

3. Traktory MTZ-80 i MTZ-82 / I. P. Ksenevich [i dr.]. – Moskva: Kolos, 1975. – 258 s.
4. Hmelevskij, A. V. Parovoz (ustrojstvo, rabota i remont) / A. V. Hmelevskij, P. I. Smushkov. – Moskva: Transport, 1973. – 416 s.

Information about authors

1. **Korzov Dmitriy Borisovich**, graduate student of the Department of Transport and Technological Machines and Complexes, Chuvash State Agricultural Academy, Cheboksary, K. Marx str., 29, e-mail: if7@academy21.ru, tel. 8-8352-62-05-55;

2. **Akimov Alexander Petrovich**, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Transport and Technological Machines and Complexes, Chuvash State Agricultural Academy, Cheboksary, K. Marx str., 29, e-mail: akimov_mechfak@mail.ru, tel. 8-8352-62-05-55;

3. **Medvedev Vladimir Ivanovich**, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Transport and Technological Machines and Complexes, Chuvash State Agricultural Academy, Cheboksary, K. Marx str., 29, e-mail: if7@academy21.ru, tel. 8-8352-62-05-55.

4. **Egorov Vitaliy Petrovich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Transport and Technological Machines and Complexes, Chuvash State Agricultural Academy, Cheboksary, K. Marx str., 29, e-mail: evp121@mail.ru, tel. 8-8352-62-05-55.

УДК 631.172

DOI: 10.17022/cxar-6089

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭЛЕКТРОСТИМУЛИРОВАНИЯ РАСТЕНИЙ ЗЕЛЕННЫХ КУЛЬТУР В УСЛОВИЯХ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ КУЛЬТИВАЦИОННЫХ СООРУЖЕНИЙ

С.В. Машков, С.И. Васильев, Т.С. Гриднева

Самарский государственный аграрный университет

446442, г. Кинель, п.г.т. Усть-Кинельский, Самарская область, Российская Федерация

Аннотация. Одним из способов повышения продуктивности овощных и зеленых культур является применение искусственного досвечивания растений в целях удлинения светового дня и повышения общего уровня освещенности. В Самарском ГАУ были проведены исследования по изучению эффективности стимулирования растений, находящихся в электрическом и электромагнитном поле. На первом этапе были выполнены теоретические исследования, направленные на установление связи между параметрами электрического поля и растительного объекта. На втором этапе проводились экспериментальные исследования для обоснования оптимальных параметров электрического (электромагнитного) поля с целью получения наибольшего эффекта от электростимулирования растений и семян. Для электромагнитной стимуляции растений использовалось пульсирующее электромагнитное поле в зоне роста и развития растений. Управляемое электромагнитное воздействие осуществлялось следующим образом: между двумя электродами различной полярности располагали растения, при этом под корнями растений находился электрод с положительным потенциалом, а над растением – с отрицательным. Направление внешнего электрического поля совпадало с направлением роста растений.

Результаты теоретических исследований показали, что растения при взаимодействии с пульсирующим электрическим полем создают два вида тока – сквозной и поляризационный. Электрические токи и магнитные поля влияют на интенсивность движения веществ, являющихся электролитами, в теле растения, которые ускоряют процесс фотосинтеза и обеспечивают ускоренный рост биомассы растений. Наиболее эффективным является стимулирование электрическим (электромагнитным) полем средней напряженности. Это позволяет выровнять растения по высоте, что принципиально важно при массовом производстве зеленой овощной продукции. Воздействие пульсирующим электрическим (электромагнитным) полем положительной направленности на растения оказывает на них благотворное влияние, является экологически чистым способом и может использоваться при производстве овощных зеленых культур.

Ключевые слова: стимулирование, рост растений, электрическое поле, магнитное поле, зеленая овощная культура.

Введение. Повышение урожайности (продуктивности) овощных и зеленых культур и в настоящее время является актуальной задачей. При этом повышение урожайности сейчас осуществляется в основном за счет применения минеральных удобрений и стимуляторов роста, полученных искусственным путем. Это неизбежно приводит к загрязнению окружающей среды и к снижению качества и безопасности получаемой продукции.

Одним из широко применяемых и экологически чистых способов повышения продуктивности овощных и зеленых культур является применение искусственного досвечивания растений в целях удлинения светового дня и повышения общего уровня освещенности, что позволяет значительно повысить их продуктивность.

Однако при использовании этого способа имеется ряд определенных ограничений. Во-первых, чрезмерное увеличение светового дня (свыше 18 часов) или уровня освещенности (свыше $30 \dots 50 \cdot 10^3$ лк) вызывает обратный эффект – приводит к угнетению растений.

Во-вторых, организация оптимального уровня освещенности как по световому потоку, так и по спектральному составу требует большого количества финансовых затрат.

