические процессы на ранних этапах прорастания семян. Чем больше воды находится в клетке, тем неподвижней в ней вращающаяся молекула ДНК и тем более уязвимы составляющие ее гены. Это приводит к увеличению выхода хромосомных мутаций при облучении семян. Наиболее эффективным при облучении семян является лазерное излучение импульсного режима с длиной волны в пределах 400...700 нм, мощностью $10^5...10^8$ Вт, с 50...100 вспышками в импульсе. Для каждого вида семян можно найти оптимальный режим обработки, со стимуляционным развитием растений и хозяйственно ценными их признаками, которые благодаря повышению хромосомных нарушений могут передаваться следующим поколениям растений.

Ключевые слова: семена, мутация, стимуляция, лазерное облучение, проростки, растения, ДНК, селекция.

Abstract. The article states that the problem of creating valuable raw material for the selection of new varieties is very acute. In this situation, there is a need to develop new methods of changing the inheritance, which would make it possible to induce on a large scale mutational or recombinant variability without using GMOs. Therefore it is necessary to investigate own hidden reserves of development of plants for increase in germination of their seeds, growth of sprouts, productivity and productivity of future agricultural production. In the treatment of wet seeds by physical factors is the mobilization of forces and release of energy reserves of the body, activated physiological and biochemical processes in the early stages of seed germination. The more water is in the cell, the motionless in it rotating DNA molecule and the more vulnerable its constituent genes. This leads to an increase in the yield of chromosomal mutations during irradiation of seeds. The most effective at irradiation of seeds is laser radiation of a pulse mode with a wavelength in the range of 400 ... 700 nm, with a power of $10^5 ... 10^8$ W, with 50...100 flashes per pulse. For each type of seed, it is possible

to find the optimal treatment regimen, with the stimulation development of plants and their economically valuable features, which due to the increase in chromosomal abnormalities can be transmitted to the next generations of plants.

Keywords: seeds, mutation, stimulation, laser irradiation, sprouts, plants, DNA, selection.

Введение

На протяжении тысячелетней истории человечества создавались традиции и приемы выведения сельскохозяйственных сортов растений и пород животных. Повышение продуктивности сельскохозяйственных культур неразрывно связано с успехами селекционной работы. Методы селекционной работы в скрещивании предполагали получение устойчивости наследственных признаков.

Все возрастающее значение приобретает селекция сортов, которые сочетают высокую урожайность с хорошим качеством продукции. Они должны стабильно сохранять свои положительные свойства в любых условиях выращивания.

В настоящее время для улучшения качества и количества сельскохозяйственной продукции используется генетическое соединение различных видов животных и растений, что приводит к появлению новых растений с малоизученными свойствами. Из информационных источников известно, что употребление в пищу генномодифицированных продуктов приводит к серьезным заболеваниям как людей, так и животных и последующему их бесплодию.

В этой связи проблема создания ценного исходного материала для селекции новых сортов является весьма острой. В сложившейся ситуации возникает необходимость разработать новые методы изменения наследственности, которые давали бы возможность в большом масштабе индуцировать мутационную или рекомбинативную изменчивость. Поэтому необходимо исследовать собственные скрытые резервы развития растений для увеличения всхожести их семян, роста проростков, продуктивности и урожайности будущей сельскохозяйственной продукции.

Методы исследования

В последние годы успешно развивается новое направление в науке – биоэнергетика, позволяющее открывать дополнительные возможности познания явления

преобразования солнечной энергии растениями. Это направление является единым процессом и состоит из нефотосинтетической и фотосинтетической трансформации энергии фотонов в растительной клетке. Изучение преобразования солнечной энергии растениями и путей его многообразного использования в народном хозяйстве (сельском, лесном, ряде отраслей промышленности и т. д.) должно наиболее интенсивно осуществляться именно фотоэнергетикой растений [1].

Это направление и предопределило ход исследования способов повышения нефотосинтетической трансформации энергии фотонов в семенах, приводящей к увеличению хромосомных нарушений в них, а следовательно, к расширению спектра мутаций и разновидности изменений сорта.

Вопросам мутагенеза большое значение придавал Н. И. Вавилов, который еще в 1932 году, наряду с отдаленной гибридизацией, скрещиванием географических рас намечал работы по искусственному получению мутаций. Мутационная селекция действительна и как дополнение к традиционным методам. Создание мутантных сортов базируется на большой частоте новых полезных мутаций, мобилизирующих признаки, недоступные другим методам (Рапопорт, 1982).

