

УДК 581.1 : 537.53

UDC 581.1 : 537.53

**ОСОБЕННОСТИ
ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИХ
И РОСТОВЫХ ПРОЦЕССОВ
ЮВЕНИЛЬНЫХ РАСТЕНИЙ
FAGOPYRUM ESCULENTUM MOENCH.,
ПОДВЕРГНУТЫХ ПРЕПОСЕВНОМУ
ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМУ
ВОЗДЕЙСТВИЮ, НА ФОНЕ
ХЛОРИДНОГО ЗАСОЛЕНИЯ**

**FEATURES
OF PHOTOSYNTHETIC
AND GROWTH PROCESSES
OF JUVENILE PLANTS FAGOPYRUM
ESCULENTUM MOENCH.
EXPOSED TO PRESOWING
ELECTROMAGNETIC IMPACT
ON THE BACKGROUND
OF CHLORIDE SALINIZATION**

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

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

Э. К. Казак,
*студент 3 курса факультета
естествознания Белорусского
государственного педагогического
университета имени Максима Танка;*

E. Kazak,
*3rd-year Student of the Faculty
of Natural Sciences, Belarusian
State Pedagogical University
named after Maxim Tank;*

Д. И. Мацко,
*студент 3 курса факультета
естествознания Белорусского
государственного педагогического
университета имени Максима Танка*

D. Matsko,
*3rd-year Student
of the Faculty of Natural Sciences,
Belarusian State Pedagogical
University named after Maxim Tank*

Поступила в редакцию 27.08.21.

Received on 27.08.21.

В статье оценивается эффективность использования предпосевого электромагнитного воздействия как способа ослабления токсического влияния хлорида натрия на всхожесть и ростовые процессы ювенильных растений гречихи посевной (*Fagopyrum esculentum* Moench.). Выявлено, что предпосевное электромагнитное воздействие оказывает сорто- и органоспецифичное действие на фоне слабого и умеренного хлоридного засоления на растения гречихи посевной в зависимости от времени воздействия и концентрации NaCl на посевные качества семян и ростовые процессы ювенильных растений гречихи посевной. Установлены сортоспецифичные сдвиги относительно контрольных параметров в накоплении и соотношении фотосинтетических пигментов в листьях семидневных проростков гречихи посевной в ответ на хлоридное засоление и режимы низкоинтенсивного электромагнитного излучения. Определены режимы низкоинтенсивного электромагнитного излучения, частично снимающие негативное влияние засоления на физиолого-биохимические процессы растений гречихи посевной.

Ключевые слова: засоление, электромагнитное излучение, всхожесть, гречиха посевная, фотосинтетические пигменты, ростовые процессы, морфометрические параметры.

The article estimates the effectiveness of using presowing electromagnetic impact as a way of weakening the toxic influence of sodium chlorides on germination and growth processes of juvenile plants of common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench.). It is revealed that presowing electromagnetic impact makes sort- and organic-specific influence on the background of weak and moderate chloride salinization on common buckwheat plants depending on the duration of the impact and concentration of NaCl on the germination of seeds and growth processes of juvenile plants of common buckwheat. The paper establishes the sort-specific shifts related to the control parameters in accumulation and correlation of photosynthetic pigments in leaves of 7-days seedlings of common buckwheat as a response to chloride salinization and regimes of low-intensity electromagnetic radiation. It defines the regimes of low-intensity electromagnetic radiation which partially remove the negative impact of salinization on physiological-biochemical processes of plants of common buckwheat.

Keywords: salinization, electromagnetic radiation, germination, common buckwheat, photosynthetic pigments, growth processes, morphometric parameters.

Введение. Засоление почвы, как природное, так и техногенное, является одним из наиболее существенных абиотических факторов окружающей среды, результатом действия которого становится угнетение роста и развития растений, приводящее к снижению их продуктивности и даже гибели. Повышение устойчивости растений к засолению пахотных земель является одной из ключевых задач современного сельского хозяйства [1–3].

Несмотря на выраженный негативный эффект NaCl на растения, ионы хлора могут осуществлять осмотическую и тургорную регуляцию и включаться в координацию процессов роста и фотосинтеза [4, 5]. В то же время диапазон безопасных концентраций NaCl очень узок и сильно варьирует в зависимости от вида растения и его возраста. Интенсивное засоление негативно отражается на осуществлении многих физиологических процессов у растений, в большей степени за счет генерации активных форм кислорода (АФК) и развития окислительного стресса, что приводит к нарушению работы фотосинтетического аппарата, снижению интенсивности фотосинтеза и, как следствие, снижению продуктивности растений [6–9]; индукции процессов старения или преждевременной гибели растения [10]. Губительное воздействие засоления на растения обусловлено падением водного потенциала почвенного раствора, снижающего доступность воды для корневой системы, увеличением внутриклеточной концентрации ионов, оказывающих токсический эффект на метаболизм растений и меняющих структуру почвы [4, 11, 12]. Поэтому важен поиск методов воздействия на растения и их семена, снижающих ингибирующий эффект засоления. В настоящее время уделяется большое внимание поиску экологических и эффективных способов воздействия на растения, повышающих устойчивость к различным факторам среды, стимулирующих процессы их роста и развития. Имеется ряд работ, в которых приводятся сведения о том, что на фоне хлоридного засоления предпосевная обработка семян физиологически активными веществами ускоряет их прорастание за счет активации ферментных систем, способствующей гидролизу запасных веществ и более активному поглощению воды в процессе набухания [12, 13]. Кроме того, одним из способов, удовлетворяющих вышеописанным требованиям, может быть обработка семян электромагнитным полем сверхвысокочастотного диапазона (ЭМП СВЧ) [14]. Уже имеется целый ряд позитивных отзывов по воздействию низкоинтенсивным электромагнитным излучением (ЭМИ) СВЧ-диапазона на семена ряда сельскохозяйственных и лекарственных куль-

тур. В результате данных воздействий улучшаются посевные характеристики семян, активизируются ростовые процессы и повышается продуктивность растений [15–20].

Однако еще не оптимизированы режимы ЭМП СВЧ обработки для стимуляции роста, развития и урожайности сельскохозяйственных культур, слабо изучены метаболические процессы, которые непосредственно связаны с реализацией стимулирующего действия электромагнитного излучения (ЭМИ) в прорастающих семенах [14]. Кроме того, нами ранее было установлено, что в полевых испытаниях вследствие меняющихся климатических условий влияние ЭМИ на всхожесть, ростовые процессы и формирование элементов продуктивности гречихи посевной (*Fagopyrum esculentum Moench.*) может быть различным [15], то есть конечный результат зависит также и от факторов среды – водного дефицита, колебания температур и других. Поэтому кроме чистого воздействия ЭМИ на физиолого-биохимические процессы растений необходимо учитывать влияние комплекса факторов – ЭМИ и водного дефицита, ЭМИ и колебания температур, а также ЭМИ на фоне всех этих факторов в совокупности. В связи с этим актуальным было исследование, направленное на выяснение роли ЭМИ в адаптации растений к хлоридному засолению, определяющей в результате кросс-адаптации устойчивость растений к водному дефициту, низким и высоким температурам. Необходимо отметить, что влияние низкоинтенсивного электромагнитного излучения, ряда неблагоприятных факторов в отдельности и в комплексе возможно только в контролируемых условиях лабораторного опыта, чтобы вычленил доминирующий фактор.

Цель работы – оценить влияние низкоинтенсивного электромагнитного излучения на посевные качества семян, морфометрические параметры и накопление фотосинтетических пигментов в листьях ювенильных растений гречихи посевной (*Fagopyrum esculentum Moench.*), произрастающих на фоне слабого (0,5 % NaCl) и умеренного (1,0 % NaCl) засоления.

Объекты и методы исследования.

