

УДК 537; 53.06; 53.09; 63

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ СЕМЯН

© 2024 г. Л. С. Шибряева^{a, b *}, М. Е. Чаплыгин^b, Э. В. Жалнин^b,
Н. Д. Блинов^{a, b}, А. Г. Аксенов^b

^aИнститут биохимической физики им. Н.М. Эмануэля Российской академии наук,
ул. Косыгина, д.4, Москва, 119334 Россия

^bФедеральный научный агроинженерный центр ВИМ, 1-й институтский проезд, д. 5,
Москва, 109428 Россия,

*E-mail: lyudmila.shibryaeva@yandex.ru

Поступила в редакцию 21.07.2023 г.

После доработки 17.09.2023 г.

Принята к публикации 19.09.2023 г.

Обзор посвящен проблеме воздействия низкочастотных электромагнитных полей на продуктивность семян растений. В работе обсуждаются закономерности проявления магнито-биологического эффекта при облучении семян, рассмотрены основные законы, лежащие в основе магнито-биологических эффектов, обсуждены причинно-следственные связи между механизмами и параметрами воздействия электромагнитных полей на растения с одной стороны и составом минеральных веществ и клеточным строением семян с другой стороны. На основании анализа результатов лабораторных испытаний, проводимых на полях и в научных лабораториях по предпосевной обработке семян различных зерновых и овощных культур показано, что среди основных факторов, определяющих рост всхожести семян и последующего их развития во взрослую особь, лежит строгое соответствие механизма и кинетики энергетического воздействия с энергетической восприимчивостью живым организмом растения на их макромолекулярном и молекулярном уровне.

Ключевые слова: магнетизм, электромагнитное поле, проращивание семян растений, предпосевная стимуляция семян, магнито-биологический эффект, механизмы электромагнитного воздействия.

DOI: 10.31857/S0023119324010016 EDN: KCUVIL

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день во всем мире проведены многочисленные исследования по установлению влияния электромагнитных полей (ЭМП) и источников излучений (ЭМИ) для стимуляции роста и развития растений. Известны работы, имеющие пятидесятилетнюю и более позднюю историю, в которых приводятся экспериментальные данные, демонстрирующие действие различных энергетических источников: электромагнитных полей [1–4], излучений миллиметрового диапазона [5–7], сверхвысокочастотных (СВЧ) [8, 9], УФ-излучений [10–12], коронного электрического разряда [13, 14], ИК-излучений [15, 16], γ -излучения [17] импульсного электронного пучка [18] на урожайность семян зерновых, овощных, кормовых, и других культур. В этих работах показано, что предпосевная обработка семян различными физическими методами при оптимальных режимах может повысить жизнеспособность, ускорить и интенсифицировать прорастание семян, а также повысить продуктивность, что обусловлено более полной реализацией биологического потен-

циала растений с одновременным губительным действием на фитопатогены.

Однако, несмотря на многочисленные исследования, отсутствует достоверная информация о механизме электрофизических воздействий на биологический материал. Среди научного сообщества и специалистов агропромышленного комплекса нет единого мнения по поводу механизмов действия и эффективности обработки биологических систем разными видами ЭМП и ЭМИ и даже их применимости на практике. Это вызвано существующими противоречиями между взглядами на результаты исследований, полученных разными научными направлениями, в разных лабораториях, изучающих воздействие магнитных полей. Ситуацию усложняет тот факт, что неионизирующие излучения оказывают разное физиологическое воздействие на различные биологические системы, при этом воздействия могут быть как положительными, так и отрицательными. Например, в работах [10–12, 19–23] показан различный характер воздействия УФ-радиации на рост, развитие, продуктивность и актив-

ность эндогенных регуляторов роста растений. В области коротковолновых лучей (254 нм) УФ-радиация подавляет рост растений, а средневолновых (313 нм) и длинноволновых (365 нм) — ускоряет [12, 21, 23]. Существует ярко выраженная “нелинейность” эффектов, т.е. сложный характер зависимости реакции биологической системы от величины поглощаемой ею энергии [12, 21, 23]. Проявляется разнонаправленность во влиянии малых и больших доз облучения на всхожесть семян, рост и развитие растений, при этом эффективность воздействия малыми дозами выше, чем большими [24–27].

Научная проблема определения эффективности воздействия любого энергетического источника на растительные организмы состоит в том, что при наличии большого многообразия индивидуальных особенностей клеточных структур в организмах, подвергаемых воздействию электромагнитных волн искусственного происхождения в сельскохозяйственном производстве, отсутствуют достоверные сведения и теоретическая концепция, позволяющая проектировать аппараты для электротехнологической обработки биосистем с целью стимулирования процессов жизнедеятельности, как на начальной стадии развития, так и в течение всего жизненного цикла. И только применение микропроцессорной элементной базы, разрабатываемых устройств электромагнитного воздействия, тщательное исследование связи законов внутри этой базы воздействия на биологические и биохимические процессы в клеточных структурах, позволяет определять с высокой достоверностью не только значения оптимальных параметров проектируемых аппаратов, но и с высокой точностью оценивать результаты их воздействия [28–33]. Несмотря на существующие различия в проявлении магнитобиологических эффектов, на современном этапе внедрение инновационных достижений науки, техники и передовых технологий продолжает оставаться необходимым.

Цель обзора провести анализ основных законов, оказывающих влияние на эффективность магнитобиологического воздействия на растения, установить причинно-следственные связи между характером воздействия электромагнитных полей на растения, их роль в проявлении эффективности воздействия и откликом растений на него.

ЗАКОНЫ, ЛЕЖАЩИЕ В ОСНОВЕ МАГНИТОБИОЛОГИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ И ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ИХ ПРОЯВЛЕНИЕ

Известны многочисленные научные работы, в которых рассмотрены механизмы физического, химического и биологического воздействия электромагнитными полями (ЭМП) на биологические системы и растения. В этих работах обсуждаются законы, лежащие в основе магнитобиологических эффектов (МБЭ) и факторы, определяющие их механизмы, значение и направления [34–39].

Согласно существующим на сегодняшний день представлениям основным фактором, обеспечивающим реализацию влияния энергетической обработки на рост и развитие растений, является возникновение “энергетических окон”, в рамках которых параметры падающей энергии на растительную систему сочетаются с физиологическим состоянием растительной мишени, воспринимающей эту энергию. МБЭ зависят от частотных параметров электромагнитного поля, природы, типа, состояния мишени в растении, ее способности воспринимать воздействие энергии электромагнитных полей и излучений той или иной частоты, а также проявлять ионную интерференцию по отношению к тепловым возмущениям среды [39–46].

Согласно теориям, выдвинутым в работах [34–36, 40–48], действие магнитного поля проникает непосредственно в каждую клетку. В качестве мишени выступают магнитные моменты, присутствующие в биологической или растительной системе (спин электрона свободного радикала, ядерный магнитный момент, орбитальный магнитный момент, магнитный момент орто-молекул воды, ионов Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} и т.п.). Эти мишени становятся “антеннами” внутри ростковых систем, клеток растений, которые могут воспринимать управляющее воздействие от внешних электрических, магнитных полей и излучений. Природа развития ответной реакции растений на воздействие ЭМП двояка. С одной стороны, эта реакция универсальна. С другой стороны, в результате воздействия на растения в них происходят процессы, начиная с простых биофизических, биохимических реакций и заканчивая сложными адаптационными биологическими явлениями. Именно с этим связан разброс результатов, полученных от воздействия ЭМП.

В зависимости от напряженности магнитного поля его воздействия на растения могут проявлять энергетический, волновой, температурный, информационный характер [38, 41, 42, 49]. В результате

энергетического воздействия могут изменяться скорости реакций и процессов. В результате информационного воздействия происходит изменение в ходе и механизме развития растений.

Исходя из совокупности полученных данных, представленных в литературе, в качестве основных факторов, определяющих воздействие ЭМП на растения, можно представить: 1) природу ЭМП, механизм энергетического воздействия; 2) природу растения, его внутреннего клеточного строения.

Наиболее распространенными энергетическими источниками, используемыми для обработки сельскохозяйственных растений с целью получения высокого результата от магнитоэффекта, являются постоянное СМП, переменное ПМП, комбинированные СМП и ПМП, низкочастотные и высокочастотные магнитные поля. Механизмы воздействия для магнитных полей и магнитобиологические эффекты (МБЭ) подразделяются на эффекты от слабых и сильных полей. К слабым полям относят поля, энергия которых составляет $E \ll 100$ мТл, к сильным полям — поля с напряженностью $E \gg 1$ Тл. Сильные МП в отличие от слабых редко вызывают заметные биологические эффекты. Большие амплитуды МП приводят к большим по величине частот сдвигам фаз, не совпадающим по порядку величины с естественными частотами мишеней из ионов и молекул, и в результате не влекут нового качества в системе. В то же время в низкочастотном диапазоне при уровне МП более 1 мТл поля не вызывают ярких МБЭ вследствие их выхода за границы возможных интерференционных механизмов. Слабое магнитное поле не способно контролировать термически возмущенную ионную динамику, имея низкую ($E \ll kT$) энергию теплового движения. В таком поле могут проявляться механизмы, описывающие реакции со свободными радикалами, когда магнитные принципы управления имеют не энергетическую, а спиновую природу [34, 35]. Необходимым условием проявления молекулярных эффектов является наличие хотя бы двух спинов или пары свободных радикалов. Радикальные (ион-радикальные) пары, локализующиеся в клетках растений, служат мишенями и спиновыми нанореакторами, которые воспринимают воздействие постоянных и переменных магнитных полей. В основе магнитоэффектов лежит влияние магнитного поля на элементарные химические процессы, протекающие с участием этих парамагнитных частиц.

