

ВЛИЯНИЕ СОЧЕТАННОГО ДЕЙСТВИЯ ПЕРЕМЕННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ И НИЗКОЧАСТОТНОЙ ВИБРАЦИИ НА РОСТ И РАЗВИТИЕ КУКУРУЗЫ САХАРНОЙ (ZEA MAYS L.)

COMBINED EFFECT OF ALTERNATING MAGNETIC FIELD AND LOW FREQUENCY VIBRATIONS ON GROWTH AND DEVELOPMENT OF SUGAR CORN (ZEA MAYS L.)

**V. Kornienko
P. Kotyuk
A. Yaitsky**

Summary. Article represents study results of combined effect of an alternating magnetic field and vibration on the growth and development of sugar corn (*Zea mays* L.). It was found that the effect of low-frequency vibration (8 Hz) creates an inhibitory effect at the early stages of ontogenesis of sugar corn, which signifiers itself in a significant decrease in growth indicators of plant's aboveground part (–60%) and underdevelopment of its root system (–60%). Outlined mechanical vibrations appear along the highways in industrial areas of the cities, and deemed to be a vibration-acoustic pollution of a territories. In general an effect of an alternating magnetic field with an amplitude of 1 mT and a frequency range of 10–50 Hz yields a stimulating effect on the early stages of ontogenesis of sugar corn («Proletarian», elite type, from 12% to 20% depending on magnetic field frequency). A maximum amount of plant morphometry obtained under alternating magnetic field of a 30 Hz frequency (+40% of stem development; +50% of root system development). By comparison with frequencies of 10, 20 and 40 Hz a stimulating effect was only 10–20%, and at 50 Hz the development as a stem was obtained at +30% and the main root +20%. Combined effect of alternating magnetic field and low-frequency mechanical vibration (8 Hz) showed a stimulating effect during ontogenesis phases (+16...+20%). Significant stimulating effect of vibration and magnetic field was found in experimental groups of 50 Hz and 40 Hz frequencies on the morphometry of aboveground parts of the plants (+20% and +50% respectively). At the same time, an effect on the root systems was minimal (only up to +10%). The inhibitory effect was detected in the group whose plants were affected by the combined action of 10 Hz alternating magnetic field and 8 Hz vibration. The study revealed seed treatment schemes that can be recommended for pre-sowing treatment of *Zea mays* L. (magnetic field of 30 Hz or 50 Hz frequency; magnetic field of 40 Hz or 50 Hz frequency in combination with vibration of 8 Hz).

Keywords: sugar corn, *Zea mays* L., pre-sowing treatment, alternating magnetic field, magnetic induction, vibration, ontogenesis, morphometry.

Корниенко Владимир Олегович

Старший преподаватель, ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»
kornienkovo@mail.ru

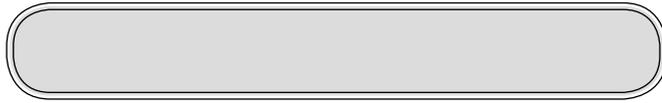
Котюк Полина Федоровна

Студент, ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»
pkotyuk01@mail.ru

Яицкий Андрей Степанович

Старший преподаватель, ФГБОУ ВО «Самарский государственный социально-педагогический университет»
yaitsky@sgspsu.ru