В качестве объекта исследования выбрана ценная крупяная культура – гречиха посевная (*Fagopyrum esculentum Moench.*), имеющая огромное значение для пищевой, фармацевтической промышленности и сельского хозяйства. 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 [21]. Поэтому ис-

пользование дополнительных технологических приемов в возделывании гречихи посевной является крайне актуальным для нашей страны.

Для данной работы были взяты 2 диплоидных сорта гречихи посевной – Купава и Сапфир, семена которых были обработаны в Институте ядерных проблем БГУ тремя режимами (P) ЭМИ одинаковой частоты воздействия (64–66 ГГц), но с разной продолжительностью воздействия: P2 – 20 мин, P2.1 – 12 мин, P2.2 – 8 мин. В качестве контроля были использованы необработанные семена. Семена гречихи проращивали в рулонах из фильтровальной бумаги при комнатной температуре и дневном освещении на водных растворах хлорида натрия с концентрациями 0,5 % и 1 %, что условно будет соответствовать слабой и умеренной степени засоления в течение 7 дней по схеме: 1) Контроль 1 (дистиллированная вода), 2) 0,5 % NaCl; 3) 0,5 % NaCl + P2; 4) 0,5 % NaCl + P2.1; 5) 0,5 % NaCl + P2.2; 6) 1,0 % NaCl; 7) 1,0 % NaCl + P2; 8) 1,0 % NaCl + P2.1; 9) 1,0 % NaCl + P2.2.

Всхожесть семян выражали в процентах проросших семян к общему количеству их в пробе [22]. На седьмой день оценивали такие морфометрические показатели, как длина и масса корней и проростков в контрольных и опытных вариантах.

Содержание фотосинтетических пигментов в листьях 7-дневных проростков гречихи определяли по методике, описанной в работе [23], экстракцию проводили 100%-ным ацето-

ном. Оптическую плотность определяли на спектрофотометре «Specord-50» (Германия).

Повторность опыта 3-кратная. Полученные результаты представлены на рисунках 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 ($p < 0,05$).

Результаты и их обсуждение. Анализ влияния различной степени хлоридного засоления на всхожесть растений гречихи двух сортов показал высокую сортоспецифическую реакцию (рисунок 1): так, сорт Сапфир практически не реагировал на хлоридное засоление, тогда как семена сорта Купава резко снижали всхожесть относительно контроля с увеличением концентрации NaCl – на 30 % (0,5 % растворе) и на 50 % (1,0 % NaCl).

Отмечено, что предпосевное низкоинтенсивное электромагнитное воздействие на семена специфически влияло на всхожесть семян и зависело от степени засоления и времени воздействия ЭМИ. Установлено, что в случае 0,5 % NaCl у сорта Сапфир ЭМИ при самой малой экспозиции (P2.2) всхожесть снижалась на 10 % относительно контрольных значений, тогда как у сорта Купава ЭМИ позитивно влияло на обсуждаемый параметр и повышало количество нормально проросших семян по сравнению с контролем (0,5 % NaCl)

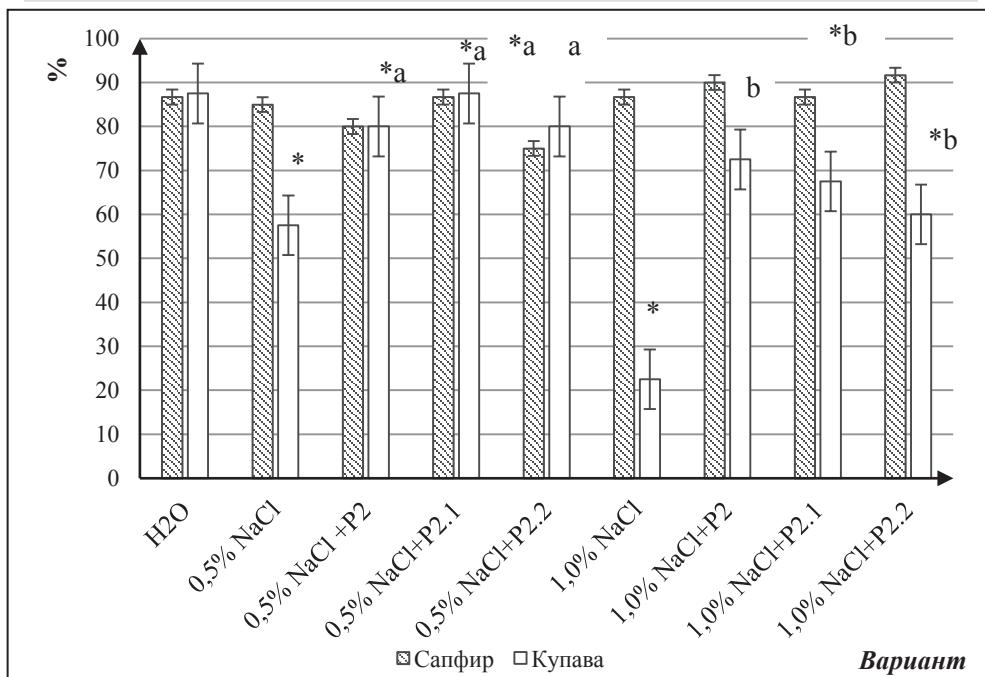


Рисунок 1. – Влияние засоления и предпосевого электромагнитного воздействия на всхожесть растений гречихи посевной сортов Купава и Сапфир

Примечание: * достоверно при $p < 0,05$ по сравнению с контролем
 а достоверно при $p < 0,05$ по сравнению с 0,5 % NaCl
 б достоверно при $p < 0,05$ по сравнению с 1,0 % NaCl

на 22,5 % (P2 и P2.2) и 30 % (P2.1) (рисунок 1). Выявлено, что ЭМИ на фоне умеренного засоления (1,0 % NaCl) – у сорта Сапфир практически не влияло на всхожесть, тогда как у сорта Купава этот показатель повышался относительно уровня контроля на 50 % (P2), 45 % (P2.1) и 37,5 % (P2.2) соответственно – эффект снижался с уменьшением времени воздействия ЭМИ.

В ходе анализа данных по влиянию хлоридного засоления на длину корней растений гречихи отмечено резкое угнетение роста с нарастанием концентрации NaCl (рисунок 2). Так, наиболее чувствительным к засолению оказался сорт Купава и длина корней снижалась на 59,5 % (0,5 % NaCl) и 87,7 % (1,0 % NaCl) относительно контроля, тогда как у сорта Сапфир этот показатель был ниже контроля на 13,1 % и 61,1 % соответственно растворам 0,5 % и 1,0 % NaCl.

Отмечено, что на фоне 0,5 % NaCl ЭМИ несколько снижало длину корня у сорта Сапфир, тогда как у сорта Купава ЭМИ выступило дополнительным стрессовым фактором, существенно сдерживающим рост корней на 34,8 % (P2), 17,4 % (P2.1) и 21,3 % (P2.2) соответственно (рисунок 2). Установлена разнонаправленная реакция режимов ЭМИ на фоне 1,0 % NaCl у сортов гречихи – у сорта Сапфир торможение роста корня относительно контрольных значений (1,0 % NaCl) на 16,7 % (P2 и P2.2) и 10,8 % (P2.1), а у сорта Купава – активизация роста корней на 38,9 % и 53,3 % соответственно P2 и P2.1.

При учете влияния различной степени засоления на массу корней 7-дневных растений гречихи выявлено, что в результате слабого засоления (0,5 % NaCl) происходило торможение роста, но увеличение массы корней относительно контроля у обоих сортов гречихи – Сапфира на 50 %, а Купавы – на 23,2 % относительно контроля (рисунок 3).

