
ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ И ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

С.Н. Маслоброд, Л.Б. Корлэтяну, А.И. Ганя

ВЛИЯНИЕ МИЛЛИМЕТРОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ЖИЗНЕСПОСОБНОСТЬ РАСТЕНИЙ.

1. ИЗМЕНЕНИЕ МЕТАБОЛИЗМА СЕМЯН ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ФАКТОРА НА СУХИЕ СЕМЕНА

*Институт генетики и физиологии растений АНМ,
ул. Пэдурий, 20, г. Кишинев, MD-2002, Республика Молдова, maslobrod37@mail.ru*

Электромагнитное поле миллиметрового диапазона или миллиметровое излучение (ММИ) в последнее время нашло широкое применение в общей биологии, медицине, микробиологии и растениеводстве [1–11]. ММИ характеризуется нетепловым, информационным, резонансным действием на живой объект, являясь экологически чистым и технологичным фактором. Оно оказывает влияние на регуляторные системы живых объектов [1, 2, 5]. Однако в литературе данные по использованию ММИ в растениеводстве малочисленны. Показано, что этот фактор оказывает благоприятное действие на начальные процессы метаболизма у растений, повышая всхожесть и энергию прорастания семян, а также скорость роста проростков [3, 4, 6–19], что может отразиться на конечном результате – продуктивности растений в полевых условиях [4, 6, 7, 14]. Кроме того, ММИ повышает иммунитет растений и их устойчивость к абиотическим (климатическим) и биотическим (болезни, вредители) факторам [4, 6].

В плане выяснения механизмов действия на растения ММИ представляют интерес данные о влиянии ММИ на фотосинтез – главный энергетический процесс растения, обеспечивающий запасаение в растениях химической энергии в форме молекул АТФ [11, 20]. При этом ММИ активизирует работу протонных помп (насосов) мембран клетки и клеточных органелл и повышают содержание хлорофилла в клетках [11]. Таким образом, с помощью растительных объектов можно изучить не только информационную роль ММИ в живых системах (что акцентируется в литературе), но и их энергетическую роль.

Заслуживает также внимания способность ММИ влиять на структуру и, следовательно, биологическую функцию воды, которая может сохранять эту функцию («память») продолжительное время (несколько суток и более) [1, 18, 21, 22]. Это особенно важно в отношении растений, так как возникает возможность воздействия ММИ через воду не только на семена, но и на вегетирующие растения. Однако такого рода опыты на растительных объектах еще не проводились.

Важным экологическим аспектом темы является оценка влияния ММИ на почвенные микроорганизмы с целью: 1) повышения жизнеспособности полезных для растения микроорганизмов и снижения вредных [12] и 2) использования продуктов жизнедеятельности (экзометаболитов) от микроорганизмов, обработанных ММИ, для стимуляции роста и развития растений [12, 19].

Крайне недостаточно убедительных литературных данных о влиянии на семена растений малых экспозиций и малых плотностей мощности ММИ. Выяснение этих вопросов позволило бы рекомендовать оперативные и экономически выгодные приемы предпосевного воздействия ММИ на семена.

Актуальным в данной проблеме представляется вовлечение в круг объектов исследования семян перспективных сортов и гибридов растений, а также нетрадиционных и новых растений. Обычно всхожесть семян существенно снижается из-за продолжительного их хранения на производственных складах и в генбанках. И здесь ММИ может выступить в качестве фактора повышения и поддержания жизнеспособности семян [9, 13–17]. При этом ММИ может быть своеобразным протекторным (защитным) и репарационным фактором для семян при действии на них экологических стрессов (засоления, засухи, заморозков, повышенной радиации).

Некоторые ценные в селекционно-генетическом отношении генотипы растений имеют пониженную жизнеспособность и малую всхожесть, например гаплоиды кукурузы, из них получают родительские формы гибридов в несколько раз быстрее, чем с помощью традиционных методов селекции [23]. Целесообразно для повышения адаптивного потенциала таких объектов также использовать ММИ.

В литературе мало данных по оценке эффективности использования ММИ по конечному показателю – продуктивности растений в полевых условиях. Между тем провести такую оценку необходимо.

Отмеченные пункты темы требуют длительного изучения. Предмет настоящего сообщения составили результаты исследований 2005–2010 годов.

Цель исследований

Выявить оптимальные режимы воздействия миллиметрового излучения (ММИ) на растительные объекты (семена) для интенсификации в них процессов метаболизма и повышения экологической устойчивости и продуктивности выросших из них растений.

Задачи исследований

1. Изучить влияние ММИ на всхожесть и энергию прорастания семян в зависимости от а) режимов воздействия ММИ на семена (экспозиция, длина волны, плотность потока мощности); б) способа подачи ММИ на семена (непрерывная и дробная); в) физиологического состояния семян (семена с разной исходной всхожестью).

2. Изучить радиопротекторное и радиорепарационное действие ММИ на семена культурных растений.

3. Изучить влияние ММИ на всхожесть семян новых и нетрадиционных видов растений.

4. Провести проверку эффективности некоторых оптимальных режимов воздействия ММИ на семена по конечному результату – продуктивности растений в условиях полевого опыта.

Методика проведения опытов

Использовалась стандартная методика оценки влияния фактора на первичные процессы метаболизма у растений (всхожесть семян, энергия их прорастания, скорость роста проростков) [24]. Объекты исследования: семена томата (сорта Санта Мария, Муромский, Нота, Аврора, Катерина, Кампбелла, Грунтовый гриб, Чебурашка), лука (сорт Халцедон), табака (сорт Барлей), кукурузы (гаплоидная линия $gf \times KU 123$, гибрид Дебют), лекарственных растений (клевещина, дурман, эхинацея) и др. В соответствии с задачами конкретного опыта семена облучали ММИ с длинами волн 4,9; 5,6; 7,1 мм при различных экспозициях (2–30 мин) и плотностях потока мощности (2–10,4 мВт/см²). Применялись также режимы прерывистого облучения. Вначале облучение длилось 2 мин, затем наступала пауза на 2 мин, вновь проводилось облучение в течение 2 мин и т.д. Таким образом, экспозиции непрерывного облучения 4, 6, 8, 10 и 12 мин сравнивались с экспозициями прерывистого облучения, где семена подвергались воздействию по 2 мин соответственно 2, 3, 4, 5 и 6 раз через каждые 2 мин. Использовались семена, отличающиеся по исходной всхожести (от 50 до 100%).

Эффективность действия ММИ на воду (дистиллированную и водопроводную) проверяли по всхожести семян, замачиваемых в этой воде. В сравнительных экспериментах дополнительно использовали в качестве природных химических регуляторов стероидный гликозид Молдстим [25] и экзо-метаболиты (ЭМ) почвенных микроорганизмов. Семена замачивали в растворе Молдстим в концентрации 0,08%, которая является стимуляционной для них [25].