По характеру воздействия, оказываемого энергетическими источниками разной природы, в разных растениях, в зависимости от применения разных

технологических режимов, биологические результаты этих воздействий можно объединить в три механизма:

- воздействие на биохимические реакции, определяющие процессы жизнедеятельности растений на клеточном уровне, их рост и развитие;
- резистентное воздействие на растения — повышение болезнеустойчивости по отношению к грибковым, бактериальным заболеваниям;
- изменение минерального состава, включая содержание витаминов, крахмальной и сахаридной составляющих зерна и т.д., следовательно, воздействие на потребительские вкусовые и пищевые качества растения и сельскохозяйственные культуры, сохранность обработанных культур при хранении.

Например, низкочастотное электромагнитное воздействие (диапазон частот 1–100 Гц) оказывает влияние на всхожесть семян, энергию прорастания, скорость роста проростков, корней и других органов растения предполагает изменение его морфологических параметров, его биомассы [26, 39, 48]. Так, воздействие низкоинтенсивным электромагнитным излучением высокочастотного диапазона (ВЧЭМП) на семена зернобобовых культур: люпина узколистного (*Lupinus angustifolius* L.), донника белого (*Melilotus albus* Desr.), эспарцета песчаного (*Onobrychis arenaria* L.), люцерны посевной (*Medicago sativa* L.), галеги восточной (*Galega orientalis* L.), занимающих значительную часть посевных площадей Белорусского Полесья, приводило к увеличению проницаемости покровов и скорости набухания семян этих культур, которое обеспечивает рост их всхожести и прорастания [50]. Обработка электромагнитным полем сверхвысокой частоты (СВЧ ЭМП) зерна яровой мягкой пшеницы в значительной степени влияет на энергию прорастания и всхожесть семян в широких пределах [51].

Второй механизм действия ЭМП состоит в подавлении патогенной макро- и микрофлоры, находящейся в споровидном состоянии на поверхности семян. Это происходит в результате химической реакции с озоном, электросинтез которого инициирует, например, плазма коронного разряда в воздухе [52]. Энергия электромагнитного поля и электрического тока коронного разряда, выделяемая в объеме спор, производит их термический разогрев, стерилизацию, обеззараживание семян, что позволяет осуществлять уничтожение микробиоты, тем самым повышая стойкость семян по отношению к грибковым и бактериальным заболеваниям. В качестве объектов резистентного направления исследований были использованы

системы с простой организацией, например, одноклеточные микроорганизмы: различные штаммы дрожжей, бактерий и бактериофагов. В данных работах установлены физиологические и морфологические изменения микроорганизмов, индуцированные низкочастотным электромагнитным излучением. Так, в исследованиях, проведенных на культуре *Xanthomonas campestris*, были отмечены флуктуации интенсивности синтеза экзополисахаридов и активности развития бактериальной культуры [53]. В работах М.Г. Барышева [54] были найдены параметры низкочастотного электромагнитного воздействия (диапазон частот 1–20 Гц, напряженность электрической и магнитной компоненты порядка 10^{-9} В/м и 10^{-2} А/м), при которых на клетках *Escherichia coli* наблюдалось практически полное подавление репродуктивной деятельности бактерий. Влияние электромагнитного поля на дистиллированную воду и микроорганизмы показано в работах [55, 56]. Действие магнитно-импульсной обработки малины сорта Геракл, зараженной вирусом TBRV, приводит к ее оздоровлению от вирусов *in vitro* [57]. Данные исследования продемонстрировали, что низкочастотные электромагнитные поля оказывают существенное влияние на жизнедеятельность микроорганизмов, обладают бактериостатическим, а в некоторых случаях и бактерицидным свойствами, что позволяет применять ЭМП для бактерицидной обработки семян растений.

Энергетическая обработка ЭМП, оказывая влияние на минеральный состав зерна, может изменять жизнедеятельность клеток растения, выступать в качестве медиатора рецепторов клеток семян, “запускающих” внутриклеточные механизмы, приводящие к улучшению их посевных качеств. Обработка зерна пшеницы электромагнитным полем изменяет содержание водорастворимых витаминов [58, 59].

Известно, при действии магнитных полей на клеточном уровне увеличиваются колебательные движения белковых структур, при этом изменяется скорость переноса ионов в клетке растений, что в свою очередь оказывает влияние на эпигенетические механизмы клеточной активации, запускающие сложные биохимические реакции [1, 4, 29, 33, 34, 36, 58, 59]. В зависимости от длины волны микроволновое воздействие может направленно влиять на определенные типы химических и физических связей, что позволяет избирательно проводить те или иные реакции.

Таким образом, воздействие электромагнитных полей и излучений на растительные объекты приводит к развитию макроэффектов и микроэффектов.

К макроэффектам можно отнести визуально наблюдаемые эффекты, такие как:

- ускорение, либо замедление роста растения, его биомассы;
- изменение морфофизиологических параметров растений;
- уничтожение бактерий на поверхности семян.

В качестве примеров макроэффектов следует привести ускорение прорастания семян томата [60], пшеницы [2, 61] после их обработки стационарным магнитным полем различной интенсивности; увеличение скорости роста, изменения морфометрических параметров проростков сахарной свеклы, укропа, томата, огурцов вследствие воздействия на них переменного электромагнитного поля [1, 2, 62, 63].

Микроэффекты являются следствием воздействия магнитного поля или излучения на растения на уровне живой клетки, что вызывает процессы, происходящие во внутренних органах растений, приводит к протеканию физических, а также сложных адаптационных биохимических процессов, приводящих к следующим морфологическим и структурным изменениям:

- изменение структуры различных приповерхностных и поверхностных слоев семян растений;
- уменьшение плотности, повышение проницаемости семенных покровов;
- усиление скорости образования и рост активности гидролитических и окислительно-восстановительных ферментов;
- ускорение скорости клеточного деления;
- изменениям молекулярного строения клеточных мембран;
- активация процессов роста и развития клеток.

Макроэффекты и микроэффекты взаимосвязаны и взаимозависимы, причем микроэффекты управляют макроэффектами.

В качестве примера исследования, в котором прослеживается связь макро- и микроэффектов можно привести работу Н.И. Богатиной [48], посвященную изучению влияния магнитного поля с напряженностью в интервале 2×10^{-4} –1 Э на три фактора роста семян гороха: длину стебля и корня, сухую массу и митотический индекс гороха. При этом были установлены макроэффекты: достоверное удлинение стеблей в полях напряженностью 0.3–0.4 Э; удлинение ростков при $H = 5 \times 10^{-3}$ Э, их укорачивание — при $H = 2 \times 10^{-2}$ Э. Микроэффекты заключались в особенностях развития клеточного строения рас-

тений. При рассмотрении структуры клеток под микроскопом, была установлена зависимость количества митозов от величины магнитного поля. Изучали зависимость количества митозов (метафаз и анафаз) на 100 клетках. Для полей 0.2 Э митотический индекс достигал ~7%, в полях 0.3–0.5 Э этот индекс резко снижается вдвое. Анализ митотического индекса корешков под действием магнитного поля показал, что основному влиянию подвергаются дифференцированные клетки, находящиеся в фазе растяжения. Магнитное поле равномерно распределяет хроматин по клетке, оказывает влияние на изменение амплитуды и суточного ритма процесса клеточного деления, либо на его перераспределение между корнями и стеблями. Магнитное поле влияет на растяжение клетки, на процессы поглощения воды, приводит к изменению в кинетике процессов клеточного деления в корнях, в результате действует на изменение амплитуды и периодики ритмов роста.

Низкоинтенсивное электромагнитное поле СВЧ-излучения, воздействуя на поверхность семян люпина *Lupinus angustifolius* L. сорта “Першацвет”, приводит к увеличению проницаемости покровов семян люпина за счет изменения строения алейронового слоя, увеличивает скорость набухания, общую активность амилаз, что обеспечивает макроэффекты: рост всхожести и прорастания семян, изменение морфометрических показателей на ранних этапах прорастания [64].

Магнитно-импульсная обработка (МИО) зараженной вирусом TBRV малины сорта Геракл с помощью прибора СМИ-5 импульсами с индукцией от 7 до 26.4 мТл, при сканировании частотой в диапазоне 3.2–51.2–3.2 Гц и экспозиции от 8 до 48 мин, приводит к таким макроэффектам, как обеззараживание поверхности путем уничтожения вирусов, так и изменение элементарного состава эксплантов малины [57, 65, 66]. В результате действия МИО у эксплантатов малины отмечали количественное изменение состава химических элементов. Наблюдали увеличение содержания массы кислорода (7 мас. %), азота (18%) кремния (180%) и марганца (на 211%) при снижении железа (в 5.6 раза) калия (на 47%), кальция (50%), натрия (70%) цинка (в 3 раза), меди кобальта и никеля (в 2 раза). Содержание элементов нелинейно зависело от длительности воздействия магнитно-импульсной обработки. При этом микроэффекты заключаются в изменении структуры клеточных мембран и их проницаемости для разных ионов [66].

Показатели эффективности действия ЭМП на растения основаны на анализе качественных и ко-

личественных параметров. Качественный параметр характеризует направленность воздействия, количественный параметр — величину, на которую происходит изменение того или иного параметра культуры. Последний можно определить как “коэффициент эффективности”.

МЕХАНИЗМЫ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА СЕМЕНА НА РАННИХ СТАДИЯХ РАЗВИТИЯ РАСТЕНИЯ И ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ МБЭ

При оценке эффективности энергетического воздействия на растительные системы обычно рассматривают несколько индивидуальных показателей, каждый из которых характеризует МБЭ на определенном этапе развития растения. При этом, на разных этапах роста растения коэффициенты эффективности МБЭ обусловлены разными механизмами энергетического влияния [13, 29, 32, 67–70]. Такими этапами являются: стадия онтогенеза, характеризующая всхожесть и энергию прорастания семян; стадия формирования корневой системы, роста и изменения формы корня; стадия развития стеблей и листьев, изменения морфофизиологических параметров растения, его биомассы. Например, предпосевная обработка семян на стадии онтогенеза создает эффект (параметр эффективности) стимуляции прорастания семян, формирования корневой системы в темновом периоде, в зависимости от параметров электромагнитных полей [71–75].