ЭМИ снижало массу корней у растений обоих сортов, выросших на растворе 0,5 % NaCl, на 66,7 % (P2 и P2.1) и 33,3 % (P2.2) у сорта Сапфир и менее существенно у сорта Купава – 23,6 % (P2), 11,2 % (P2.1) и 7,3 % (P2.2) (рисунок 3). Тем не менее на фоне умеренного хлоридного засоления (1,0 % NaCl) отмечено увеличение массы корней под влиянием P2 на 84,1 % и P2.1 в 19,6 раз у сорта Сапфир и на 16,1 % и 29,0 % соответственно P2 и P2.1 у сорта Купава.

Анализ результатов по влиянию слабого и умеренного засоления на формирование проростков гречихи посевной показал, что длина побегов снижается относительно контрольных значений у сорта Сапфир на 56 % и 63,8 % соответственно при действии концентраций 0,5 % и 1,0 % NaCl, а у сорта Купава – на 67,2 % (0,5 % NaCl) и 65,3 % (1,0 % NaCl) (рисунок 4).

При предпосевном воздействии ЭМИ длина побега на фоне слабого засоления возрастала у обоих сортов – у сорта Сапфир на 18,2 % (P2), 43,3 % (P2.1) и 13,9 % (P2.2) и у сорта Купава на 28,2 % (P2.1) и 44,7 % (P2.2) соответственно (рисунок 4).

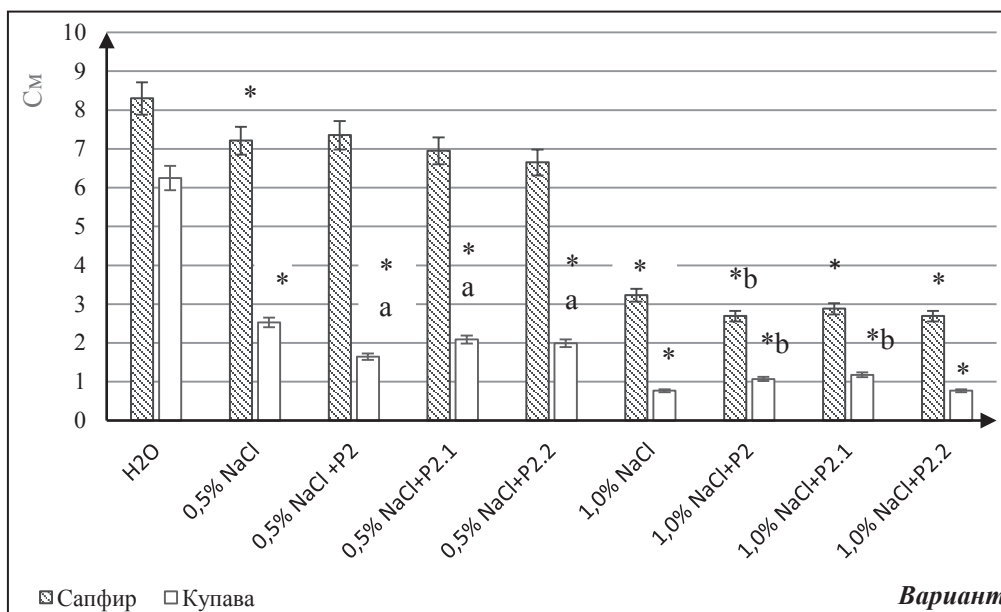


Рисунок 2. – Влияние хлоридного засоления и предпосевного электромагнитного воздействия на длину корней 7-дневных растений гречихи посевной сортов Купава и Сапфир

Примечание: * достоверно при $p < 0,05$ по сравнению с контролем
 а достоверно при $p < 0,05$ по сравнению с 0,5 % NaCl
 б достоверно при $p < 0,05$ по сравнению с 1,0 % NaCl

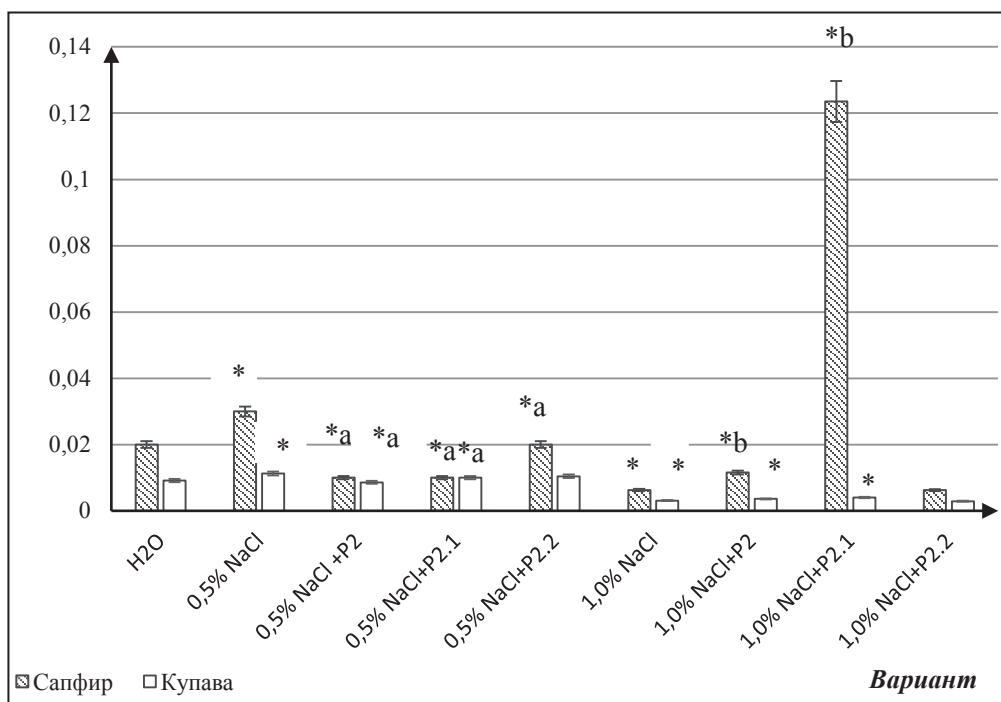


Рисунок 3. – Влияние хлоридного засоления и предпосевого электромагнитного воздействия на массу корней 7-дневных растений гречихи посевной сортов Купава и Сапфир

Примечание: * достоверно при $p < 0,05$ по сравнению с контролем
 а достоверно при $p < 0,05$ по сравнению с 0,5 % NaCl
 б достоверно при $p < 0,05$ по сравнению с 1,0 % NaCl

