

**ОСОБЕННОСТИ ФИЗИОЛОГО-
БИОХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
ЮВЕНИЛЬНЫХ РАСТЕНИЙ БОБОВЫХ
И КРУПЯНЫХ КУЛЬТУР В ОТВЕТ
НА ГИПОТЕРМИЮ И ПРЕПОСЕВНУЮ
ЭЛЕКТРОМАГНИТНУЮ ОБРАБОТКУ¹**

**FEATURES OF PHYSIOLOGICAL-
BIOCHEMICAL PROCESSES
OF JUVENILE PLANTS
OF BEAN AND GRAIN CULTURES AS
RESPONSE TO HYPOTHERMIA AND
ELECTROMAGNETIC PRETREATMENT**

Ж. Э. Мазец,

*кандидат биологических наук, доцент
кафедры общей биологии и ботаники
Белорусского государственного
педагогического университета
имени Максима Танка;*

Э. К. Казак,

*студент IV курса факультета
естествознания Белорусского
государственного педагогического
университета имени Максима Танка;*

Д. И. Мацко,

*студент IV курса факультета
естествознания Белорусского
государственного педагогического
университета имени Максима Танка*

Zh. Mazets,

*PhD in Biology, Associate Professor
of the Department General Biology
and Botany, Belarusian State
Pedagogical University
named after Maxim Tank;*

E. Kazak,

*4th year Student of the Faculty
of Natural Sciences, Belarusian
State Pedagogical University
named after Maxim Tank;*

D. Matsko,

*4th year Student of the Faculty
of Natural Sciences, Belarusian
State Pedagogical University
named after Maxim Tank*

Поступила в редакцию 25.01.23.

Received on 25.01.23.

В статье оценивается реакция гречихи посевной (*Fagopyrum esculentum Moench.*) и люпина узколистного (*Lupinus angustifolius L.*), прошедших предпосевную обработку низкоинтенсивным электромагнитным излучением, на низкотемпературный стресс. Выявлен протекторный эффект ряда режимов электромагнитного излучения при выращивании люпина узколистного в условиях низких положительных температур, тогда как на гречихе посевной отмечено торможение ростовых процессов. Установлен положительный эффект электромагнитного воздействия на ростовые процессы проростков и содержание пигментов в листьях люпина узколистного при двух- и трехчасовом воздействии отрицательных температур. У гречихи посевной не выявлено стресс-протекторное действие электромагнитного излучения в условиях гипотермии разной продолжительности.

Ключевые слова: электромагнитное излучение, всхожесть, гречиха посевная, люпин узколистный, фотосинтетические пигменты, ростовые процессы, гипотермия.

The article evaluates the reaction of buckwheat (*Fagopyrum esculentum Moench.*) and narrow-leaved lupine (*Lupinus angustifolius L.*) under low-intensity electromagnetic radiation pretreatment to low-temperature stress. It reveals the protective effect of a number of regimes of electromagnetic radiation in the cultivation of narrow-leaved lupine under conditions of low positive temperatures, while inhibition of growth processes was observed in buckwheat. It establishes the positive effect of electromagnetic influence on the growth processes of seedlings and the content of pigments in leaves of narrow-leaved lupine at two- and three-hour exposure to negative temperatures. In buckwheat the stress-protective effect of electromagnetic radiation under hypothermic conditions of different duration was not revealed.

Keywords: electromagnetic radiation, buckwheat, lupine angustifolia, germination, photosynthetic pigments, growth processes, hypothermia.

Введение. Растения в процессе своего роста и развития, как правило, подвергаются воздействию разнообразных факторов среды, к которым относят колебания температур, избыток или недостаток влаги, засоление, загазованность среды, инфекции и др. [1]. При этом растения способны адаптироваться к внешним условиям в пределах

нормы реакции их генотипа, что характеризует их адаптационный потенциал. Это свойство отличает устойчивые сорта культурных растений от неустойчивых. Выявлено, что слабые и кратковременные изменения факторов внешней среды не приводят к заметным нарушениям физиологических функций растений, а существенные и дли-

¹ Исследования выполнялись в рамках реализации гранта Министерства образования Республики Беларусь (№ государственной регистрации 20220453) «Оценка электромагнитного излучения как фактора стрессоустойчивости сельскохозяйственных культур».

тельные воздействия нарушают многие функции растений и могут приводить к их гибели [2].

Воздействие неблагоприятных факторов снижают интенсивность процессов жизнедеятельности растений и могут достигать критических уровней, тормозя реализацию генетической программы онтогенеза. В результате воздействия на растение стрессоров в нем возникает напряженное состояние – стресс, т. е. общая неспецифическая адаптивная реакция организма на действие любых неблагоприятных факторов [1]. В результате реакции на стресс может формироваться устойчивость растительного организма к определенным стрессорам или их комплексу, которая обеспечивается совокупностью механизмов: специфических, зависящих от особенностей фактора среды, и общих, неспецифических, характерных для различного рода воздействий и отражающих свойства самой реагирующей системы [3].

В настоящее время для повышения устойчивости растений к стрессовым воздействиям используют разнообразные технологии целенаправленного воздействия на них, и среди этих методов не последнюю роль играют физические факторы, из которых заметное место принадлежит электромагнитному излучению (ЭМИ). На сегодняшний день накоплен достаточно богатый опыт применения ЭМИ СВЧ-диапазона в сельском хозяйстве. Выявлены противоречивые результаты по влиянию ЭМИ на посевные качества семян, ростовые процессы и продуктивность ряда культур в зависимости от интенсивности и продолжительности воздействия фактора и физиологических особенностей сельскохозяйственных культур [4–6]. Отмечено, что данный вид излучения является стимулирующим фактором и при определенных режимах обработки семян дает ощутимый положительный эффект на растениях [7; 8].

Цель работы – оценить особенности реакции гречихи посевной (*Fagopyrum esculentum Moench.*) и люпина узколистного (*Lupinus angustifolius L.*) на различные виды гипотермии на фоне предпосевого воздействия низкоинтенсивным электромагнитным излучением (ЭМИ) на посевные качества семян, морфометрические параметры и накопление фотосинтетических пигментов в листьях ювенильных растений.

Объекты и методы исследования. Объектами изучения были выбраны: крупяная культура гречиха посевная (*Fagopyrum esculentum Moench.*) сорта Сапфир, а также бобовая культура – люпин узколистный (*Lupinus angustifolius L.*) сорта Талант. Семенной материал белорусской селекции был предоставлен сотрудниками РУП «Научно-практического центра НАН Беларуси по земледелию».

Гречиха посевная – ценная крупяная культура. Гречневая крупа по своему продовольственному значению занимает первое место среди основных круп [9–11]. В цветущих побегах гречихи в качестве основного компонента содержится рутин (до 3–5 %) и сопутствующие ему другие флавоноиды, использующиеся для приготовления фитопрепаратов [9–12]. Кроме того, семена гречихи содержат высококачественный белок, ненасыщенные

жирные кислоты, минералы, витамины, антиоксиданты и, что очень важно, в них отсутствует глютен [13]. Гречиха имеет важное кормовое значение [14], а зеленую массу гречихи запахивают как зеленое удобрение [10]. Большое значение имеет гречиха в пчеловодстве [9]. Известно, что урожайность гречихи посевной в Беларуси в значительной степени зависит от климатических условий [15], что связано с чувствительностью к низким температурам и водному дефициту [16]. Эти факторы тормозят прорастание, снижают всхожесть и интенсивность ростовых процессов гречихи, а в конечном итоге и ее продуктивность [14].

