

Особенности электрических сигналов в растениях при действии различных типов раздражителей

Алексей Серов Дмитриевич

11 класс, МАОУ Школа № 45

Институт Биологии и Биомедицины ННГУ им. Н.И. Лобачевского

Научный руководитель: М.А. Мудрилов

младший научный сотрудник ННГУ им. Н.И. Лобачевского

*Способны ли растения передавать информацию о раздражителе путем электрических сигналов, при отсутствии у них способности к генерации серий электрических импульсов и нервной системы? Объектом исследования служили 14–24-дневные ростки пшеницы мягкой (*Triticum aestivum* L.), выращенные в горшках с песком. Электрическую активность регистрировали внеклеточно с помощью макроэлектродов ЭВЛ-1МЗ на различном расстоянии от зоны раздражения. В качестве раздражителя использовали охлаждение кончика листа с помощью ледяной воды (4°C), механическое повреждение посредством сдавливания пластиковым цилиндром, ожог открытым пламенем (5 сек) и нагрев в течение 5-8 минут с помощью горячей воды (55°C). Была выявлена зависимость параметров переменного потенциала в пшенице от природы и от силы используемых раздражителей. Что может означать, что переменный потенциал способен определить тип термического раздражения.*

Актуальность темы: Роль электрических сигналов в растениях до сих пор не до конца определена, в особенности их возможная информационная функция. Прояснение данного вопроса позволит не только заполнить пробелы в понимании функционирования растительного организма, но и может быть применимым в системах сельскохозяйственного мониторинга.

Проблема: Способны ли растения передавать информацию о раздражителе посредством электрических сигналов, при отсутствии у них способности к генерации серий электрических импульсов и нервной системы?

Цель работы: Определение зависимости параметров электрических сигналов в растениях пшеницы от природы используемых раздражителей.

Переменный потенциал (ВП) является важным электрическим сигналом у высших растений [5,8]. Выделяют следующие специфические свойства ВП: 1) Переменный потенциал индуцируется повреждающими стимулами; 2) ВП является очень длительным электрическим сигналом; его продолжительность может составлять минуты, десятки минут или более; 3) ВП имеет неправильную форму, включая длительную деполяризацию и, часто, «ПД - подобные» всплески и / или быструю деполяризацию; 4) параметры ВП могут зависеть от типа повреждения, его интенсивности и расстояния от зоны воздействия; 5) ВП способен проходить через неактивные или мертвые ткани; 6) ВП может распространяться в течение рефрактерного периода [1,5,8,9].

Формирование ВП в клетках высших растений в основном связано с деактивацией протонной помпы (активный поток протонов): фаза деполяризации активируется входящим потоком ионов Ca_2^+ и формируется деактивацией протонной помпы, фаза реполяризации – реактивацией протонной помпой.

ВП, вероятно, представляет собой локальный электрический отклик, который индуцируется гидравлическим сигналом [3,5], химическим сигналом [8] или совместным действием этих сигналов [2,7,9]. Гидравлический сигнал представляет собой волну повышенного гидравлического давления, которая распространяется через ксилему растения и инициирует генерацию ВП [3,5]. Другая гипотеза о том, что локальное повреждение вызывает распространение определенного раневого вещества через ксилему [6,8]. раневое вещество вызывает электрический ответ.

Объектом исследования служили 14–24-дневные ростки пшеницы мягкой (*Triticum aestivum* L.), выращенные в горшках с песком. Электрическую активность регистрировали внеклеточно с помощью макроэлектродов ЭВЛ-1МЗ на различном расстоянии от зоны раздражения. В качестве усилителя биопотенциалов использовали трехканальный универсальный иономер ИПЛ-113 с высоким входным сопротивлением ($>109\Omega$), который был соединен с персональным компьютером. В качестве раздражителя использовали: охлаждение кончика листа с помощью ледяной воды (4°C), механическое повреждение посредством сдавливания пластиковым цилиндром, ожог открытым пламенем (5 сек) и нагрев в течение 5-8 минут с помощью горячей воды (55°C)

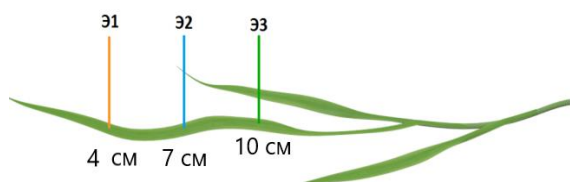


Рис. 1. Схема размещения электродов на 2 листе пшеницы (*Triticum aestivum* L.).

