

processes. The authors have obtained analytical formulas for a probability of potato tuber passing through openings of a rectangular, triangular, and hexagonal type. The proposed mathematical approach will help determine the dimensions of the calibration holes for designing potato sorting machines in order to ensure the maximum possible calibration accuracy. The developed approach is a theoretical base for further application of theory-probabilistic methods in the study of farm produce separation processes.

Key words: potato size calibration, ellipsoid, Buffon problem, probability of ellipse intersection of rectangle, triangle, and hexagon sides.

References

1. Pavlov A. Ye., Pavlova L.A. Kalibrovka klubney kartofelya [Potato tubers calibration]. *Vestnik FGOU VPO "MGAU imeni V.P. Goryachkina"*, 2017, No. 3. Pp. 15-20. (In Rus.)
2. Petrov G.D. Kartofeleuborochnyye mashiny [Potato-harvesting machines]. Moscow, Mashinostroyeniye, 1984. 320 p. (In Rus.)
3. Yerokhin M.N. Detali mashin i osnovy konstruirovaniya [Machinery parts and design principles]. Moscow, KolosS, 2005. 464 p. (In Rus.)
4. Székey G. Paradoksy v teorii veroyatnostey i matematicheskoy statistike [Paradoxes in probability theory and mathematical statistics]. Moscow, Mir, 1990. 240 p. (In Rus.)
5. Pavlov A. Ye., Pavlova L.A. Ellipticheskiye funktsii v zadachakh teoreticheskoy mekhaniki [Elliptic functions applied in theoretical mechanics]. Izhevsk, Izd-vo IzhGSKhA, 2007. 132 p. (In Rus.)
6. Kendall M., Moran P. Geometricheskiye veroyatnosti [Geometrical probabilities]. Moscow, Nauka, 1972. 192 p. (In Rus.)
7. Pavlov A. Ye., Pavlova L.A. Elementy matematicheskoy statistiki [Elements of mathematical statistics]. Izhevsk, Izd-vo IzhGSKhA, 2010. 83 p. (In Rus.)

Received on January 17, 2017

УДК 631.621.3

ВОРОБЬЕВ ВИКТОР АНДРЕЕВИЧ, докт. техн. наук, профессор

E-mail: tatiana49@mail.ru

ИВАНОВ ЮРИЙ ГРИГОРЬЕВИЧ, докт. техн. наук, профессор

E-mail: iy.electro@mail.ru

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, ул. Тимирязевская, 49, г. Москва, 127550, Российская Федерация

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА НА РАЗВИТИЕ РАСТЕНИЙ

Вопросам влияния электрического тока на растения посвящены многочисленные исследования ученых. Природа воздействия электричества на растения во многом хорошо изучена. Установлена принципиальная возможность использования обработки растительных объектов электрическим током с целью стимулирования корнеобразования и приживаемости прививок плодовых культур, увеличения урожайности зерновых и овощных культур. Доказано, что при стимуляции ускоряется прорастание семян, черенков и клубней, активируются процессы жизнедеятельности, повышается урожайность, сокращаются сроки созревания и т.д. Такая обработка отличается незначительными энергетическими затратами; возможностью широкого варьирования режимами и точностью дозирования интенсивности воздействия; малой экспозицией. Целью исследования являлось выяснение влияния направления постоянного тока на развитие растения. Эксперимент проводился в августе 2016 г. на кафедре «Электропривод и электротехнологии» РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. В опыте принимали участие отрезки лозы винограда длиной 60...70 мм, диаметром 4...5 мм, погруженные в воду комнатной температуры, по черенкам пропускали электрический ток. В результате на третий день эксперимента на черенках, подключенных к отрицательному полюсу батарейки, обозначились почки. На пятый день на концах черенков, расположенных в воде, появились корешки. Через неделю листки существенно увеличились в размерах. На нижних концах че-

ренков появилось до пяти корешков длиной около сантиметра каждый. Черенки, подключенные к положительному зажиму батарейки, не проявляли никаких признаков жизни. Экспериментально установлено, что подключение отрицательного полюса источника постоянного электрического тока к верхней части погруженного в воду черенка виноградной лозы стимулирует жизнедеятельность черенка, которая проявляется в интенсивном корнеобразовании и распускании почек.