Люпин узколистный (*Lupinus angustifolius L.*) – главный источник сбалансированного, экологически чистого белка, возделывающийся также как недорогой источник биотоплива [17]. Однако расширение посевов люпина узколистного сдерживает относительно низкая и неустойчивая урожайность зерна несмотря на то, что потенциал его продуктивности составляет 40–60 ц/га [18]. Его ростовые процессы в сильной степени зависят от температуры и условий увлажнения в первую половину вегетации [19].

Поэтому использование дополнительных технологических приемов в возделывании гречихи посевной и люпина узколистного является крайне актуальным для нашей страны.

Для исследований физического воздействия на растения гречихи посевной и люпина узколистного семена были обработаны пятью режимами (Р) электромагнитного воздействия СВЧ-диапазона с частотой воздействия 64–66 ГГц – с различным временем обработки: Р2 – 20 мин, Р2.1 – 16 мин, Р2.2 – 12 мин, Р2.3 – 8 мин и Р2.4 – 4 мин в Институте ядерных проблем БГУ на лабораторной установке для микроволновой обработки семян (рисунок 1). В качестве контроля были использованы необработанные семена.

В естественных условиях в начальный период вегетации нередко периодические (от нескольких часов до нескольких суток) понижения температуры до низких положительных и даже отрицательных

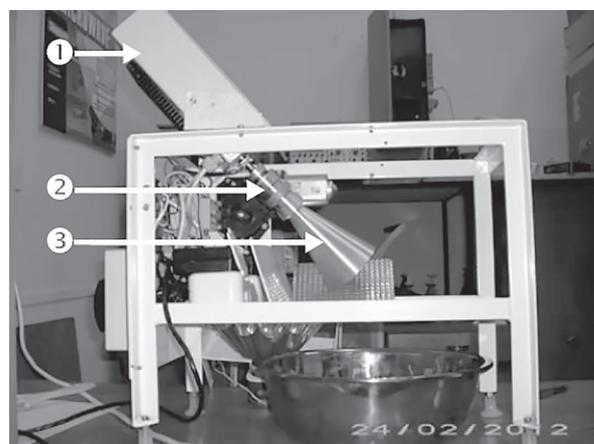


Рисунок 1 – Лабораторная установка для микроволновой предпосевной обработки семян: 1 – микроволновой модуль; 2 – преобразователь поляризации; 3 – рупорная коническая антенна [20]

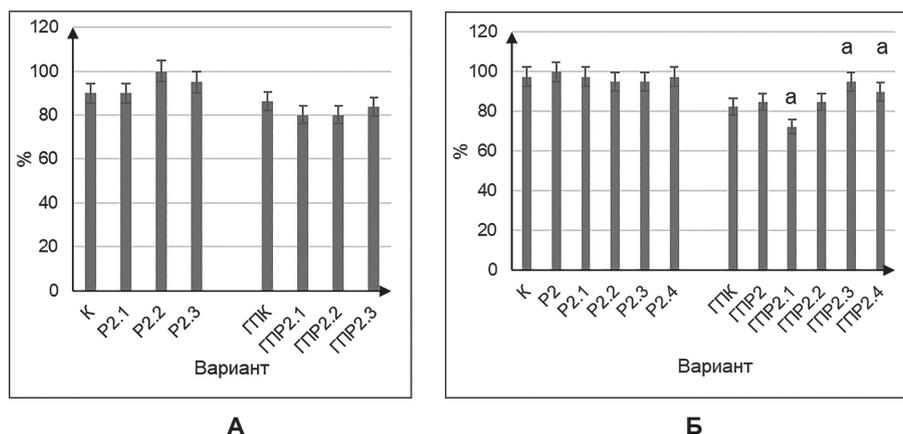


Рисунок 2 – Влияние длительной гипотермии на всхожесть семян гречихи посевной сорта Сапфир (А) и люпина узколистного сорта Талант (Б) на фоне предпосевного электромагнитного воздействия

Примечание –

* – достоверно при $p < 0,05$ по сравнению с контролем;

a – достоверно при $p < 0,05$ по сравнению с контролем, помещенным в условия длительной гипотермии.

значений, что вызывает у растений многочисленные изменения, затрагивающие важнейшие физиолого-биохимические процессы. В связи с чем были заложены 2 серии лабораторных модельных опытов по выявлению влияния низких положительных и отрицательных температур разной продолжительности на ювенильные растения гречихи посевной и люпина узколистного, подвергшиеся превентивному воздействию ЭМИ.

С целью выяснения влияния низких положительных температур на развитие растений в течение 17 дней семена проращивались на дистиллированной воде в рулонах из фильтровальной бумаги (по 20 семян в рулоне) при комнатной температуре (22 °С) и естественном освещении (контрольные (К) условия), а опытные семена были помещены в хладостат на проращивание в условия гипотермии при температуре в 6 °С на протяжении всего времени опыта (ГП) для гречихи и на 10 дней для люпина узколистного, а затем выставлены в условия естественного освещения и температуры 22 °С, где затем растения выращивались в течение 7 дней. Затем оценивалось влияние на всхожесть, длину и массу проростков, накопление основных фотосинтетических пигментов в листьях контрольных и опытных растений гречихи посевной и люпина узколистного.

Оценка влияния низких отрицательных температур проводилась на фоне контрольных растений, которые проращивались также в рулонах из фильтровальной бумаги 18 дней при комнатной температуре (22 °С) и естественном освещении. Для выявления воздействия отрицательных температур (ОТ) были проведены 3 серии модельных опытов. Семена всех серий проращивались 16 дней при естественном освещении и температуре 22 °С, после чего помещались в хладостат (ХТ-3/70) при температуре –5 °С. Опытные растения первой серии (ОТ1) помещались в условия –5 °С на 1 час, второй серии (ОТ2) на 2 часа, третьей серии (ОТ3) на 3 часа, после чего перемещались в контрольные условия на 2 дня для более четкого появления ответной реакции растений на изменения условий среды.

Содержание фотосинтетических пигментов в листьях проростков гречихи и люпина определяли по методике, описанной в работе [21], экстракцию проводили 100%-ным ацетоном. Оптическую плотность определяли на спектрофотометре «Specord-50» (Германия).

Повторность опыта 3-кратная. Полученные результаты представлены на рисунках и в таблицах в виде средней арифметической величины со стандартной ошибкой. Сравнение независимых выборок, подчиняющихся закону нормального распределения, проводили с помощью критерия Стьюдента. Значения t-критерия находили для 95 %-го уровня значимости ($p < 0,05$) [22].

Результаты и их обсуждение. Анализ влияния режимов ЭМИ в стандартных условиях (естественное освещение и 22 °С) показал повышение всхожести гречихи посевной относительно контроля на 10 % и 5 % соответственно P2.2 и P2.3 (рисунок 2А). В ходе оценки влияния низких положительных температур на фоне предпосевного электромагнитного воздействия на характер проращивания семян гречихи посевной установлено, что данный фактор незначительно снижал всхожесть, а режимы P2.1 и P2.2 ЭМИ в данном случае выступили дополнительным стрессовым фактором, понижающим обсуждаемый показатель на 6,3% по сравнению с контролем.

При выращивании в условиях температуры +22 °С и естественного освещения режимы ЭМИ не оказали достоверного влияния на всхожесть семян люпина узколистного сорта Талант, тогда как при длительной гипотермии (+6 °С) установлено снижение всхожести по сравнению с температурой +22 °С на 15 % (рисунок 2Б). У люпина отмечена разнонаправленная реакция на режимы ЭМИ: ГПР2.1 – снижал на 10 %, а ГПР2.3 и ГПР2.4 – повышали обсуждаемый показатель на 10 % и 7,5 % соответственно относительно контроля (рисунок 2Б). Кроме того, отмечено снижение скорости проращивания гречихи посевной и люпина узколистного в условиях низких положительных температур на 5–6 дней по сравнению с контрольными условиями.