Параметрами оценки эффекта от ММИ служили энергия прорастания и всхожесть семян, размеры (длина) ростков и корешков, содержание в проростках фермента α -ИУК, белков (методики по [24, 26, 27]). Подсчитывали число хромосомных нарушений в клетках первичных корешков [28]. Определяли знак биоизомерии проростков (их левизну или правизну). У левого (*L*) проростка первый лист заворачивается против часовой стрелки, у правого (*D*) – по часовой стрелке. Этот параметр прост в определении и четко характеризует ростовую активность объекта. У злаковых и зерновых культур физиологически более активны *D* проростки, у овощных культур – *L* проростки [10, 19].

Во всех опытах проращивание семян вели в чашках Петри на дистиллированной воде в термостате при +22–25°C. Число семян каждого варианта – от 100 до 900 шт. Число взошедших семян подсчитывали на 4–6-е сутки и на 7–12-е сутки в зависимости от вида семян.

Полевой опыт проводился в такой последовательности. Семена разных сортов томата подвергали воздействию ММИ стимуляционными экспозициями 2 и 8 мин и нестимуляционной экспозицией 30 мин [14]. Далее семена высаживали в теплице в грунт и выращивали сеянцы до 30-дневного возраста. Затем сеянцы высаживали на полевом участке Института генетики и физиоло-

гии растений. Каждый вариант опыта составлял 50–60 кустов. Учет продуктивности проводили путем взвешивания плодов по мере их созревания.

Результаты исследований

1. Влияние ММИ на энергию прорастания и всхожесть семян с низкой исходной всхожестью

1.1. Влияние экспозиций облучения

1.1.1. Всхожесть семян разных видов растений при одинаковом режиме воздействия

В этих опытах воздействию подвергались сухие семена с различной исходной всхожестью экспозициями облучения 2, 4, 6, 8, 10, 12 и 30 мин. В большинстве случаев был выявлен нелинейный характер действия фактора – отсутствие пропорциональной зависимости биоэффекта от экспозиции облучения. Изменение кривой «экспозиция облучения – всхожесть семян» имело волнообразный характер. Обнаружены стимуляционные экспозиции 2, 6 и 8 мин – для томата (с. Аврора); 8 мин – для томата (с. Муромский и Катерина); 2, 8 и 10 мин – для лука (с. Халцедон), 4 и 12 мин – для табака (с. Барлей), 2 и 8 мин – для семян коллекционного образца клещевины (рис. 1, табл. 1). Получено существенное повышение всхожести по сравнению с контролем (от 27 до 300%) у семян многих видов растений (табл. 1).

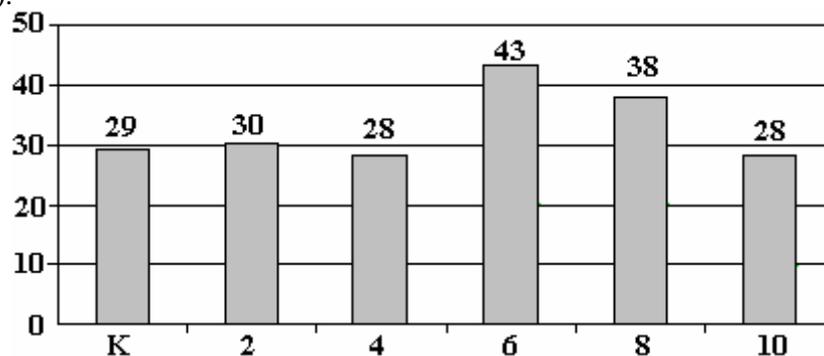


Рис. 1. Всхожесть семян томата (сорт Аврора) на 5-й день при воздействии на семена электромагнитного поля (ЭМП) миллиметрового диапазона (5,6 мм, 10 мВт/см²). К – контроль; 2, 4, 6, 8, 10 – экспозиции ЭМП (в мин)

Обращает на себя внимание, что, кроме стимуляционных эффектов, наблюдаются и ингибирующие эффекты, причем на одной и той же экспозиции для томата – 4 мин. На этой же экспозиции для семян лука и табака эффект находился на уровне контроля. Неоднозначность действия ММИ на семена культурных растений позволяет говорить о необходимости корректировки взгляда на ММИ как на исключительно положительный фактор влияния на биообъект [5]. В то же время наличие отдельных стимуляционных пиков на кривой «доза-эффект» свидетельствует, по нашему мнению, о резонансном характере действия ММИ на семена культурных растений, где 2-минутная экспозиция ММИ выступает как «квант эффекта».

В целом можно отметить, что ММИ вызывает стимуляцию всхожести семян на начальном этапе их прорастания. При подсчете полной всхожести семян (рис. 2–3) стимуляция всхожести сохраняется на тех же экспозициях, достигая 30–60%.

Таблица 1. Число взошедших семян различных культур на 6–8-й день прорастания после воздействия на них ММИ (% по отношению к контролю)

Культура	Сорт	Экспозиция воздействия ММИ, мин						
		2	4	6	8	10	12	30
Томат	Муромский	104	94	102	127**	116*		
	Аврора	137**	90	137	144**	103		
	Катерина	103	93	95	105	102		
Лук	Халцедон	140**	100	140	300***	200***		
Табак	Барлей	93	105	102	96	96	112	
Клещевина		140**	126	122	141**	121		124

*, **, *** – различия существенны соответственно при $p > 0,95; 0,99; 0,999$.

Следует ещё раз подчеркнуть, что ММИ оказывает нетепловое информационное действие на биологический объект, восстанавливая и стабилизируя его гомеостаз [1, 2, 5]. Это позволяет повысить жизнеспособность семян, ослабленную в процессе их длительного хранения в производственных помещениях или в генетических банках растений. В связи с вышесказанным, в Центре генетических ресурсов растений Молдовы Института генетики и физиологии растений была поставлена задача расширить круг исследуемых объектов и проверить эффективность отмеченного приёма на семенах зернобобовых растений.

В настоящем сообщении приводятся данные по воздействию ММИ на семена чечевицы 4-летнего срока хранения.

Сухие семена чечевицы (сорт *Cenuseveasa*), как и в прежних опытах с семенами других видов растений [13–17], обрабатывали ММИ с длиной волны 5,6 мм, экспозициями 2, 8 и 30 мин и плотностью мощности 6,6 мВт/см². Затем семена проращивали в чашках Петри на дистиллированной воде в термостате при температуре 20°C. В каждую чашку помещали 50 семян, в вариант входило 3 чашки. В качестве критерия действия ММИ на семена, как и ранее [13–17], использовались следующие параметры: энергия прорастания (ЭП) и всхожесть (В) семян, содержание фермента о-ИУК и сумма легко растворимых белков (СЛРБ) в семенах и корешках проростков, число хромосомных aberrаций (ЧХА) и типы aberrаций в клетках первичных корешков проростков.