Ключевые слова: электротехнология, черенок, постоянный ток, электрическая цепь, стимуляция, виноградная лоза, корешки.

Введение. Воздействие электричества на растения хорошо изучено [1-3]. В основу классификаций, охватывающих основные формы воздействия электричества на растения, положены следующие признаки: способ воздействия, время воздействия в агротехнологическом цикле, растительные органы, на которые направлено воздействие, и характер ответной реакции растения.

Морфологический и физиологический характер проявления ответных реакций на воздействие зависит от дозы, и его можно разделить на три группы: стимуляцию, угнетение функциональной активности и разрушение клеточной структуры. В настоящее время установлена принципиальная возможность обработки растительных объектов электрическим током с целью стимулирования корнеобразования и приживаемости прививок плодовых культур, увеличения урожайности зерновых и овощных культур. При стимуляции ускоряется прорастание семян, черенков и клубней, активизируются процессы жизнедеятельности, повышается урожайность, сокращаются сроки созревания и т.д. [4, 5]. Такая обработка отличается незначительными энергетическими затратами; возможностью широкого варьирования режимами и точностью дозирования интенсивности воздействия; малой экспозицией.

Во всех известных способах обработки воздействием электрического тока подвергается живая растительная ткань. Прямое воздействие электричества происходит при непосредственном действии электрического тока и его полей целиком на растение или на отдельные его органы с целью стимуляции, угнетения или разрушения клеточной структуры.

В предпосевную фазу агротехнического цикла широко используются электрические, магнитные и электромагнитные поля для стимуляции семян и вегетативных органов (клубней, черенков и т.д.). При этом всхожесть, рост и последующее развитие растений тем сильнее, чем ниже качество обрабатываемого материала [6]. Обработка семян в вышеуказанных полях усиливает действие ферментов, вызывает интенсивный обмен веществ в прорастающем семени, ускоряет рост и развитие растений и повышает их продуктивность.

В период онтогенеза используется подача отрицательного потенциала на концы побегов для ускорения сокодвижения под влиянием электроосмоса, который применяется и для изменения направления движения соков в предуборочную фазу, чтобы ускорить опадание созревших плодов или листьев деревьев перед снегопадами. Электроосмос при по-

ложительном потенциале веток задерживает пробуждение растений ранней весной.

В период онтогенеза возможно управление ходом развития растений с помощью электрических полей. Широко известны случаи положительного влияния электромагнитных полей линий электропередачи на растения. Для искусственного стимулирования в сельскохозяйственном производстве используются специальные устройства [4], с помощью которых электрические поля действуют на растения как в защищенном, так и открытом грунте. Наряду со стимулирующим действием электрические поля при соответствующих режимах могут оказывать и угнетающее воздействие, что также используется для активного электрофизиологического управления жизнедеятельностью растений.

В предуборочную фазу изменением параметров полей и электрического тока, которые при онтогенезе приводили к стимуляции, добиваются угнетения, замедления сокодвижения и т.д. для равномерного и одновременного созревания плодов, чтобы повысить эффективность механизированной уборки урожая. Воздействуя электрическими разрядами на стебли, например табака и подсолнечника, осуществляют кольцевание небольшого участка, прерывая сокодвижение. В результате наступает режим голодного обмена веществ и равномерное созревание корзинок подсолнечника или листьев табака. Это также повышает качество последующей механизированной уборки.

Исследования по влиянию на растения постоянного тока проводились в Великобритании под руководством профессора Ф.А. Бенсона и М.Ф. Дипросе [7, 8]. Эти опыты выполнялись в лабораторных условиях с растениями, выращенными в вегетационных сосудах, а цепь тока определялась парой электродов, один из которых контактировал со стеблем растения, а другой заглублялся в почву. В результате анализа полученных данных установлено:

1. Токи менее 100 мкА не вызывают разрушения растительной ткани.

2. При токах от 100 мкА до единиц миллиампер происходит самопроизвольное возрастание значения тока до некоторого предельного значения, сопровождающееся разрушением растительной ткани.

3. При токах от 6 до 46 мА самопроизвольное увеличение значения тока не прекращается, вплоть до разрыва тканей растения.