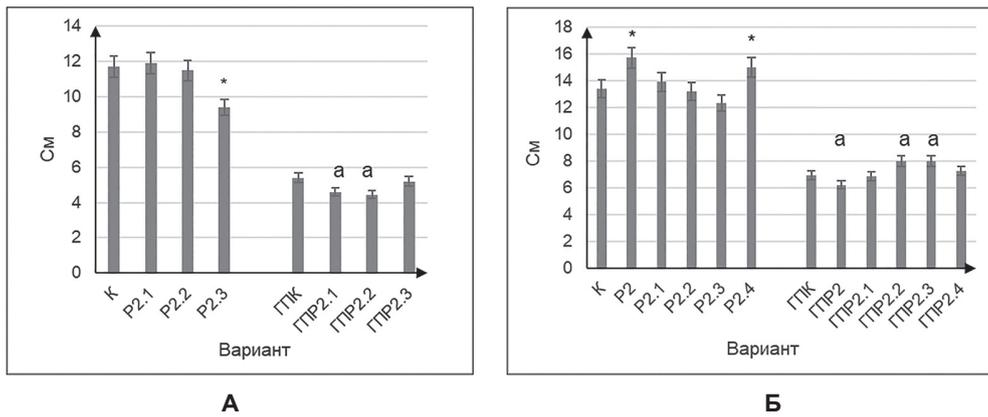


Рисунок 3 – Влияние длительной гипотермии на длину проростков гречихи посевной сорта Сапфир (А) и люпина узколистного сорта Талант (Б) на фоне предпосевного электромагнитного воздействия

Примечание –

* – достоверно при $p < 0,05$ по сравнению с контролем;

а – достоверно при $p < 0,05$ по сравнению с контролем, помещенным в условия длительной гипотермии.

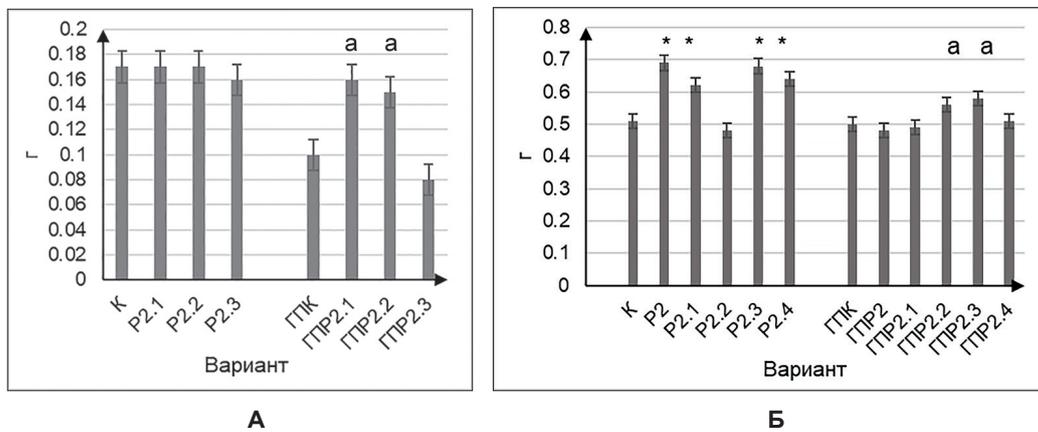


Рисунок 4 – Влияние длительной гипотермии на массу проростков гречихи посевной сорта Сапфир (А) и люпина узколистного сорта Талант (Б) на фоне предпосевного электромагнитного воздействия

Примечание –

* – достоверно при $p < 0,05$ по сравнению с контролем;

а – достоверно при $p < 0,05$ по сравнению с контролем, помещенным в условия длительной гипотермии.

Установлено, что из всех исследуемых режимов ЭМИ только P2.3 снижал высоту растений гречихи на 19,7 % относительно контроля в стандартных условиях (рисунок 3А), тогда как при продолжительном выращивании в условиях низкой положительной температуры ГПР2.1 и ГПР2.2 выступили аддитивными стрессовыми факторами и снизили длину проростков на 14,8 % и 17,6 % соответственно. Отмечено, что P2 и P2.4 стимулировали рост проростков люпина узколистного на 17,2 % и 11,9 % соответственно в стандартных условиях (рисунок 3Б), тогда как в условиях длительной гипотермии характер реакции зависел от времени воздействия ЭМИ – снижение при самой длительной экспозиции (20 мин – ГПР2) и стимуляция роста при более коротких экспозициях от 12 минут (ГПР2.2) до 4 мин (ГПР2.4) от 5,1 % (ГПР2.4) до 15,9 % (ГПР2.2 и ГПР2.3).

Отмечено отсутствие достоверных отличий по влиянию режимов ЭМИ в естественных условиях на массу проростков гречихи посевной сорта Сапфир, тогда как при длительном выращивании гречихи при низких положительных температурах

выявлено увеличение массы проростков относительно контроля на 56,7 % и 49,0 % соответственно режимам ГПР2.1 и ГПР2.2 (рисунок 4А). Установлен достоверный позитивный эффект на массу проростков люпина узколистного в случае большинства режимов ЭМИ в естественных условиях и увеличение данного параметра от 21,6 % (P2.1) до 35,3 % (P2) по сравнению с контрольными значениями, тогда как при длительной гипотермии рост массы проростков отмечен только в случае двух режимов на 12 % и 16 % соответственно ГПР2.2 и ГПР2.3 (рисунок 4Б).

В условиях Республики Беларусь в конце мая – начале июня, то есть на начальных этапах вегетации сельскохозяйственных культур, могут отмечаться заморозки различной продолжительности. Поэтому актуальным было рассмотреть, как этот низкотемпературный стресс отражается на жизнедеятельности растений и как ведут себя ювенильные растения гречихи и люпина, прошедшие предпосевную обработку ЭМИ.

Отмечено, что P2.1 в контрольных условиях снижал длину побегов гречихи посевной сорта

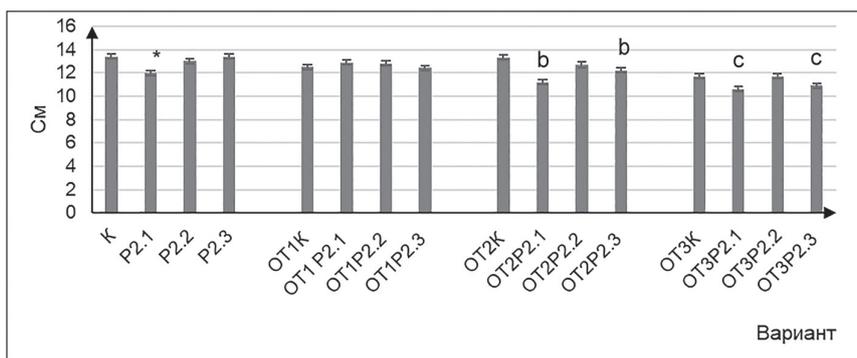


Рисунок 5 – Влияние отрицательных температур разной продолжительности на длину 18-дневных проростков гречихи посевной сорта Сапфир

Примечание –

* – достоверно при $p < 0,05$ по сравнению с контролем;

b – достоверно при $p < 0,05$ по сравнению с контролем, помещенным на два часа при -5°C ;

c – достоверно при $p < 0,05$ по сравнению с контролем, помещенным на три часа при -5°C .