На стадии онтогенеза показатель эффективности МБЭ принято оценивать как показатель всхожести и энергии прорастания семян в процентах по отношению к контрольным необработанным образцам. Например, при обработке семян подсолнечника сорта “Бузулук” в лаборатории “Проблем природных и новых материалов” при ФГБОУ ВПО Кубанского государственного университета (Южный научный центр РАН), электромагнитным полем низкой частоты (НЧ ЭМП), равной 16 Гц при напряженности магнитного поля $H=400$ А/м, и времени воздействия $t=20$ мин, всхожесть опытных образцов превысила контроль на 18%. Воздействие частотой $f=22$ Гц привело к увеличению средних длин корней и ростков до 32 и 10% от контроля соответственно. При этом увеличение значения всхожести семян составило 98% при обработке частотой 16 Гц и 83% — частотой 22 Гц [39]. При действии на семена подсолнечника сорта “Лакомка” и семена сои сорта “Вилана-Элита” магнитным полем напряженностью $H=100$ А/м, при использовании частоты $f=1$ кГц наибольшего эффекта достигали 26% относительно

контроля, при использовании $f = 5$ кГц на 28%, и $f = 10$ кГц на 35% [39]. Для семян сои зависимость всхожести от времени воздействия ЧМ ЭМП с несущей частотой 1, 5, 10 кГц и модулирующей частотой 15 Гц (напряженность магнитного поля составляла $H = 100$ А/м) максимальная всхожесть семян увеличивалась на 23, 20 и 20% для частоты несущей $f = 1, 5$ и 10 кГц соответственно [39].

На примере воздействия УФ-облучения показано, что на стадии роста растения скорость формирования стеблей и листьев зависит от эффективности поглощения энергии, ее преобразования в стадии биоконверсии [73, 74]. Эффект влияния излучения, поступающего к растениям, определяется той частью общей энергии солнечного оптического излучения, которая потенциально использовалась на фотосинтез, формирование и рост растения.

Как показали экспериментальные данные, низкочастотное, менее 1 кГц, магнитное поле в биологических тканях действует на мишени атомно-молекулярного масштаба, на структурные составляющие клетки. С одной стороны, механизм МБЭ зависит от природы растения и параметров электромагнитного поля. С другой стороны, высокая чувствительность семян растений к воздействию НЧ ЭМП связана со способностью магнитного поля оказывать влияние на метаболизм растений.

Как было показано в работах [67, 73–77] основными процессами жизнедеятельности растений, в которых проявляются магнитные эффекты, является синтез главных энергоносителей в клетках — АТФ и ДНК. В растениях эти процессы представляют анаболические реакции в метаболизме. При облучении семян внешнее магнитное поле, накладываясь на собственные магнитные моменты прецессирующих спинов электрона, свободного радикала, на ядерный магнитный момент, орбитальный магнитный момент, локализованные в клетке растения, изменяет ориентацию спинов и, в результате, оказывает влияние на механизм и константы скоростей химических реакций, приводят к реализации химических стадий биохимических процессов.

Параметры магнитных полей определяют эффективность как положительного, так и отрицательного действия на развитие и рост растений. Внешний поток энергии электромагнитного поля может вызывать изменение алгоритма процессов жизнедеятельности растений в случае, когда действие поля накладывается на эндогенные ритмы растительных объектов, что, в зависимости от условий и характера воздействия, может привести как к стимуляции их роста, так и к его угнетению.

Например, в длинноволновой области ($\lambda > 680$ нм) обнаружено падение квантового выхода. Обнаружен и исследован эффект увеличения квантового выхода фотоиндуцированных изменений потенциала покоя при освещении двумя монохроматическими лучами. Спектр действия эффект по структуре близок спектру действия эффекта Эмерсона (зависимость роста и развития любого растения от длин получаемых им световых волн). Приведенные результаты показывают тесную связь протекающих фотоиндуцированных процессов внутриклеточного метаболизма с пигментной системой растения и в целом с процессом фотосинтеза.

Особенности влияния ЭМП на процессы развития корневой системы включают проявление магнитотропизма [78–83], что выражается в виде:

- изгибания стебля или корня растения в процессе роста под действием постоянного (естественного или искусственного) магнитного поля;
- зависимости направления роста корневых волосков от полюсов магнитного поля;
- наличия автономного и симбиотического способов адаптации корневых волосков, проявление их разнотропности.

Направление магнитотропизма определяется физиологическими особенностями растения и расположением его относительно вектора напряженности магнитного поля. Например, первичный корешок кукурузы при прорастании изгибается в сторону южного магнитного полюса, корешок кресс-салата — по направлению градиента магнитного поля. Магнитотропизм определяет ориентацию корневых систем сельскохозяйственных растений — пшеницы, овса, сахарной свеклы, редиса [78–83].

На стадии онтогенеза внутренние процессы, протекающие в клеточных структурах семян растений под действием ЭМП, осуществляются по макроскопическому и молекулярному механизмам.

Макроскопический механизм имеет место в процессах, протекающих с участием частиц: митохондрий, мембран и т.д. В случае, если эти частицы обладают большой анизотропией магнитной восприимчивости, то энергия их взаимодействия с постоянным магнитным полем оказывается сравнимой с тепловой энергией ($E \sim kT$). В этом случае частицы будут ориентироваться или деформироваться в магнитном поле, что приводит к изменению их свойств и реакционной способности. Магнитные эффекты такого типа значимы лишь в сильных и долгоживущих магнитных полях.

Молекулярный механизм сводится к влиянию внешнего магнитного поля на скорость химических

процессов, в которых зарождаются и участвуют радикалы, ион-радикалы, парамагнитные частицы. Этот механизм является более действенным, вносящим больший вклад в магнитные эффекты [34–38].

Установлено, что стимулирование семян повышает электропроводность растительных тканей на 10–14% и улучшает ионообменные реакции, усиливает проницаемость биологических мембран, водопоглощение и резервные возможности семян к самозащите. Это впоследствии способствует усилению синтетических процессов растений, улучшая посевные качества семян (энергию прорастания, полевую всхожесть). При этом увеличивается площадь листовой поверхности, кустистость и болезнеустойчивость растений.

Исследования закономерностей воздействия ЭМП сверхнизкой частоты на семена пшеницы и кукурузы показали, что в первые часы набухания семян наблюдается высвобождение эстераз и изменение pH. В период образования корней происходит стимуляция их роста. На поздних сроках ЭМП влияет лишь на проростки. Непрерывная обработка ЭМП в течение нескольких суток приводит к торможению роста проростков и общему снижению всхожести семян. Эти результаты объяснены за счет воздействия поля на высвобождение белков, влияющих на стадии реализации генетической программы.

При рассмотрении вероятных механизмов воздействия ЭМП на биологические системы исходят из того, что одними из наиболее чувствительных к внешним воздействиям процессов являются переходы различных белков в клетках, в частности периферических, из связанного на мембранах состояния в водную среду. Подобные однонаправленные процессы происходят на определенных стадиях выхода семян из состояния покоя. Такие переходы белков из-за роста числа степеней свободы для белковых групп в водной среде и соответственно энтропии системы должны быть связаны с малым изменением свободной энергии. Они могут быть вызваны чувствительными к влиянию ЭМП локальными изменениями pH или ионной силы, или концентрации ионов Ca^{2+} . Причем данные моделирования показывают, что эффекты ЭМП в области низких частот (от 0.1 до 100 Гц) могут быть существенно усилены за счет нелинейных процессов в примембранном слое [84, 85]. Одной из возможных причин неадекватного ответа биологических объектов на действие слабого ЭМП низких частот может быть наличие собственных колебаний проводимости

в воде, лежащих в этом диапазоне. Большинство биополимеров функционируют в водной среде, взаимодействие составляющих их мономеров определяет пространственную конфигурацию макромолекул. В связи с этим эффекты изменения структуры воды вблизи молекул растворенных веществ существенным образом будут отражаться на конфигурации макромолекул, в процессах активного транспорта крупных молекул через мембрану посредством пермеаз, или ионов через мембрану [85–88]. Это значит, что молекулы и ионы проходят через мембрану с различной скоростью. Это свойство определяет плазматическую мембрану как осмотический барьер. Максимальной проникающей способностью обладают неполярные простые вещества, например, азот, кислород; значительно медленнее проходят сквозь мембрану полярные частицы, такие, как вода, и практически не проходят заряженные частицы — ионы. Транспорт веществ через мембрану клетки осуществляется диффузией через липидный бислой, или посредством двух классов мембранных белков — переносчиков или каналов. Транспорт с помощью переносчиков может быть пассивным или активным [89]. В последнем случае требуется источник дополнительной энергии.

Таким образом, энергетически восприимчивыми для семян сельскохозяйственных культур являются именно физические процессы. Эти процессы сопровождают жизнедеятельность клетки, обусловленную диффузионными факторами, процессами переноса зарядов, воды и минеральных веществ, растворенных в клетке, через клеточные мембраны. Например, в работе [90] на основании анализа результатов исследования влияния магнитного поля на транспорт ионов в клетке растений, установлена взаимосвязь изменения концентрации ионов в клетке с параметрами магнитного поля, а также определено влияние характеристик магнитного поля на скорость диффузии минеральных элементов и воды. Если между растворами с различной концентрацией ионов разместить мембрану, то возникает диффузионный потенциал, величину которого определяют по уравнению Гендерсона:

$$\Phi = \frac{RT(U_1 - V_1) - (U_2 - V_2)}{F(U_1^i - V_1^i) - (U_2^i - V_2^i)} \ln \frac{U_1^i + V_1^i}{U_2^i + V_2^i},$$

где R — универсальная газовая постоянная, Дж/(моль К); T — температура раствора, К; F — число Фарадея, Кл/моль.

Под действием магнитного поля возрастает ток, который проходит через клеточную мембрану растения. Сила тока зависит от диффузионного потен-

циала, градиента и величины магнитной индукции, а также скорости движения семян в магнитном поле.