В-третьих, проблема создания оптимального спектрального состава света для каждого вида овощных и зеленных культур не решена окончательно и требует дальнейших исследований.

В этой связи возникает необходимость поиска других способов повышения продуктивности овощных и зеленных культур, которые не требовали бы большого количества финансовых затрат и позволили продукции оставаться экологически чистой.

Периодическое стимулирование растений электрическим или электромагнитным полем является экологически чистым, недорогим и относительно простым способом повышения урожайности зеленных и овощных культур, выращиваемых как в закрытом, так и в открытом грунте.

В ФГБОУ ВО Самарский ГАУ были проведены исследования по изучению эффективности стимулирования растений в электрическом и электромагнитном поле, которые условно были разделены на два этапа.

На первом этапе проводились теоретические исследования, направленные на установление связи между параметрами электрического поля и растительного объекта.

Так как электрическое поле непостоянно во времени, то все исследуемые параметры являются комплексными. Параметрами электрического поля являются: напряжение, подводимое к электродам, и напряженность поля в зоне стимулирования. Растительный объект характеризуется следующими параметрами: удельная проводимость, диэлектрическая и магнитная проницаемость. Данные параметры также являются комплексными вследствие неоднородности состава растительных объектов [1].

На втором этапе проводились экспериментальные исследования для обоснования оптимальных параметров электрического (электромагнитного) поля, которые дают возможность получить наибольший эффект от электростимулирования растений и семян.

Цель исследования. Цель работы – определение эффективности электростимулирования растений зеленных культур для обоснования необходимости использования энергосберегающих элементов технологии выращивания овощных культур в условиях высокотехнологичных культивационных сооружений.

Материалы и методы исследований. С целью практической реализации метода электромагнитной стимуляции предлагается применять пульсирующее электромагнитное поле в зоне роста и развития овощных культур. В данном случае воздействие осуществляется следующим образом: овощные культуры располагаются между двумя электродами различной полярности. Под корнями зеленных растений находится электрод с положительным потенциалом, а над растением – с отрицательным. Таким образом, направление внешнего прикладываемого электрического поля совпадает с направлением роста растений. Металлические электроды 1 располагаются над растениями и непосредственно в грунте 7, близко к корневой системе, или под сосудом с почвой. При электростимулировании растений 6 необходимо расположить электроды таким образом, чтобы образуемое электромагнитное поле было однородным (рис. 1).

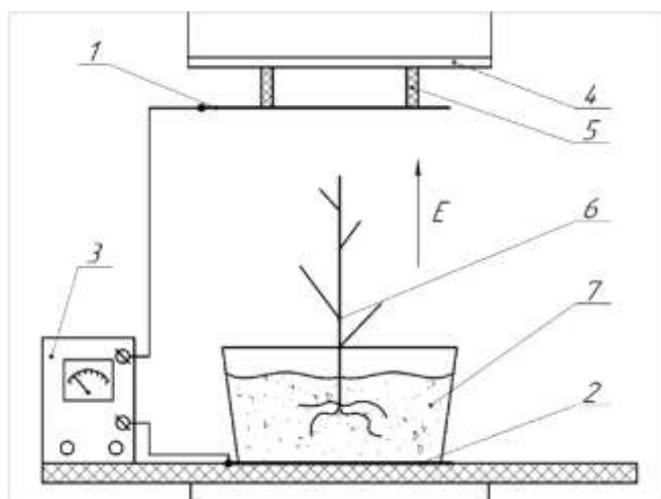


Рис. 1. Схема электромагнитного стимулирования растений:

- 1 – электрод верхний (потенциал отрицательный); 2 – электрод нижний (потенциал положительный); 3 – силовая генераторная установка с блоком управления; 4 – штанга для крепления верхнего электрода; 5 – изоляторы; 6 – растения, подвергаемые электромагнитному стимулированию; 7 – почва (грунт)

Конструктивная схема расположения стимулируемых растений относительно электродов, представленная на рисунке 1, может быть выполнена не только в одноярусном виде, но и в многоярусном, где ярусы расположены непосредственно друг над другом. Такое решение может быть актуально при создании биотехнологических модулей – закрытых контейнеров, предназначенных для ускоренного производства растительной овощной зеленой продукции. Особенно перспективным является применение данного способа стимулирования растений в условиях использования технологий ускоренной селекции. В процессе селекционной работы проводится большое количество экспериментальных исследований, при этом основным сдерживающим фактором экспериментов является низкая скорость роста растений. Предлагаемая технология позволяет увеличить скорость роста растений, а, следовательно, ускорить селекционную работу.

На электроды электростимулирующей установки подводится пульсирующее напряжение определенной амплитуды и частоты. Отзывчивость (реакция) отдельных культур растений определяет частоту подаваемого пульсирующего напряжения, которое во многих случаях устанавливается опытным путем.