Известны физические методы, которые по данным многочисленных авторов могут при определенных условиях вызывать наследственные изменения того или иного вида, сорта сельскохозяйственных культур. При этом из спектра их изменчивости можно выбрать растения с наилучшими хозяйственно-ценными качествами. Эти наследственные изменения с положительными свойствами могут ликвидироваться или остаться в потомстве – все зависит от того, какой процент хромосомных нарушений при этом наблюдается, а также от жизнеспособности обработанных семян [2].

В последние годы проявляется интерес к изучению фотоэнергетических ресурсов клетки различных растений. Большое

значение приобретает фотоактивация семян для сокращения периода вегетации зерновых культур, ослабления проявления отрицательных погодных условий, заглубления узла кущения, усиления роста корней и снижения заболевания бурой ржавчиной. Для этих целей используются многочисленные облучательные установки различной мощности и длины волны. Наиболее мягким мутагенным фактором считается лазерное излучение. В настоящее время лазерным мутагенезом занимаются многие инженеры, биологи, генетики в различных институтах нашей страны и зарубежом [3].

Точным подбором свойств луча удается управлять процессами, происходящими в семенах на атомно-молекулярном уровне. Здесь огромную роль играет возможность строгой дозировки и локализации вводимой энергии, точной настройки частоты света в резонанс с исследуемой системой. Из-за селективно-резонансного поглощения при действии невысокого по интенсивности лазерного света в клетке происходит фотостимуляция процессов, а после интенсивного облучения – повреждение биохимических процессов, нарушение клеточных структур, в том числе и процессов в клеточном ядре, что в итоге приводит к фотомутагенезу.

Обработка семян лазерным светом открывает большие возможности целенаправленного воздействия на метаболизм растений. Рост и накопление биомассы растения – результат фотосинтеза, который осуществляется в первую очередь благодаря квантам света, поглощаемым молекулой хлорофилла.

Лазерное излучение, характеризующееся строгой монохроматичностью, поглощается определенными компонентами семенной оболочки, эндоспермом и зародышем. Изучение генетической эффективности факторов окружающей среды – весьма актуальная проблема современной науки. К числу таких факторов относится лазерное излучение. С каждым годом расширяются масштабы применения лазеров в различных отраслях науки и производства. Работа с растениями предусматривает не только получение ответа на вопрос о генетическом действии лазерного излучения, но и в случае наличия генетических эффектов использование его в качестве мутагенного фактора в

селекции [4].

Экспериментальные данные показали, что лазерное излучение обладает мутагенным действием при облучении генеративных органов и сухих семян растений. Это обусловило формирование нового направления в экспериментальном мутагенезе. Лазерное излучение характеризуется комплексом параметров, и только при оптимальном их сочетании наблюдаются цитогенетические и генетические эффекты. Было замечено, что высокая мутагенная эффективность наблюдается при облучении семян лазером большей мощности, но меньшей энергии.

Большинство радиационных мутантов не представляет практической ценности. При облучении семян гамма-излучением выживаемость растений значительно ниже, чем при облучении семян лазерным светом. При лазерном облучении наследование изменчивых признаков, как правило, оказывалось выше, чем при облучении лучами.

Облучение семян непрерывным аргоновым лазером $\lambda = 476$ нм при плотности мощности 1 мВт/см^2 , при экспозиции 90 мин привело к стимуляции продуктивности. При облучении им на двух стадиях развития растений наблюдалась самая высокая частота индукции мутационных изменений. В общем спектре полученных мутантов такие формы составили 10...20 % при использовании лазеров ЛГ-56 и «Радуга-4» и 25 % – при использовании гелий-неонового лазера ЛГ-75. Этот факт имеет важное практическое значение [5].

Увеличение частоты хромосомных перестроек при облучении семян с длиной волны от 340 до 460 нм начинается уже при дозе $0,05 \text{ Дж/см}^2$ плотности, мощности $0,02 \text{ Вт/см}^2$ с экспозицией 50...150 мин. Угнетение – при 45 Дж/см^2 . При облучении семян лазером с длиной волны 490...530 нм порог повреждения для хромосом равен примерно $0,005 \text{ Дж/см}^2$, при дозе 23 Дж/см^2 наблюдается угнетение клеток. Для лазеров с длиной волны от 740 до 1060 нм увеличение перестроек наблюдается при дозах не менее 2 и 8 Дж/см^2 . При активации важнейших ферментов в клетках оптимальная плотность мощности должна быть в пределах 100...300 мВт/см^2 .