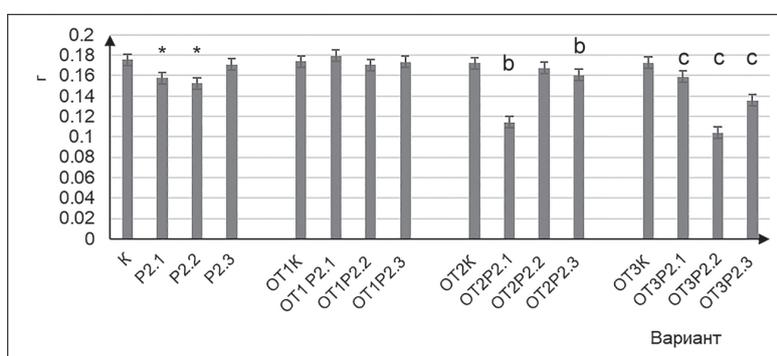


Рисунок 6 – Влияние отрицательных температур разной продолжительности на массу 18-дневных проростков гречихи посевной сорта Сапфир

Примечание –

* – достоверно при $p < 0,05$ по сравнению с контролем;

b – достоверно при $p < 0,05$ по сравнению с контролем, помещенным на два часа при -5°C ;

c – достоверно при $p < 0,05$ по сравнению с контролем, помещенным на три часа при -5°C .

Сапфир на 10,4 % относительно контроля (рисунок 5). Выявлено отсутствие достоверных различий с контролем при кратковременном воздействии (1 час) отрицательными температурами и ЭМИ по длине проростков гречихи. Однако при увеличении времени воздействия отрицательными температурами до 2-х и 3-х часов P2.1 и P2.3 выступили дополнительными стрессовыми агентами, снижающими длину проростков от 8,3 % до 15,8 % при двухчасовой экспозиции и от 6,8 % до 9,4 % при трехчасовом воздействии мороза.

При оценке влияния режимов ЭМИ и заморозков на массу 18-дневных проростков гречихи посевной отмечено, что данный показатель снижается под влиянием P2.1 и P2.2 в естественных условиях на 10,3 % и 13,3 % соответственно, тогда как при воздействии ЭМИ и отрицательными температурами в течение 1 часа достоверных различий не отмечается (рисунок 6). При увеличении времени воздействия низкими отрицательными температурами нарастает негативный эффект ЭМИ на массу проростков гречихи – от 6,7 % (OT2P2.3) до 33,7 % (OT2P2.1) при двухчасовом воздействии и от 8,0 % (OT3P2.1) до 39,2 % (OT3P2.2) при трехчасовом.

Установлено, что низкие отрицательные температуры в зависимости от продолжительности дей-

ствия снижали длину и массу проростков люпина сорта Талант в случаях двух- и трехчасового воздействия. Воздействие низкими отрицательными температурами в течение 1 часа сопровождалось торможением роста проростков относительно контроля под влиянием всех режимов ЭМИ от 5,1 % (OT1P2.2) до 22,5 % (OT1P2.4), тогда как масса этих органов изменялась разнонаправленно – OT1P2.1 снижал на 8,1 %, а OT1P2.2 – повышал на 18,8 %. Выявлено, что режимы ЭМИ не влияли на длину проростков люпина при двухчасовых заморозках, за исключением OT2P2, повышающего на 11,9 % этот параметр относительно контроля, тогда как на массу этих органов все режимы ЭМИ оказали позитивный эффект и она выросла относительно контроля от 9,3 % (OT2P2.4) до 14,2 % (OT2P2). Аналогичный эффект был отмечен по массе проростков и после трехчасовых заморозков – все режимы в различной степени повысили массу проростков от 4,6 % (OT3P2.1) до 22,7 % (OT3P2.4).

Все без исключения стрессоры определенной интенсивности нарушают протекание процессов фотосинтеза, дыхания и других физиологических процессов растений. При стрессе нарушается ультраструктура хлоропластов, что приводит к изменениям в синтезе и накоплении основных фотосин-

тетических пигментов [23]. Пигменты растений выполняют защитные функции, предохраняют растения от различных неблагоприятных воздействий. Состояние пигментного комплекса влияет на устойчивость растительных организмов к стрессу [24]. Поэтому интересным представлялся вопрос о том, как повлияет ЭМИ на пул фотосинтетических пигментов растений гречихи и люпина в условиях длительного воздействия низкими положительными температурами и разными по продолжительности экспозициями отрицательных температур.

Выявлено, что на фоне воздействия ЭМИ происходят перестройки в пигментном пуле гречихи посевной сорта Сапфир в контрольных условиях (таблица 1). Отмечено снижение уровня хлорофилла (хл а), нарастающее с уменьшением времени воздействия ЭМИ от 6,7 % (P2.1) до 20,8 % (P2.3), но наиболее существенное снижение содержания относительно контроля претерпел хл b и каротиноиды (кар) – от 62,8 % (P2.1) до 81,3 % (P2.3) по хл b и от 48,3 % (P2.1) до 80,3 % (P2.3) каротиноиды.

В ходе исследований установлено, что все режимы ЭМИ выступили аддитивным стрессовым фактором к продолжительной положительной гипотермии и снизили содержание основных фотосинтетических пигментов в проростках гречихи посевной сорта Сапфир. Отмечено, что максимально негативный эффект на пигментный фон оказал режим с временем воздействия 16 мин – ГПР2.1, снижая количество хл а на 22,7 %, хл b на 19,1 % и каротиноидов на 19,6 % относительно контроля, а минимальное снижение выявлено при минимальном времени воздействия 8 мин (ГПР2.3) – на 8,1 % (хл а), 5,9 % (хл b) и 13,7 % (кар) (таблица 1). При этом соотношение хла/хл b под влиянием режимов ЭМИ на фоне длительной гипотермии практически не отличалось от контрольных значений. Отмечено достоверное повышение соотношения суммарной фракции хлорофиллов к каротиноидам на 28,7 % относительно контроля в случае ГПР2.2, что свидетельствует о специфических перестройках в составе светособирающего комплекса и увеличении уровня хлорофиллов по сравнению с каротиноидами.