4. Летальный исход наступает при незначительных значениях напряжений (например, для гороха – 300...400 В).

5. Время, необходимое для повреждения растения, составляет десятки минут.

Также проводились исследования влияния переменного тока на растения и растительную ткань. Основная часть экспериментов также выполнялась в лабораторных условиях. Выводы по результатам опытов [9]:

1. Чем меньше значение напряжения, приложенного к обрабатываемому растению, тем больше время обработки.

2. Время обработки в первом приближении можно считать обратно пропорциональным квадрату приложенного к растению напряжения.

3. Даже при одинаковых геометрических размерах растений одного и того же вида наблюдается:

а) значительный разброс как начальных, так и конечных токов обработки;

б) изменение времени достижения летального исхода;

в) значительный разброс конечных значений сопротивления растений (после обработки).

4. В процессе обработки нарастание тока, протекающего через растение, происходит неравномерно: вначале имеется область с малой скоростью, а затем – с большей скоростью нарастания, за которыми следует область постоянной силы тока, длящейся вплоть до разрушения растительной ткани, после чего ток падает до нуля.

Определением летальной дозы энергии в зависимости от периода вегетации занимались исследователи США, которые проводили эксперименты в лабораторных условиях на различных видах культурных и сорных растений, в результате чего было установлено [9]:

1. Доза энергии, необходимая для гибели растения, при электрическом повреждении изменяется от 40 до 3000 Дж.

2. В зависимости от времени вегетации летальная доза для одного и того же вида растения может отличаться в 10...15 раз.

3. С увеличением периода вегетации повышается величина повреждающей дозы электрической энергии.

4. При обработке растений с разветвленной корневой системой снижается эффективность электрических воздействий, что также характерно и для обработки растений при повышенной влажности почвы.

5. Разрушение растительной ткани наблюдается только у той части растений, через которую протекал электрический ток.

Цель исследования – выяснение влияния направления постоянного тока на развитие растения.

Материалы и методика исследования. Для выяснения влияния направления постоянного тока на развитие растений на кафедре «Электропривод и электротехнологии» РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева был выполнен несложный опыт. В летний период (август) были использованы отрезки впohne развитой лозы винограда диаметром 4...5 мм. Перед опытом с лозы были удалены все листья. Из нее вырезали три отрезка-черенка (чубука) длиной 60...70 мм: два рабочих и один кон-

трольный. Черенки были оформлены таким образом, чтобы узлы располагались на расстоянии 2/3 длины от нижнего и 1/3 длины от верхнего конца черенка. Для опыта использовались стеклянные банки емкостью 0,5 л, в которые была налита обычная водопроводная вода 0,3 л.

Опыт выполнялся при комнатной температуре. Рабочие черенки были зафиксированы на расстоянии 50 мм друг от друга специальной распоркой из оргстекла. Контрольный черенок располагался в емкости свободно. Все черенки нижними концами были погружены в воду. Верхние концы рабочих черенков были подключены к зажимам пальчиковой батарейки. Присоединение торцевых частей черенков осуществлялось путем введения в сердцевину черенков медных проводников. Удобным приемом оказался способ с использованием стальных булавок. Схема расположения черенков представлена на рисунке, из которого видно, что торцы черенков подключены к полюсам батарейки. Благодаря такому соединению по черенкам протекает электрический ток в противоположных направлениях. Это дает возможность выяснить влияние направления электрического тока на развитие черенков.

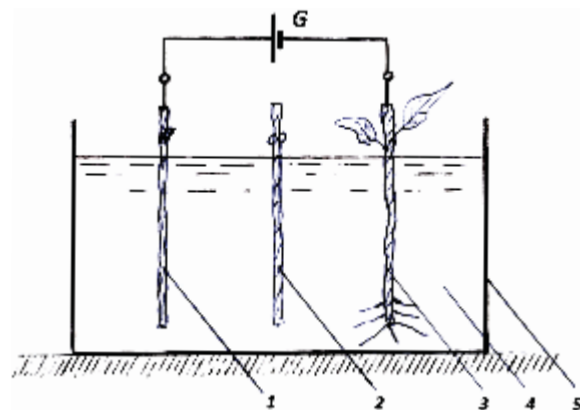


Схема опыта по электротехнологическому стимулированию черенков винограда:
1, 3 – черенки, подключенные к источнику электрического тока;
2 – контрольный черенок; 4 – вода;
5 – емкость; G – источник тока