Это приводит к увеличению концентрации минеральных веществ, принимающих участие в химических реакциях, следовательно, возрастает их скорость [90]. Установлена взаимосвязь изменения концентрации ионов в клетке растения при магнитной обработке и параметров магнитного поля. Важным фактором для проявления магнитоэффективности семян растений является влияние магнитного поля на транспорт ионов в клетке растений. В настоящее время считается, что транспорт элементов питания в клетку осуществляется двумя автономными механизмами — пассивным движением веществ по электрохимическому градиенту и их активным переносом против электрохимического градиента [90, 91].

Транспорт обеспечивает эффективность массобмена между клеткой и межклеточной средой. В свою очередь эффективность массобмена определяется скоростью переноса ионов вещества через поры мембраны и зависит от размера пор, концентраций веществ, вязкости, подвижности и других материальных свойств среды по обе стороны мембраны. Как отмечено в литературе [90, 91] при воздействии ЭМП на мембрану в ней возникают акустические колебания с частотой, соответствующей частоте поля.

В силу того, что мембрана поляризована, акустические колебания вызывают внутриклеточные электрические колебания протоплазмы с той же длиной волны. Имеет место и обратный механизм — электромагнитная волна вызывает в клетке электрические колебания (перемещения зарядов у поверхности мембраны), сопровождающиеся деформацией мембраны и соответственно возникновением акустических колебаний с длиной волны, равной длине электромагнитной волны в клетке. При этом в обоих случаях меняются радиус пор мембраны и, как следствие, величина ионных потоков [92, 93]. По литературным данным ЭМП приводит к разрыхлению структуры, лежащей снаружи от плазматической мембраны целлюлозной клеточной стенки и очистке пор и плазодесм от закупорок, облегчая транслокацию веществ. Могут изменяться также энзиматическая активность, конформационная динамика белков, вязкость липидов, являющихся составными компонентами мембран и протоплазмы клетки. Отмечено также возникновение внутриклеточных магнитофоретических смещений крахмалосодержащих структур, а также цитопластических ионных токов.

Вопрос влияния электрических полей на живые клетки является предметом многочисленных исследований. Электрические поля являются нормальным фактором функционирования большинства биологических мембран. Вместе с тем электрические поля высокой напряженности вызывают качественно новые явления. В ранних работах с клетками водорослей было найдено, что гиперполяризация клеточной мембраны до некоторого критического значения потенциала вызывает резкое увеличение трансмембранного тока — явление, аналогичное электрическому пробоям диэлектриков. Однако в случае клеточных мембран пробой был полностью обратимым: при реполяризации клетки низкая проводимость мембраны восстанавливалась, а само явление электрического пробоя можно было наблюдать неоднократно. Нарушение стабильности мембран в сильных электрических полях подробно изучено на модельных системах — бислойных липидных мембранах. При действии на суспензии клеток импульсных электрических полей высокой напряженности (импульсы длительностью от нескольких микросекунд до нескольких миллисекунд при напряженности поля в несколько кВ/см) отмечены нарушения проницаемости клеточных мембран и гибель клеток [92–98]. Электростимулируемый лизис клеток был продемонстрирован для бактерий, дрожжей, эритроцитов и протопластов. Нарушение барьерных свойств мембраны обусловлено индукцией в электрическом поле трансмембранного потенциала величиной до 1 В. Тщательный контроль параметров электрической обработки клеток позволяет вызывать обратимое повышение проницаемости клеточных мембран (электропорацию) с целью введения в клетки биологически активных веществ и чужеродных генов, что открывает широкие возможности для применения электрических полей в молекулярно-генетических и биотехнологических исследованиях. Наряду с порацией мембран, электрические поля способны индуцировать слияние клеток, что может быть использовано для получения гетерокарионов и гибридов. Кроме того, воздействие электрических полей может активировать функцию мембранных белков, стимулировать протекание клеточных процессов, вызывать морфологические изменения, такие как формирование клеточных отростков или локальных сферических вздутий мембран (блебы) на поверхности клеток. Эффекты, вызываемые действием электрических полей на клеточные мембраны, могут быть классифицированы следующим образом: 1) электропорация, 2) электрослияние, 3) движения в электрическом поле (электрофорез, диэлектрофорез и элект-

тровращение), 4) деформация мембран, 5) электро-трансфекция, 6) электроактивация мембранных белков [92–97].

Обработка семян градиентным магнитным полем оказывает влияние на процесс водообмена с окружающей средой, на водопоглощение и связанное с ним набухание частей семян, с происходящими на его фоне метаболическими и структурными изменениями [98, 99].

Таким образом, при установлении оптимальной эффективности воздействия ЭМП на растительные системы следует рассматривать способность семян, зерна и самого растения воспринимать энергию МП и перерабатывать ее, приводя к реализации того или иного микро- и макроэффекта на качественном и количественном уровнях.

РОЛЬ ПРИРОДНЫХ ФАКТОРОВ РАСТЕНИЙ В ПРОЦЕССАХ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМИ ПОЛЯМИ

При установлении причинно-следственных связей между характером воздействия ЭМП на растения, его эффективностью и откликом растений на это воздействие помимо законов воздействия энергии и связанных с ними факторов физической природы следует выделить факторы биологической природы. Последние заложены в химическом составе клеточных структур растений и определяют особенности биохимических процессов, характеризующих жизнедеятельность клеток [100].

Полное описание эффективности воздействия комплексных магнитных и электромагнитных полей на растительные системы требует учета закономерностей их воздействия на процесс метаболизма или обмена веществ в растениях, складывающихся из двух типов реакций — анаболических, включающих процессы синтеза, ассимиляции, реакции восстановления и замещения, которые осуществляются с затратой энергии и катаболических, включающих процессы деградаци, диссимиляции, реакции расщепления (гидролиз, фосфоролиз) и окисления, которые протекают с выделением содержащейся в них свободной химической энергии.

Живой организм клетки растения функционирует как саморегулирующая система благодаря многочисленным чувствительным механизмам, которые “выявляют” сдвиги концентраций и компенсируют их, возвращая к норме [101, 102]. При изменении условий стационарного состояния в открытой системе развиваются процессы, направленные на сохранение свойств системы — динамическая стабилизация стационарного состояния. Управление и

регуляция биохимических процессов осуществляется с помощью ферментативных систем. Синтез ферментов (белков) контролируется генетическими факторами, т.е. определен наследственностью. В то же время в живых организмах обмен веществ неразрывно связан с обменом энергии между клеткой и средой [101, 102]. При внесении энергии в ходе электромагнитного облучения в растении возбуждается функция обмена клеточной информацией, включается восприятие клеткой сигналов от внешних раздражителей (что приводит к изменению функциональной активности клетки) и передача сигналов о происшедших переменах клетки в окружающую среду. Воздействие электромагнитного поля может привести к различному (индивидуальному) изменению в сложном процессе жизнедеятельности разных клеток.

На рост растений оказывают влияние продукты жизнедеятельности других растений (явление аллелопатии), микроорганизмов (антибиотики, регуляторы роста) и факторы внешней среды, среди которых — свет, температура, состав газовой атмосферы, минеральное питание, различные органические вещества, синтезируемые в растении в ходе его роста и развития. В проявление магнитобиологических эффектов в растениях вносит вклад каждый из указанных факторов. Характер влияния магнитного поля на растения изменяется в зависимости от изменения состава и структуры растительной клетки, происходящего под действием окружающей среды.

Управление и регуляция биохимических процессов осуществляется с помощью ферментативных систем. Важно, что синтез ферментов, белков, редуцируемых сахаров контролируется генетическими факторами [101, 102].

Исследование влияния предпосевного воздействия низкочастотными магнитными полями: постоянным, переменным, модулированным на стимулирующий эффект клубней картофеля [103–109] показало, что магнитобиологический эффект обусловлен ростом ферментативной активности в клетках, который обеспечивает нормальное функционирование органа и реализацию его генетического потенциала [103–108]. Аналогичные выводы были сделаны для предпосевной обработки переменным магнитным полем семян, кукурузы, пшеницы, ячменя и др. культур [110–115].

Величина МБЭ от воздействия на стадии онтогенеза обусловлен активностью фермента, например α - или γ -амилазы, его количеством, которое катализирует превращение определенного количества субстрата, например гидролиз крахмалсодержащего

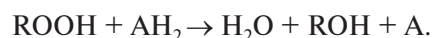
вещества, в единицу времени. Каталитическая активность ферментов сильно зависит от внешних условий, среди которых первостепенное значение имеют температура и pH среды. Повышение температуры в интервале 0–50°C обычно приводит к плавному увеличению ферментативной активности, что связано с ускорением процессов формирования фермент-субстратного комплекса и всех последующих событий катализа [100, 101]. При повышении температуры на каждые 10°C скорость реакции увеличивается примерно вдвое (правило Вант-Гоффа). Однако дальнейшее повышение температуры (> 50°C) сопровождается увеличением количества инактивированного фермента за счет денатурации его белковой части, что выражается в снижении активности. Каждый фермент характеризуется температурным оптимумом — значением температуры, при котором регистрируется наибольшая его активность. Зависимость активности ферментов от значения pH среды имеет сложный характер. Для каждого фермента характерен оптимум pH среды, при котором он проявляет максимальную активность. При удалении от этого значения в ту или другую сторону ферментативная активность снижается. Это объясняется изменением состояния активного центра фермента (уменьшением или увеличением ионизации функциональных групп), а также третичной структуры всей белковой молекулы, которая зависит от соотношения в ней катионных и анионных центров. Большинство ферментов имеют оптимум pH в области нейтральных значений. Однако есть ферменты, проявляющие максимальную активность при pH 1.5 (пепсин) или 9.5 (аргиназа). Зависимость ферментативной активности от pH определяется значениями pK ионизированных групп белковой молекулы [100, 101].