Аннотация. В статье представлены результаты изучения сочетанного действия переменного магнитного поля (ПеМП) и вибрации на рост и развитие кукурузы сахарной (*Zea mays* L.). Установлено, что влияние низкочастотной вибрации (8 Гц) оказывает ингибирующее воздействие на ранних стадиях онтогенеза кукурузы сахарной, выражающееся в значительном снижении ростовых показателей её надземной части (–60%) и недоразвитости корневой системы (–60%) растений. В условиях промышленного города такие механические колебания присутствуют вдоль автомагистралей и входят в спектр вибрационно-акустического загрязнения территорий. Влияние переменного магнитного поля с амплитудой 1 мТл и частотным диапазоном 10–50 Гц в целом оказывает стимулирующее воздействие на ранние стадии онтогенеза кукурузы сахарной «Пролетарская» (элита) (от 12% до 20% в зависимости от частоты). Максимальные значения в морфометрии растений (+40% — развитие стебля; +50% — развитие корневой системы) отмечены под влиянием переменного магнитного поля с частотой 30 Гц; тогда как в группах с частотой ПеМП 10, 20 и 40 Гц стимулирующее действие составляло 10–20%, а при частоте 50 Гц отмечалось развитие как стебля (+30%), так и главного корня (+20%). При сочетанном действии ПеМП и низкочастотной механической вибрации (8 Гц) отмечен стимулирующий эффект при прохождении фаз онтогенеза на 16–20%. В группах с частотами ПеМП 50 Гц и 40 Гц выявлено значительное стимулирующее действие сочетанного влияния факторов на морфометрию надземной части растений (+20% и +50% соответственно), однако для корневой системы такое влияние было минимальным (до +10%). Ингибирующий эффект выявлен в группе, растения которой подверглись влиянию сочетанного действия ПеМП с частотой 10 Гц и вибрации с частотой 8 Гц. Некоторые полученные схемы обработки семян магнитным полем (частота ПеМП 30 Гц и 50 Гц) и в сочетании с вибрацией (частота ПеМП 40 Гц + частота вибрации 8 Гц; частота ПеМП 50 Гц + частота вибрации 8 Гц) можно рекомендовать для предпосевной обработки *Zea mays* L.



Введение

В настоящее время влияние физических факторов антропогенного происхождения на растительные организмы приобретает актуальное значение в рамках вопросов экологической безопасности, и, как отмечают многие ученые, для некоторых экосистем значительно превышает химическое воздействие [1; 2]. Сочетанное же влияние антропогенных факторов (физических и химических и/или комплекса физических факторов (например, вибрации и магнитного поля)) зачастую негативно отражается на ростовых процессах растительных организмов [2–4]. В условиях городской среды (вблизи и на территориях промышленных предприятий, на транспорте), в авиации, космических полетах широко распространены механические колебания (вибрации) и магнитные поля, которые являются одним из важных физических факторов, действующих на живые организмы [4–6]. Несмотря на распространенность магнитных полей и вибраций в биосфере, соответствующие разделы факториальной экологии разработаны в настоящее время недостаточно. Например, мало исследованы механизмы, и как следствие — физиологические процессы, проявляющиеся при действии переменного магнитного поля (ПеМП) и вибраций низкочастотного диапазона. Трудность оценки действия факторов заключается в сложности получения достаточного объема информации в природной среде, что заставляет переносить исследования в лаборатории. Это накладывает определенные ограничения на выбор объекта исследований. Опыт работы в экспериментальной экологии (как наш, так и других исследователей) дает основания считать, что одним из наиболее удобных объектов являются растения [3; 7; 8].

В предварительных экспериментах [9; 10] мы показали, что действие переменного магнитного поля на семена кукурузы сахарной «Пролетарская» (элита) с экспозицией 15, 30, 45 и 60 минут отразилось на ранних стадиях онтогенеза растений. Были выявлены как ингибирующие эффекты, заключающиеся в торможении прохождения стадий онтогенеза и снижении ростовых показателей кукурузы сахарной, так и стимулирующие эффекты, которые возможно использовать в сельском хозяйстве в качестве метода предпосевной обработки семян.

Цель исследования

Целью настоящего исследования явилась оценка сочетанного действия уже ранее полученной схемы

Ключевые слова: кукуруза сахарная, *Zea mays* L., предпосевная обработка, переменное магнитное поле, вибрация, магнитная индукция, онтогенез, морфометрия.

обработки семян кукурузы сахарной «Пролетарская» (элита) переменным магнитным полем ($B = 1$ мТл, $t = 60$ мин., $f_{\text{ПеМП}} = 50$ Гц) с расширением частотного диапазона ПеМП (10–50 Гц), а также низкочастотной вибрацией ($f_{\text{вибр.}} = 8$ Гц, $t = 60$ мин.).

Материалы и методы

Обработка семян кукурузы сахарной происходила в течение 1 часа при постоянном значении магнитной индукции ПеМП (1 мТл) и в диапазоне частот от 10 Гц до 50 Гц с шагом 10 Гц (табл. 1).