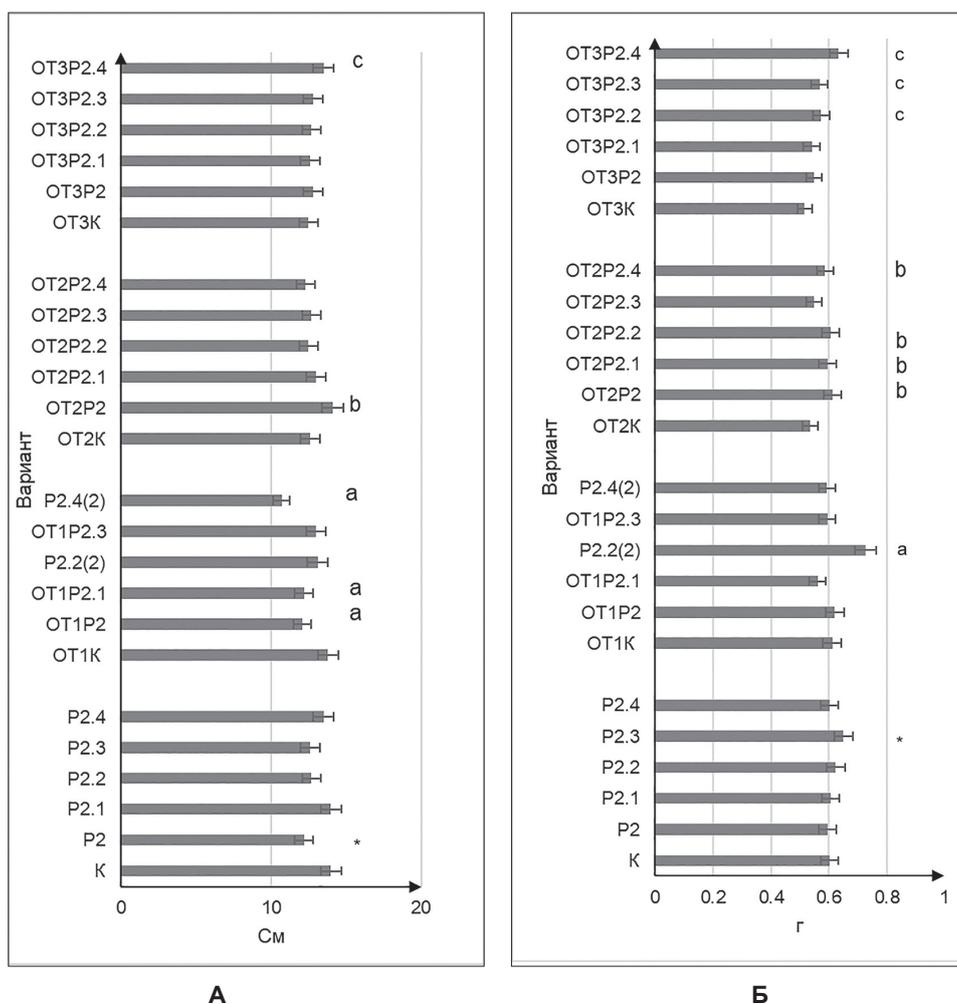


Рисунок 7 – Влияние отрицательных температур разной продолжительности на длину (А) и массу (Б) 18-дневных проростков люпина узколистного сорта Талант

Примечание –

* – достоверно при $p < 0,05$ по сравнению с контролем;

a – достоверно при $p < 0,05$ по сравнению с контролем, помещенным на час при $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$;

b – достоверно при $p < 0,05$ по сравнению с контролем, помещенным на два часа при $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$;

c – достоверно при $p < 0,05$ по сравнению с контролем, помещенным на три часа при $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Таблиця 1 – Влияние режимов ЭМИ и различных видов гипотермии на содержание пигментов в проростках гречихи посевной сорта Сапфир

№	Вариант	Содержание пигментов, мг/г сырой массы			хл а / хл b	(Σ хл а + хл b) кар
		Хл а	Хл b	Кар		
1	К	1,190 ± 0,06	2,53 ± 0,08	0,19 ± 0,01	0,48	26,4
2	P2.1	1,110 ± 0,06	0,97 ± 0,04*	0,29 ± 0,02*	1,39*	13,7*
3	P2.2	1,090 ± 0,05*	0,69 ± 0,03*	0,33 ± 0,02*	1,87*	6,3*
4	P2.3	0,942 ± 0,04*	0,47 ± 0,02*	0,35 ± 0,02*	2,07*	4,2*
5	ГПК	0,819 ± 0,04	0,359 ± 0,03	0,29 ± 0,01	2,28	3,94
6	ГПР2.1	0,633 ± 0,04*	0,290 ± 0,02*	0,24 ± 0,01	2,18	3,91
7	ГПР2.2	0,724 ± 0,04*	0,333 ± 0,02	0,24 ± 0,01	2,17	5,07*
8	ГПР2.3	0,752 ± 0,03*	0,338 ± 0,02	0,25 ± 0,01	2,22	4,08
9	ОТ1К	1,369 ± 0,06	0,62 ± 0,03	0,48 ± 0,02	2,16	4,3
10	ОТ1P2.1	0,612 ± 0,03*	0,30 ± 0,01*	0,22 ± 0,01*	2,07	4,3
11	ОТ1P2.2	0,768 ± 0,04*	0,35 ± 0,02*	0,27 ± 0,01*	2,22	4,1
12	ОТ1P2.3	0,797 ± 0,04*	0,37 ± 0,02*	0,27 ± 0,01*	2,18	4,4
13	ОТ2К	0,839 ± 0,04	0,40 ± 0,02	0,26 ± 0,01	2,09	4,8
14	ОТ2P2.1	0,818 ± 0,04	0,45 ± 0,02	0,23 ± 0,01	1,85*	5,6*
15	ОТ2P2.2	0,6479 ± 0,03*	0,28 ± 0,01*	0,22 ± 0,01	2,3	4,3
16	ОТ2P2.3	0,8748 ± 0,04	0,40 ± 0,03	0,29 ± 0,01	2,2	4,4
17	ОТ3К	0,675 ± 0,03	0,31 ± 0,01	0,2 ± 0,01	2,16	4,96
18	ОТ3P2.1	0,763 ± 0,03*	0,34 ± 0,02	0,22 ± 0,01	2,24	5,04
19	ОТ3P2.2	1,172 ± 0,06*	0,58 ± 0,03*	0,32 ± 0,01*	2,00*	5,3
20	ОТ3P2.3	1,177 ± 0,06*	0,54 ± 0,03*	0,31 ± 0,01*	2,18	5,49*

Примечание – * – отличия от контроля достоверны при $p < 0,05$.

В результате воздействия низкими температурами разной продолжительности установлено, что через 1 час заморозков на фоне ЭМИ снижалось накопление хл а относительно контроля в листьях гречихи, нарастающее с увеличением времени воздействия ЭМИ, от 42,8 % (ОТ1P2.3) до 55,3 % (ОТ1P2.1), аналогичная тенденция была и по хл b – от 40,2 % (P2.3) до 51,2 % (ОТ1P2.1), и по каротиноидам – от 43,7 % (ОТ1P2.2) до 55,2 % (ОТ1P2.1). После двухчасовых заморозков изменения в большей степени затронули уровень каротиноидов и их содержание падало под влиянием ОТ2P2.1 на 11,5 % и 15,4 % ОТ2P2.2 и выросло после ОТ2P2.3 воздействия на 11,5 % (таблица 1), также разнонаправленные сдвиги выявлены по хл b – рост на 12,8 % (ОТ2P2.1) и падение на 22,8 % (ОТ2P2.2), и только ОТ2P2.3 снизил содержание хл а относительно контроля на 22,8 %.

Выявлено, что на фоне трехчасовых заморозков ЭМИ выступило как протекторный фактор, стимулирующий накопление основных фотосинтетических пигментов в листьях гречихи посевной – хл а от 13 % (ОТ3P2.1) до 74,5 % (ОТ3P2.3), хл b от 73,8 % (ОТ3P2.3) до 94 % (ОТ3P2.1) и кар от 10 % (ОТ3P2.1) до 66 % (ОТ3P2.2).

При оценке влияния режимов ЭМИ на накопление основных фотосинтетических пигментов в листьях люпина узколистного сорта Талант, растущего при температуре 22 °С, установлено, что все режимы ЭМИ в обычных условиях повышали уровень пигментов – хл а от 7,9 % (P2.4) до 28,6 % (P2.2), хл b – от 12,8 % (P2.3) до 76,9 % (P2.1) и кар – от 9,7 % (P2.4) до 32,3 % (P2.1) (таблица 2). Отмечено, что практически отсутствуют различия в соотношении

хлорофилловых пигментов по сравнению с контролем, за исключением вариантов P2.2 и P2.4, где этот показатель снижался на 8,5 % и 10,3 % соответственно за счет роста уровня хл а. Кроме того, после P2.2 воздействия на 7,7 % вырос показатель отношения суммарной фракции хлорофиллов к каротиноидам, что свидетельствует о перестройке светособирающего в пользу хлорофиллов пигментов.