Активность ферментов подвержена значительным колебаниям в зависимости от воздействия ингибиторов (веществ, частично или полностью снижающих активность) и активаторов (веществ, увеличивающих активность). Их роль выполняют катионы металлов, некоторые анионы, переносчики фосфатных групп, восстановительных эквивалентов, специфические белки, промежуточные и конечные продукты метаболизма.

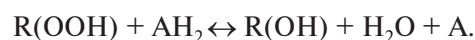
Одним из продуктов является пероксидаза. Пероксидаза катализирует реакцию, где в качестве ROOH может быть пероксид водорода HOOH или органические перекиси, т.е. она высокоспецифична в отношении акцептора водорода, и совсем не специфична в отношении донора водорода. Подвергаться окислению могут многочисленные фенолы, аминифенолы, диамины, индофенолы, аскорбат и

некоторые аминокислоты. Таким образом, пероксидаза является ферментом, обладающим относительной специфичностью.

Механизм действия пероксидазы может быть описан следующим образом:



Пероксидаза с перекисью водорода образует промежуточное комплексное соединение.

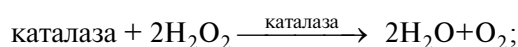


Обычно препарат пероксидазы относительно устойчив: нагревание при 85°C в течение 30 мин инактивирует фермент только на 50%. Для увеличения лежкости и сохранности перерабатываемых пищевых продуктов необходимо удалить или ингибировать или инактивировать пероксидазу. В связи с тем, что пероксидаза устойчива к действию повышенных температур, ее инактивация представляет определенные трудности.

При ферментации чая и табака пероксидаза способствует образованию окрашенных и ароматизированных компонентов наряду с полифенолоксидазой.

Удаление пероксидазы с H₂O₂ осуществляют два класса ферментов:

каталаза и пероксидаза



Значительное влияние на механизм действия различных ферментов оказывает излучение миллиметрового диапазона. Реакции растений, МП КВЧ-воздействия, связаны с наличием целлюлозной оболочки у клеток, которая отсутствует у животных клеток [116]. КВЧ-излучение способно как стимулировать, так и подавлять активность пероксидазы и глутатиона различных модельных объектов при различных экспозициях. В результате воздействия КВЧ-излучения изменяются характеристики межклеточных мембран, благодаря чему происходит замедление реакций растительных клеток.

КВЧ сигналы в зависимости от частоты ускоряют те или иные биохимические реакции, влияя на ферментативную активность. Излучаясь во внешнее по отношению к клетке пространство, КВЧ сигналы позволяют установить, усилить или ослабить межклеточную связь и взаимодействие. Они влияют на дифференцировку клеток. Интенсивность генери-

руемых и излучающихся КВЧ сигналов зависит от размеров элементов белковых подструктур (числа вошедших в них белковых молекул).

Следует отметить, что в последние годы получила свое развитие гипотеза о ключевой роли, содержащейся в биологических объектах воды, в восприятии ими внешнего низкоинтенсивного ЭМП, поскольку электромагнитное излучение может влиять на слабые связи (водородные, полярные, гидрофобные), которым принадлежит ведущая роль в поддержании конформации биологических молекул и надмолекулярных структур [98]. Исследования действия фотостимуляции и низкоинтенсивного ЭМИ на воду, сухие семена, семена в воде, на проростки пшеницы и кукурузы, проведенные в работе [98], продемонстрировали наличие памяти воды на изменение количества водородных связей и свободных радикалов, удлинение времени релаксации протонов воды, накопление энергии и переориентацию дипольных молекул воды, влияющую на энергетический обмен, АТФазную активность и структуру ДНК, на разность потенциалов клеток, выход белков и ферментов из семян. Через модификацию слабых взаимодействий, облучение объекта может привести к изменению гидратных оболочек биологических макромолекул и физико-химических свойств мембран, к развитию процессов массопереноса и массообмена на границе раздела фаз, активности каналов образующих белков, каталитических свойств ферментов, к структурным нарушениям ассоциативно-диссоциативного характера органических водных растворов и др.

Один из механизмов, способствующих концентрации энергии, связан с кластерной природой воды, молекулы которой объединены между собой сеткой водородных связей. Важно отметить, что наложение энергии из внешней среды может приводить к нарушению этой системы, созданию другой, способной к накоплению энергии [117].

Роль воды, содержащейся в клеточных структурах семян растений, обусловлена тем, что вода в растении может быть в свободном состоянии, в кластерах, связанных водородной связью, в виде ионов в клетках растений. При электромагнитной обработке растения, молекулы воды в клетке, получив дополнительную энергию, могут играть роль инициатора окислительной деструкции макромолекул, например, белков, сахаров и т.д., таким образом вызывать окислительный стресс, подавлять процессы роста клетки и растения в целом.

Таким образом, характер влияния воды на эффективность воздействия облучением зависит от

поглощенной энергии, природы клетки, содержания воды и ее состояния и структуры в клетке.

Установлено, что стимулирование семян повышает электропроводность растительных тканей на 10–14% и улучшает ионообменные реакции, усиливает проницаемость биологических мембран, водопоглощение и резервные возможности семян к самозащите. Это впоследствии способствует усилению синтетических процессов растений, улучшая посевные качества семян (энергию прорастания, полевую всхожесть). При этом увеличивается площадь листовой поверхности, кустистость и болезнеустойчивость растений [118].

Заметную роль в накоплении биомассы и увеличении коэффициента размножения играет качество семенного материала, условия окружающей среды [114]. Проведена оценка величины эффекта усиления электрического поля в области частот 100 Гц и ниже. В процессе дыхания происходит окислительный распад веществ, (продуктов фотосинтеза), при этом освобождается заключенная в них энергия, часть которой вновь локализуется в молекулах АТФ и может использоваться в процессе жизнедеятельности. Более 50% энергии окисления превращается в теплоту и в этой форме выделяется в окружающую среду. Таким образом, осуществляется обмен энергией между клеткой и средой. Привнесение энергии в ходе электромагнитного облучения в растение возбуждает функцию обмена клеточной информацией, включает восприятие клеткой сигналов от внешних раздражителей (что приводит к изменению функциональной активности клетки) и передачу сигналов о происшедших переменах клетки в окружающую среду. Как видно воздействие электромагнитного поля или облучения может привести к тому или иному изменению в сложном процессе жизнедеятельности разных клеток [100–103].

Например, в процессе фотосинтеза клетки растений поглощают электромагнитную энергию солнца и превращают ее в химическую форму аденозинтрифосфата (АТФ). С участием АТФ осуществляется механическая работа (например, движение цитоплазмы), транспорт веществ, биосинтез структурных компонентов клетки и регуляторных веществ — белков, липидов, углеводов, нуклеиновых кислот и т.д. Механизмы, обеспечивающие передачу сигналов об изменениях окружающей среды, также требуют энергии — АТФ превращается в электрическую (биопотенциалы) или световую (биохемилюминесценция), которые вновь высвобождаются в среду.

В процессе роста и развития семена растений, их корневая система, стебли и листья накапливают

в своих клетках различные вещества, включая ферменты, фитогормоны, ауксины, цитокинины, гиббереллины и т.д. Функции этих веществ определяют этап развития растения в зависимости от условий роста. Большую роль в неопределенности проявления МБЭ из-за неоднозначности воздействия на растения электромагнитного излучения, играет тот факт, что растения являются источниками биологически активных веществ, липидов и пептидов, фитогормонов и индукторов защитных реакций [119–123]. Наличие таких веществ неизбежно будет вносить свой вклад в эффективность воздействия электромагнитными полями и излучениями, причем этот вклад будет определяться характером влияния каждого из активных веществ на жизнедеятельность клетки. Так, на ранних стадиях онтогенеза наблюдаемые эффекты обусловлены действием непосредственно в клетке: ингибиторов и стимуляторов роста, вызывающих линейный или массово-объемный рост растений, а также веществ, инициирующих окислительный стресс. Например, стресс возникает, когда дозировка УФ-В излучения превышает уровень, допустимый для активного роста и развития растения [11, 12, 23].

Особый вклад в функционирование клетки вносят мембранотропные, гомеостатические, тканеспецифические биорегуляторы (МГТБ), которые отличаются способностью влиять на основные биологические процессы: адгезию, дифференцировку, апоптоз, миграцию и пролиферацию клеток. Причем биологическая активность характеризуется наличием тканевой, но отсутствием видовой специфичности и проявляется наиболее ярко в сверхмалых дозах 10^{-8} – 10^{-15} мг белка/мл. МГТБ включают биологически активную часть — пептиды и неактивную — высокомолекулярную компоненту — белки. Комплекс пептидов, выделенных из ткани растения, оказывает стимулирующее действие на рост культурных растений, но не обладает антимикробной активностью [124]. Большую роль играет масло зародышей пшеницы, полиненасыщенные жирные кислоты, белки, аминокислоты, витамины, антиоксиданты — токоферолы и каротиноиды. Содержание антиоксидантов создает антирадикальную активность масла зародышей пшеницы [125].

Под энергетическим действием происходит изменение активности основных гидролитических ферментов, и как следствие, изменение в процессах расщепления веществ эндосперма. Так, излучение несколько снижает общую активность амилаз, что наблюдается практически по всем культурам. Активность протеаз меняется разнонаправлено, но

преобладает усиление протеолиза. Доказано также, что под действием КВЧ-излучения происходит увеличение активности ферментов окислительно-восстановительного комплекса (каталазы и пероксидазы), причем степень этих изменений зависит от параметров воздействия.

Высокой биологической активностью обладают липиды, представляющие собой витамины и их предшественники, некоторые гормоны. Они участвуют в реакциях биосинтеза, поддерживают оптимальную активность ферментов, регулируют рост клеток и др. В молекулах липидов часто присутствуют ионные группы (PO_4^{3-} , NH_3^+) или полярные углеводные компоненты. В организме клетки липиды выполняют структурную (в составе биомембран), защитную, транспортную (характерна для липопротеинов, транспортирующих липиды), энергетическую и регуляторную функции. Липиды являются мишенью для воздействия энергии ЭМП, выполняют роль компактной и энергоемкой формы хранения энергии, что обусловлено большим содержанием в их молекулах С–Н-связей, при окислении которых выделяется большее количество энергии по сравнению с другими органическими молекулами.