При сравнении воздействия на семена лазеров различной мощности непрерывного и импульсного излучения выяснилось, что

наиболее эффективным и мощным мутагенным фактором среди лазеров непрерывного действия является лазерное излучение в синей области спектра ($\lambda = 442$ нм) мощностью $3 \cdot 10^{-2}$ Вт, с дозой облучения $7 \cdot 10^5$ Дж/м², затем по эффективности воздействия идет моноимпульсный лазер с оптимальными параметрами: длиной волны и $\lambda = 694$ нм и выходной энергией в импульсе 2 Дж/см² и длительностью импульса $3 \cdot 10^3 \dots 10^4$ с, однако в зеленой области спектра он обладает более выраженным цитогенетическим действием, чем в красной области. Число клеток с абберациями при использовании излучения импульсного лазера в два раза больше чем при использовании для облучения семян лазером непрерывного излучения той же длины волны.

Наиболее эффективным при облучении семян является лазерное излучение импульсного режима с длиной волны в пределах $400 \dots 700$ нм, мощностью $10^5 \dots 10^8$ Вт, с $50 \dots 100$ вспышками в импульсе.

При сравнении вариантов облучения импульсным лазером сухих и влажных семян выяснилось, что хлорофильные мутации появляются только в вариантах облучения влажных семян. Количество других мутаций было примерно в два раза больше у влажных семян, в чем у сухих.

Привносимая низко интенсивными физическими факторами в биологические структуры энергия служит своеобразным «триггером» перераспределения свободной энергии клеток и тканей, существенно изменяющим их метаболизм и функциональные свойства, т. е. несет в себе черты «информационного» стимуляционного воздействия. Следовательно, стимуляционные эффекты улучшают транскапиллярный обмен [6].

Авторами были проведены опыты по исследованию повышения выхода хромосомных мутаций у сухих и увлажненных семян огурца сорта «Водолей», также при различной мощности лазерного излучения. Для этих целей использовали полупроводниковые импульсные лазеры (ПОИ с ЭВ), с $P = 2,5$ Вт, $P = 15$ Вт, $P = 60$ Вт, длительностью импульса 10^{-8} с, длиной волны $\lambda = 540$ нм и временем облучения от 1 до 90 мин.

Обработанные таким образом семена проращивались до определенной длины корней, а затем сотрудники ТСХА и МГУ

проводили на корешках цитогенетический анализ хромосомных нарушений. Сравнивались два варианта обработки семян на выход хромосомных мутаций – влажные и сухие с последующим лазерным облучением.

Затем по экспериментальным данным были построены кривые выхода хромосомных мутаций в зависимости от количества энергии, поглощенной семенами при облучении их лазерами различной мощности.

Максимальный выход хромосомных мутаций наблюдается у влажных семян, обработанных лазерным излучением мощностью $P = 60$ Вт. В этом случае у растений, выросших из этих семян, появляется большое количество хозяйственно ценных признаков.

На основании многочисленных наблюдений исследователи сделали вывод, что вода увеличивает повреждения и способствует мутагенезу. Этот вывод хорошо согласовывался с данными из области радиационной химии воды и водных растворов. Можно было предполагать, что при повреждении насыщенных водой клеток радиация в значительной степени осуществляет свое действие косвенным путем через активные продукты, возникающие в результате радиолитизации воды (H_2O_2 , H , OH и HO_2).

При обработке влажных семян физическими факторами происходит мобилизация сил и высвобождение энергетических резервов семян, активируются физиолого-биохимические процессы на ранних этапах прорастания семян, устойчивое увеличение энергии прорастания, всхожести, которые благоприятно влияют на весь последующий период развития растений. Под их воздействием прорастание травмированных семян стабилизируется, и они прорастают практически как нетравмированные.

При намокании семена разбухают, увеличивается площадь их поверхности, объем, проницаемость, оптические свойства. Наблюдается эффект мокрой бумаги, когда капилляры ткани заполняются водой и являются световодами внутри семени. Поэтому семена начинают поглощать больше энергии, чем в сухом состоянии [7].

Чем больше воды находится в клетке, тем неподвижнее в ней вращающаяся молекула ДНК и тем более уязвимы составляю-

щие ее гены. Свойства воды, определяющие конформацию макромолекул ДНК, обусловлены структурой воды. При увеличении длины «веретена» молекулы ДНК в случае насыщения клетки семени водой и дальнейшем облучении «веретена» его спиральной вытянутой ДНК в расправленной молекуле лазером, наблюдается значительно большее проникновение квантов излучения в длинную молекулу ДНК, а следовательно, возникает и больше повреждений и перестроек ее структурных звеньев, что и приводит к хромосомным мутациям.