Для получения сочетанного эффекта действия вибрации и переменного магнитного поля дополнительно были сформированы выборки, которые подвергались низкочастотной вибрации со значением 8 Гц (табл. 1). Каждая выборка состояла из 50 семян в 3-кратной повторности.

Семена подвергали обработке физическими факторами в сухом состоянии, затем образцы помещались в ростовую камеру, при этом подложкой для семян служила влажная фильтровальная бумага. Полив осуществляли только дистиллированной водой. Семена проращивали при температуре $+20$ °С. Энергию прорастания и всхожесть семян определяли в сроки, указанные в ГОСТ 12038–84 [11]: на 3-е сутки (энергия прорастания) и 8-е сутки (всхожесть). После завершения эксперимента оценивали среднюю длину стебля и главного корня в каждой из выборок ($l_{\text{ср.}}$). Для удобства сравнения результаты, полученные в опытных выборках, относили к контрольным: $\text{длина} = l_{\text{ср. опыт}} / l_{\text{ср. контроль}}$. Все полученные результаты обрабатывались методами вариационной статистики с использованием пакета компьютерных программ «Statistica».

Установка для облучения семян растений переменным магнитным полем. В отделе физики магнитных явлений и высокотемпературной сверхпроводимости научно-исследовательской части Донецкого национального университета была спроектирована магнитная установка для обработки и модификации биологических объектов. Установка для обработки семян растений переменным магнитным полем представлена на рис. 1. В состав установки входит усилитель, генератор частот специальной формы Гб 28, осциллограф для контроля типа сигнала, его частоты и амплитуды, а также две катушки, внутри которых и происходит обработка переменным магнитным полем.

Таблица 1. Схема обработки семян *Zea mays* L.

Название группы	Описание
К	Контрольная группа растений без влияния физических факторов
В	Вибрация ($f_{\text{вибр.}} = 8$ Гц)
Облучение переменным магнитным полем	
1	ПеМП ($B = 1$ мТл; $f_{\text{ПеМП}} = 10$ Гц)
2	ПеМП ($B = 1$ мТл; $f_{\text{ПеМП}} = 20$ Гц)
3	ПеМП ($B = 1$ мТл; $f_{\text{ПеМП}} = 30$ Гц)
4	ПеМП ($B = 1$ мТл; $f_{\text{ПеМП}} = 40$ Гц)
5	ПеМП ($B = 1$ мТл; $f_{\text{ПеМП}} = 50$ Гц)
Сочетанное действие переменного магнитного поля и вибрации	
6	ПеМП ($B = 1$ мТл; $f_{\text{ПеМП}} = 10$ Гц) + вибрация ($f_{\text{вибр.}} = 8$ Гц)
7	ПеМП ($B = 1$ мТл; $f_{\text{ПеМП}} = 20$ Гц) + вибрация ($f_{\text{вибр.}} = 8$ Гц)
8	ПеМП ($B = 1$ мТл; $f_{\text{ПеМП}} = 30$ Гц) + вибрация ($f_{\text{вибр.}} = 8$ Гц)
9	ПеМП ($B = 1$ мТл; $f_{\text{ПеМП}} = 40$ Гц) + вибрация ($f_{\text{вибр.}} = 8$ Гц)
10	ПеМП ($B = 1$ мТл; $f_{\text{ПеМП}} = 50$ Гц) + вибрация ($f_{\text{вибр.}} = 8$ Гц)