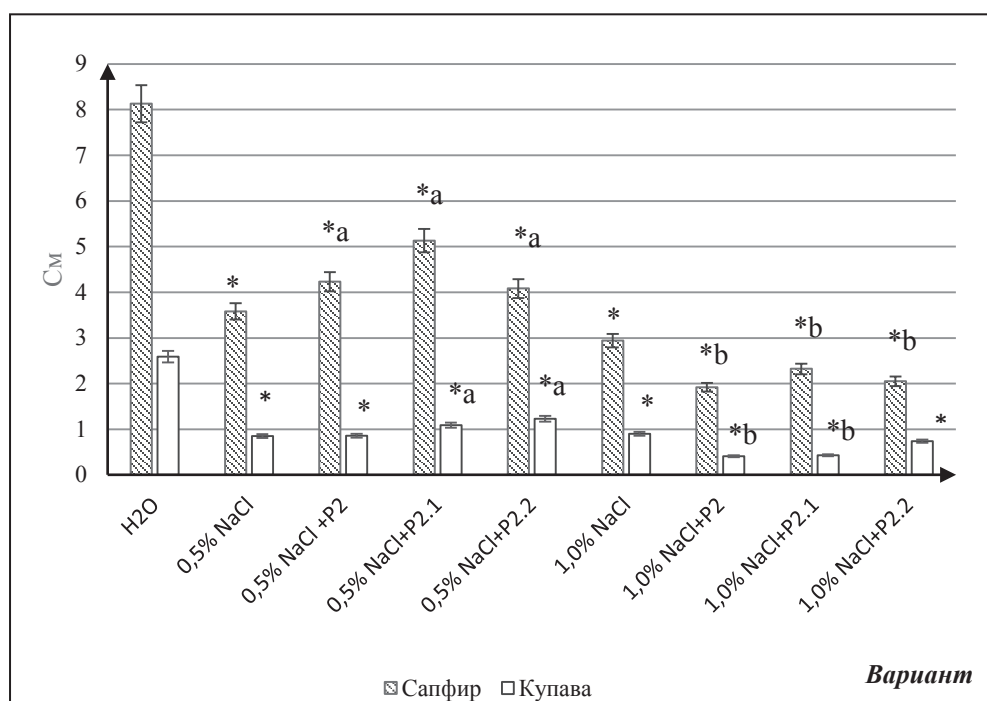


Рисунок 4. – Влияние засоления и предпосевого электромагнитного воздействия на длину побегов 7-дневных проростков гречихи посевной сортов Купава и Сапфир

Примечание: * достоверно при $p < 0,05$ по сравнению с контролем
 а достоверно при $p < 0,05$ по сравнению с 0,5 % NaCl
 б достоверно при $p < 0,05$ по сравнению с 1,0 % NaCl

Виявлено, що в разі помірного засолення ЕМІ виступило додатковим стресовим фактором, затримуючи ріст проростків, і знижувало довжину пагона на 34,7 % (P2), 21,1 % (P2.1) і 30,3 % (P2.2) у сорту Сапфір і 54,4 % (P2), 52,2 % (P2.1) і 17,8 % (P2.2) у сорту Купава.

Установлено, що досліджувані концентрації NaCl знижували масу проростків порівняно з контролем і у сорту Сапфір на 58,8 % (0,5 % NaCl) і 70,6 % (1,0 % NaCl), і у сорту Купава на 66,7 % і 75,8 % відповідно збільшенню концентрації NaCl (рисунок 5).

Відмічено позитивне вплив ЕМІ на приріст маси проростків у сорту Сапфір на фоні 0,5 % хлоридного засолення на 14,3 % (P2) і 71,4 % (P2.1) і у сорту Купава в разі P2 на 40 % і P2.2 на 100 % (рисунок 5). Однак на фоні помірного засолення маса проростків росла після передпосівного впливу ЕМІ на 24,1 % (P2) і 37,9 % (P2.1 і P2.2) у сорту Купава і знизилася у сорту Сапфір на 20 % відносно контролю в варіанті P2.

Як відомо, одним з виражених негативних ефектів хлоридного засолення на асимілюючий апарат рослин є інгібування синтезу фотосинтетичних пігментів [4, 9]. Тому цікавим представляється питання про те, як впливає електромагнітне випромінювання на пул фотосинтетич-

ських пігментів рослин гречихи в умовах слабого і помірного хлоридного засолення.

В ході досліджень виявлено, що рослини гречихи досліджуваних сортів відрізняються по базовому рівню хлорофілла (хл) *a* і *b* в листках, причому у сорту Сапфір відмічено більш високе вміщення хлорофілла *a* і більш низьке хлорофілла *b* порівняно з сортом Купава (рисунок 6). Однак на фоні слабого хлоридного засолення у сорту Сапфір на 61 % знизилася кількість хл *a*, а у сорту Купава – на 45 %, тоді як вміщення хл *b* змінювалося протилежним чином – у сорту Купава воно впало на 62 % відносно контролю, а Сапфір – на 28,4 %. Виявлено, що при помірному хлоридному засоленні різко падало вміщення хлорофіллов *a* і *b* у обох досліджуваних сортах. Відмічена різнонаправлена сортоспецифічна тенденція впливу режимів ЕМІ на вміщення хлорофілового пулу в листках семиденних рослин гречихи. Так, при слабкому хлоридному засоленні виявлено збільшення вміщення хл *a* і хл *b* в листках гречихи сорту Сапфір на 86,0 % і 53,4 % (P2) і 85,8 % і 12,6 % (P2.1) відповідно, але в варіанті P2.2 рівень хл *a* зріс на 10,3 % відносно контрольних значень, хл *b* – впав на 45,8 %. На цьому ж фоні у рослин сорту Купава відмічено зниження хл *a* і хл *b* в разі передпосівної обробки P2.1 на 26 % і 18,2 %, а також P2.2 – на 33,4 %

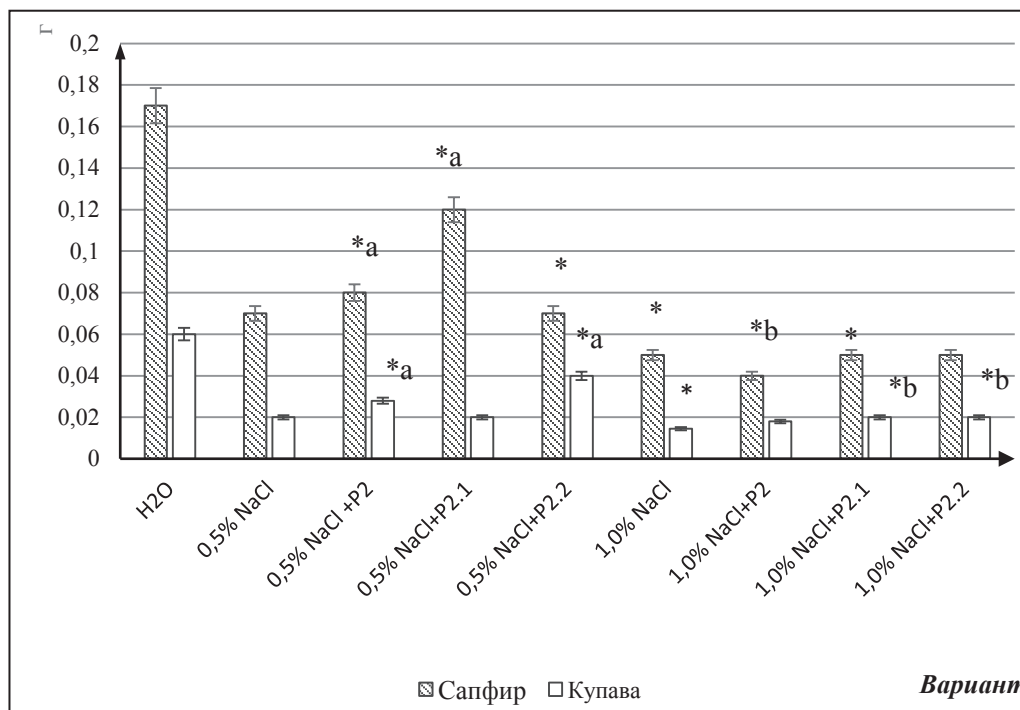


Рисунок 5. – Вплив засолення і передпосівного електромагнітного впливу на масу проростків 7-денних рослин гречихи посівної сортів Купава і Сапфір

Примечание: * достоверно при $p < 0,05$ по сравнению с контролем
 а достоверно при $p < 0,05$ по сравнению с 0,5 % NaCl
 б достоверно при $p < 0,05$ по сравнению с 1,0 % NaCl