Выпрямленное пульсирующее напряжение на электродах электромагнитной установки можно, кроме того, преобразовать по различной математической функции, например, меандра, пилообразно и др.

Основным значимым фактором при электростимулировании растений является напряжение, которое подается на электроды установки. Значения величины подаваемого напряжения определяется главным образом расстоянием между электродами h . Величина напряженности электрического поля E также зависит и от высоты расположения верхнего электрода над растением, подвергаемым электростимулированию, и глубиной (высотой) установки нижних электродов.

Напряженность электрического поля E , необходимая для электростимулирования конкретного вида зеленого растения, до сих пор удается устанавливать только опытным путем в зависимости от степени отзывчивости (реакции) растений. Диапазон рекомендуемых параметров напряженности имеет довольно широкий интервал значений: от 1 до 50 кВ/м [3].

При расположении электродов необходимо разместить их таким образом, чтобы все части растения: как надземная растительная, так и корневая части – не имели контакта с электродами. Непосредственный гальванический контакт электродов с частями растений может привести к протеканию через их корни и стебли недопустимо больших по значению токов проводимости, что может привести к гибели культурных растений.

Необходимо отметить, что напряжение, используемое для создания электрического поля в зоне стимулирования, является выпрямленным, то есть оно не переменное, а пульсирующее. Между электродами создается пульсирующее электрическое поле, которое генерирует вокруг себя круговое магнитное поле. Плоскость расположения векторов напряженности этого магнитного поля и его силовых линий направлена под прямым углом к вектору напряженности электрического поля. Наличие на электродах пульсирующего напряжения создаёт электромагнитное поле. Однако напряженность магнитной составляющей значительно меньше электрической, поэтому поле только приблизительно можно считать электрическим.

Механизм поведения растительного биологического объекта в условиях электромагнитного поля сложный. При неизменных параметрах электрического поля сам биологический объект является разнородным по физическим параметрам: магнитной и диэлектрической проницаемости, удельной проводимости и т. д. Отмеченные параметры являются комплексными величинами, которые зависят от частоты ω . При этом в зависимости от стадии развития, влажности и температуры биологические объекты могут относиться к проводящим средам ($G \gg \omega \varepsilon \varepsilon_0$), полупроводящим ($G \approx \omega \varepsilon \varepsilon_0$) и к диэлектрическим ($G \ll \omega \varepsilon \varepsilon_0$). Для учета характеристик (однородных изотропных, анизотропных, неоднородных) необходимо использовать комплексные показатели:

$$\dot{G} = G' + jG'' , \quad (1)$$

$$\dot{\varepsilon} = \varepsilon' + j\varepsilon'' , \quad (2)$$

$$\dot{\mu} = \mu' + j\mu'' . \quad (3)$$

Если параметры среды представить в комплексной форме, то при наличии сторонних сил ($E_{ст} \neq 0$ В) уравнение взаимодействия электромагнитного поля и растительного объекта можно описать с помощью теоремы Умова-Пойтинга, описывающей закон сохранения энергии электромагнитного поля [2]:

$$\oint \vec{I} d\vec{s} = \omega \cdot \left[\int_V \frac{\varepsilon'' \cdot E_m^2}{2} dV - \int_V \frac{\mu'' \cdot H_m^2}{2} dV \right] - j\omega \cdot \left[\int_V \frac{\varepsilon' \cdot E_m^2}{2} dV - \int_V \frac{\varepsilon'' \cdot H_m^2}{2} dV \right] - \frac{1}{2} \int \dot{\vec{E}}_{in} \cdot \vec{\delta} \cdot dV . \quad (4)$$

В данном случае теорема обеспечивает связь комплексных параметров растительного биологического объекта G , ε и μ с комплексными параметрами электромагнитного поля.

Для всех типов диэлектриков и полупроводников характерна удельная проводимость Y (сквозная проводимость), которая и обуславливает появление в них токов сквозной проводимости $\dot{I}_{ск}$. Электрический ток сквозной проводимости протекает через все части растения: листья, стебель и корень. Но большая его часть протекает через стебель, поэтому слишком большое значение этого тока может привести к повреждению стеблевой части растения и, как следствие, к его угнетению либо гибели.

Явление поляризации возникает из-за электрической проводимости. Возникающие пульсирующие электрическое или электромагнитное поля периодически воздействуют на полярные и неполярные молекулы, которые, в свою очередь, изменяют ориентацию в пространстве в соответствии с частотой поля. Это приводит к созданию поляризационного тока (тока смещения) $I_{см}$, А:

$$i_{см} = \frac{dD}{dt}, \quad (5)$$

где D – электрическая индукция, Кл/м² ($D = \epsilon_0 \epsilon_r E$) [2].