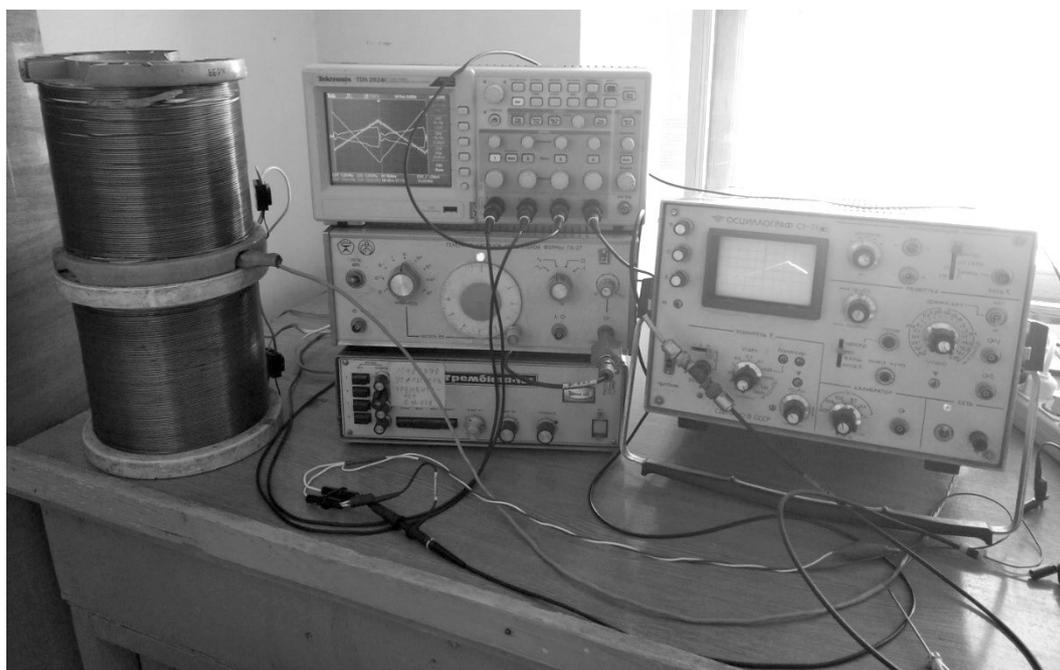


Рис. 1. Экспериментальная установка по обработке семян растений переменным магнитным полем

Установка для обработки семян растений вибрацией

Для получения эффекта сочетанного действия ПеМП и вибрации, после облучения семян растений ПеМП различной частоты в течение 1 часа семена сразу с магнитной установки переносились на вибрационную установку. Время экспозиции на вибрационной установке также составляло 1 час. Схема вибрационной установки приведена на рис. 2.

Результаты и обсуждение

Влияние сочетанного действия переменного магнитного поля и вибрации (8 Гц) на онтогенез кукурузы сахарной.

Онтогенез семян растений является важным показателем устойчивости растений к действию антропогенных факторов. Достоверно установлено, что при сочетанном действии переменного магнитного поля ($f_{\text{ПеМП}}$



Рис. 2. Экспериментальная вибрационная установка для обработки семян низкочастотной вибрацией

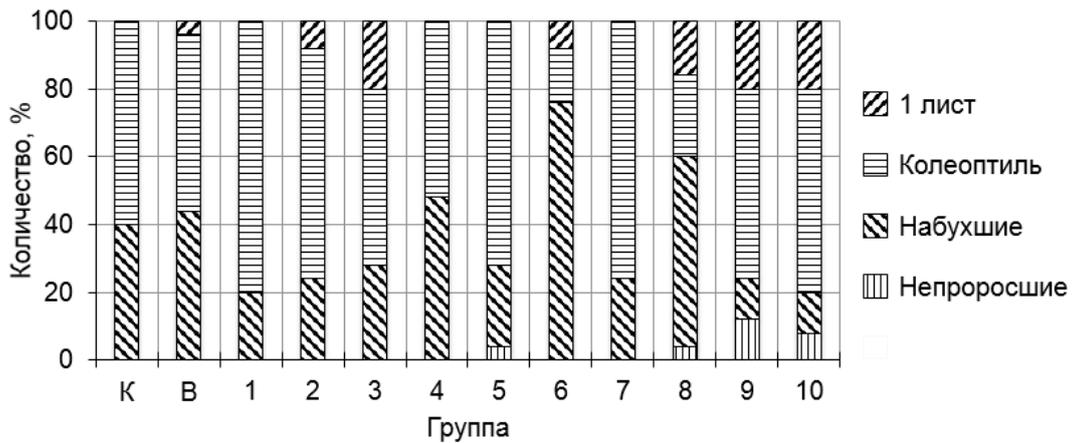


Рис. 3. Онтогенез *Zea mays* L. на 8-е сутки эксперимента под влиянием ПемП и вибрации (8 Гц)