Одним из механизмов регуляции системы врожденного иммунитета растений является активация синтеза разнообразных по структуре защитных пептидов, многие из которых обладают антимикробной активностью. В растениях защитные пептиды имеют различную локализацию, часто синтезируются в виде мультидоменных предшественников или образуются в результате ограниченного протеолиза, а также других способов деградации белков. Помимо антимикробной активности данные пептиды могут оказывать инсектицидное действие, ингибировать эндо- и экзогенные протеазы и α -амилазы, участвовать в доставке строительных и сигнальных гидрофобных молекул, влиять на работу ионных каналов. Благодаря этому пептиды системы врожденного иммунитета не только защищают растения от вирусов, бактерий, грибов и насекомых, но и повышают их устойчивость к различным видам абиотического стресса, а также принимают участие в регуляции их роста и развития. Защитные пептиды растений подавляют рост патогенных микроорганизмов.

В процессе жизнедеятельности каждой клетки растения образуется пероксид водорода, который является ядовитым веществом для нее. В то же время в каждой растительной клетке находится белок — фермент пероксидаза, который расщепляет пероксид водорода. Обработка клеток ЭМП оказывает

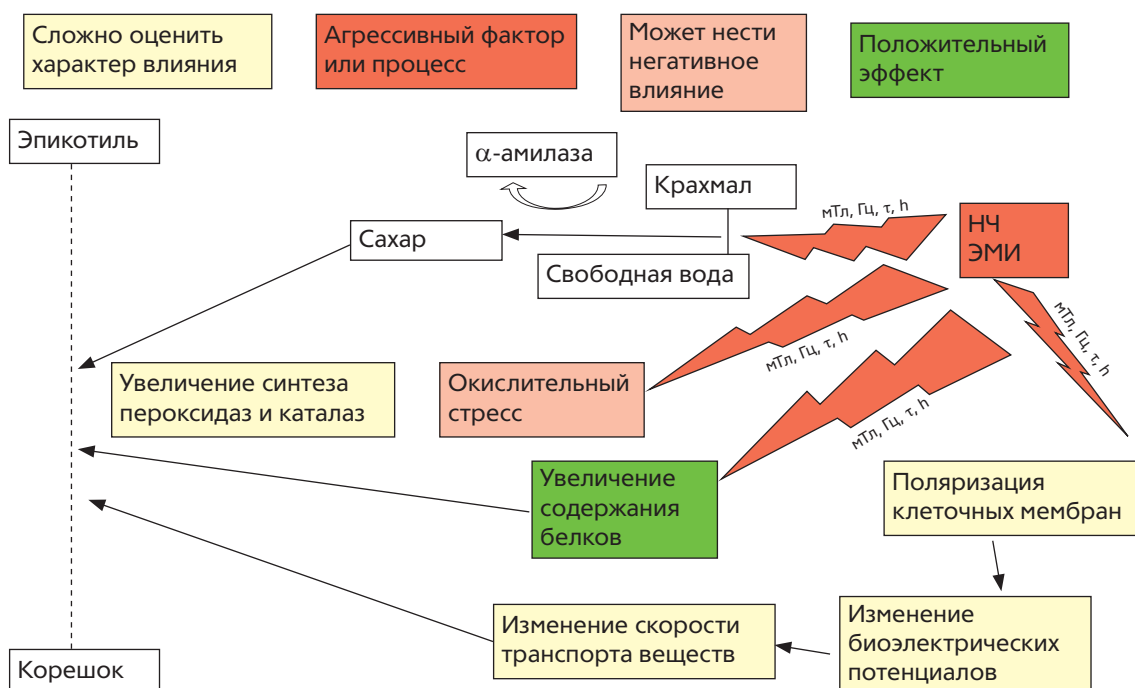


Рис. 1. Схема процессов, протекающих в семенах в результате их облучения низкочастотным электромагнитным полем на стадии онтогенеза и на стадии прорастания.

влияние на активность пероксидазы, изменяя механизм химической реакции дегидрогенезации С–Н-связей.

Так как растения являются источниками биологически активных веществ и пептидов, в частности, фитогормонов и индукторов защитных реакций, это играет большую роль в проявлении неоднозначности воздействия электромагнитных полей на их жизнедеятельность.

Суммировать данные, показывающие связь между различными факторами, определяющими характер воздействия на семена растений на примере НЧ ЭМИ позволяет схема на рис. 1. С помощью данной схемы авторы попытались описать процессы, происходящие в зерне в результате облучения низкочастотным магнитным и электрическим полями и оценить роль биохимических факторов клеточных структур растения в магнитоэффективности на стадии онтогенеза и на стадии прорастания.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ данных, представленных в данном обзоре, позволяет более детально указать законы в характере реализации биологических воздействий, магнито-биологических эффектов, которые можно связать с проявлением следующих факторов:

- различные отклики биосистем на воздействия полей разной природы вследствие разных меха-

низмов физических и биохимических явлений, которые могут реализоваться в облученном растении;

- характер энергетического воздействия на растения: информативный или энергетический;
- природа мишеней воздействия в клетках и клеточных структурах растений;
- неоднозначность превращения энергии в растениях из-за их сложного многокомпонентного состава на уровне клеток, мембран и т.д.;
- перераспределение энергии, которая воспринимается клеткой и расходуется в том или ином биохимическом процессе;
- механизм и кинетика биохимического процесса, развивающегося в различных клетках разных органов растения, на который направлено энергетическое воздействие;
- величина минимальной напряженности магнитного поля, приводящей к ростковым изменениям;
- связь сезонных особенностей роста растений с изменением внешнего магнитного поля или проявлением внутренних эффектов, присущих растениям;
- роль режимов и условий обработки растений магнитным полем в функционировании отдельных органов и клеток растений.

При одной природе электромагнитных полей характер их воздействия на растения зависит от эффективной поглощенной дозы, энергию которой способны перерабатывать клетки. Однако процессы в которых поглощается энергия, поступившая от источника излучения, являются кинетическими, одни органы растений (ткани, клетки) более чувствительны к воздействию излучения и поглощенной дозе, другие менее чувствительны, отсюда разные скорости процессов, развивающихся в этих органах. Эти процессы, накладываясь друг на друга, приводят к тому, что зависимость суммарного эффективного воздействия от величины дозы имеет нелинейный характер зависимости от параметров поля или источника излучения.

Воспроизводимость с высоким процентом вероятности тех или иных явлений может наблюдаться лишь в строго определенных условиях применения энергетического воздействия, учитывая природу растения, его морфологию, состав и структуру клеток, энергетическую восприимчивость — те факторы, которые заложены не только типом, но сортом растения, его геномом. Факторы, приводящие к неоднозначности эффектов проявляющихся при воздействии ЭМП, связаны с многочисленностью процессов, которые вызывают энергетические воздействия одной и той же природы. Их можно подразделить на:

- химические, включающие реакции синтеза и окислительные, деструкционные; ферментативный катализ;
- деградация клеточных мембран, отсюда потеря контроля проницаемости, повреждение механизмов энергоснабжения биосинтеза;
- повышение чувствительности к экологическим стрессам;
- увеличение числа морфологически ненормальных отростков.

Отсюда одно и то же воздействие при облучении разных видов культурных растений приводит к разным эффектам физического воздействия. Главным фактором, определяющим эффективность энергетической обработки, является мишень воздействия ЭМП, условия энергетического воздействия и геном клетки.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена за счет средств гранта по соглашению № 075-15-2022-1210 от 07.10.2022 г. с Министерством науки и высшего образования Российской Федерации по теме “Разработка технологии и оборудования для повышения

продуктивных свойств семян зерновых культур путем электромагнитного воздействия”, рег. № НИОКТР 122112100061-9 и рег. № ИКРБС И223022200098-4.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Aksyonov S.I., Bulychev A.A., Grunina T.Y., Turovet-skii V.B.* // Biofizica. 1996. V. 41. № 4. P. 925.
2. *Kornarzynski K., Pietruszewski S.* // Intern. Agrophysics. 1999. V. 13. № 4. P. 457.
3. *Серегина М.Т., Орлов В.В., Масленникова Г.Л.* Эффективность предпосевной обработки семян овощных культур и кормовых корнеплодов физическими факторами. Л.: Агрофизический научно-исследовательский институт. 1988. 23 с.
4. *Pietruszewski S., Wojcik S.* // Intern. Agrophysics. 2000. V. 14. № 1. P. 89.
5. *Лященко А.К., Лихолат Т.В.* // Межд. Конгресс “Слабые и сверхслабые поля и излучения в биологии и медицине”. 2000. 60 с.
6. *Калье М.И.* // Материалы II Международной научно-практической конференции “Дни науки-2006”. Днепропетровск, 2006. С. 2225.
7. *Калье М.И.* // Научные труды Нижегородской ГСХА (Агрономия). Н. Новгород, 2006. С. 151.
8. *Цугленок Н.В., Юсупова Г.Г., Головина Т.А.* // Проблемы развития энергетики в условиях производственных преобразований. Ижевск, 2003. Т. 1. С. 211.
9. *Кондратьев И.А.* // Зерновое хозяйство. 2003. № 3. С. 26.
10. *Халилов Р.И., Гольдфельд М.Г.* // ДАН СССР. 1992. Т. 325. № 3. С. 609.
11. *Jansen M.A.K., Gaba V.* // Trends Plant Sci., 1998. V. 3. No 4. P. 131.
12. *Дубров А.П.* Генетические и физиологические эффекты действия ультрафиолетовой радиации на высшие растения. М.: Наука, 1998. 224 с.
13. *Бобрышев Ф.И., Стародубцева Г.П., Попов В.Ф.* // Земледелие. 2000. № 3. С. 45.
14. *Спилов Г.М., Савостин С.В., Лукьянов Н.Б., Шлепкин С.И., Климкин В.И., Селемир Н.М.* Применение электрического поля коронного разряда для стимулирования и обеззараживания посевного материала / под. ред. Н.М. Селемира, Г.М. Спилова, В.И. Карелина. Высокоинтенсивные физические факторы в биологии, медицине, сельском хозяйстве и экологии. Труды международной конференции. Саров, 26–28 апреля 2004 г. Из-во: Саров, РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2005. С. 278.
15. *Алтухов И.В., Федотов В.А.* // Ползуновский вестник. 2011. № 2/1. С. 156.
16. *Алтухов И.В.* // Вестник Иркутской Государственной сельскохозяйственной академии. 2012. № 50. С. 123.