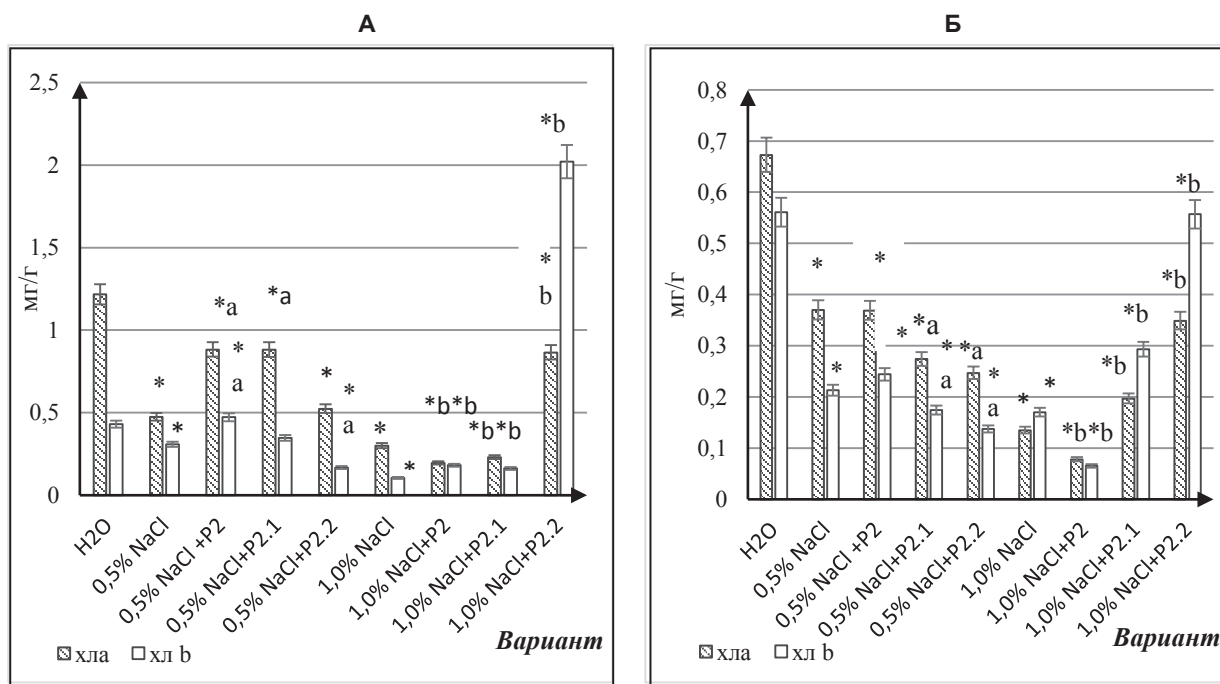


Рисунок 6. – Влияние засоления и предпосевого электромагнитного воздействия на содержание хлорофилла а и в в листьях 7-дневных растений гречихи посевной сортов Сапфир (А) и Купава (Б)

Примечание: * достоверно при $p < 0,05$ по сравнению с контролем
 а достоверно при $p < 0,05$ по сравнению с 0,5 % NaCl
 б достоверно при $p < 0,05$ по сравнению с 1,0 % NaCl

и 35,7 % соответственно, тогда как P2 повышал уровень только хл b на 15 % относительно контроля. Наиболее существенные сдвиги в содержании хлорофиллов под влиянием режимов ЭМИ были отмечены на фоне умеренного засоления. Так, у сорта Сапфир P2 и P2.1 снижали уровень хл a на 35,2 % и 23,3 % соответственно, но при этом выросло содержание хл b на 73,5 % и 54,8 % относительно контроля, а в случае P2.2 в 2,9 раза и 19,4 раза выросло количество хл a и b соответственно. Установлено, что на фоне 1,0 % NaCl у сорта Купава падало содержание обоих хлорофиллов под влиянием P2 на 42,3 % (хл a) и на 61,6 % (хл b), но существенно росло после P2.1 на 45,6 % (хл a) и 71,9 % (хл b) и в 2,6 и 3,27 раза соответственно хл a и хл b под влиянием P2.2.

К вспомогательным пигментам фотосинтеза относятся каротиноиды, выполняющие следующие функции: фотозащитную – защищают хлорофилл и другие уязвимые компоненты фотосистем от светового «перевозбуждения»; нейтрализующую активные формы кислорода (АФК); светособирающую, позволяющую растениям использовать энергию света в синей области спектра; структурную, определяющую стабильность фотосистем [24]. В связи с этим важно было оценить влияние засоления и воздействия ЭМИ на данные фотосинтетические пигменты.

Установлено снижение уровня каротиноидных пигментов относительно контроля в листьях 7-дневных растений гречихи под влиянием засоления, нарастающее по мере увеличения концентрации NaCl (рисунок 7) – на 38,7 % (Сапфир) и 60,4 % (Купава) на фоне 0,5 % NaCl и на 55,7 % и 73,8 % на фоне 1,0 % NaCl соответственно. Выявлено, что в случае 0,5 % NaCl под влиянием режимов ЭМИ возросло количество каротиноидов у сорта Сапфир на 40,9 %, 41,6 % и 12,7 % соответственно режимам P2, P2.1 и P2.2, а также у сорта Купава после воздействия P2 15,2 %, тогда как P2.1 и P2.2 снижали обсуждаемый показатель по сравнению с контролем на 9,6 % и 12,8 % соответственно. Отмечено, что умеренное засоление и воздействие ЭМИ оказало аддитивно негативный эффект на содержание каротиноидных пигментов в листьях гречихи обоих сортов за исключением варианта P2.1 у сорта Сапфир, где на 7,7 % вырос уровень этих пигментов. Содержание каротиноидов упало относительно контроля под влиянием ЭМИ на фоне 1,0 % NaCl на 23,3 % (P2) и 53,4 % (P2.2) у сорта Сапфир и на 31,3 %, 23,5 % и 60,5 % соответственно режимам P2, P2.1 и P2.2 у сорта Купава. Необходимо отметить, что в случае P2.2 у сортов Купава и Сапфир установлено резкое падение уровня каротиноидов, что, вероятно, является свидетельством высокой стрессогенности данного режима ЭМИ, в результате которого

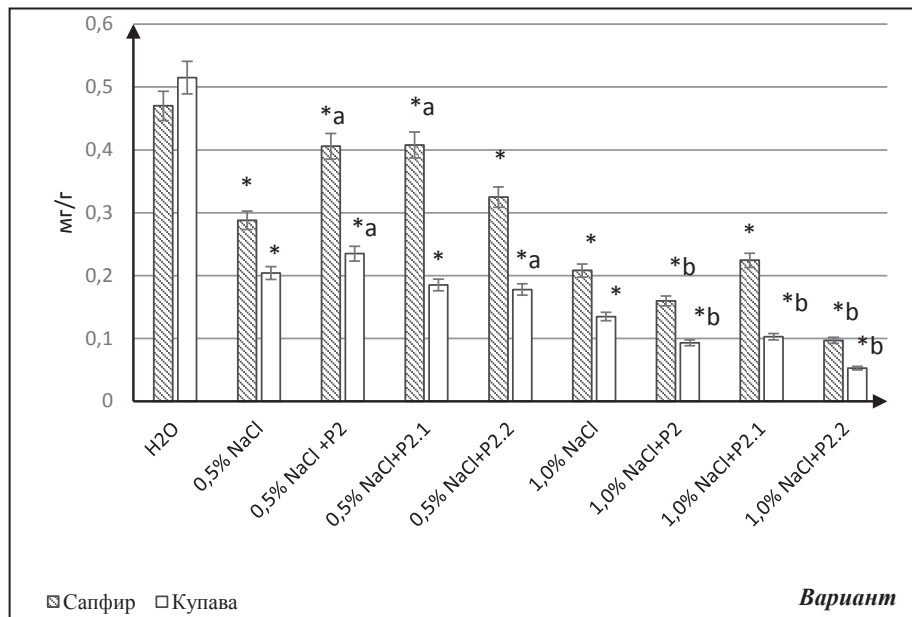


Рисунок 7. – Влияние засоления и предпосевного электромагнитного воздействия на накопление каротиноидов в листьях 7-дневных растений гречихи посевной сортов Сапфир (А) и Купава (Б)

Примечание: * достоверно при $p < 0,05$ по сравнению с контролем
 а достоверно при $p < 0,05$ по сравнению с 0,5 % NaCl
 б достоверно при $p < 0,05$ по сравнению с 1,0 % NaCl

возникает заметное увеличение уровня АФК, нейтрализуемых данными пигментами.