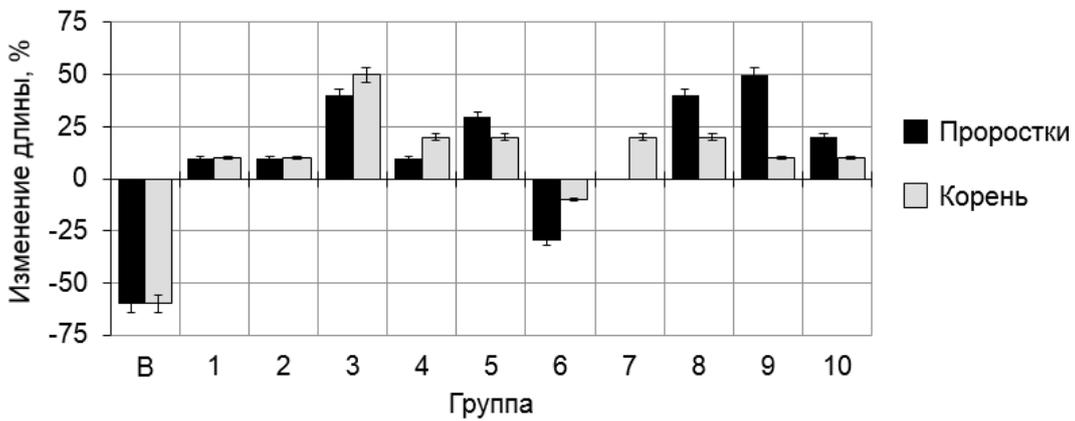


Рис. 4. Влияние облучения переменным магнитным полем и обработки вибрацией на длину надземной части и корневой системы *Zea mays* L. для всех групп растений.
Примечание: 0% — контрольная группа

= 10 Гц и 30 Гц) и вибрации ($f_{\text{вибр.}} = 8$ Гц) на ранних стадиях онтогенеза наблюдается торможение в прохождении фаз развития (соответственно группы № 6 и № 8 на рис. 3). До 6–8% семян не проросли во всех повторностях, и на $\approx 30\%$ происходило снижение развития уже проросших семян (рис. 3).

Нейтральный эффект по количеству образцов в определенной стадии развития можно было наблюдать в группе, семена которой обрабатывались только механической вибрацией с частотой 8 Гц (группа «В»). Однако если учитывать нормальность развития кукурузы для этих стадий онтогенеза, то можно достоверно

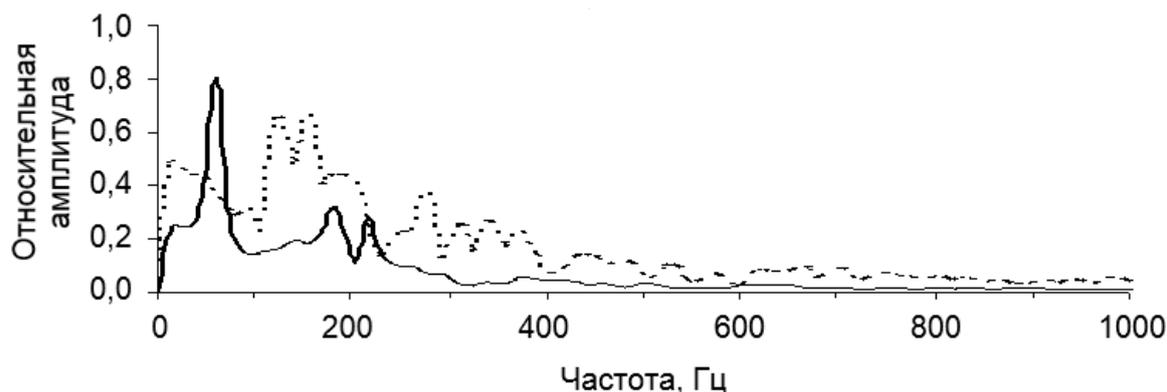


Рис. 5. Амплитудные спектры вибраций, передающихся на деревья тополя черного от движения автотранспорта в городе Донецке (по [13]).