17. Киселева Т.А. Влияние γ -радиации на рост, развитие и биохимические показатели проростков ячменя. Экология и охрана окружающей среды. Тез. докл. науч.-практич. конф. Пермь. 1995. С. 64.
18. Дорошкевич С.Ю., Артемов К.П., Терещенко Н.Н., Зюбанова Т.И., Воробьев М.С. и др. // Химия высоких энергий. 2021. Т. 55. № 4. С. 326.
<https://doi.org/10.31857/S0023119321040069>.
19. Али-Заде Г.И. // Современные проблемы науки и образования. 2009. № 4. С. 18.
20. Сафаралихонов А.Б., Акназаров О.А. // Известия академии наук Республики Таджикистан. 2011. № 3. С. 7.
21. Крюков А.Е., Гончарова Л.И., Цыгвинцев П.Н. // Плодоводство и ягодоводство России. 2012. Т. 33. № . С. 222–228.
22. Сафаралихонов А.Б., Акназаров О.А. // Доклады академии наук Республики Таджикистан. 2011. Т. 54. № 8. С. 666.
23. Михайленко И.М., Канаши Е.В., Тимошин В.Н. // Сельскохозяйственная биология. 2014. № 1. С. 17.
24. Щербаков Л.В. // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. 2004. № 1–2. С. 43.
25. Kuzmanova M., Ivanov S., Nankova V., Markov M. // Bioelectrochemistry and Bioenergetics. 1994. V. 35. № 1–2. P. 53.
[https://doi.org/10.1016/0302-4598\(94\)87011-X](https://doi.org/10.1016/0302-4598(94)87011-X)
26. Шиян А.А. // Биофизика. 1996. Т. 46. № 3. С. 765.
27. Буланова К.Я., Лобанок Л.М. Сахаровские чтения 2015 года: экологические проблемы XXI века: материалы 15-й междунар. науч. конф., 21–22 мая 2015 г., г. Минск, Республика Беларусь / под ред. С.С. Позняка, Н.А. Лысухо. Минск: МГЭУ им. А.Д. Сахарова, 2015. С. 110.
28. Ксенз Н.В., Качеишвили С.В. // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. 2000. № 5. С. 30.
29. Александров Б.Л., Александров А.Б., Курзин Н.Н. // Труды КубГАУ, 2007. № 5 (9). С. 197.
30. Курзин Н.Н. // Труды КубГАУ. 2008. № 1(10). С. 215.
31. Костин В.И. // Русские высокие технологии. 2008. URL: <http://skutis.ucoz.ru/publ/26-1-0-46>.
32. Александров Б.Л., Александров А.Б., Курзин Н.Н. // Труды КубГАУ. 2012. № 3 (36). С. 308.
33. Савченко В.В. // Вестник ВИЭСХ. 2013. № 4 (13). С. 12.
34. Бучаченко А.Л. // Успехи химии. 2014. Т. 83. № 1. С. 1.
35. Buchachenko A.L. “Magnetic Isotope Effects in Chemistry and Biochemistry”. New York: Nova Science Publishers, 2009. 153 с.
36. Дроздов А.В., Нагорская Т.П. // Биофизика. 2010. Т. 55. № 4. С. 740.
37. Бецкий О.В., Лебедева Н.Н., Котровская Т.И. // Биомедицинские технологии и электроника. 2002. № 10. С. 42.
38. Бинги В.Н., Савин А.И. // Успехи физических проблем. 2003. Т. 173. № 3. С. 265.
39. Барышев М.Г., Васильев Н.С., Куликова Н.Н., Джимах С.С. “Влияние низкочастотного электромагнитного поля на биологические системы”. Ростов-н/Д: ЮНЦ РАН, 2008. 132 с.
40. Жадин М.Н. // Биофизика. 1996. Т. 41, вып. 4. С. 832.
41. Бинги В.Н. // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. Серия “Биология, химия”. 2005. Т. 18 (57). № 1. С. 40.
42. Леднев В.В. // Биофизика. 1996. Т. 41. № 1. С. 224.
43. Binhi V.N., Goldman R.J. // Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-General Subjects. 2000. V. 1474. № 2. P. 147.
44. Binhi V.N. // Bioelectromagnetics. 2000. V. 21. № 1. P. 34.
45. Binhi V.N., Alipov Ye.D., Belyaev I.Ya. // Bioelectromagnetics (Journal of the Bioelectromagnetics Society, The Society for Physical Regulation in Biology and Medicine, The European Bioelectromagnetics Association). 2001. V. 22. № 2. P. 79.
46. Леднев В.В. // Моделирование геофизических процессов. 2003. С. 130.
47. Савченко В.В. // Вестник ВИЭСХ. М.: Всероссийский научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства. 2013. № 4 (13). С. 12.
48. Богатина Н.И., Веркин Б.И., Литвин В.М., Никулина В.Ф. // Докл. АН УССР. Б. 1979. № 6. С. 460.
49. Белова Н.А., Панчелюга В.А. // Биофизика. 2010. Т. 55. № 4. С. 750.
50. Ажаронков В.В., Гончарик С.В., Филатова И.И., Шик А.С., Антонюк А.С. // Электронная обработка материалов. 2009. № 4. С. 76.
51. Кондратенко Е.П., Соболева О.М., Егорова И.В., Вербицкая Н.В. // Вестник Крас ГАУ. 2014. № 2. С. 157.
52. Спиров Г.М., Валуева Ю.В., Меркулова В.Г., Медведева Л.Н., Лукьянов Н.Б., Зайцев А.С. // Успехи современного естествознания. 2008. № 6. С. 19.
53. Наумов Г.Н., Дмитриев В.И., Ланевич Е.Я., Барышев М.Г. // Наука Кубани. 2004. № 1. С. 128.
54. Барышев М.Г., Васильев Н.С., Дмитриев В.И. // Наука Кубани. 2007. № 1. С. 13.
55. Васильев Я.С., Барышев М.Г. // Экологический вестник научных центров ЧЭС. Приложение № 1. 2005. С. 22.
56. Васильев Я.С., Евдокимова О.В., Барышев М.Г., Куликова Я.Я. // Экологический вестник научных центров ЧЭС. Приложение № 3. 2005. С. 48.
57. Упадышев М.Т., Мотылева С.М., Мертвищева М.Е., Донецких В.И. // Новые и нетрадиционные растения и перспективы их использования. 2017. № 513. С. 315.
58. Голант Е.С., Брюхова А.К., Двадцатова Е.А. и др. // Биофизика. 1986. Т. 31. № 1. С. 139.