Полный ток, проходящий по растению, образуется путем складывания токов смещения и токов сквозной проводимости, так как они имеют одинаковое направление:

$$i = i_{см} + i_{ск}. \quad (6)$$

Напряженность электрического поля – E , кВ/м – является наиболее значимым параметром и нуждается в дополнительном исследовании. Через отношение напряжения, приложенного к электродам, к расстоянию между ними можно установить напряженность электрического поля:

$$\dot{E} = \frac{\dot{U}}{h}, \quad (7)$$

где h – расстояние между электродами, м.

Тогда величина полного тока, проходящего через растения, составит:

$$i = \frac{d}{dt} \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot \dot{E} + \dot{U} \cdot \bar{Y} = \frac{1}{h} \cdot \frac{d}{dt} \cdot (\bar{\epsilon}_a \cdot \dot{U}) + \dot{U} \cdot \bar{Y}_{ск}. \quad (8)$$

Совокупность тока сквозной проводимости и тока смещения вызывает направленное движение химических веществ в растениях, усиливая метаболические процессы, такие, как фотосинтез, и, в итоге, стимулирует растения. Это позволяет повысить скорость и энергию роста как надземной, так и корневой частей зеленых растений.

Относительная диэлектрическая проницаемость ϵ_r любых растений превышает диэлектрическую проницаемость воздуха: так, для зеленных культур – в 4...5 раз. Электростимулирование любых зеленых растений можно представить как неоднородную среду, состоящую из самих растений, воздушных промежутков, которые образуют единый резко-неоднородный диэлектрик. Напряженность электрического поля в воздушных промежутках и в отдельных частях растительного объекта будет неодинакова: таким образом электромагнитное поле становится неоднородным и значительно искривляется.

На рисунке 2 представлена схема, иллюстрирующая процесс искажения электрического поля. Так как растение представляет собой диэлектрик (со свойствами близкими к полупроводниковым), то его диэлектрическая проницаемость выше, чем у окружающего воздуха, и электрическое поле как бы захватывается телом растения.

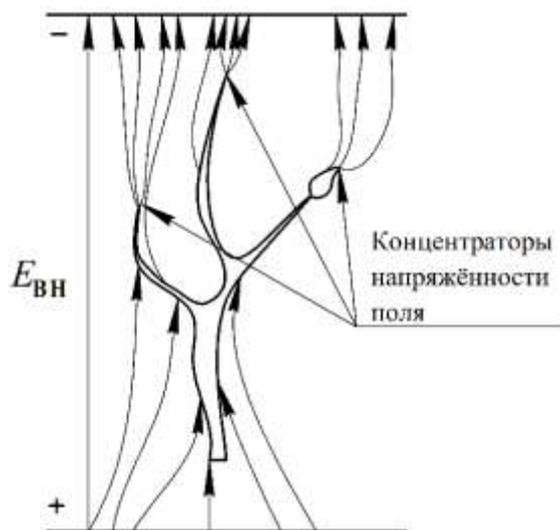


Рис. 2. Схема искривления силовых линий напряженности электрического поля в среде неоднородного диэлектрика

Это приводит к искажению электрического поля в пространстве и имеет негативные последствия. При неравномерной напряженности поля стимулирующий эффект по длине всего растения будет неодинаковым. С другой стороны, неравномерная напряженность приводит к появлению концентраторов напряженности поля на заостренных и тонких частях растений, таких, как вершины побегов и кончики листьев.

Для проверки теоретических предпосылок и гипотезы об эффективности электростимулирования растений (стимулирования растений в электрическом поле) были проведены экспериментальные исследования на овощных зеленых культурах.

Исследуемым фактором являлась величина напряженности электрического поля. Необходимо было выявить степень влияния электрического поля различной напряженности на интенсивность роста и развития растений.

Электрическое поле создавалось между несколькими парами электродов, расположенных на определенном одинаковом расстоянии друг от друга, к которым подводилось напряжение заданного значения от генерирующих установок. Напряжение было выпрямленным, пульсирующим. Частота пульсации во всех вариантах составляла 100 с^{-1} (синусоидальное напряжение частотой в 50 Гц, выпрямленное мостовым выпрямителем). Исследовались три варианта (градации) напряжений, равных 40 В, 220 В и 10 кВ, и, соответственно, напряженности поля. Для первого варианта В1 напряженность составила $E = 0,15 \text{ кВ/м}$, для второго В2 варианта – $E = 0,75 \text{ кВ/м}$ и для третьего варианта В3, соответственно, – $E = 37,0 \text{ кВ/м}$. Широкий размах значений напряженности поля объясняется необходимостью выявления оптимального значения напряженности поля по критерию отзывчивости растений на стимуляцию, так как до начала эксперимента его значение было неизвестно [5].