Примечания: сплошная линия — лёгкие грузовые автомобили; пунктирная линия — тяжёлые грузовые автомобили

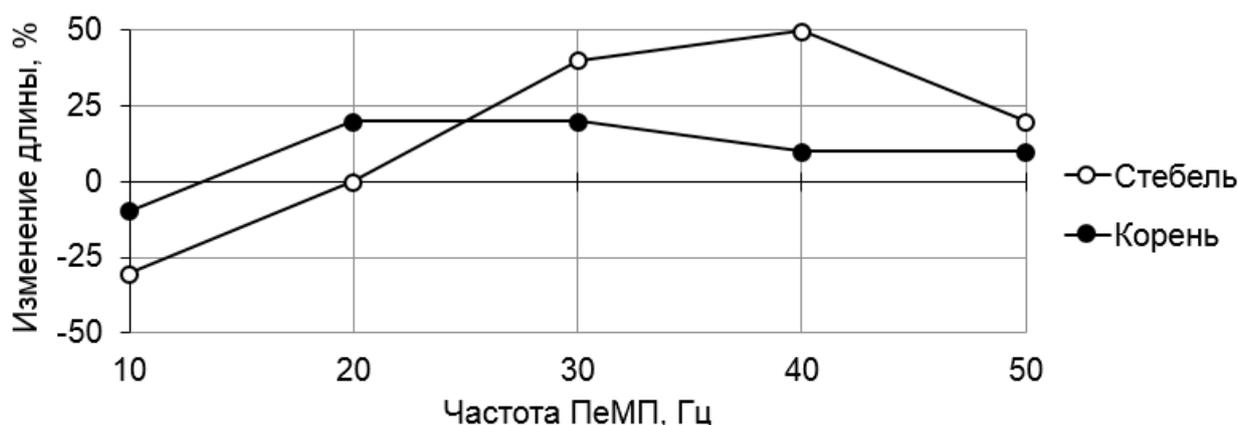


Рис. 6. Влияние сочетанного действия ПеМП (10–50 Гц) и вибрации (8 Гц) на изменение длины (%) надземной части растений и главного корня *Zea mays* L.

Примечание: 0% — контрольная группа

отметить ингибирующий эффект, связанный с явными аномалиями развития организма, выражающийся в значительном снижении ростовых показателей надземной части и недоразвитости корневой системы растений (недоразвит главный корень, а придаточные или отсутствовали совсем, или по количеству их было не более 1–3 шт.).

Стимулирующий эффект переменного магнитного поля в различных сериях проявился в следующих экспериментальных группах: № 1 (+20% в сравнении с контрольной группой), № 2 (+16%), № 3 и № 5 (+12%). При сочетанном действии низкочастотной механической вибрации (8 Гц) и ПеМП в целом отмечали стимулирующий эффект при прохождении фаз онтогенеза на 16–20% (группы № 7, № 9 и № 10), однако в группах № 9 и № 10 доля непроросших семян варьировала от 8% до 12%.

Влияние сочетанного действия переменного магнитного поля и вибрации (8 Гц) на морфометрию надземной части и корневой системы кукурузы сахарной.

Достоверное ($p < 0,01$) снижение ростовых показателей как надземной части, так и корневой системы кукурузы сахарной отмечали у двух групп растений («В» и № 6). В группе «В», растения которой в сухом состоянии обрабатывались только механической вибрацией частотой 8 Гц, отмечали критическое снижение длины стебля и главного корня со значениями –60% (рис. 4).

Следует отметить, что низкочастотная вибрация (рис. 5) является распространенной в спектре вибрационно-акустического загрязнения промышленных городов, источником которого является автотранспорт [12; 13].

Во второй группе растений, которые подверглись ингибирующему влиянию сочетанного действия ПемП ($B = 1$ мТл, $f_{ПемП} = 10$ Гц) и вибрации ($f_{вибр.} = 8$ Гц) (группа № 6), отмечали нарушения ростовых процессов надземной части на -30% , а корневой системы на -10% (рис. 4). Интересен тот факт, что при наложении физических полей ингибирующий эффект только механических колебаний (для группы «В») сглаживается и является не столь критичным (рис. 4).

Если проследить ход кривой биологического ответа организма (изменение морфометрии стебля и главного корня) на влияние сочетанного действия вибрации и ПемП в зависимости от частоты переменного магнитного поля, то мы можем обнаружить некое подобие накопительного положительного эффекта до значения частоты ПемП 40 Гц (для стебля) и 30 Гц (для главного корня), затем стимулирующее действие спадает и при $f_{ПемП} = 50$ Гц составляет 10–20% от контрольной группы (рис. 6).