Наблюдения за черенками показали, что уже на третий день на черенках, подключенных к отрицательному полюсу батарейки, заметно оживились узлы – на них четко обозначились почки, которые затем трансформировались в листки. На пятый день на концах черенков, расположенных в воде, появились корешки: один, затем второй и т.д. Через неделю листки существенно увеличились в размерах. На нижних концах черенков появилось до пяти корешков длиной около сантиметра каждый.

Черенки, подключенные к положительному зажиму батарейки, не проявляли никаких признаков жизни.

Контрольные черенки проявили себя лишь слабым набуханием почки в области узла.

При разборке схемы привлекла внимание еще одна особенность: черенки, подключенные к положительному зажиму батарейки, при незначительном нажатии легко переламывались в месте расположения узла. Причем место излома оказывалось очень ровным.

Результаты и обсуждение. Выполненный эксперимент на примере виноградных черенков показал влияние направления постоянного тока на ускорение корнеобразования – кильчевания. Причем, что важно для практики, процессы корнеобразования осуществлялись без применения стимуляторов роста: корневина, гетероауксина и т.п.

Следует также отметить факт, связанный с экономией времени. Известно, что заготовка черенков осуществляется осенью, затем следуют ответственные периоды правильного хранения и организации проращивания черенков. Электротехнологические приемы проращивания черенков значительно сокращают затраты времени [9, 10]. Их можно проводить практически в любое время года.

Интересны и многообещающие опыты профессора В.И. Баева, выполненные в Волгоградском государственном аграрном университете, по стимуляции процессов прививки плодовых культур. Доказано, что подключение положительного полюса батареи к подвою, а отрицательного – к привою существенно ускоряет процесс приживаемости прививок. Важным преимуществом предлагаемого способа стимуляции является то, что прививку можно осуществлять практически в любое время года [6].

Выводы

Установлено, что подключение отрицательного полюса источника постоянного электрического тока к верхней части погруженного в воду черенка виноградной лозы стимулирует жизнедеятельность, ко-

торая проявляется в интенсивном корнеобразовании и распускании почек. Таким образом, воздействие электрического тока на черенки растений может стать важным электротехнологическим приемом.

Библиографический список

1. Галактионов С.Г., Юрин В.М. Ботаники с гальванометром. М.: Знание, 1979. 143 с.
2. Патури Ф. Растения гениальные инженеры природы. М., 1982. 272 с.
3. Сазыкин В.Г. Классификация воздействий электричества на растения // В кн.: Электропривод и источники автономного питания для механизации трудоемких процессов в растениеводстве: Труды Кубанского СХИ. Краснодар, 1985. Вып. 249. С. 60-65.
4. Басов А.М. [и др.]. Электротехнология. М.: Агропромиздат, 1985. 256 с.
5. Рубцов П.А. [и др.]. Применение электрической энергии в сельском хозяйстве. М.: Колос, 1964. 503 с.
6. Баев В.И. Способ электрического стимулирования приживаемости прививок растений: Авторское свидетельство РФ № 2366159.
7. Diprose M.F. Electrohermal control of weed beet and bolting sugar beet / M.F. Dirose, F.A. Benson, R. Nacham // Weed research. 1980. V. 20. № 5. P. 311-322.
8. Dykes W.Q. Principles and practices of electrical weed control // American Society of Agricultural Engineers. 1980. Paper № 80-1007. 9 p.
9. Кудряков А.Г. Повышение способности корнеобразования виноградных черенков с помощью электрического тока // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2007. № 8. С. 16-17.
10. Стрельцов Б.Н., Рукавишников А.М., Коротанов В.А. Электрофизическая стимуляция черенков // Цветоводство. 1984. № 5. 16 с.