Существенная стимуляция ЭП была обнаружена при 30-минутной экспозиции ММИ на 8,2%, а существенное ингибирование ЭП было отмечено при 2-минутной экспозиции на 8,6 % (табл. 2). Эти данные отличаются от данных, полученных ранее на семенах других видов растений (стимуляция при 2- и 8-минутной экспозициях и отсутствие эффекта при 30-минутной экспозиции) [14–16]. В этом случае, по-видимому, проявляется своеобразие реакции семян зернобобовых растений на ММИ.

Таблица 2. Физиологические и биохимические параметры семян и проростков чечевицы при воздействии на семена миллиметровым излучением

№ п/п	Варианты экспозиций ММИ, мин	Энергия прорастания семян, %	Всхожесть семян, %	о-ИУК, у.е.	СЛРБ, мкг/г сырого вещества	
					корни	семена
1	Контроль	75,8±1,24	77,0±1,03	0,436	180	240
2	2	66,2±1,60*	71,6±1,73	0,943	165	210
3	8	79,3±4,47	83,9±2,40	0,647	180	300
4	30	84,0±0,38*	86,2±0,41*	0,412	195	306

*Различия существенны по сравнению с контролем ($p < 0,001$).

По всхожести существенные различия получены при той же экспозиции 30 мин, а ингибирование – также при экспозиции 2 мин. На стимуляционной экспозиции наблюдается более низкое по сравнению с контролем содержание фермента о-ИУК, а на ингибирующей экспозиции имеет место противоположная зависимость, что соответствует известной закономерности – обратной корреляции между этими параметрами [26]. Повышение ростовой активности проростков при стимуляционной экспозиции 30 мин логично сопровождается усилением белкового синтеза в семенах и корешках, а при ингибирующей экспозиции 2 мин белковый синтез в проростках снижается.

Интересные данные получены по хромосомному анализу в клетках корешков проростков после облучения семян ММИ (табл. 3).

Таблица 3. Влияние миллиметрового излучения на частоту и спектр хромосомных aberrаций в меристеме корешков проростков чечевицы

№ п/п	Варианты экспозиций ММИ, мин	ЧХА, %	Типы aberrаций			Отставание хромосом
			Хромосомные мосты			
			X	XX	XXX	
1	Контроль	7,0±1,23	18	6	1	5
2	2	6,6±1,22	9	9	3	6
3	8	3,3±0,45	7	3	-	5
4	30	4,8±0,72	10	4	-	2

X, XX, XXX – соответственно одиночные, двойные и тройные мосты.

Обнаружено снижение ЧХА на экспозициях 8 и 30 мин по сравнению с контролем, что полностью совпадает с нашими данными в аналогичном опыте с семенами клещевины [15]. Как известно, число хромосомных нарушений в клетках корешков проростков может увеличиваться в процессе длительного хранения семян [29].

Различия были получены и по типам хромосомных aberrаций: в стимуляционных вариантах 8 и 30 мин резко снижается число одиночных и двойных хромосомных мостов и полностью отсутствуют тройные мосты. Следовательно, ММИ способствует усилению репарационных процессов в растительных клетках: происходит более быстрая элиминация клеток с хромосомными нарушениями и увеличивается число нормально делящихся клеток. Таким образом, вновь на генетическом уровне показана способность ММИ восстанавливать нормальное состояние клеток, жизнеспособность которых снижается в результате длительного хранения семян.

В заключение можно сказать, что воздействие миллиметрового излучения с длиной волны 5,6 мм на семена чечевицы, представителя зернобобовых культур, приводит к существенному изменению физиологических, биохимических и генетических параметров семян и проростков, что подтверждает наши прежние данные, полученные на семенах других видов растений. При этом стимуляция первичных процессов метаболизма семян и проростков чечевицы происходит при использовании более продолжительных экспозиций (30 мин) воздействия миллиметрового излучения на семена, чем в опытах на семенах зерновых, овощных и лекарственных растений.

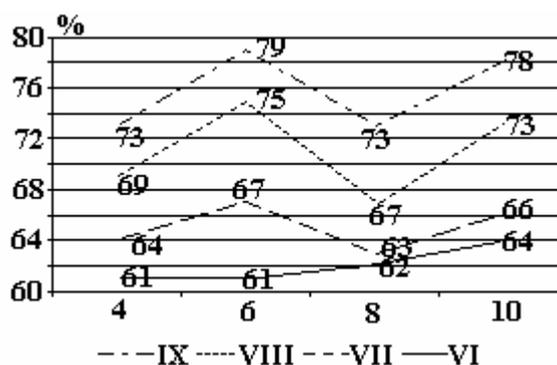
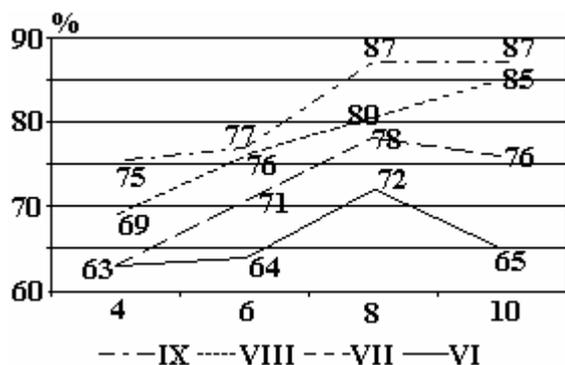
1.1.2. Сравнение непрерывного и прерывистого (дробного) режимов облучения

Непрерывное облучение семян томатов (с. Муромский) вызвало стимуляцию всхожести семян на 6–9-й день при экспозиции 8 мин. Превышение над уровнем контроля составило 16%. Прерывистое облучение этого же объекта не показало стимуляционный эффект в сравнении с начальной экспозицией 4 мин (рис. 2). Правда, наблюдается тенденция смещения стимуляционной экспозиции к шести минутам. По абсолютным значениям всхожесть семян при непрерывном облучении выше, чем при прерывистом. Это позволяет сделать вывод о большей предпочтительности непрерывного облучения над прерывистом, в том числе и с точки зрения технологичности метода.