Соотношение содержания хлорофиллов *a* и *b* является показателем хроматической адаптации к условиям освещения. В качестве одного из показателей общей устойчивости у растений используют соотношение хлорофиллов *a* и *b* в листьях [25, 26]. Поэтому необходимо было оценить влияние хлоридного засоления и вызываемого им водного дефицита, а также ЭМИ на данное соотношение.

В ходе анализа таблицы установлено снижение соотношения хл *a* / хл *b* у сортов гречихи Сапфир и Купава на фоне слабого и умеренного засоления за счет увеличения доли хл *b*. Однако на фоне слабого хлоридного засоления под влиянием ЭМИ выявлены разнонаправленные изменения по данному параметру в листьях гречихи изучаемых сортов. Так, у сорта Сапфир соотношение хлорофил-

лов росло за счет увеличения доли хл *a* на 22,2 %, 86,7 % и 107,1% соответственно P2, P2.1 и P2.2. Установлено падение в соотношении хл *a* / хл *b* в листьях гречихи сорта Купава на 13,4 %, 9,4 % после P2 и P2.1 воздействия. В случае умеренного засоления под влиянием ЭМИ показатель хл *a* / хл *b* у сорта Сапфир падал относительно контроля на 36,1 % (P2), 14,5 % (P2.1) и 65 % (P2.2). Выявлено, что у сорта Купава отклонения в соотношении хл *a* / хл *b* зависели от времени воздействия ЭМИ – при максимальном времени (P2) этот показатель вырос на 50 % за счет увеличения доли хл *a*, тогда как при снижении экспозиции ЭМИ до 12 и 8 минут этот показатель снижался на 15,3 % и 20,9 % соответственно за счет роста уровня хл *b*. Сдвиги в соотношении хл *a* / хл *b* связаны с работой хлорофиллового цикла – системы реакций взаимопревращения хлорофиллов ($a \leftrightarrow b$) [27].

Таблица – Влияние хлоридного засоления и предпосевного электромагнитного воздействия на соотношение фотосинтетических пигментов в листьях 7-дневных растений гречихи посевной сортов Сапфир и Купава

Вариант	хл <i>a</i> / хл <i>b</i>		Σ (хл <i>a</i> + хл <i>b</i>) / каротиноиды	
	Сапфир	Купава	Сапфир	Купава
H ₂ O (контроль)	2,84 ± 0,142	1,20 ± 0,059	3,51 ± 0,175	1,17 ± 0,058
0,5 % NaCl	1,54 ± 0,075	1,74 ± 0,087	2,88 ± 0,143	2,25 ± 0,112
0,5 % NaCl +P2	1,88 ± 0,094	1,51 ± 0,091	3,28 ± 0,164	2,62 ± 0,153
0,5 % NaCl + P.1	2,87 ± 0,143	1,58 ± 0,145	3,99 ± 0,199	2,45 ± 0,849
0,5 % NaCl + P2.2	3,19 ± 0,159	1,80 ± 0,263	2,09 ± 0,104	2,15 ± 0,582
1,0 % NaCl	1,69 ± 0,084	0,79 ± 0,038	2,29 ± 0,113	2,32 ± 0,114

Вариант	хл а / хл b		Σ (хл а + хл b) / каротиноиды	
	Сапфир	Купава	Сапфир	Купава
1,0 % NaCl + P2	1,08 ± 0,054	1,19 ± 0,072	2,35 ± 0,118	1,55 ± 0,091
1,0 % NaCl + P.1	1,44 ± 0,072	0,67 ± 0,062	1,68 ± 0,084	4,74 ± 0,237
1,0 % NaCl + P2.2	0,59 ± 0,029	0,63 ± 0,009	23,38 ± 1,168	17,01 ± 0,851

Отмечена разнонаправленная реакция сортов в соотношении пула хлорофиллов к каротиноидам – у сорта Сапфир этот показатель падал по мере роста концентрации NaCl на 18 % (0,5 % NaCl) до 34,8 % (1,0 % NaCl), а у сорта Купава он увеличивался на 91,8 % (0,5 % NaCl) и 97,4% (1,0% NaCl) за счет существенного роста пула хлорофиллов (таблица). После предпосевного воздействия ЭМИ у сорта Сапфир на фоне слабого засоления увеличился данный показатель в случаях P2 и P2.1 на 14 % и 39 % относительно контроля, тогда как в варианте P2.2 он снизился на 27,4 % за счет увеличения уровня каротиноидов. Выявлено, что у сорта Купава на фоне 0,5 % NaCl также отмечена аналогичная реакция – рост на 16,3 % и 8,8 % в случаях P2 и P2.1 и незначительное падение в варианте P2.2 на 4,3 % относительно контроля. Установлено существенное отклонение от контрольных значений в соотношении суммарного пула хлорофиллов к каротиноидам на фоне умеренного засоления при воздействии P2.2 у обоих сортов – рост в 10,2 раза у сорта Сапфир и в 7,35 раза у сорта Купава. Влияние P2.1 было резко специфичным на фоне умеренного засоления – у сорта Купава обсуждаемый показатель вырос в 2,04 раза, а у сорта Сапфир – снизился на 26,5 % относительно контроля. В случае P2 у сорта Купава соотношение суммарной фракции хлорофиллов к каротиноидам снизилось на 33,2 %, а у сорта Сапфир не отклонялось достоверно от контрольных значений.

Заключение. Таким образом, установлена сортоспецифическая реакция сортов гречихи посевной на различную степень хлоридного засоления. Выявлено, что наиболее устойчивым к данному параметру оказался сорт Сапфир, который в дальнейшем можно использовать в селекции на устойчивость сортов гречихи к факторам среды. Отмечено, что предпосевное электромагнитное воздействие оказывает сорто- и органоспецифичное действие на фоне слабого и умерен-

ного хлоридного засоления на растения гречихи посевной в зависимости от времени воздействия и концентрации NaCl на посевные качества семян и ростовые процессы ювенильных растений гречихи посевной. Отмечено, что P2.2 низкоинтенсивного электромагнитного излучения на фоне засоления повышал всхожесть растений гречихи сорта Купава, а также стимулировал рост ювенильных растений этого сорта, стимулируя накопление пула хлорофилловых пигментов. Выявлено, что наиболее позитивная реакция на ростовые процессы растений гречихи сорта Сапфир на фоне хлоридного засоления на ранних этапах прорастания регистрировалась в случае P2.1 и сопровождалась ростом содержания хлорофилла а и каротиноидов.

Установлены также сортоспецифичные сдвиги относительно контрольных параметров в накоплении и соотношении фотосинтетических пигментов в листьях семидневных проростков гречихи посевной в ответ на хлоридное засоление и режимы низкоинтенсивного электромагнитного излучения. Отмечено, что у сортов Купава и Сапфир на фоне умеренного засоления повышение пула хлорофиллов отмечалось в вариантах P2.1 и P2.2. Итак, адаптация растений к факторам среды происходит за счет качественных и количественных метаболических перестроек, изменения уровня АФК и сдвигов в содержании и соотношении пигментов, синтез и гидролиз которых зависит от активности ряда ферментов, например, хлорофиллазы и др. [27, 28].