Статья поступила 02.03.2017

EFFECT OF ELECTRIC CURRENT ON PLANT GROWTH

VICTOR A. VOROBYEV, DSc (Eng), Professor

E-mail: tatiana49@mail.ru

YURI G. IVANOV, DSc (Eng), Professor

E-mail: iy.electro@mail.ru

Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, Timiryazevskaya str., 49, Moscow, 127550, Russian Federation

The effects of electric current on plants have been studied by numerous scientists. Currently, the nature of the electricity effects on plants has been comprehensively studied in many respects. The authors have proved a principle possibility of treating plants with electric current to stimulate their root formation as well as to ensure the survival of fruit crop inoculations and increase the yield of cereals and vegetable crops. It has been proved that electric stimulation contributes to the accelerated germination of seeds, cuttings and tubers, more intensified

processes of vital activity, increased yields, shortened maturation periods, and etc. This treatment is characterized by low energy costs; a wide range of mode variation, the accuracy of applied current intensity as well as short exposure time. The study aimed at the determination of the influence of the DC direction on plant development. The experiment was conducted in August 2016 at the Department of Electric Drive and Electrotechnology of RSAU-MAA named after K.A. Timiryazev. In the experiment, vine grape cuttings of 60...70 mm in length and 4...5 mm in diameter were immersed in room-temperature water and exposed to an electric current action. As a result, on the third day of the experiment, some buds were identified on cuttings connected to the negative pole of the battery. On the fifth day, the cuttings immersed in water produced rootlets at their ends. A week later, the grape leaves significantly increased in size. The lower ends of the cuttings managed to produce up to five rootlets of about a centimeter in length. The cuttings connected to the positive terminal of a battery showed no sign of life activity. The present research has experimentally found that connecting the negative pole of the permanent electric current source to the top of a grapevine cutting immersed in water stimulates vital functions of the cutting manifesting themselves in intensive root formation and bud blooming.

Key words: electrotechnology, cutting, direct current, electric circuit, stimulation, grape vine, rootlets.

References

1. Galaktionov S.G., Yurin V.M. Botaniki s gal'vanometrom [Botanists with a galvanometer]. Moscow, Znaniye, 1979, 143 p. (In Rus.)
2. Paturi F. Rasteniya genial'nyye inzhenery prirody [Plants as brilliant engineers of nature]. Moscow, 1982, 272 p. (In Rus.)
3. Sazykin V.G. Klassifikatsiya vozdeystviy elektrichestva na rasteniya [Classification of the effects of electricity on plants] In.: *Elektroprivod i istochniki avtonomnogo pitaniya dlya mekhanizatsii trudoyemkikh protsessov v rasteniyevodstve: Trudy Kubanskogo SKhI*. Krasnodar, 1985. Issue. 249. Pp. 60-65. (In Rus.)
4. Basov A.M. [and etc.]. Elektrotekhnologiya [Electrotechnology]. Moscow, Agropromizdat, 1985, 256 p. (In Rus.)
5. Rubtsov P.A. [and etc.]. Primeneniye elektricheskoy energii v sel'skom khozyaystve [Application of electrical energy in agriculture]. Moscow, Kolos, 1964, 503 p. (In Rus.)
6. Bayev V.I. Sposob elektricheskogo stimulirovaniya prizhivayemosti privivok rasteniy [Method of electrical stimulation of the survival of plants inoculations]: Author's certificate of the Russian Federation No. 2366159 (In Rus.)
7. Diprose M.F. Electrohermal control of weed beet and bolting sugar beet / M.F. Diprose, F.A. Benson, R. Hacham, Weed Research, 1980, V. 20. No. 5. Pp. 311-322.
8. Dykes W.Q. *The American Society of Agricultural Engineers*, 1980. Paper No. 80-1007. 9 p.
9. Kudryakov A.G. Povysheniye sposobnosti korneobrazovaniya vinogradnykh cherenkov s pomoshch'yu elektricheskogo toka [Increasing the rooting ability of grape cuttings with the use of electric current]. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva*, 2007, No. 8. Pp. 16-17. (In Rus.)
10. Streltsov B.N., Rukavishnikov A.M., Korotantov V.A. Elektrofizicheskaya stimulyatsiya cherenkov [Electrophysical stimulation of cuttings]. *Tsvetovodstvo*, 1984, No. 5. 16 p. (In Rus.)

Received on March 2, 2017