Непрерывное облучение

Прерывистое облучение

Томат (с. Муромский)



Лук (сорт Халцедон)

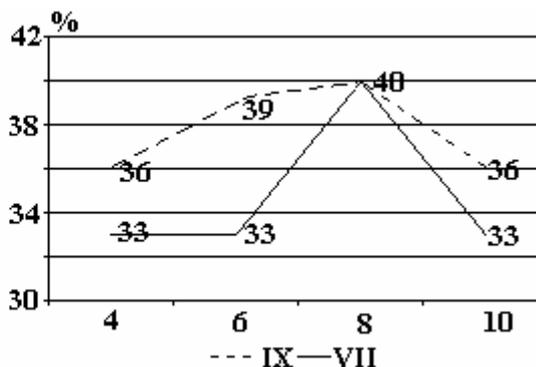
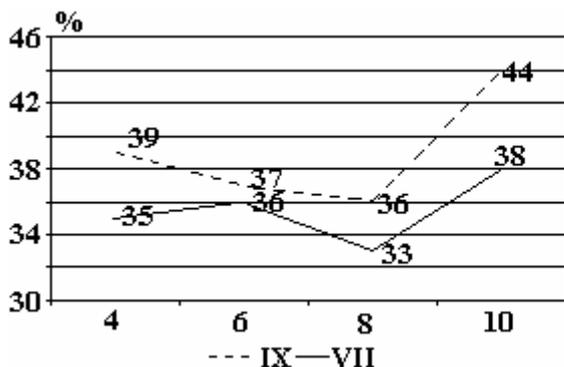


Рис. 2. Динамика всхожести семян томата и лука при воздействии на семена непрерывного и прерывистого ММИ (в %); 4, 6, 8, 10 – экспозиция воздействия (в мин); VI, VII, VIII, IX – дни проращивания семян

Аналогичные режимы воздействия ММИ были апробированы на семенах лука. Существенных различий по экспозициям и по режимам не обнаружено. Вместе с тем наблюдается тенденция стимуляции при непрерывном режиме на экспозиции 10 мин и при прерывистом режиме на экспозиции 8 мин.

По данному разделу можно дополнительно отметить, что прерывистое облучение снимает эффект нелинейности дозовой кривой.

1.1.3. Сравнение эффектов от воздействия ММИ и химических регуляторов

Исследования в этом плане только начаты. Первый опыт с семенами томата (сорт Катерина) показал, что облучение сухих семян ММИ при экспозиции 8 мин приводит к незначительному повышению всхожести семян по сравнению с контролем на 8 и 10-й день прорастания. Замачивание семян в растворах Молдстим и ГК не оказывает стимуляционного действия на всхожесть семян (рис. 3). Таким образом, по данным этого опыта можно сделать предварительный вывод о более благоприятном влиянии ММИ на всхожесть семян по сравнению с влиянием использованных биологически активных веществ.

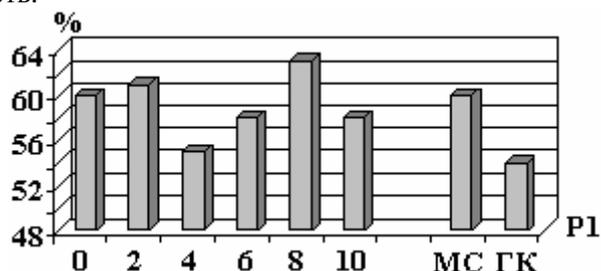


Рис. 3. Всхожесть семян томата (сорт Катерина) при воздействии на семена ММИ и биологически активных веществ (в %); VIII, X – дни проращивания семян; 0, 2, 4, 6, 8, 10 – экспозиции облучения семян, (в мин); МС – Молдстим, ГК – гибберелловая кислота

1.2. Влияние различных длин волн ММИ

Как было показано нами ранее [13-17], конкретные экспозиции воздействия ММИ (2 и 8 мин) являются стимуляционными для семян разных видов растений – зерновых (кукуруза), злаковых (пшеница, тритикале, ячмень), овощных (томат, лук), технических (табак), лекарственных (клещевина, дурман, эхинацея). При этом продолжительные экспозиции (порядка 30 мин) не эффективны (показатели на уровне контроля и ниже).

Это может свидетельствовать о наличии некоего общего рецептора ММИ в семенах растений. По нашему мнению, им является вода – внеклеточная и внутриклеточная, что согласуется с известной точкой зрения по отношению к другим объектам (микроорганизмам, клеткам животных и человека) [1, 18, 21]. Полученные нами данные являются серьезным аргументом в пользу разработки единого метода предпосевной стимуляционной обработки семян ММИ.

Поскольку в медицине и общей биологии, кроме длины волны ММИ 5,6 мм, успешно используются и другие длины волн (например, 4,9 и 7,1 мм) [1, 2, 5], целесообразно в опыте с семенами провести сравнительные исследования действия этих трёх длин волн с сохранением неизменными плотность потока мощности и экспозиции.

Сухие семена тритикале (сорт Инген-93) подвергали воздействию ММИ с длинами волн 4,9, 5,6 и 7,1 мм, плотностью потока мощности 6 мВт/см² и экспозициями 2, 4, 6, 8 и 30 мин, как и в прежних опытах [9-17]. Семена проращивали в чашках Петри на водопроводной воде в термостате при температуре 22°C. В каждый вариант опыта входило 150 семян (три чашки Петри по 50 семян в каждой). Определяли энергию прорастания семян (на 2-й день), их всхожесть (на 4-й день) и биоизмерию проростков.

Как показывают данные (табл. 4), при использовании всех трёх длин волн ММИ на малых экспозициях, преимущественно 2 и 8 мин, наблюдается стимуляция энергии прорастания и всхожести семян и рост числа правых проростков, а на экспозиции 30 мин эффект либо отсутствует, либо находится на уровне контроля. Как видно, для ММИ 5,6 мм подтверждены прежние данные [13-17], а ММИ 4,9 и 7,1 мм «работают» сходным образом. Вместе с тем можно отметить некоторые различия в величинах эффекта. Так, максимальная стимуляция в вариантах 4,9, 5,6 и 7,1 мм составляет по энергии прорастания соответственно 123,1; 116,1 и 128,5%; по всхожести – 189,0, 112,1, 118,9%; по числу правых проростков – 215,6, 116,9 и 113,4%. Отметим, что эксперимент показал правомочность ис-

пользования признака биоизомерии проростков для оценки биологического эффекта при воздействии ММИ на семена растений.

Таблица 4. Энергия прорастания (ЭП) и всхожесть (В) семян тритикале и число правых [D] проростков при воздействии на семена различных длин волн миллиметрового диапазона (4,9, 5,6, 7,1 мм), в % по отношению к контролю

Экспозиция, мин	Длина волны, мм								
	4,9			5,6			7,1		
	ЭП	В	D	ЭП	В	D	ЭП	В	D
2	123,1*	113,1	112,0	100,0	101,6	118,9*	215,6*	110,4	109,0
4	115,6	108,0	92,2	104,0	112,1	85,5	115,6*	108,0	99,4
6	73,4	106,0	110,3	180,9*	112,1*	102,1	119,7*	116,9*	99,4
8	123,1*	116,1*	128,5*	92,5	94,3	80,5	57,8	107,3	73,8
30	73,4	106,4	100,0	189,0*	108,0	108,2	76,9	107,3	113,4*

* Различия существенны по отношению к контролю.