Анализ продолжительного влияния низких положительных температур на накопление основных фотосинтетических пигментов в листьях люпина узколистного на фоне предпосевной электромагнитной обработки показал нелинейное в зависимости от продолжительности ЭМИ снижение уровня хл а от 8,4 % (ГПР2.4) до 26 % (ГПР2), хл b – от 22,3 % (ГПР2 и ГПР2.4) до 32,3 % (ГПР2.3), тогда как содержание каротиноидных пигментов изменялось разнонаправленно – ГПР2.1, ГПР2.2 и ГПР2.4 увеличивали их количество на 15,0 %, 5,5 % и 7,5 % соответственно, тогда как ГПР2 снижал его на 13,2% относительно контрольных значений (таблица 2). В результате двух стрессовых факторов ЭМИ и длительной гипотермии отмечены отклонения в соотношении хлорофилловых пигментов – увеличение в случаях ГПР2.1, ГПР2.3 и ГПР2.4 от 19 % до 26 % и снижение в варианте ГПР2.2 на 8,5 %. Повышение данного показателя свидетельствует о росте доли хл а, а снижение – хл b среди компонентов собирающей антенны. Установлены также сдвиги в соотношении суммарной фракции хлорофиллов к каротиноидам в сторону снижения показателя относительно контрольных значений от 9,8 % (ГПР2.2) до 30,2 % (ГПР2.1), что говорит об увеличении доли каротиноидов, выполняющих светособирающую и протек-

торную функцию, являющиеся компонентами антиоксидантной системы растений, защищающие фотосинтетический аппарат от фотодеструкции [25].

В ходе оценки влияния отрицательных температур на проростки люпина узколистного установлено, что после 1 часа воздействия данным фактором выявлено резкое падение содержания фотосинтетических пигментов на фоне ЭМИ: хл а – от 8,7 % (ОТ1Р2.4) до 19,7 % (ОТ1Р2.1), хл b – от 16 % (Р2.1) до 36 % (ОТ1Р2.4) и каротиноидов – от 10,8 % (ОТ1Р2.4) до 18,9 % (ОТ1Р2.1 и ОТ1Р2.3) (таблица 2). Выявлены разнонаправленные изменения в соотношении хл а / хл b – снижение на 6,1 % (ОТ1Р2.1) и увеличение на 14,5 % (ОТ1Р2.2). Спустя 2 ч воздействия отрицательными температурами отмечено повышение количества пигментов: хл а – от 22,7 % (ОТ2Р2.4) до 46,5 % (ОТ2Р2.2), хл b – от 15,6 % (ОТ2Р2.1) до 71,9 % (ОТ2Р2.2) и каротиноидов – от 17,9 % (Р2.3 и Р2.4) до 42,9 % (ОТ2Р2.2). Необходимо отметить, что на фоне ЭМИ во всех вариантах снижалось соотношение хл а / хл b относительно контроля от 5,7 % (ОТ2Р2.3)

до 11,1 % (ОТ2Р2.2). Спустя 3 часа воздействия отрицательными температурами выявлена разнонаправленная реакция в зависимости от времени воздействия ЭМИ – содержание хл а упало под влиянием 3 режимов от 7 % (ОТ3Р2.1) до 17,4 % (ОТ3Р2.1) и выросло на фоне ОТ3Р2.3 на 8,7 %, хл b – упало на 6,8 % (ОТ3Р2.1 и ОТ3Р2.2) и 13,6 % (ОТ3Р2) и выросло на 11,4 % (ОТ3Р2.3) и 13,6 % (ОТ3Р2.3), каротиноидов – снижалось от 5,6 % (ОТ3Р2.3) до 18,1 % (ОТ3Р2). Установлено достоверное снижение в соотношении хл а / хл b от контрольных значений в вариантах ОТ3Р2.2 и ОТ3Р2.4 на 8,5 % и 10,3 %. При этом интересно отметить, что в соотношении суммарной фракции хлорофилловых пигментов к каротиноидам в условиях отрицательных температур на фоне ЭМИ практически отсутствовали достоверные отклонения от контрольных значений. Это, вероятно, свидетельствует о стабилизации фотосинтетического аппарата растений люпина узколистного под влиянием режимов ЭМИ в условиях отрицательной гипотермии разной продолжительности.

Таблица 2 – Влияние режимов ЭМИ и различных видов гипотермии на содержание пигментов в проростках люпина узколистного сорта Талант

№	Вариант	Содержание пигментов, мг/г сыр. массы			хл а / хл b	$\frac{\Sigma \text{ хл а + хл b}}{\text{кар}}$
		Хл а	Хл b	Кар		
1	К	0,995 ± 0,05	0,39 ± 0,02	0,31 ± 0,02	2,62	4,40
2	Р2	1,173 ± 0,06*	0,64 ± 0,03*	0,39 ± 0,02*	1,83*	4,60
3	Р2.1	1,171 ± 0,06*	0,69 ± 0,03*	0,41 ± 0,02*	1,70*	4,57
4	Р2.2	1,280 ± 0,05*	0,50 ± 0,03*	0,40 ± 0,02*	2,58	4,48
5	Р2.3	0,986 ± 0,04	0,44 ± 0,02	0,31 ± 0,02	2,27*	4,58
6	Р2.4	1,074 ± 0,07*	0,47 ± 0,02	0,34 ± 0,02	2,32*	4,51
7	ГПК	0,839 ± 0,04	0,55 ± 0,03	0,178 ± 0,01	1,53	7,98
8	ГПР2	0,620 ± 0,03*	0,428 ± 0,02*	0,154 ± 0,01*	1,51	6,92*
9	ГПР2.1	0,725 ± 0,04*	0,411 ± 0,02*	0,204 ± 0,01*	1,82*	5,57*
10	ГПР2.2	0,781 ± 0,04	0,561 ± 0,03	0,187 ± 0,01*	1,40	7,20
11	ГПР2.3	0,667 ± 0,03*	0,372 ± 0,02*	0,170 ± 0,01	1,83*	6,07*
12	ГПР2.4	0,769 ± 0,04*	0,426 ± 0,02*	0,190 ± 0,01	1,93*	6,19*
13	ОТ1К	1,146 ± 0,06	0,50 ± 0,03	0,37 ± 0,02	2,31	4,44
14	ОТ1Р2	1,182 ± 0,06	0,50 ± 0,03	0,37 ± 0,02	2,32	4,50
15	ОТ1Р2.1	0,920 ± 0,05*	0,42 ± 0,02*	0,30 ± 0,02*	2,17*	4,32
16	ОТ1Р2.2	0,980 ± 0,05*	0,41 ± 0,02*	0,31 ± 0,02*	2,42*	4,76
17	ОТ1Р2.3	0,965 ± 0,05*	0,36 ± 0,02*	0,30 ± 0,02*	2,65*	4,57
18	ОТ1Р2.4	1,046 ± 0,06	0,32 ± 0,02*	0,33 ± 0,02*	2,60*	4,58
19	ОТ2К	0,870 ± 0,04	0,32 ± 0,02	0,28 ± 0,01	2,72	4,25
20	ОТ2Р2	0,820 ± 0,03	0,33 ± 0,02	0,27 ± 0,01	2,49*	4,28
21	ОТ2Р2.1	0,907 ± 0,05	0,37 ± 0,02*	0,28 ± 0,01	2,47*	4,56
22	ОТ2Р2.2	1,279 ± 0,06*	0,55 ± 0,02*	0,40 ± 0,02*	2,42*	4,50
23	ОТ2Р2.3	1,077 ± 0,06*	0,42 ± 0,03*	0,33 ± 0,02*	2,42*	4,50
24	ОТ2Р2.4	1,071 ± 0,06*	0,40 ± 0,02*	0,33 ± 0,02*	2,56	4,45
25	ОТ3К	1,150 ± 0,05	0,44 ± 0,02	0,36 ± 0,02	2,6	4,42
26	ОТ3Р2	0,950 ± 0,05*	0,38 ± 0,02*	0,30 ± 0,01*	2,48	4,50
27	ОТ3Р2.1	1,070 ± 0,06	0,41 ± 0,02	0,34 ± 0,02	2,61	4,33
28	ОТ3Р2.2	0,970 ± 0,06*	0,41 ± 0,02	0,30 ± 0,01*	2,38*	4,76
29	ОТ3Р2.3	1,250 ± 0,06*	0,49 ± 0,03*	0,38 ± 0,02	2,53	4,56
30	ОТ3Р2.4	1,180 ± 0,06	0,50 ± 0,03*	0,37 ± 0,02	2,33*	4,58

Примечание – * – отличия от контроля достоверны при $p < 0,05$.