Каждый вариант исследуемого фактора задавался в четырехкратной повторности, включая контрольный вариант, когда растения не подвергались электрическому стимулированию.

Лабораторная генераторная установка состоит из трех независимых источников напряжений (ИН 1, ИН 2, ИН 3), генерирующих пульсирующее (выпрямленное) напряжение различных величин, трех пар электродов и соединительных проводов, с помощью которых каждая пара электродов подключается к соответствующему источнику напряжения (рис. 2). Электроды попарно расположены над и под стимулируемыми растениями, при этом электрод с положительным потенциалом расположен под кассетой, в которой установлены стаканчики с растениями, а электрод с отрицательным потенциалом подвешен на изоляторах над растениями.

Таким образом, направление электрического поля совпадает с направлением роста растений, что способствует движению минеральных и питательных веществ, ускоряет фотосинтез и, в целом, скорость роста и развития растений. Такой подход особенно актуален при выращивании (производстве) зеленых культур.

Для изучения влияния электростимулирования на рост растений в Самарском ГАУ была создана высоковольтная установка, которая дает возможность изменять величину выходного напряжения в значительном интервале (от 0 до 50 кВ). Изготовленная установка не имеет генератора частот и обеспечивает выходное напряжение частотой в 50 Гц (рис. 3).

Для защиты сотрудников и персонала от поражения током высокого напряжения электромагнитная установка собрана в металлический корпус.

Опытно-экспериментальная установка, изготовленная группой ученых Самарской ГАУ, состоит из следующих элементов: электродного стимулятора растений – ЭСР; диодного моста (VD_1), состоящего из четырех групп высоковольтных диодов – VD_4 ; повышающего трансформатора – T ; потенциометрического реостата – R_3 ; сетевых предохранителей – FU_1, FU_2 ; резисторов указателей напряжения – R_1, R_2 ; автоматического выключателя – Q ; светодиодных индикаторов – HL_1, HL_2 и вольтметра – V .

Источником питания экспериментальной установки является стандартная электрическая сеть с синусоидальным напряжением в 220 В с частотой 50 Гц. Внешнее быстродействующее устройство, которым является диодный мост, создает выходное напряжение как синусоидальным переменным, так и выпрямленным (постоянным) напряжением.

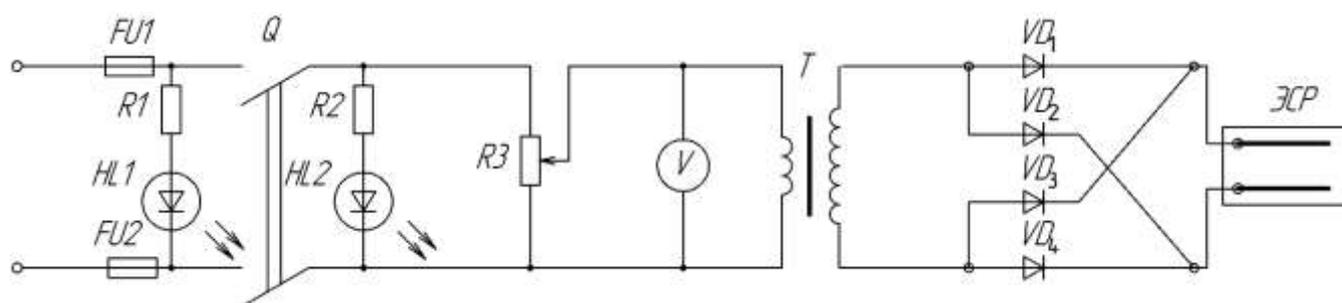


Рис. 3. Схема опытно-экспериментальной установки Самарской ГАУ для электростимулирования зеленых растений

Для защиты установки от короткого замыкания предназначены сетевые предохранители $FU1$, $FU2$. Светодиодный индикатор $HL1$ указывает наличие электрического напряжения на автоматическом выключателе Q . Для ограничения тока подключено сопротивление $R1$. Через включенный автомат Q сетевое напряжение подается на потенциометрический реостат $R3$. Реостат дает возможность изменять напряжение на первичной обмотке повышающего трансформатора T . Светодиодный индикатор $HL2$, подключенный через резистор $R2$, сигнализирует о наличии в нем напряжения. Регулирование напряжения на первичной обмотке трансформатора T осуществляется с помощью потенциометрического реостата $R3$ (интервал напряжения от 0 до 220 В). Величина напряжения замеряется аналоговым вольтметром V . Коэффициент трансформации повышающей трансформатора равен 0,00367. Экспериментальная установка для электростимулирования зеленых растений позволяет при подаче на первичную обмотку напряжения 220 В иметь на вторичной обмотке напряжение 60000 В. Выпрямительный блок, содержащий четыре группы выпрямительных высоковольтных диодов VD , позволяет модулировать выходное напряжение трансформатора. Электродный стимулятор растений $ЭСР$ представляет собой опорную диэлектрическую пластину (материал пластины – эбонит) с размещенными алюминиевыми электродами, которые, в свою очередь, подключены либо к выходу выпрямительного блока VD , либо непосредственно ко вторичной обмотке трансформатора [6].