По этим результатам пока ещё рано говорить о предпочтительности использования какой-то одной длины волны. Мы склоняемся к мнению об отсутствии принципиальных отличий между разными длинами волн ММИ по изученным биологическим эффектам. Это, кстати, совпадает с точкой зрения, высказанной в отношении биологических эффектов не только низкоинтенсивных электромагнитных полей (в том числе и миллиметрового диапазона или КВЧ-диапазона), но и исчезающе малых по концентрации биологически активных веществ [30], так как сами клетки «отвечают генерацией собственных КВЧ-колебаний и организацией подструктур на мембранах на действие любых факторов, изменяющих характер их функционирования» [5, с.138]. Поэтому в медицине один и тот же терапевтический эффект, если его контролировать по какому-то одному признаку, может достигаться использованием разных волн КВЧ-диапазона [31], что по логике должно быть свойственно и растительным объектам.

Таким образом, сделанный нами ранее вывод о независимости спектра активности ММИ конкретной длины волны от природы биообъектов (семян разных видов растений) можно дополнить выводом о независимости спектра активности конкретного биообъекта (семян одного вида растения) от природы воздействующего фактора (разных длин волн ММИ).

1.3. Влияние плотности потока мощности

При предпосевном облучении семян томата с низкой исходной всхожестью (сорт Санта Мария, 1989 года репродукции) ММИ 5,6 мм с экспозицией 10 мин и различными плотностями мощности (ПМ) обнаружен стимуляционный эффект в варианте 6,6 и 8,5 мВт/см² (рис. 4).

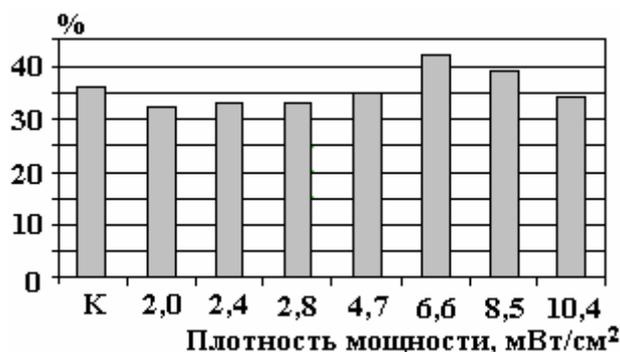


Рис. 4. Всхожесть семян томата (сорт Санта Мария, 1989) при воздействии на сухие семена ММИ с длиной волны 5,6 мм, экспозицией 10 мин и различными плотностями потока мощности (ПМ). К – контроль

В следующем опыте было обнаружено увеличение энергии прорастания семян гаплоидной формы кукурузы при плотности потока мощности 8,5 мВт/см² и экспозиции облучения сухих семян 5 мин, что выразилось в увеличении длины coleoptилей и корешков 3-дневных проростков (рис. 5).

В таких опытах с уменьшением плотности потока мощности резко увеличивается рабочая площадь облучения семян. Поэтому можно одновременно облучать большое число семян. Это, кроме ускорения процесса облучения, позволяет использовать при облучении и крупные по размерам семена, в частности кукурузы, что было выполнено в данном опыте.

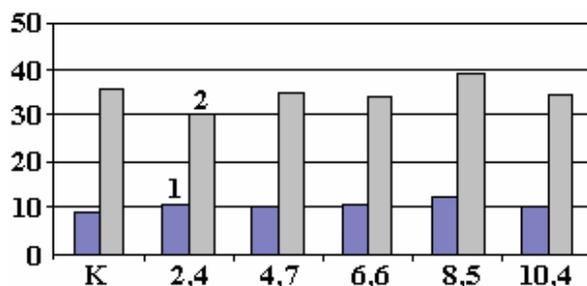


Рис. 5. Длины coleoptилей и корешков проростков гаплоидной формы кукурузы (в мм) при обработке сухих семян ММИ с различной плотностью мощности (в мВт/см²) в течение 5 мин. 1 – coleoptиль; 2 – корешок

2. Исследование репарационного и протекторного действия ММИ на прорастающие семена в условиях экологических стрессов

Проводилось раздельное и сочетанное воздействие на семена томата (сорт Санта Мария) с помощью двух факторов – ММИ (длина волны 5,6 мм, плотность потока мощности 10 мВт/см², экспозиция 10 мин) и гамма-радиации (10 Гр). Как видно из рис. 6, при раздельном воздействии ММИ было неэффективным, а радиация несколько снизила всхожесть семян. При сочетанном воздействии ММИ+γ-радиация наблюдалось значительное повышение всхожести по сравнению с контролем и раздельным вариантом, а при обратном сочетании – γ-радиация.

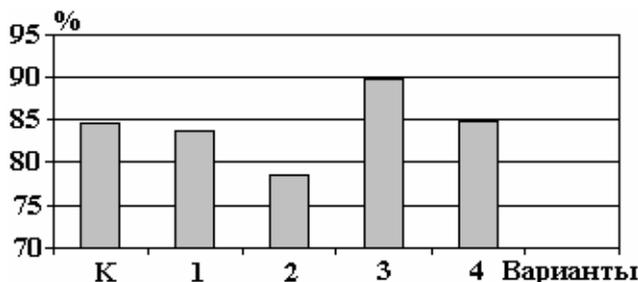


Рис. 6. Всхожесть семян томата (сорт Санта Мария) при раздельном и сочетанном воздействии на них ММИ и γ-радиации. К – контроль; 1 – 10 мин ММИ; 2 – 10 Гр; 3 – 10 мин + 10 Гр; 4 – 10 Гр + 10 мин

ММИ эффект снизился до уровня контроля. По-видимому, в этом случае наблюдалось протекторное действие ММИ, благодаря чему отрицательный эффект γ-радиации (78% всхожести) снимался предварительным облучением ММИ (90% всхожести). Планируется проведение дополнительных опытов в этом направлении с последующим учетом числа хромосомных нарушений у проростков (число этих нарушений, индуцированных γ-фактором, должно уменьшиться с помощью ММИ).

В последующем опыт был расширен за счёт использования контрастных вариантов фактора – двух экспозиций ММИ (8 и 30 мин) и двух доз γ-радиации (100 и 400 Гр). Воздействию этими факторами подвергали сухие семена кукурузы (гибрид М420) в раздельном и совместном вариантах. Учитывали энергию прорастания (ЭП) семян на 3-й день их проращивания и среднюю длину главного корешка (Д) на 5-й день проращивания при 25°C.