Заключение. Таким образом, выявлена видоспецифическая реакция гречихи посевной сорта Сапфир и люпина узколистного сорта Талант на воздействие низкими положительными и отрицательными температурами разной продолжительности на фоне предпосевной обработки ЭМИ. Установлено, что обе культуры чувствительны к низкотемпературному стрессу.

Отмечено, что при длительной гипотермии у гречихи посевной сорта Сапфир режимы ЭМИ тормозят рост проростков, но при этом происходит увеличение их массы и снижение уровня фотосинтетических пигментов. Это, вероятно, связано с адаптационными изменениями в анатомической структуре проростков и увеличением доли механической ткани, что требует дополнительных экспериментальных исследований. Сопоставляя результаты влияния отрицательных температур разной продолжительности и ЭМИ на ростовые процессы и накопление фотосинтетических пигментов в ювенильных растениях гречихи, отмечаем также торможение роста, но повышение уровня пигментов при двух- и трехчасовых заморозках. Возможно, это один из механизмов влияния ЭМИ на фотосинтетический аппарат гречихи, благодаря которому растение адаптируется к температуре окружающей среды.

Установлено, что в случае с люпином режимы ЭМИ оказывают протекторное действие и стимулируют рост проростков и особенно P2.2 и P2.3,

тогда как у гречихи все режимы ЭМИ, но преимущественно P2.1, выступают дополнительным стрессовым фактором при длительной положительной гипотермии и нарастании продолжительности заморозков.

На основании сравнительной оценки количественных измерений хлорофилла а и b, каротиноидов выявлены определенные изменения в содержании компонентов пигментного комплекса, отражающие адаптационные возможности растений гречихи посевной и люпина узколистного. У люпина узколистного отмечен протекторный эффект P2.3 ЭМИ, повышающего уровень основных фотосинтетических пигментов в листьях в условиях двух- и трехчасового воздействия отрицательными температурами, тогда как у гречихи посевной только при трехчасовом воздействии гипотермией отмечался аналогичный эффект в случае всех режимов ЭМИ. Это, вероятно, свидетельствует о неспецифическом стресс-протекторном действии электромагнитного излучения. Полученные результаты позволяют предположить, что P2.3 для люпина узколистного сорта Талант будет иметь стресс-протекторный эффект в условиях гипотермии. Это необходимо учесть в технологии промышленного выращивания данного сорта. Надо отметить, что для гречихи посевной необходимо продолжить поиск оптимального режима электромагнитного излучения, повышающего стрессоустойчивость данной культуры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Физиология и биохимия сельскохозяйственных растений // под ред. М. Н. Третьякова. – М. : Колос, 2000. – 640 с.
2. Растение и стресс : курс лекций [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/1580/4/1333214_lectures.pdf – Дата доступа: 24.09.2020.
3. Чиркова, Т. В. Физиологические основы устойчивости растений / Т. В. Чиркова. – СПб. : Изд-во СПб ун-та, 2002. – 244 с.
4. Таланов, И. П. Влияние электромагнитной обработки семян на повышение урожайности и качества урожая озимой ржи / И. П. Таланов // Вестник Казанского ГА. – 2018. – № 1(48). – С. 63–68.
5. Ходжаев, Т. А. Предпосевные физические методы воздействия на семена растений / Т. А. Ходжаев, Н. У. Муллоев // Вестник Тадж. нац. ун-та. – Сер. ест. наук. – 2018. – № 4. – С. 54–64.
6. Влияние электромагнитного излучения на рост и развитие растений / А. В. Еремина [и др.] // Молодеж. инновационный вестник. – Том VIII, № 2. – 2019. – С. 349–350.
7. Влияние электромагнитного и ионизирующего излучения на прорастание ячменя / Н. В. Шамаль [и др.] // Радиобиология = Radiobiology: минимизация радиационных рисков : материалы междунар. науч. конф. 29–30 сент. 2016, г. Гомель / редкол.: И. А. Чешик (гл. ред.) [и др.]. – Гомель : Ин-т радиологии, 2016. – 270 с.
8. Гапоненко, С. О. Действие электромагнитного излучения на растения / С. О. Гапоненко // Современные проблемы экспериментальной ботаники: материалы 1 Междунар. науч. конф. молодых ученых, приуроч. к Году науки в Республике Беларусь г. Минск, 27–29 сент. 2017 г. / Национальная академия наук Беларуси; ГНУ «Институт экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси». – Минск : Колоград, 2017. – С. 175–178.
9. Якименко, А. Ф. Гречиха / А. Ф. Якименко. – М. : Колос, 1982. – 196 с.

REFERENCES

1. Fiziologiya i biokhimiya sel'skohozyajstvennyh rastenij // pod red. M. N. Tretyakova. – M. : Kolos, 2000. – 640 s.
2. Rastenie i stress : kurs lekcij [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/1580/4/1333214_lectures.pdf – Data dostupa: 24.09.2020.
3. Chirkova, T. V. Fiziologicheskie osnovy ustojchivosti rastenij / T. V. Chirkova. – SPb. : Izd-vo SPb un-ta, 2002. – 244 s.
4. Talanov, I. P. Vliyanie elektromagnitnoj obrabotki semyan na povyshenie urozhajnosti i kachestva urozhaya ozimoy rzhi / I. P. Talanov // Vestnik Kazanskogo GA. – 2018. – № 1(48). – S. 63–68.
5. Hodzhaev, T. A. Predposevnye fizicheskie metody vozdejstviya na semena rastenij / T. A. Hodzhaev, N. U. Mulloev // Vestnik Tadjh. nac. un-ta. – Ser. est. nauk. – 2018. – № 4. – S. 54–64.
6. Vliyanie elektromagnitnogo izlucheniya na rost i razvitie rastenij / A. V. Eremina [i dr.] // Molodezh. innovacionnyj vestnik. – Tom VIII, № 2. – 2019. – S. 349–350.
7. Vliyanie elektromagnitnogo i ioniziruyushchego izlucheniya na prorastanie yachmenya / N. V. Shamal' [i dr.] // Radiobiologiya = Radiobiology: minimizaciya radiacionnyh riskov : materialy mezhdunar. nauch. konf. 29–30 sent. 2016, g. Gomel' / redkol.: I. A. Cheshik (gl. red.) [i dr.]. – Gomel' : In-t radiologii, 2016. – 270 s.
8. Gaponenko, S. O. Dejstvie elektromagnitnogo izlucheniya na rasteniya / S. O. Gaponenko // Sovremennyye problemy eksperimental'noj botaniki: materialy 1 Mezhdunar. nauch. konf. molodyh uchenykh, priuroch. k Godu nauki v Respublike Belarus' g. Minsk, 27–29 sent. 2017 g. / Nacional'naya akademiya nauk Belarusi; GNU «Institut eksperimental'noj botaniki im. V. F. Kuprevicha NAN Belarusi». – Minsk : Kolograd, 2017. – S. 175–178.
9. Yakimenko, A. F. Grechiha / A. F. Yakimenko. – M. : Kolos, 1982. – 196 s.