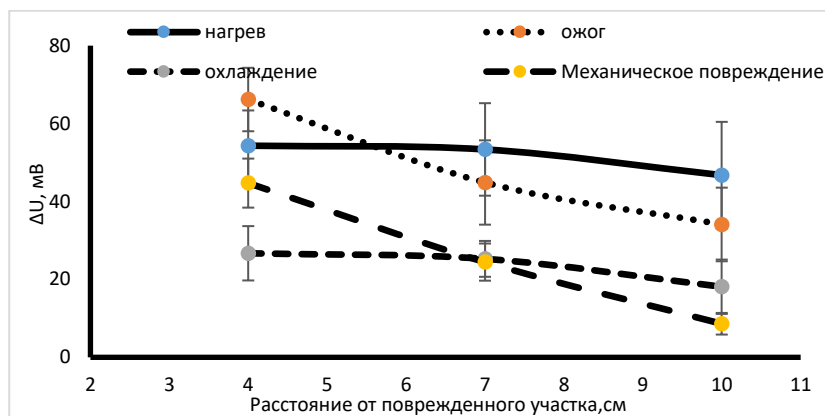


Рис. 2. Динамика амплитуд электрических сигналов при действии различных типов раздражителей

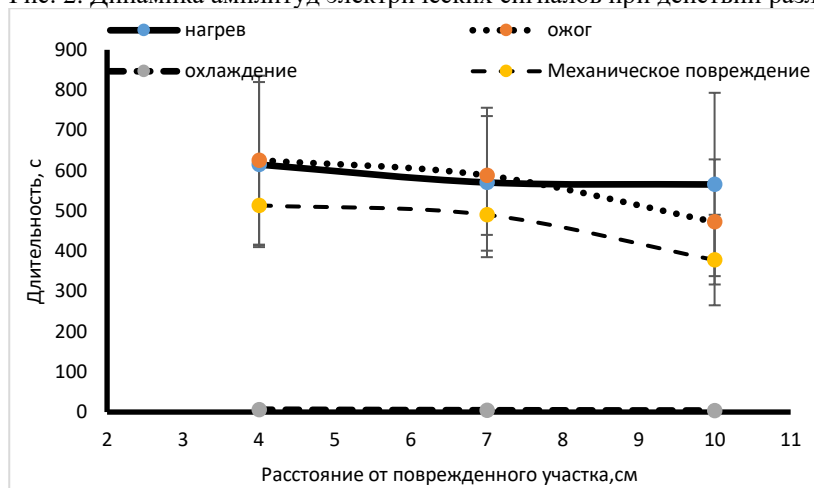


Рис. 3. Динамика длительности электрических сигналов при действии различных типов раздражителей

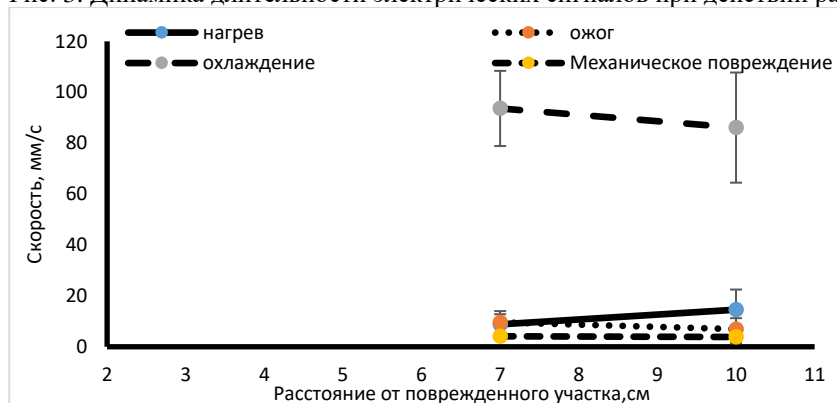


Рис. 4. Динамика скорости распространения электрических сигналов при действии различных типов раздражителей