Анализ параметра энергия прорастания семян показал, что практически все опытные варианты раздельного и совместного использования факторов превышают контроль (рис. 7).

Раздельная подача факторов – ММИ с экспозицией 8 мин и радиации с дозой 100 Гр – привела к существенной стимуляции ЭП (превышение по сравнению с контролем соответственно на 22,2 и 21,5 %), что согласуется с нашими данными и данными литературы [13–17]. Эффекты от экспозиции 30 мин и от дозы 400 Гр остались на уровне контроля.



Рис. 7. Энергия прорастания семян и средняя длина главного корешка проростков при раздельном и совместном действии на семена ММИ и радиации. К – контроль, 1 – 100 Гр, 2 – 400 Гр, 3 – 8 мин, 4 – 30 мин, 5 – 100 Гр + 8 мин, 6 – 8 мин + 100 Гр, 7 – 100 Гр + 30 мин, 8 – 30 мин + 100 Гр, 9 – 400 Гр + 8 мин, 10 – 8 мин + 400 Гр, 11 – 400 Гр + 30 мин, 12 – 30 мин + 400 Гр

Неожиданные результаты получены при совместном действии факторов.

1. Если одновременно используются стимуляционные варианты факторов (8 мин и 100 Гр), то эффект снижается по сравнению с их раздельным использованием.

2. При подаче нестимуляционных вариантов факторов (30 мин и 400 Гр) эффект находится на уровне эффектов от их раздельного использования.

3. Если пара факторов состоит из стимуляционного и нестимуляционного вариантов, то результат оказывается выше нестимуляционного варианта.

4. Эффект в определённой степени зависит от порядка подачи факторов на объект, что позволяет говорить в одном случае о радиопротекторном действии ММИ (в парах 30 мин + 100 Гр; 30 мин + 400 Гр), в другом – о радиорепарационном действии ММИ (в парах 100 Гр + 8 мин; 400 Гр + 8 мин).

Анализ параметра длина корешка в целом показал качественно сходные с ЭП результаты по вариантам опыта. В частности, обнаружена стимуляция при раздельном действии 8 мин и 100 Гр и стимуляция при совместном действии 8 мин и 400 Гр.

3. Влияние предпосевной обработки семян ММИ на продуктивность растений в полевых условиях

В качестве объектов исследования использовались семена четырех сортов томата с разным сроком хранения (Санта Мария, Чебурашка, Campbell и Грунтовый Грибовский). Семена подвергали воздействию ММИ с длиной волны 5,6 мм и экспозициями 2, 8 и 30 минут. В опыте 2006 года плотность мощности облучения семян двух сортов (Санта Мария и Грунтовый Грибовский) составляла 10 мВт/см², в опытах 2007 и 2009 годов – 6,6 мВт/см². После облучения семена проращивали в грунте в условиях теплицы до получения сеянцев, которые затем высаживали на полевом участке Института генетики и физиологии растений. В каждом варианте опыта было 60 сеянцев (по 20 сеянцев на одну повторность). В конце вегетационного периода определяли общую массу плодов в килограммах на одно растение.

В опыте 2006 года предпосевная обработка семян четырех сортов томата разного срока хранения малыми экспозициями ММИ привела к существенному повышению продуктивности растений (табл. 5). Экспозиция 2 мин оказалась стимуляционной для всех сортов.

Таблица 5. Урожай плодов различных сортов томата в полевых условиях при воздействии ММИ на семена, 2006 год

№ п/п	Экспозиции ММИ, мин	Санта Мария (7 лет)		Санта Мария (9 лет)		Чебурашка (8 лет)		Campbell (8 лет)		Грунтовый Грибовский (10 лет)	
		кг/куст	%	кг/куст	%	кг/куст	%	кг/куст	%	кг/куст	%
1	К	3,78	100	3,67	100	4,27	100	5,75	100	4,01	100
2	2	3,98	105,3	4,18*	113,9	4,80*	112,4	6,50*	113,0	4,62*	115,2
3	8	4,24*	112,2	4,16*	113,4	4,52	105,9	5,91	102,8	4,25	106,0
4	30	4,17	103,0	3,88	105,7	–	–	–	–	–	–

Примечание: % – процент по отношению к контролю; * – различия существенны по отношению к контролю; в скобках – срок хранения семян.

Превышение урожая плодов на 1 куст по сравнению с контролем составило 13–15 %. Необходимо отметить, что в опыте использовались семена сорта Санта Мария двух сроков хранения (7 и 9 лет). При экспозиции 30 мин стимуляция на семенах этого сорта была несущественной, на экспозиции 8 мин прибавка урожая составила 12–13%.

В опытах 2007 и 2009 годов исследовались два сорта – сорт Санта Мария (10- и 12-летних сроков хранения) и сорт Грунтовый Грибовский (11- и 13-летних сроков хранения). Эти опыты проводились на тех же семенах, что и в 2006 году.

Было обнаружено, что в 2007 году стимуляционное действие ММИ проявилось на экспозициях 2 и 8 мин как на сорте Санта Мария, так и на сорте Грунтовый Грибовский (существенная прибавка урожая составила 13–18%). При экспозиции 30 мин также наблюдался стимуляционный эффект при облучении семян обоих сортов, но различия по урожаю плодов на один куст по сравнению с контролем были несущественными.

В 2009 году положительное действие ММИ на семена этих сортов оказалось ещё более высоким, что привело к существенному повышению урожая плодов на 20–55% (табл. 6). В 2009 году лучшие результаты были получены по сорту Санта Мария, где стимуляция продуктивности наблюдалась не только на экспозициях 2 и 8 мин (на 30 и 55% соответственно), но и на экспозиции 30 мин (на 20%). По сорту Грунтовый Грибовский стимуляция продуктивности на вариантах экспозиций 2 и 8 мин составила соответственно 21 и 29%, а на варианте экспозиции 30 мин стимуляция продуктивности отсутствовала.

Таблица 6. Урожай плодов различных сортов томата в полевых условиях при воздействии ММИ на семена

№ п/п	Экспозиция ММИ, мин	2007				2009			
		Санта Мария		Грунтовый Грибовский		Санта Мария		Грунтовый Грибовский	
		кг/куст	%	кг/куст	%	кг/куст	%	кг/куст	%
1	К	2,46	100	2,40	100	2,58	100	3,25	100
2	2	2,79*	113,4	2,85*	118,8	3,25*	125,9	3,93*	120,9
3	8	2,86*	116,3	2,77*	115,4	4,01*	155,4	4,20*	129,2
4	30	2,56	104,1	2,63	109,6	3,10*	120,1	3,07	94,5

Примечание: %, * – как в табл. 1

Причиной такой реакции генотипов на действие ММИ могли стать климатические условия 2009 года, поскольку температурный и водный режимы для вегетации растений были более благоприятными, чем в 2006 и 2007 годах. Следует подчеркнуть, что высокий стимуляционный эффект в 2009 году получен на семенах более длительных сроков хранения, чем в 2006–2007 годах. Вероятно, некоторую роль тут сыграла другая плотность мощности облучения семян.