Однако, как и при любой другой обработке семян, в этом случае существует оптимальный вариант воздействия, при котором наблюдается максимальный коэффициент

поглощения излучения семенами, вызывающий стимуляцию развития проростков и увеличение процентного выхода хромосомных мутаций у данных проростков семян. Это позволит закрепить полезные признаки в последующих поколениях растений [8].

Выводы

Таким образом, для каждого вида семян можно найти оптимальный режим обработки, со стимуляционным развитием растений и хозяйственно ценными их признаками, которые благодаря повышению хромосомных нарушений могут передаваться следующим поколениям растений, т. е. появляется возможность выведения новых сортов растений с усиленными полезными свойствами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Материалы I Всесоюзного координационного совещания: Радиационная генетика – селекции. М. : АН СССР им. Вавилова, 1986. 110 с.
2. Лисовская З. И., Володин В. Г. и др. Характер и особенности генетической изменчивости, индуцированной лазерным излучением // Тезисы докладов. Львов : Вольная Украина, 1984. 177 с.
3. Москвин С. В., Хадарцев А. А. Лазерный свет можно ли им навредить? // Вестник медицинского института «РЕАВИЗ». 2016. № 3. С. 16.
4. Ковш И. Б, Будаговский А. В. Лазерные технологии в сельском хозяйстве : Тематический сборник. М. : Техносфера, 2008. С. 272.
5. Будаговский А. В. Лазерные агротехнологии. Социальные и экологические аспекты внедрения лазерных агротехнологий // Промышленное садоводство. Мичуринск. 2005. № 3. С. 15–17.
6. Москвин С. В. К вопросу о механизмах терапевтического действия низкоинтенсивного лазерного излучения (НИЛИ) / Лазерные технологии в сельском хозяйстве. М. , 2008. С. 29–48.
7. Башилов А. М. Электронно-оптическое зрение в аграрном производстве. М. : ГНУ ВИЭСХ, 2005. С. 312.
8. Будаговская О. Н. Оптическая дефектоскопия плодов. Тамбов : Пролетарский Светоч, 2009. С. 276.

REFERENCES

1. Materialy I Vsesoyuznogo koordinatsionnogo soveshchaniya: Radiatsionnaya genetika - seleksii. M. : AN SSSR im. Vavilova, 1986. 110 p.
2. Lisovskaya Z. I., Volodin V. G. i dr. Kharakter i osobennosti geneticheskoy izmenchivosti, indutsirovannoy lazernym izlucheniem // Tezisy dokladov. Lvov : Vol'naya Ukraina, 1984. 177 p.
3. Moskvina S. V., Khadartsev A. A. Lazernyy svet mozno li im navredit'? // Vestnik meditsinskogo instituta «REAVIZ». 2016. № 3. 16 p.
4. Kovsh I. B, Budagovskiy A. V. Lazernye tekhnologii v sel'skom khozyaystve : Tematicheskii sbornik. M. : Tekhnosfera, 2008. 272 p.
5. Budagovskiy A. V. Lazernye agrotekhnologii. Sotsial'nye i ekologicheskie aspekty vnedreniya lazernykh agrotekhnologiy // Promyshlennoe sadovodstvo. Michurinsk. 2005. № 3. pp. 15–17.
6. Moskvina S. V. K voprosu o mekhanizmax terapevticheskogo deystviya nizkointensivnogo lazernogo izlucheniya (NILI) / Lazernye tekhnologii v sel'skom khozyaystve. M. , 2008. pp. 29–48.

7. **Bashilov A. M.** Elektronno-opticheskoe zrenie v agrarnom proizvodstve. M. : GNU VIESKh, 2005. 312 p.

8. **Budagovskaya O. N.** Opticheskaya defektoskopiya plodov. Tambov : Proletarskiy Svetoch, 2009. 276 p.

Навроцкая Людмила Васильевна, канд. техн. наук, доцент
Тел. 8-962-901-84-71

Загинайлов Владимир Ильич, доктор техн. наук, профессор
Тел. 8-903-109-37-37

Навроцкая Светлана Романовна, магистрантка
Тел. 8-916-995-56-87
E-mail: 2nsr@mail.ru
127550, Москва, ул. Тимирязевская, д. 49