59. Егорова И.В., Кондратенко Е.П., Соболева О.М., Вербицкая Н.В. // Рациональное питание, пищевые добавки и биостимуляторы. 2014. № 1. С. 22.
60. Souza Torres A., de Porras Leon E., Casate Fernandez R. // Investig. agr. Produc. Protec. veget. 1999. V. 14. № 3. P. 437.
61. Левина Н.С., Тертышная Ю.В., Бидей И.А., Елизарова О.В., Шибряева Л.С. // Сельскохозяйственная биология. 2017. Т. 52. № 3. С. 580.
<https://doi.org/10.15389/agrobiology.2017.3.580rus>
62. Levin M. et al. // Int. Ecol. Congr. Voronezh: Proc. and Abstr. Sec: Sci. and Environ. Voronezh. 1999. P. 77.
63. Глушакова Е.С., Степанюк Г.Я., Сидоренко Г.Н., Лантес Б.И. Воздействие поля оригинальных магнитных систем на всхожесть семян огурца и морфометрические параметры его проростков / Регион. пробл. экологии и природопользования. Томск. 2000. С. 42-43.
64. Мазец Ж.Э., Кайзинович К.Я., Пушкина Н.В., Родионова В.Н., Спиридович Е.В. // Труды БГУ. 2013. Т. 8. Ч. 2 С. 95.
65. Упадышев М.Т., Мотылева С.М., Мертвищева М.Е., Донецких В.И. // Новые и нетрадиционные растения и перспективы их использования. 2017. № 513. С. 315.
66. Донецких В.И., Упадышев М.Т., Мотылева С.М., Мертвищева М.Е. // Научные труды Межд. конгресса “Слабые и сверхслабые поля и излучения в биологии и медицине”. СПб, 2015. Т. 7. С. 43.
67. Adey W.R. // Physiol. Rev. 1981. V. 61. № 2. P. 435.
68. Савельев В.А. // Сибирский вестник науки. 1981. № 5. С.26.
69. Щербаков К.Н. Автореф. дис. ... канд. техн. наук. М.: Моск. гос. агроинж. ун-т им. В.П. Горячкина, 1998. 21 с.
70. Савельев В.А. Предпосевная обработка семян зерновых культур. Монография. Саратов: Вузовское образование, 2014. 197 с.
71. Бобрышев Ф.И., Редькин В.М., Стародубцева Г.П., Габриелян Ш.Ж. Пути повышения урожайности сельскохозяйственных культур. Ставрополь, 1995. С. 33.
72. Ерохин А.И. // Земледелие. 2012. № 5. С. 46.
73. Свентицкий И.И., Королев В.А., Мудрик В.А. Международная научно-техническая конференция “Проблемы развития систем энергетики и автоматизации в АПК”. Тезисы докладов, 25–26 октября 2012 г. Киев, Украина. К.: НУБиП, Украина, 2012. С. 58.
74. Мохно В.С., Пащенко О.И. // Сельскохозяйственная биология. 2014. № 1. С. 50.
75. Polk C., Tostow E. Handbook of Biological Effects of Electromagnetic Fields. Cleveland: CRT Press, 1986. 618 p.
76. Pietruszewski S. // Roczn.Nauk roln.Ser.A. 1998. V. 112. № 3/4. S. 91.
77. Pietruszewski S. // Teoretyczne i aplikacyjne problemy inzynierii rol. Warszawa. 1998. № 1. S. 249.
78. Белова Н.А., Леднев В.В. // Биофизика. 2000. Т. 45. Вып. 6. С. 1108.
79. Белова Н.А., Ермаков А.М., Знобищева А.В., Сребницкая Л.К., Леднев В.В. // Биофизика. 2010. Т. 55. № 4. С. 704.
80. McLeod B.R., Liboff A.R. Mechanistic Approaches Interaction of Electric and Electromagnetic Fields with Living Systems. N.Y.: Plenum Press, 1987. P. 97.
81. Аксенов С.И., Бульчев А.А., Грунина Т.Ю., Горячев С.Н. Материалы третьей международной конференции “Электромагнитные поля и здоровье человека. Фундаментальные и прикладные исследования”. 17–24 сентября 2002. Москва — С.-Петербург, 2002. Россия. С. 33.
82. Крылов А.В., Тараканова Г.А. // Физиология растений. 1960. Т. 7. № 2. С. 191.
83. Кривошеин Д.А., Муравей Л.А., Роева Н.Н. и др. Экология и безопасность жизнедеятельности. Учебное пособие для ВУЗов / под ред. Л.А. Муравья. М.: ЮНИТИ-ДАНА. 2002. 447 с.
84. Фомичева В.М., Заславский В.А., Говорун Р.Д., Данилов В.И. // Биофизика. 1992. Т. 37. № 4. С. 750.
85. Мелехов В.И. // Журнал общей биологии. 1985. Т. 46. № 2. С. 172.
86. Васильева Е.Г. // Вестник АГТУ. 2008. № 3 (44). С. 186.
87. Шибарова А.Н. Автореферат дис. ... канд. биол. наук. Нижний Новгород: НГУ им. Н.И. Лобачевского, 2006. 119 с.
88. Швалева А.Л. Дис. ... докт. биол. наук. Москва: МГУ им. М.В. Ломоносова, 2001. 195 с.
89. Козырский В.В., Савченко В.В., Синявский А.Ю. // Вестник ВИЭСХ. 2017. №2 (27). С. 132.
90. Савченко В.В. Установка для магнитной обработки семян сельскохозяйственных культур // Вестник ВИЭСХ. 2013. № 4 (13). С. 12.
91. Антонов В.Ф., Черныш А.М., Пасечник В.И., Вознесенский С.А., Козлова Е.К. Биофизика. Уч. для вузов. Изд. Первое / под ред. И. Антонова. Москва: Гуманитарный издательский центр ВЛАДОС, 2000. 288 с.
92. Ильина С.И. Электромембранные процессы. Учебное пособие. М.: РХТУ им. Менделеева, 2013. 57 с.
93. Калье М.И. Автореферат дис. ... канд. биол. наук. М.: ФГБОУ ВПО Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия, 2011 г.
94. Чельшева В.В., Зориняц С.Э., Смоленская И.Н., Бабаков А.В. // Физиология растений. 2001. Т. 48. № 3. С. 325.
95. Петров И.Ю., Бецкий О.В. // Докл. АН СССР. 1989. Т. 305. № 2. С. 474.
96. Аксенов С.И., Бульчев А.А., Грунина Т.Ю., Туровецкий В.Б. Слабые и сверхслабые поля и излучения в биологии и медицине. СПб., 1997. С. 237.

97. Кутис И.С., Кутис С.Д., Кутис Л.С., Шабанов Д.В. Труды международной конференции “Высокоинтенсивные физические факторы в биологии, медицине, сельском хозяйстве и экологии”. Саров, 26–28 апреля 2004 г. / Под ред. В.Д. Селемира, Г.М. Спирина, В.И. Карелина. Саров: ФГУП “РФЯЦ-ВНИИЭФ”, 2005. С. 416.
98. Куприков Е.П., Спиринов Г.М., Балакишина М.А., Зуймач Е.А., Меркулова В.Г., Медведева Л.Н. Труды международной конференции “Высокоинтенсивные физические факторы в биологии, медицине, сельском хозяйстве и экологии”. Саров, 26–28 апреля 2004 г. / Под ред. В.Д. Селемира, Г.М. Спирина, В.И. Карелина. Саров: ФГУП “РФЯЦ-ВНИИЭФ”, 2005. С. 430.
99. Эллиот В., Эллиот Д. Биохимия и молекулярная биология / под ред. А.И. Арчакова, М.П. Кирпичникова, А.Е. Медведева, В.П. Скулачева. М.: Маик “Наука/Интерпериодика”, 2002. 445 с.
100. Медведев С.С. Физиология растений: Учебник. СПб.: Изд-во С. Петерб. ун-та, 2004. 336 с.
101. Мелехов В.И. // Журнал общей биологии. 1985. Т. 46. № 2. С. 172.
102. Гареев А.В., Чермерис Н.К. // Биофизика. 2000. Т. 45. № 2. С. 299.
103. Титенкова М.С., Макарова Г.В. Проблемы и перспективы экологического воспитания, образования и природопользования в аспекте устойчивого развития. г. Великие Луки: РИО ФГБОУ ВО Великолукская Государственная сельскохозяйственная академия. 2016. С. 189.
104. Титенкова М.С., Макарова Г.В., Соловьев С.В., Шилин В.А. Патент RU № 165189 A01C 1/00. Заявл. 24.09. 2015. Оpubл. 10.10.2016. Бюл. № 28.
105. Макарова Г.В., Титенкова М.С., Соловьев С.В. // Известия Великолукской ГСХА. Электротехника, электронная техника, информационные технологии. 2017. № 2. С. 41.
106. Badoni A., Chauhan J.S. // Stem Cell. 2010. № 1. Р. 1.
107. Стацюк Н.В., Кузнецова М.А., Филиппов А.В., Елисеева Л.Г. // Сахар. 2014. № 10. С. 38.
108. Almekinders C.J.M., Chujoy E., Thiele G. // Potato Res. 2009. № 52 (4). Р. 275.
109. Журенко Е.В., Черепнев А.С. Исследование воздействия переменных магнитных полей на прорастание семян кукурузы при их стимулирующей предпосевной обработке. Харьков, 1991. 20 с. Деп. во ВНИИТЭИагропром 05.12.1991.
110. Кошкина А.О. // Современная техника и технологии. 2012. № 6. С. 985.
111. Макеев А.И., Пашенко В.М., Глазков А.В. // Сб. Машинные технологии и техника для производства зерновых, масличных и зернобобовых культур. Москва, 2001. 204 с.
112. Курзин Н.Н., Потапенко И.А., Богатырев Н.И., Андрейчук В.К., Кремянский В.Ф. Установка для предпосевной обработки семян. Патент 2137333 РФ. МПК C1 A 01 C 1/00 № 98102421/13 заявл. 10.02.1998; опубл. 20.09.1999. Бюл. № 26. 4 с.
113. Серегина М.Т., Орлов В.В., Масленникова Г.Л. Эффективность предпосевной обработки семян овощных культур и кормовых корнеплодов физическими факторами. Л.: Агрофизический научно-исследовательский институт, 1988. 23 с.
114. Бобрышев Ф.И., Редькин В.М., Стародубцева Г.П., Габриелян Ш.Ж. Пути повышения урожайности сельскохозяйственных культур. Ставрополь, 1995. С. 33.
115. Лященко А.К., Лихолат Т.В. Межд. Конгресс Слабые и сверхслабые поля и излучения в биологии и медицине. 2000. С. 60.
116. Богатина Н.И., Шейкина Н.В. Научные труды VII Международного конгресса “Слабые и сверхслабые поля и излучения в биологии и медицине”. Симпозиум А “Исследования, физические модели и механизмы действия слабых факторов на молекулярном и клеточном уровне организации биобъектов. Роль воды в функционировании живых систем” С-Пб., 2015. Т. 7. С. 11.
117. Дегтев И.В. // Актуальные проблемы биологии, медицины и экологии: сб. науч. работ Сибирского государственного медицинского университета. Томск, 2004. № 1. Т. 4. С. 71.
118. Феофилактова Т.В. Дисс. ...канд. биол. наук. М.: ИФР РАН. 2005. 140 с.
119. Новицкая Г.В., Руцкая Л.А. // Физиология растений. 1976. Т. 23. Вып. 5. С. 889.
120. Новицкая Г.В. // Прикл. биохимия и микробиология. 1983. Т. 19. № 2. С. 261.
121. Новицкая Г.В., Зверкова О.А., Соколова И.А. // Физиология растений. 1986. Т. 33. Вып. 5. С. 997.
122. Новицкий Ю.И., Новицкая Г.В. // Доклады академии наук. 2000. Т. 37. № 3. С. 403.
123. Бабенкова И.В., Буравлев Е.А., Буравлева К.В., Теселкин Ю.О. VII Международный Конгресс. “Слабые и сверхслабые поля излучения в биологии и медицине”. Симпозиум А. “Исследования, физические модели и механизмы действия слабых факторов на молекулярном и клеточном уровнях организации биобъектов. Роль воды в функционировании живых систем” С-Пб. 7–11 сентября 2015 г. С-Пб: Научные труды, 2015. Т. 7. С. 6.
124. Мамытова Н.С., Кузовлев В.К., Хакимжанов А.А., Фурсов О.В. // Физиология растений. 2014. Т. 61. № 3. С. 412.
125. Беленков А.И., Юдаев И.В., Серкова И.Е. // Нивы России. 2019. № 2. С. 168.