Таким образом, в результате трёхлетних опытов впервые на одних и тех же семенах разных сортов томата с продолжительным сроком хранения было показано, что первичный стимуляционный эффект от миллиметрового излучения, полученный на этапе прорастания семян [13–17], положительно проявился в течение всего онтогенеза растений. Следовательно, метод предпосевной обработки

миллиметровым излучением семян томата после их длительного хранения в генетическом банке Центра целесообразно использовать для повышения продуктивности растений в полевых условиях.

Предлагаемый метод выгодно отличается от известного метода предпосевной обработки семян растений малыми дозами γ -облучения [32], которые также способствуют повышению продуктивности растений в полевых условиях. Авторы этого метода подчёркивают, что он применим только на свежих семенах, т.е. семенах с высокой исходной всхожестью, а для старых семян, имеющих низкую всхожесть из-за длительного хранения, метод малопригоден [32]. Кроме того, при использовании γ -метода рекомендуется своя стимуляционная доза для семян каждого вида растений, в то время как при нашем методе стимуляционные дозы для семян разных видов растений одинаковы [13–17].

Это, по-видимому, объясняется разными механизмами действия ММИ и γ -лучей на семена: основными рецепторами ММИ являются кислород, вода и элементы клеточных мембран [1, 2, 5], а первичной мишенью γ -радиации – ДНК и другие генетически значимые молекулы [33]. В заключение отметим, что метод обработки семян ММИ более предпочтителен по сравнению с γ -методом в отношении безопасности, экономичности и технологичности.

Выводы

1. При воздействии миллиметрового излучения (ММИ) с длиной волны 5,6 мм, плотностью потока мощности 10 мВт/см^2 и экспозициями 2, 4, 6, 8, 10, 12 и 30 мин на сухие семена томата, лука, тритикале, табака и клецелины с различной исходной всхожестью обнаружена существенная стимуляция всхожести семян по сравнению с контролем (на 20% и более).

2. Величина стимуляционного эффекта зависит от генотипа и исходной всхожести семян и проявляется как на начальной экспозиции (2 мин), так и на последующих экспозициях (8, 10 и 12 мин). Длительная экспозиция (30 мин), как правило, не была эффективнее кратковременных. Однако для некоторых видов растений, в частности для представителя зернобобовых культур чечевицы, экспозиция 30 мин оказалась стимуляционной, а экспозиция 2 мин – ингибирующей.

3. В сравнительном эксперименте с одновременным использованием ММИ разных длин волн (4,9; 5,6; 7,1 мм) получены сопоставимые результаты (стимуляция всхожести семян тритикале при одинаковых экспозициях 2 и 8 мин).

4. Эффект воздействия ММИ на семена зависит от плотности потока мощности, лучшие показатели получены при 6,6 и $8,5 \text{ мВт/см}^2$.

5. Экспозиции, получаемые за счет непрерывного облучения, более эффективны по критерию всхожести по сравнению с экспозициями с прерывистым (дробным) облучением. Кривая «доза – эффект» при непрерывном облучении имеет более четко выраженный нелинейный характер.

6. При раздельном и сочетанном воздействии ММИ и других физических факторов (на примере γ -радиации) показана возможность протекторного и репарационного действия ММИ (снижение ингибирующего влияния γ -радиации за счет предварительного или последующего облучения семян ММИ).

7. По предварительным данным, в сравнительном эксперименте с использованием ММИ и биологически активных веществ – Молдстим и ГК в стимуляционных концентрациях, рекомендованных в литературе, более эффективным по критерию всхожести семян оказалось ММИ.

8. Результаты трёхлетних исследований (2006, 2007 и 2009 годы) показали, что воздействие ММИ с длиной волны 5,6 мм на семена томата с длительным сроком хранения (6–12 лет) приводит к существенному повышению продуктивности растений в полевых условиях. В 2006 году прибавка урожая на экспозициях ММИ 2 и 8 мин составила до 15%, в 2009 году на этих экспозициях она оказалась выше (до 55%), причём для сорта Санта Мария стимуляция наблюдалась и на экспозиции 30 мин. Таким образом, стимуляционный эффект зависит от сроков хранения семян, сорта и года испытания.

9. Считаём целесообразным рекомендовать ММИ для повышения жизнеспособности семян после их долговременного хранения в растительных генбанках и для повышения продуктивности растений, полученных из этих семян.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бецкий О.В., Лебедева Н.Н., Котровская Т.И. Необычные свойства воды в слабых электромагнитных полях // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. 2003. № 1. С. 37–44.
2. Бецкий О.В., Лебедева Н.Н. Применение низкоинтенсивных миллиметровых волн в биологии и медицине // Миллиметровые волны в биологии и медицине. 2007. № 1. С. 12–20.