В ходе эксперимента по три штуки растений высаживали в пластиковые стаканчики. Такая группа растений представляет собой одну повторность эксперимента.

Каждый отдельный вариант исследования содержал четыре повторности (рис. 4). Всего вариантов опытов было четыре, включая контрольный вариант. Таким образом, общее количество повторностей равнялось 16-ти, а испытуемых растений – 48 шт.

Досвечивание осуществлялось в периоды недостаточного естественного освещения: утром с 4.00 до 10.00, вечером с 17.00 до 23.00. Суммарная суточная продолжительность досвечивания составляла 12 часов.

Электростимулирование растений осуществлялось в утреннее и вечернее время в течение 4 часов: соответственно, с 6.00 до 10.00 утром и с 16.00 до 20.00 вечером. Его суммарная суточная продолжительность составляла 8 часов.

Эксперимент длился 40 дней. Всходы начали появляться на 7...14 день. По завершении эксперимента все растения были срезаны на уровне почвы, промерены по длине надземной части, также была зафиксирована их масса [4].

Общий вид результатов эксперимента представлен на рисунке 4.



Рис. 4. Общая схема расположения растений по вариантам

В ходе эксперимента полив растений по вариантам осуществлялся при использовании одинакового объема воды с помощью мерного стаканчика. Объем воды зависел от факторов внешней среды (температуры и влажности) и менялся в течение эксперимента, но во всех вариантах одинаково.

По завершении эксперимента были проведены замеры высоты растений, определена масса их зеленой (надземной) части.

Результаты исследований и их обсуждение. Для анализа экспериментальных данных были построены графики и гистограммы (диаграммы), отражающие параметры высоты растений по вариантам и повторностям, коэффициенты вариации v и среднеквадратические отклонения σ по вариантам и повторностям, а также по средним значениям в каждом варианте, включая контрольный.

Наиболее информативной при оценке эффективности стимулирования является диаграмма, представленная на рисунке 5. На диаграмме сопоставлены такие параметры как высота растений, коэффициент вариации и среднеквадратическое отклонение по вариантам.

Представленная диаграмма свидетельствует о том, что наилучший результат был получен в варианте В3. При наибольшей высоте растений (в среднем 378,08 мм) коэффициент вариации составил всего 3 %.



Рис. 5. Диаграмма распределения коэффициентов вариации v и среднеквадратических отклонений σ по вариантам

Худшие результаты наблюдаются в 1-ом варианте В1. При высоте растений всего около 180 мм коэффициент вариации достигал 9 %.

Эффективность стимулирования оценивалась по состоянию надземной зеленой части растений. При этом не для всех овощных культур, например, таких, как томаты, рост биомассы имеет принципиальное значение, а, например, для зеленных овощных культур – это очень важно.

Выводы. Выполненные в университете исследования и анализ полученных результатов позволяют сделать следующие выводы.

Растения зеленных и овощных культур, оказавшись под воздействием электрического поля, начинают взаимодействовать с ним. Характер взаимодействия во многом определяется родом и характером поля: электрическим либо магнитным, постоянным, пульсирующим либо переменным.

Было установлено, что вещества биологических объектов – растений, взаимодействуя с пульсирующим электрическим полем, создают два вида тока – сквозной и поляризационный. Электрические токи и магнитные поля влияют на интенсивность движения веществ (являющихся электролитами) в теле растения. В конечном итоге, это приводит к ускорению фотосинтеза и, как следствие, к ускоренному росту биомассы растений.

Наиболее эффективным является стимулирование электрическим (электромагнитным) полем средней напряженности, что позволяет как выровнять растения по высоте, что принципиально важно при производстве зеленой овощной продукции на продажу, так и получить существенный прирост биомассы по сравнению с контрольным вариантом.

Воздействие пульсирующим электрическим (электромагнитным) полем положительной направленности на растения оказывает на них положительное влияние, является экологически чистым способом и может использоваться при производстве овощных зеленных культур.