10. *Кадыров, Р. М.* Возделывание гречихи в Республике Беларусь / Р. М. Кадыров, Т. А. Анохина // Современные ресурсосберегающие технологии производства растениеводческой продукции в Беларуси. – Минск, 2007. – С. 165–170.
11. *Елагин, И. Н.* Агротехника гречихи / И. Н. Елагин. – М. : Колос, 1984. – С. 5–20.
12. Анатомо-морфологические исследования травы гречихи посевной (*Fagopyrum sagittatum* G.) / М. М. Анисимова [и др.] // Мед. альм. – 2010. – № 3. – С. 204–206.
13. *Romanovskaja, D.* Influence of morphostructural elements for buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench.) productivity in different agricultural systems / D. Romanovskaja, A. Razukas, R. Asakaviciute // Plants 2022, 11, 2382 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.mdpi.com/2223-7747/11/18/2382> – Дата доступа: 04.10.2022.
14. Современные технологии возделывания сельскохозяйственных культур : учебно-методическое пособие / И. Р. Вильдфлуш [и др.]. – Горки : БГСХА, 2016. – С. 126–140.
15. *Суша, О. А.* Влияние электромагнитного излучения на посевные качества и продуктивность *Fagopyrum esculentum* Moench. в условиях Беларуси / О. А. Суша, Ж. Э. Мазец // Вес. БДПУ. Сер. 3, Фізика. Матэматыка. Інфарматыка. Біялогія. Геаграфія. – 2020. – № 1. – С. 5–12.
16. Гречка: как ухаживать за «Золушкой» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://infoindustria.com.ua/grechka-kak-uhazhivat-za-zolushkoy/> – Дата доступа: 02.04.2020.
17. *Купцов, Н. С.* Узколистый люпин в современном земледелии / Н. С. Купцов // Земляробства і ахова раслін. – 2004. – № 6. – С. 7–11.
18. *Персикова, Т. Ф.* Продуктивность люпина узколистного в условиях Беларуси / Т. Ф. Персикова, А. Р. Цыганов, А. В. Какшинцев. – Минск : ИВЦ Минфина, 2006. – 179 с.
19. *Агеева, П. А.* Актуальные требования к новым сортам узколистного люпина в условиях меняющегося климата / П. А. Агеева, Н. А. Почутина // Зернобобовые и крупяные культуры. – 2016. – № 1(17). – С. 99–103.
20. Модифицированный метод предпосевной микроволновой обработки семян / Н. В. Пушкина [и др.] // Новости науки и технологий. – 2012. – Т. 21, № 2. – С. 36–40.
21. *Гавриленко, В. Ф.* Большой практикум по физиологии растений : учеб.-метод. пособие / В. Ф. Гавриленко, М. Е. Лядыгина, Л. М. Хандобина. – М. : Высш. шк. – 1975. – 322 с.
22. *Доспехов, Б. А.* Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б. А. Доспехов. – 5-е изд., доп. и перераб. – М. : Агрпромиздат, 1985. – 351 с.
23. *Чернядьев, И. И.* Протекторное действие цитокининов на фотосинтетический аппарат и продуктивность растений при стрессе (обзор) / И. И. Чернядьев // Прикладная биохимия и микробиология. – 2009. – Т. 45. – № 4. – С. 389–402.
24. Метод оценки пигментного комплекса древесных растений как индикатор адаптации к засушливым условиям / А. В. Семенютина [и др.] // Applied technology research journal. – 2018. – Vol. 8 (1). – Р. 69–78.
25. *Филипцова, Г. Г.* Фотосинтез : пособие / Г. Г. Филипцова, О. В. Молчан. – Минск : БГУ, 2017. – 196 с.
10. *Kadyrov, R. M.* *Vozdelyvanie grechihy v Respublike Belarus' / R. M. Kadyrov, T. A. Anohina // Sovremennye resursoberegayushchie tekhnologii proizvodstva rastenievodcheskoj produkcii v Belarusi. – Minsk, 2007. – S. 165–170.*
11. *Elagin, I. N.* *Agrotekhnika grechihy / I. N. Elagin. – M. : Kolos, 1984. – S. 5–20.*
12. *Anatomo-morfologicheskie issledovaniya travy grechihy posevnoj (Fagopyrum sagittatum G.) / M. M. Anisimova [i dr.] // Med. al'm. – 2010. – № 3. – S. 204–206.*
13. *Romanovskaja, D.* *Influence of morphostructural elements for buckwheat (Fagopyrum esculentum Moench.) productivity in different agricultural systems / D. Romanovskaja, A. Razukas, R. Asakaviciute // Plants 2022, 11, 2382 [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://www.mdpi.com/2223-7747/11/18/2382> – Data dostupa: 04.10.2022.*
14. *Sovremennye tekhnologii vzdelyvaniya sel'skohozyajstvennykh kul'tur : uchebno-metodicheskoe posobie / I. R. Vil'dflush [i dr.]. – Gorki : BGSXA, 2016. – S. 126–140.*
15. *Susha, O. A.* *Vliyanie elektromagnitnogo izlucheniya na posevnye kachestva i produktivnost' Fagopyrum esculentum Moench. v usloviyah Belarusi / O. A. Susha, Zh. E. Mazec // Ves. BDPU. Ser. 3, Fizika. Matematyka. Infarmatyka. Biyalogiya. Geografiya. – 2020. – № 1. – S. 5–12.*
16. *Grechka: kak uhazhivat' za «Zolushkoj» [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://infoindustria.com.ua/grechka-kak-uhazhivat-za-zolushkoy/> – Data dostupa: 02.04.2020.*
17. *Kupcov, N. S.* *Uzkolistnyj lyupin v sovremennom zemledelii / N. S. Kupcov // Zemlyarobstva i ahova raslin. – 2004. – № 6. – S. 7–11.*
18. *Persikova, T. F.* *Produktivnost' lyupina uzkolistnogo v usloviyah Belarusi / T. F. Persikova, A. R. Cyganov, A. V. Kakshincev. – Minsk : IVC Minfina, 2006. – 179 s.*
19. *Ageeva, P. A.* *Aktual'nye trebovaniya k novym sortam uzkolistnogo lyupina v usloviyah menyayushchegosya klimata / P. A. Ageeva, N. A. Pochutina // Zernobobovye i krupyanye kul'tury. – 2016. – № 1(17). – S. 99–103.*
20. *Modifitsirovannyj metod predposevnoj mikrovolnovoj obrabotki semyan / N. V. Pushkina [i dr.] // Novosti nauki i tekhnologii. – 2012. – T. 21, № 2. – S. 36–40.*
21. *Gavrilenko, V. F.* *Bol'shoj praktikum po fiziologii rastenij : ucheb.-metod. posobie / V. F. Gavrilenko, M. E. Ladygina, L. M. Handobina. – M. : Vyssh. shk. – 1975. – 322 s.*
22. *Dospekhov, B. A.* *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy) / B. A. Dospekhov. – 5-e izd., dop. i pererab. – M. : Agropromizdat, 1985. – 351 s.*
23. *Chernyad'ev, I. I.* *Protektornoe dejstvie citokininov na fotosinteticheskij apparat i produktivnost' rastenij pri stresse (obzor) / I. I. Chernyad'ev // Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya. – 2009. – T. 45. – № 4. – S. 389–402.*
24. *Metod ocenki pigmentnogo kompleksa drevesnykh rastenij kak indikator adaptacii k zasushlivym usloviyam / A. V. Semenyutina [i dr.] // Applied technology research journal. – 2018. – Vol. 8 (1). – R. 69–78.*
25. *Filipцова, G. G.* *Fotosintez : posobie / G. G. Filipcova, O. V. Molchan. – Minsk : BGU, 2017. – 196 s.*