3. Бляндур О.В., Козут Ю.В. и др. Модельный тест-объект для выявления биологического эффекта ЭМП миллиметрового диапазона // Материалы Первой научно-практической конференции «Нетрадиционные методы в медицине, биологии и растениеводстве. Эниология. Экология и здоровье». Кишинев, 2005. С. 433–441.
4. Васько П.П., Ермолович А. А., Карпович В. А., Новикова О. Т. О влиянии воздействия электромагнитных волн низкой интенсивности на всхожесть и поражаемость семенной инфекцией зерновых культур и злаковых трав // Миллиметровые волны в биологии и медицине. 2004. № 1. С. 68–73.
5. Девятков Н.Д., Голант М.Б., Бецкий О.В. Миллиметровые волны и их роль в процессах жизнедеятельности. М.: Радио и связь, 1991. 169 с.
6. Карпович В.А., Ермолович А.А., Михаленко Е.Г., Барашкова Г.П., Новикова О.Т. Новая стимулирующая и обеззараживающая микроволновая технология предпосевной обработки семян овощных культур // Агропанорама. 2004. № 4. С. 17–21.
7. Карпович В.А., Ермолович А.А., Войнов Г.М., Сметанко В.М. Применение низкоинтенсивных электромагнитных полей микроволнового диапазона для предпосевной обработки льна // Миллиметровые волны в биологии и медицине. 2007. № 1(45). С. 65–69.
8. Козут Ю. В. Бляндур О.В. и др. Биологический эффект СВЧ-поля миллиметрового диапазона по первичным процессам метаболизма на примере кукурузы //Збірник наукових праць, Кам'янець-Подільський. 2003. Т. 11. С. 28–30.
9. Корлэтяну Л.Б., Маслоброд С.Н., Ганя А.И. Миллиметровое излучение как фактор повышения жизнеспособности сельскохозяйственных растений при консервации семян *ex situ* // Матер.ХV Межд.симп. «Нетрадиционное растениеводство. Эниология. Экология и здоровье». Симферополь, 2006. С. 659–661.
10. Маслоброд С.Н., Бондарчук А.И., Корлэтяну Л.Б., Ганя А.И. Влияние различных длин волн миллиметрового диапазона на прорастание семян и биоизмерию проростков тритикале // Миллиметровые волны в медицине и биологии (Мат.15-го симп.). М., 2009. С. 266–270.
11. Тамбиев А. Х., Кирикова Н. Н., Бецкий О.В., Гуляев Ю.В. Миллиметровые волны и фотосинтезирующие организмы. М., 2003. 175 с.
12. Бурцева С.А., Постолатий О.М., Маслоброд С.Н., Михайлов М.Э., Ротаренко В.А. Влияние плотности мощности миллиметрового излучения на биологическую активность *Streptomyces canosus* CNMN-71, оцениваемую по параметрам прорастания семян гаплоидной формы кукурузы // Матер.ХV Межд.симп. «Нетрадиционное растениеводство. Эниология. Экология и здоровье». Симферополь, 2006. С. 655–656.
13. Корлэтяну Л.Б., Маслоброд С.Н., Гушкан И.В., Ганя А.И. Изменение биохимических параметров томата и лука под влиянием миллиметрового излучения // Материалы конференции «Современные тенденции в селекции и генетике овощных культур. Традиции и перспективы», Т. 1. М., 2008. С. 313–317.
14. Корлэтяну Л.Б., Маслоброд С.Н. Влияние предпосевной обработки семян томата миллиметровым излучением на энергию прорастания семян и продуктивность растений в полевых условиях // *Agrobiodiversitatea vegetala in republica Moldova* (Mat.Simp.), Chisinau, 2008, p. 264–265.
15. Корлэтяну Л.Б., Маслоброд С.Н., Гушкан И.В., Ганя А.И., Грати М.И. Оценка влияния миллиметрового излучения на семена клещевины (*Ricinus communis* L.) в условиях консервации *ex situ* // *Agrobiodiversitatea vegetala in republica Moldova* (Mat.Simp.), Chisinau, 2008, p.142–150.
16. Корлэтяну Л.Б., Маслоброд С.Н., Ганя А.И. Повышение жизнеспособности семян некоторых лекарственных растений из коллекции *ex situ* при обработке миллиметровым излучением // Ботанические сады – центры сохранения разнообразия мировой флоры (Мат.межд.конф.). Киев, 2009. № 26. С. 87–89.
17. Маслоброд С.Н., Корлэтяну Л.Б., Ганя А.И., Гайдей Н.А. Влияние миллиметрового излучения на первичные процессы метаболизма семян культурных растений после длительного хранения // *Plant Agrobiodiversity*. 2006. С. 233–243.
18. Маслоброд С.Н., Корлэтяну Л.Б., Ганя А.И., Гайдей Н.А. «Память» воды на воздействие миллиметрового излучения по критерию всхожести семян // Вода: экология и технология, ЭКВАТЭК-2006, ч.II. М., 2006. С. 1049–1050.
19. Маслоброд С.Н., Бурцева С.А., Калкэй Е.Д., Постолатий О.М., Братухина А.А. Как экзометаболиты стрептомицета, обработанного миллиметровыми волнами, влияют на всхожесть семян и биоизмерию сеянцев табака //Миллиметровые волны в медицине и биологии (Мат.15-го симп.). М., 2009. С. 259–263.

20. Катаев А.А., Александров А.А., Тихонов Л.И., Берестовский Г.Н. Частотозависимое влияние миллиметровых электромагнитных волн на ионные токи водорослей *Nitellopsis*. Нетепловые эффекты // Биофизика. 1993. Т. 38. С. 446–460.
21. Девятков Н.Д., Кислов В.Я., Кислов В.В. и др. Обнаружение нормализации физиологического состояния внутренних органов человека под воздействием активированной миллиметровым излучением воды // Миллиметровые волны в биологии и медицине. 1996. № 8. С. 65–68.
22. Зенин С.В. Развитие информационных представлений о структурном состоянии воды // ЭКВА-ТЭК-2006, Сборник докладов 7-го Межд конг., ч.2. М., С. 1052–1054.
23. Чалык С.Т. Методы гаплоидии в селекции и генетике кукурузы. Кишинёв, 2003. 179 с.
24. International rules for seed testing. 1984. М: Колос. 310 с.
25. Кинтя П.К., Лазуревский Г.В. и др. Строение и биологическая активность стероидных гликозидов ряда спиростана и фуростана. Кишинев: Штиинца, 1987. 130 с.
26. Гамбург К.З. Методы определения регуляторов роста и гербицидов. М., 1966.
27. Plum С., Hermansen L., Petersen I. Fractionated protein determination on small quantities // Scand.J.Clin.Lab.Invest. 1955. V. 7. P. 1–35.
28. Паушева З.П. Практикум по цитологии растений. М., 1974. 288 с.
29. Жученко А.А., Грати М.И., Андриющенко В.К., Грати М.И. Жизнеспособность семян и естественный мутационный процесс у томатов, перца и баклажан при хранении // Сельскохозяйственная биология. 1979. № 14. С. 214–216.
30. Бурлакова Е.Б., Конрадов А.А., Мальцева Е.Л. Сверхслабые воздействия химических соединений и физических факторов на биологические системы // Биофизика. 2004. Т. 49. № 3. С. 551–564.
31. Голант М.Б. О проблеме резонансного действия когерентных электромагнитных излучений миллиметрового диапазона волн на живые организмы // Биофизика. 1989. Т. 34. № 2. С. 339–348.
32. Березина Н.М., Каушанский Д.А. Предпосевное облучение семян сельскохозяйственных растений. М.: Атомиздат, 1975. 263 с.
33. Дубинин Н.П. Генетика. Кишинёв: Штиинца, 1985. 534 с.

Поступила 16.06.10

Summary

At the influence of millimetric radiation with wavelength 4,9; 5,6; 7,1 mm; density of stream of capacity of 6–10 mwt / sm² and expositions of 2–30 minutes on dry seeds of different plant species is was observed a stimulation of sprouting energy and seeds germinating power by small expositions of the factor (several minutes). It is offered the method of presowing processing of seeds of low initial germinating power with small expositions of millimetric radiation for the purpose of increase of the seeds viability and efficiency of plants received of them.