Результаты

- Характерной особенностью вариабельного потенциала (ВП) является разнообразие его амплитуд, скорости и длительности не только у индивидуальных растений, но и в зависимости от типов используемых раздражителей. В случае потенциала действия (ПД) параметры различаются, в меньшей степени проявляя свойства «все или ничего», тем не менее у разных растений сигнал может проявляться по-разному.

- Амплитуда электрического сигнала (ВП) при механическом повреждении и ожоге снижается по мере удаления от зоны повреждения, в то время как в случае нагрева (ВП) и охлаждения (ПД) остается практически неизменной
- Максимальная скорость наблюдается у электрического сигнала при охлаждении, с уменьшением по мере распространения. Скорости ВП при ожоге и нагреве не имеют достоверных различий, но впоследствии сигнал от нагрева листа ускоряется, в отличие от ожога. Минимальная скорость у ВП при механическом повреждении.
- Наименьшая длительность у ПД при охлаждении, а наибольшая у ВП при нагреве

Таким образом данная работа была выполнена со значительной новизной и оригинальностью, отвечающей высоким стандартам современной научной работы. Результаты позволяют продемонстрировать возможность растений пшеницы различать различные типы термических раздражителей, подобная специфичность сигнала была показана лишь на растениях гороха [9]. Что касается возможности применения данных результатов, то их можно использовать при разработке систем дистанционного мониторинга физиологического состояния растений в рамках "умного сельского хозяйства" [4].

Статьи из журналов и сборников:

1. Fromm J., Lautner S. Electrical signals and their physiological significance in plants // *Plant Cell Environ.* 2007. Vol. 30. P. 249-257.
2. Malone M. Wound-induced hydraulic signals and stimulus transmission in *Mimosa pudica* L. // *New Phytol.* 1994. Vol. 128. P. 49 – 56.
3. Mancuso S. Hydraulic and electrical transmission of wound-induced signals in *Vitis vinifera*. // *Aust J Plant Physiol.* 1999. Vol. 26. P. 55-61.
4. Mudrilov M., Katicheva L., Ladeynova M., Balalaeva I., Sukhov V., Vodeneev V. Automatic Determination of the Parameters of Electrical Signals and Functional Responses of Plants Using the Wavelet Transformation Method // *Agriculture.* 2020. Vol. 10. Issue 1.
5. Stahlberg R., Cleland R.E., van Volkenburgh E. Slow wave potentials – a propagating electrical signal unique to higher plants // In: Baluška, F., Mancuso, S., Volkmann, D. (Eds), *Communication in Plants. Neuronal Aspects of Plant Life.* 2006. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York. P. 291-308.
6. Sukhov V., Surova L., Morozova E., Sherstneva O., Vodeneev V. Changes in H⁺-ATP synthase activity, proton electrochemical gradient, and pH in pea chloroplast can be connected with variation potential // *Front Plant Sci.* 2016. Vol. 7. A. 1092.
7. Vodeneev V., Akinchits E., Sukhov V. Variation potential in higher plants: mechanisms of generation and propagation // *Plant Sign Behav.* 2015. Vol. 10. e1057365.
8. Vodeneev V., Orlova A., Morozova E., Orlova L., Akinchits E., Orlova O., Sukhov V. The mechanism of propagation of variation potentials in wheat leaves // *J Plant Physiol.* 2012. Vol. 169. P. 949-954.
9. Vodeneev V, Mudrilov M., Akinchits E., Balalaeva I., Sukhov V. Parameters of electrical signals and photosynthetic responses induced by them in pea seedlings depend on the nature of stimulus // *Functional Plant Biology.* 2018. Vol. 45(1-2), P. 160-170.