В целом, в группах № 1–5 (влияние ПемП частотой 10–50 Гц) и в группах № 7–10 (сочетанное действие ПемП и вибрации) наблюдали стимулирующее действие физических факторов (рис. 4). Максимальные значения в развитии растений отмечены в группах № 3 и № 8 — влияние ПемП с частотой 30 Гц (+40% развитие стебля; +50% развитие корневой системы) и влияние ПемП с частотой 30 Гц + вибрация 8 Гц (+40% развитие стебля; +20% развитие корневой системы). В группе № 8 от 15% до 20% растений находились в фазе 1 листа, в связи с этим по сравнению с контролем именно их вклад давал высокие морфометрические показатели, и поэтому данные не совсем согласуются с результатами оценки онтогенеза растений.

Также необходимо выделить группу № 5 (ПемП 50 Гц), в которой отмечали развитие как стебля (+30%), так и главного корня (+20%). В группах № 9 и № 10 выявили значительное стимулирующее действие сочетанного влияния факторов на надземную часть растений (+50% и +20% соответственно), однако для корневой системы такое влияние было минимальным (до +10%).

Заключение

В результате проведенных нами исследований было установлено следующее:

1. Влияние низкочастотной вибрации (8 Гц) оказывает ингибирующий эффект на ранних стадиях онтогенеза кукурузы сахарной, выражающийся в значительном снижении ростовых показателей ее надземной части (-60% в сравнении с контрольной группой) и недоразвитости корневой системы растений (-60% в сравнении с контроль-

ной группой). В условиях промышленного города такие механические колебания присутствуют вдоль автомагистралей и входят в спектр вибрационно-акустического загрязнения территорий.

2. Влияние переменного магнитного поля с амплитудой 1 мТл, временем экспозиции 60 мин. и частотным диапазоном 10–50 Гц в целом имеет стимулирующий эффект на ранние стадии онтогенеза кукурузы сахарной «Пролетарская» (элита): от 12% до +20% в сравнении с контрольной группой. Максимальные значения в морфометрии растений (+40% — развитие стебля; +50% — развитие корневой системы) отмечены в группе, подвергшейся влиянию ПемП с частотой 30 Гц. В группах, облученных ПемП с частотами 10, 20 и 40 Гц стимулирующее действие составляло 10–20%. При максимальной частоте (50 Гц) отмечалось как развитие стебля (+30%), так и главного корня (+20%).
3. При сочетанном действии низкочастотной механической вибрации ($f_{вибр.} = 8$ Гц, $t = 60$ мин.) и ПемП ($B = 1$ мТл, $t = 60$ мин., $f_{ПемП}$ от 10 Гц до 50 Гц с шагом 10 Гц) отмечали стимулирующий эффект при прохождении фаз онтогенеза на 16–20% (группы, подвергшиеся вибрации ПемП в 20 Гц, 40 Гц, 50 Гц). Однако в двух последних группах фиксировались непроросшие семена (от 8% до 12%); также в этих группах выявлено значительное стимулирующее действие сочетанного влияния факторов на морфометрию надземной части растений (+50% при $f_{ПемП} = 40$ Гц и +20% при $f_{ПемП} = 50$ Гц), но для корневой системы такое влияние было минимальным (до +10%). Ингибирующий эффект получен в группе, растения которой подверглись влиянию сочетанного действия ПемП ($f_{ПемП} = 10$ Гц) и вибрации ($f_{вибр.} = 8$ Гц): нарушения ростовых процессов для надземной части составляли -30% , а корневой системы -10% .

Таким образом, нами установлены экологически безопасные параметры переменного магнитного поля ($B = 1$ мТл; $f_{ПемП}$ от 10 до 50 Гц) на семена кукурузы сахарной. Некоторые полученные схемы обработки семян магнитным полем ($B = 1$ мТл; $f_{ПемП} = 30$ Гц и 50 Гц) можно рекомендовать для предпосевной обработки *Zea mays* L. как наиболее оптимальные.