Литература

1. Евреинов, М. Г. Электричество в биологических процессах сельского хозяйства / М. Г. Евреинов // Доклады Всесоюзной Академии сельскохозяйственных наук им. В. И. Ленина. – 1949. – Вып. 6. – С. 98-104.
2. Малыгин, В. М. Теорема Умова-Пойтинга и вектор плотности потока электромагнитной энергии: разные условия, разные решения / В. М. Малыгин. – Текст: электронный // Cyberleninka.ru: [сайт]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/teorema-umova-poyntinga-i-vektor-plotnosti-potoka-elektromagnitnoy-energii-raznye-usloviya-raznye-resheniya> (дата обращения 05.05.2020).
3. Маслоброд, С. Н. Электрофизиологическая полярность растений / С. Н. Маслоброд. – Кишинев: Штиинца, 1973. – 172 с.

4. Разработка биотехнологического модуля для интенсификации технологии производства органической овощной продукции / Современному АПК – эффективные технологии: материалы Международной научно-практической конференции / С. И. Васильев, С. В. Машков, Т. С. Гриднева, В. А. Сыркин. – Кинель: РИО СамГАУ, 2019. – С. 86-89.
5. Стимулирование семян чечевицы импульсным магнитным полем / В.А. Сыркин [и др.] // Вестник аграрной науки Дона. – 2018. – № 42. – С. 53-58.
6. Mashkov, S.V. Theoretical substantiation of the device parameters for horizontal continuous measurement of soil hardness in technologies of coordinate arable farming / S.V. Mashkov [et al.] // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. – 2018. – Vol. 9, N. 4. – P. 1067-1076.

Сведения об авторах

1. **Машков Сергей Владимирович**, кандидат экономических наук, доцент кафедры электрификации и автоматизации АПК, Самарский государственный аграрный университет, 446442, Самарская область, г. Кинель, п. г. т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, д. 1; e-mail: mash_ser@mail.ru, тел.: +79397540486 (доб.) 300;
2. **Васильев Сергей Иванович**, кандидат технических наук, доцент кафедры электрификации и автоматизации АПК, Самарский государственный аграрный университет, 446442, Самарская область, г. Кинель, п. г. т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, д. 1; e-mail: ssaа-samara@mail.ru, тел.: +79397540486 (доб.) 300;
3. **Гриднева Татьяна Сергеевна**, кандидат технических наук, доцент кафедры электрификации и автоматизации АПК, Самарский государственный аграрный университет, 446442, Самарская область, г. Кинель, п. г. т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, д. 1; e-mail: ssaа-samara@yandex.ru, тел.: +79397540486 (доб.) 300.

EFFECTIVENESS OF ELECTRICAL STIMULATION OF PLANTS OF GREEN CULTURES IN CONDITIONS OF HIGH-TECHNOLOGICAL CULTIVATION CONSTRUCTIONS

S.V. Mashkov, S.I. Vasiliev, T.S. Gridneva

Samara State Agrarian University

446442, Kinel, urban settlement Ust-Kinelsky, Samara Region, Russian Federation

Abstract. *One of the ways to increase the productivity of vegetable and green crops is using of artificial illumination of plants in order to lengthen daylight hours and increase the overall level of illumination. In the Samara State Agrarian University, researches were conducted to study the effectiveness of stimulation of plants located in an electric and electromagnetic field. At the first stage, theoretical studies were carried out aimed at establishing a relationship between the parameters of the electric field and the plant object. At the second stage, experimental studies were conducted to justify the optimal parameters of the electric (electromagnetic) field in order to obtain the greatest effect from electrical stimulation of plants and seeds. For electromagnetic stimulation of plants, a pulsating electromagnetic field was used in the zone of plant growth and development. The controlled electromagnetic effect was carried out as follows: plants were placed between two electrodes of different polarity, while an electrode with a positive potential was located under the plant roots, and a negative one above the plant. The direction of the external electric field coincided with the direction of plant growth.*

The results of theoretical studies showed that plants interacting with a pulsating electric field create two types of current - pass-through and polarization. Electric currents and magnetic fields affect the intensity of movement of substances that are electrolytes in the plant body, which accelerate the process of photosynthesis and provide accelerated growth of plant biomass. The most effective is stimulation by an electric (electromagnetic) field of medium intensity. This allows you to align the plants in height, which is fundamentally important for the mass production of green vegetable products. The impact of a pulsating electric (electromagnetic) field of a positive orientation on plants has a beneficial effect on them, it is an environmentally friendly method and can be used in the production of green vegetables.

Key words: *stimulation, plant growth, electric field, magnetic field, green vegetable crop.*

References

1. Evreinov, M. G. Elektrichestvo v biologicheskikh processah sel'skogo hozyajstva / M. G. Evreinov // Doklady Vsesoyuznoj Akademii sel'skohozyajstvennykh nauk im. V. I. Lenina. – 1949. – Vyp. 6. – S. 98-104.
2. Malygin, V. M. Teorema Umova-Poytinga i vektor plotnosti potoka elektromagnitnoy energii: raznye usloviya, raznye resheniya / V. M. Malygin. – Tekst: elektronnyj // Syberleninka.ru: [sajt]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/teorema-umova-poyntinga-i-vektor-plotnosti-potoka-elektromagnitnoy-energii-raznye-usloviya-raznye-resheniya> (data obrashcheniya 05.05.2020).
3. Maslobrod, S. N. Elektroфизиологическая polyarnost' rastenij / S. N. Maslobrod. – Kishinev: SHTiincea, 1973. – 172 s.