Таким образом, выявлено, что P2.1 у сорта Сапфир и P2.2 у сорта Купава частично снимают негативное влияние засоления и водного дефицита на физиолого-биохимические процессы растений гречихи посевной. Это дает возможность говорить о стресс-протекторном действии электромагнитного излучения, хотя его механизмы остаются в настоящее время слабо изученными.

ЛИТЕРАТУРА

1. Влияние KNO_3 на активность нитратредуктазы, содержание фотосинтетических пигментов, пролина, фотосинтез и дыхание в растениях ячменя, выращиваемых в условиях засоления / Н. Г. Аверина [и др.] // Клеточная биология и биотехнология растений, 13–15 февраля 2013 г. – Минск : Изд. центр БГУ, 2013. – С. 89.

REFERENCES

1. Vliyanie KNO_3 na aktivnost' nitratreduktazy, sodержanie fotosinteticheskikh pigmentov, prolina, fotosintez i dyhanie v rasteniyah yachmenya, vyrashchivaemyh v usloviyah zasoleniya / N. G. Averina [i dr.] // Kletochnaya biologiya i biotekhnologiya rastenij, 13–15 fevralya 2013 g. – Minsk : Izd. centr BGU, 2013. – S. 89.

2. Еремченко, О. З. Солевой обмен растений в условиях техногенного засоления / О. З. Еремченко, О. А. Лымарь, Н. В. Орлова // Вестник Пермского университета. Сер. Биология. – 2005. – Вып. 6. – С. 164–167.
3. Yamaguchi, T. Developing salt-tolerant crop plants: challenges and opportunities / T. Yamaguchi, E. Blumwald // Trends in Plant Sciences. – 2005. – Vd. 10. – P. 615–620.
4. Данилова, Е. Д. Влияние хлоридного засоления на ростовые и физиологические процессы растений *Solanum tuberosum* L. среднеспелых сортов [Электронный ресурс]. / Е. Д. Данилова, Ю. В. Медведева, М. В. Ефимова // Вестник Томского государственного университета. Сер. Биология. – 2018. – № 44. – С. 158–171 – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-hloridnogo-zasoleniya-na-rostovye-i-fiziologicheskie-protsessy-rasteniy-solanum-tuberosum-l-srednespelyh-sortov>. – Дата доступа: 15.06.2021
5. Chloride in soil: From nutrient to soil pollutant / C. M. Geilfus // Environmental and Experimental biology. – 2019. – Vol. 157. – P. 299–309.
6. Ultrastructural and physiological responses of potato (*Solanum tuberosum* L.) plantlets to gradient saline stress / H. J. Gao [et al.] // Frontiers in plant science. – 2015. – Vol. 5. – PP. 1–14.
7. Nxele, X. Drought and salinity stress alters ROS accumulation, water retention, and osmolyte content in sorghum plants / X. Nxele, A. Klein, B. K. Ndimba // South African journal of botany. – 2017. – Vol. 108. – P. 261–266.
8. Li, W. Effect of environmental salt stress on plants and the molecular mechanism of salt stress tolerance / W. Li, Q. Li // International Journal of Environmental Sciences and Natural Resources, 2017. – Vol. 7(3). – P. 1–6.
9. Photosynthesis and salinity: are these mutually exclusive? / S. Wungrampha [et al.] // Photosynthetica, 2018. – Vol. 56(1). – P. 366–381.
10. High salinity induces different oxidative stress and antioxidant responses in maize seedlings organs / H. AbdElgawad [et al.] // Frontiers in plant science. – 2016. – Vol. 7. – P. 1–11.
11. Shahid, S. A. Soil salinity development, classification, assessment, and management in irrigated agriculture / S. A. Shahid, K. Rahman // Handbook of plant and crop stress. 3rd edition / ed. by M. Pessarakli. CRC Press Taylor & Francis Group, 2011. – P. 23–38.
12. Влияние brassinостероидов на формирование защитных реакций проростков рапса в условиях засоления / М. В. Ефимова [и др.] // Вестник Томского государственного университета. Сер. Биология. – 2013. – № 1 (21). – С. 118–128.
13. Влияние синтетических регуляторов роста ивина и БАП на показатели водообмена проростков кукурузы и ячменя на фоне хлоридного засоления / С. Н. Кабузенко [и др.] // Физиология и биохимия культурных растений, 2009 – Т. 41. – № 2. – С. 146–153.
14. Пушкина, Н. В. Изменение физиолого-биохимических параметров в процессах хранения семян, роста и развития растений кукурузы (*Zea mays* L.) после предпосевной обработки зерновок электромагнитным полем СВЧ-диапазона : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 03.01.05 / Н. В. Пушкина ; Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича. – М. : 2021. – 26 с.
2. Eremchenko, O. Z. Solevoj obmen rastenij v usloviyah tekhnogenogo zasoleniya / O. Z. Eremchenko, O. A. Ly-mar', N. V. Orlova // Vestnik Permskogo universiteta. Ser Biologiya. – 2005. – Vyp. 6. – S. 164–167.
3. Yamaguchi, T. Developing salt-tolerant crop plants: challenges and opportunities / T. Yamaguchi, E. Blumwald // Trends in Plant Sciences. – 2005. – Vd. 10. – P. 615–620.
4. Danilova, E. D. Vliyanie hloridnogo zasoleniya na rostovye i fiziologicheskie processy rastenij *Solanum tuberosum* L. srednespelyh sortov [Elektronnyj resurs] / E. D. Danilova, Yu. V. Medvedeva, M. V. Efimova // Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Biologiya. – 2018. – № 44. – S. 158–171 – Rezhim dostupa: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-hloridnogo-zasoleniya-na-rostovye-i-fiziologicheskie-protsessy-rasteniy-solanum-tuberosum-l-srednespelyh-sortov>. – Data dostupa: 15.06.2021
5. Chloride in soil: From nutrient to soil pollutant / C. M. Geilfus // Environmental and Experimental biology. – 2019. – Vol. 157. – P. 299–309.
6. Ultrastructural and physiological responses of potato (*Solanum tuberosum* L.) plantlets to gradient saline stress / H. J. Gao [et al.] // Frontiers in plant science. – 2015. – Vol. 5. – PP. 1–14.
7. Nxele, H. Drought and salinity stress alters ROS accumulation, water retention, and osmolyte content in sorghum plants / H. Nxele, A. Klein, V. K. Ndimba // South African journal of botany. – 2017. – Vol. 108. – P. 261–266.
8. Li, W. Effect of environmental salt stress on plants and the molecular mechanism of salt stress tolerance / W. Li, Q. Li // International Journal of Environmental Sciences and Natural Resources, 2017. – Vol. 7(3). – P. 1–6.
9. Photosynthesis and salinity: are these mutually exclusive? / S. Wungrampha [et al.] // Photosynthetica, 2018. – Vol. 56(1). – P. 366–381.
10. High salinity induces different oxidative stress and antioxidant responses in maize seedlings organs / H. AbdElgawad [et al.] // Frontiers in plant science. – 2016. – Vol. 7. – P. 1–11.
11. Shahid, S. A. Soil salinity development, classification, assessment, and management in irrigated agriculture / S. A. Shahid, K. Rahman // Handbook of plant and crop stress. 3rd edition / ed. by M. Pessarakli. CRC Press Taylor & Francis Group, 2011. – P. 23–38.
12. Vliyanie brassinosteroidov na formirovanie zashchitnyh reakcij prorostkov rapsa v usloviyah zasoleniyam / M. V. Efimova [i dr.] // Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Biologiya. – 2013. – № 1 (21). – S. 118–128.
13. Vliyanie sinteticheskikh reguljatorov rosta ivina i BAP na pokazateli vodoobmena prorostkov kukuruzy i yachmenya na fone hloridnogo zasoleniya / S. N. Kabuzenko [i dr.] // Fiziologiya i biohimiya kul'turnyh rastenij, 2009 – T. 41. – № 2. – S. 146–153.
14. Pushkina, N. V. Izmenenie fiziologo-biohimicheskikh parametrov v processah hraneniya semyan, rosta i razvitiya rastenij kukuruzy (*Zea mays* L.) posle predposevnoj obrabotki zernovok elektromagnitnym polem SVCh-diapazona : avtoref. dis. ... kand. biol. nauk : 03.01.05 / N. V. Pushkina ; Institut eksperimental'noj botaniki imeni V. F. Kuprevicha. – M. : 2021. – 26 s.