Использование механических колебаний для улучшения качества посадочного материала является актуальной задачей и экономически выгодной технологией. Однако, исходя из результатов проделанной работы, можно сделать вывод о сложной реакции растений в системе «эффект/доза» на сочетанное действие низкочастотной вибрации и переменного магнитного поля. Из опробованных параметров оптимальными для

предпосевной обработки являются следующие: $f_{ПЕМП} = 40 \text{ Гц} + f_{вибр.} = 8 \text{ Гц}$ и $f_{ПЕМП} = 50 \text{ Гц} + f_{вибр.} = 8 \text{ Гц}$ с временем экспозиции в каждой среде 1 час.

С позиций экологической безопасности рекомендуется снижение воздействия низкочастотной вибрации от автотранспорта с помощью использования в озеле-

нении промышленных городов схем гашения техногенных вибраций грунта методом подбора защитных зеленых насаждений, устойчивых к вибрации (с учетом ярусности), и использования схемы посадки в виде интерференционной гексагональной решетки с периодом, кратным половине длины волны грунта (например, по методу М.В. Нецветова [14]).

ЛИТЕРАТУРА

1. Маренко Ю.А., Ларионов В.Г. Виды антропогенного загрязнения окружающей природной среды и его влияние на здоровье населения городов как фактор национальной безопасности // Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Социально-экономические науки. 2014. Т. 14, вып. 1. С. 27–34.
2. Нецветов М.В. Совместное действие вибрации и химических медиаторов на рост ячменя посевного // Промышленная ботаника. 2008. № 8. С. 35–40.
3. Хиженков П.К., Добрица Н.В., Нецветов М.В. Сочетанное действие переменных магнитных полей и некоторых химических веществ на прорастание ячменя // Электронная обработка материалов. 2004. № 4. С. 83–86.
4. Хиженков П.К., Нецветов М.В. Накопление свинца растениями под влиянием электрических токов и вибраций // Экология и ноосферология. 2006. Т. 17, № 1–2. С. 51–54.
5. Протасов В.Р., Бондарчук А.И., Ольшанский В.М. Введение в электроэкологию. М.: Наука, 1982. 335 с.
6. Романов С.Н. Биологическое действие механических колебаний. Л.: Наука: Ленингр. отд-ние, 1983. 208 с.
7. Аксенов С.И., Грунина Т.Ю., Горячев С.Н. Особенности влияния низкочастотного магнитного поля на набухание семян пшеницы на различных стадиях // Биофизика. 2001. Т. 46, вып. 6. С. 1127–1132.
8. Белова Н.А., Леднев В.В. Влияние крайне слабых переменных магнитных полей на гравитропизм растений // Биофизика. 2001. Т. 46, вып. 1. С. 122–125.
9. Корниенко В.О., Котюк П.Ф., Яицкий А.С. Влияние переменного магнитного поля (1–14 мТл) на рост и развитие кукурузы сахарной // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. 2021. № 11. С. 17–23. DOI: 10.37882/2223–2966.2021.11.12.
10. Корниенко В.О., Котюк П.Ф., Яицкий А.С. Влияние переменного магнитного поля с различным временем экспозиции на рост и развитие кукурузы сахарной (*Zea mays L.*) // Естественные и технические науки. 2021. № 11 (162). С. 57–61. DOI: 10.25633/etn.2021.11.02.
11. ГОСТ 12038–84. Семена сельскохозяйственных культур. Методы анализа: сб. ГОСТов. М.: ИПК Изд-во стандартов, 2004. 47 с.
12. Нецветов М.В., Сулова О.П. Вібраційний вплив автомобільного транспорту на дерева придорожніх смуг // Вісник Львівського ун-та. Серія Біологічна. 2008. Вып. 48. С. 75–82.
13. Нецветов М.В., Хиженков П.К., Сулова Е.П. Введение в вибрационную экологию. Донецк: Вебер, 2009. 164 с.
14. Нецветов М.В. Спосіб гашення техногенних коливань ґрунту з використанням деревних рослин: патент на корисну модель № 69139, від. 25.04.2012.

© Корниенко Владимир Олегович (kornienkovo@mail.ru),

Котюк Полина Федоровна (pkotyuk01@mail.ru), Яицкий Андрей Степанович (yaitsky@sgspu.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»