4. Razrabotka biotekhnologicheskogo modulya dlya intensivatsii tekhnologii proizvodstva organicheskoy ovoshchnoy produktsii / Sovremennomu APK – effektivnye tekhnologii: materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii / S. I. Vasil'ev, S. V. Mashkov, T. S. Gridneva, V. A. Syrkin. – Kinel': RIO SamGAU, 2019. – S. 86-89.
5. Stimulirovanie semyan chechevicy impul'snym magnitnym polem / V.A. Syrkin [i dr.] // Vestnik agrarnoj nauki Dona. – 2018. – № 42. – S. 53-58.
6. Mashkov, S.V. Theoretical substantiation of the device parameters for horizontal continuous measurement of soil hardness in technologies of coordinate arable farming / S.V. Mashkov [et al.] // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. – 2018. – Vol. 9, N. 4. – P. 1067-1076.

Information about authors

1. **Mashkov Sergey Vladimirovich**, Candidate of Economics Sciences, Associate Professor of the Department of Electrification and Automation of AIC, Samara State Agrarian University, 446442, Samara Region, Kinel, village of Ust-Kinelsky, Uchebnaya str., 1; e-mail: mash_ser@mail.ru, tel.: +79397540486 (ext.) 300;
2. **Vasiliev Sergey Ivanovich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Electrification and Automation of AIC, Samara State Agrarian University, 446442, Samara Region, Kinel, village of Ust-Kinelsky, Uchebnaya str., 1; e-mail: ssaa-samara@mail.ru, tel.: +79397540486 (ext.) 300;
3. **Gridneva Tatyana Sergeevna**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Electrification and Automation of Agro-Industrial Complex, Samara State Agrarian University, 446442, Samara Region, Kinel, village of Ust-Kinelsky, Uchebnaya str., 1; e-mail: ssaa-samara@yandex.ru, tel.: +7 9397540486 (ext.) 300.

УДК 631.22.014:636.084.7

DOI: 10.17022/p62y-at55

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ КОНСТРУКЦИИ КОРМОРАЗДАТЧИКА ДЛЯ КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА

А.П. Петров

*Чувашская государственная сельскохозяйственная академия
428003, Чебоксары, Российская Федерация*

Аннотация. Наиболее трудоемким в молочном животноводстве является кормление животных, в процессе которого применяется множество механизмов различной конструкции, отличающихся своей производительностью.

В статье представлена новая конструкция кормораздатчика, позволяющая увеличить зону обслуживания животных при раздаче. Это устройство содержит кормопровод с подвижным дном, загрузочной горловиной и патрубком, соединенным с всасывающей трубой вентилятора. Корпус кормопровода выполнен в виде короба, а подвижное дно – в виде гибкой ленты, прикрепленной к барабанам, установленным по обоим концам короба. Один конец ленты намотан на один из барабанов таким образом, что обеспечивает перемещение разгрузочного устройства, выполненного в виде циклона с дозатором. Барабаны снабжены механизмом реверсивного привода. Внутренняя полость кормопровода и циклона связаны между собой через окна подвижного дна, при этом эти окна внутри короба отгорожены друг от друга щитком, у которого один конец жестко закреплен к внутренней поверхности подвижного дна, а другой – плотно прилегает к внутренней поверхности кормопровода.

К коробу по обоим концам прикреплены опорные катки, которые установлены на направляющие. Для исключения прогиба подвижного дна от веса разгрузочного устройства и для устранения колебаний от перепада давлений они установлены своими краями в пазы, которые прикреплены к боковой стенке короба и армированы жесткими прутками, размещенными внутри ленты с определенным шагом в поперечном направлении. Торцовые части короба перекрыты подпружиненными заглушками, обеспечивающими герметизацию внутренней полости короба при наматывании или разматывании ленты подвижного дна на барабаны.

Применение предлагаемого устройства обеспечит непрерывность процесса раздачи кормов по всей длине животноводческого помещения при расположении кормушек поперек здания, что увеличит зону его обслуживания, а полученные выражения аналитической зависимости позволили рассчитать основные конструктивно-технологические параметры кормораздатчика при его проектировании.

Ключевые слова: кормопровод; подвижное дно; загрузочная горловина; короб; гибкая лента; барабан; циклон; дозатор; реверсивный привод; опорные катки.