15. Суша, О. А. Влияние электромагнитного излучения на посевные качества и продуктивность *Fagopyrum esculentum* moench. в условиях Беларуси / О. А. Суша, Ж. Э. Мазец // Весті БДПУ. Сер. 3, Фізика. Матэматыка. Інфарматыка. Біялогія. Геаграфія. – 2020. – № 1. – С. 5–12.
16. Влияние технологии уборки на результат обработки семян люцерны низкочастотным электромагнитным полем / Ю. В. Тертышная [и др.] [Электронный ресурс] // Вестник аграрной науки. – № 1 (82). – 2020. – С. 47–53. – Режим доступа: <http://dx.doi.org/10.15217/48484>. – Дата доступа: 22.06.2020.
17. Посевные качества семян мягкой яровой пшеницы (*Triticum aestivum*) при разных режимах воздействия низкочастотным электромагнитным полем / Н. С. Левина [и др.] // Сельскохозяйственная биология. – 2017. – Т. 52. – № 3. – С. 580–587.
18. Ерохин, А. И. Применение электромагнитных полей для предпосевной обработки семян / А. И. Ерохин // Земледелие. – 2012. – № 5. – С. 46–48.
19. Косынкина, О. М. Предпосевная обработка семян озимой тритикале электромагнитным полем СВЧ / О. М. Косынкина, В. П. Богун // Зерновое хозяйство. – 2007. – № 5. – С. 32–34.
20. Пушкина, Н. В. Влияние различных режимов предпосевной обработки электромагнитным полем сверхвысокочастотного диапазона на всхожесть кукурузы / Н. В. Пушкина, Л. П. Шиманский, В. П. Курченко // Труды БГУ. – 2014. – Т. 9 (2). – С. 203–208.
21. Гречка: как ухаживать за «Золушкой» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://infoindustria.com.ua/grechka-kak-uhazhivat-za-zolushkoy/>. – Дата доступа: 02.04.2020.
22. Гавриленко, В. Ф. Большой практикум по физиологии растений : учеб.-метод. пособие / В. Ф. Гавриленко, М. Е. Ладыгина, Л. М. Хандобина. – М. : Высш. шк. – 1975. – 322 с.
23. Ладыгин, В. Г. Современные представления о функциональной роли каротиноидов в хлоропластах эукариот / В. Г. Ладыгин, Г. Н. Ширшикова // Общая биология. – Т. 67. – № 3. – 2006. – С. 163–189.
24. Игнат'ев, Л. А. Реакция растений на повреждающее действие абиотических факторов и регуляция их продуктивности в условиях неустойчивой погоды : дис. ... д-ра биол. наук / Л. А. Игнат'ев. – Новосибирск, 1993. – 395 с.
25. Эколого-генетическая изменчивость содержания хлорофиллов «А» и «В» в хвое сосны обыкновенной / Л. И. Кальченко [и др.] // Хвойные бореальной зоны. – Т. 24. – № 2–3. – 2007. – С. 193–196.
26. Brouwer, B. In response to partial plant shading, the lack of phytochrome A does not directly induce leaf senescence but alters the fine-tuning of chlorophyll biosynthesis / B. Brouwer, P. Gardeström, O. Keech // J. Exp. Bot. – 2014. – V. 65. – P. 4037–4049.
27. Хлорофиллазная активность и пигментный состав листьев растений разных ярусов широколиственного леса / А. А. Сиваш [и др.] // Вісник Харківського нац. аграр. ун-ту. Сер. Біологія. – 2016. – Вип. 2 (38). – С. 75–83.
15. Susha, O. A. Vliyanie elektromagnitnogo izlucheniya na posevnye kachestva i produktivnost' Fagopyrum esculentum moench. v usloviyah Belarusi / O. A. Susha, Zh. E. Mazec // Vesti BDPU. Ser. 3, Fizika. Matematyka. Infarmatyka. Biyalogiya. Geografiya. – 2020. – № 1. – S. 5–12.
16. Vliyanie tekhnologii uborki na rezul'tat obrabotki semyan lyucerny nizkochastotnym elektromagnitnym polem / Yu. V. Tertyshnaya [i dr.] [Elektronnyj resurs] // Vestnik agrarnoj nauki. – № 1 (82). – 2020. – S. 47–53. – Rezhim dostupa: <http://dx.doi.org/10.15217/48484>. – Data dostupa: 22.06.2020.
17. Posevnye kachestva semyan myagkoj yarovoij pshenicy (*Triticum aestivum*) pri raznyh rezhimah vozdejstviya nizkochastotnym elektromagnitnym polem / N. S. Levina [i dr.] // Sel'skohozyajstvennaya biologiya. – 2017. – T. 52. – № 3. – S. 580–587.
18. Erohin, A. I. Primenenie elektromagnitnyh polej dlya predposevnoj obrabotki semyan / A. I. Erohin // Zemledelie. – 2012. – № 5. – S. 46–48.
19. Kosynkina, O. M. Predposevnaya obrabotka semyan ozimoij tritikale elektromagnitnym polem SVCh / O. M. Kosynkina, V. P. Bogun // Zernovoe hozyajstvo. – 2007. – № 5. – S. 32–34.
20. Pushkina, N. V. Vliyanie razlichnyh rezhimov predposevnoj obrabotki elektromagnitnym polem sverhvysochastotnogo diapazona na vskhozhest' kukuruzy / N. V. Pushkina, L. P. Shimanskij, V. P. Kurchenko // Trudy BGU. – 2014. – T. 9 (2). – S. 203–208.
21. Grechka: kak uhazhivat' za «Zolushkoj» [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://infoindustria.com.ua/grechka-kak-uhazhivat-za-zolushkoy/>. – Data dostupa: 02.04.2020.
22. 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.
23. Ladygin, V. G. Sovremennye predstavleniya o funkcional'noj roli karotinoidov v hloroplastah eukariot / V. G. Ladygin, G. N. Shirshikova // Obshchaya biologiya. – T. 67. – № 3. – 2006. – S. 163–189.
24. Ignat'ev, L. A. Reakciya rastenij na povrezhdayushchee dejstvie abioticheskikh faktorov i regulyaciya ih produktivnosti v usloviyah neustojchivoj pogody : dis. ... d-ra biol. nauk / L. A. Ignat'ev. – Novosibirsk, 1993. – 395 s.
25. Ekologo-geneticheskaya izmenchivost' soderzhaniya hlorofillov «A» i «V» v hvoe sosny obyknovennoj / L. I. Kal'chenko [i dr.] // Hvojnye boreal'noj zony. – T. 24. – № 2–3. – 2007. – S. 193–196.
26. Brouwer, B. In response to partial plant shading, the lack of phytochrome A does not directly induce leaf senescence but alters the fine-tuning of chlorophyll biosynthesis / B. Brouwer, P. Gardeström, O. Keech // J. Exp. Bot. – 2014. – V. 65. – P. 4037–4049.
27. Hlorofillaznaya aktivnost' i pigmentnyj sostav list'ev rastenij raznyh yarusov shirokolistvennogo lesa / A. A. Sivash [i dr.] // Visnik Harkivs'kogo nac. agrar. un-tu. Ser. Biologiya. – 2016. – Vyp. 2 (38). – S. 75–83.