

АНАЛИЗ ИЗМЕРЕНИЙ БИОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОТЕНЦИАЛОВ

О.В. Лукоянычева

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова
г. Барнаул

В статье представлен обзор импульсной электрической активности некоторых растений и зерен пшеницы с различной всхожестью. В результате анализа научной литературы сделан вывод, что электрические сигналы, полученные экспериментальным путем с зерен пшеницы, являются не потенциалами действия, а переменными потенциалами. Уровень сигнала зависит от расстояния размещения электрода до зародыша.

Ключевые слова: экспериментальные исследования, потенциал действия, переменный потенциал, растение, зерно.

К числу наиболее удивительных свойств живых систем следует отнести их способность генерировать биоэлектрические потенциалы. Обнаруженная в середине 19 века, эта способность привлекла к себе внимание исследователей самых разных направлений: биологов, физиков, физико-химиков и др. Начальный период исследования электрических явлений, протекающих в живой ткани, был представлен исключительно работами, выполненными на животных объектах. На первый взгляд, у растений и животных очень много различий. Животные обладают чувствительностью и активно реагируют на внешние воздействия, а растения на разнообразные раздражители реагируют менее активно. У растений есть фотосинтез, кутикулярная и устьичная транспирация (испарение воды) и т.д. Однако растениям также свойственна чувствительность, в реализации которой важную роль играет электрическая сигнализация [1, 2, 3].

Исследования, связанные с выявлением сигналов и реакций у растений на раздражения, проводятся уже более века.

В соответствии с классификацией биопотенциалов, общепринятой в настоящее время, выделяют две группы: потенциал покоя и потенциалы действия.

Потенциал покоя характеризует электрический потенциал между внутренней и наружной средой клетки, возникающий на ее мембране, который возникает из-за неравномерного распределения и накопления ионов по разные стороны клеточной мембраны.

Потенциалы действия – это импульсная электрическая активность, которая является одной из характерных свойств живой ткани. Условия, которые изменяют физиологическое состояние живой ткани, способны вызвать не

только изменения уровня стационарного мембранного потенциала, но и переходные релаксационные процессы. Форма колебаний мембранного потенциала, возникающих при этом релаксационных процессах, резко отличается от гармонических колебаний. Поэтому и используется термин «импульсная электрическая активность».

На сегодняшний день устойчиво выделяют, по крайней мере, три типа этой импульсной электрической активности.

Потенциалы действия (ПД) (рисунок 1, а) – импульсные электрические ответы на надпороговое раздражение. Сюда же включаются ритмические ПД. ПД высших растений можно разделить на распространяющиеся, то есть передающиеся с клетки на клетку в пределах органа или ткани, и местные, передающиеся в пределах только раздражаемых клеток. Близок к ПД локальный потенциал. Он отличается от ПД тем, что является местной или быстро затухающей при распространении импульсной электрической реакцией, зависимой от интенсивности внешнего воздействия [3].

Переменные потенциалы (ВП) (рисунок 1, б) — специфические биоэлектрические реакции высших растений на повреждающие воздействия, распространение которых поддерживается, по крайней мере частично, диффузией некоей возбуждающей "раневой" субстанции. По форме переменный потенциал отличается от ПД длительной нерегулярной нисходящей ветвью импульса [3].

Микроритмы (рисунок 1, в) — ритмическая электрическая активность в микровольтовом (десятки-сотни микровольт) диапазоне амплитуд [3].

Особый интерес среди этих электрических импульсов составляют потенциал действия и переменный потенциал.

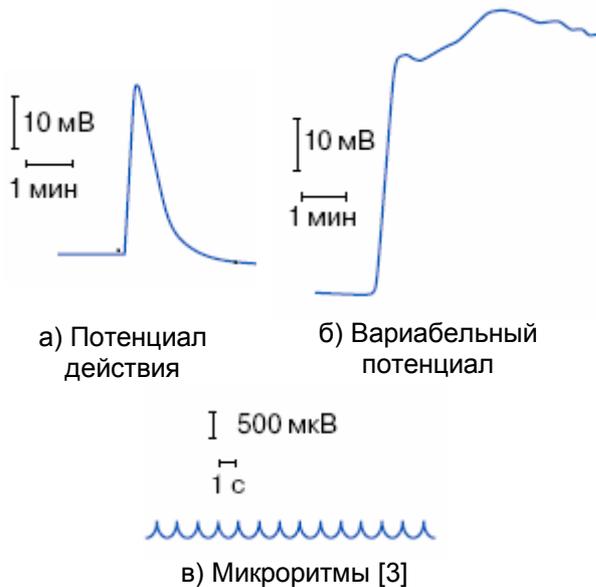


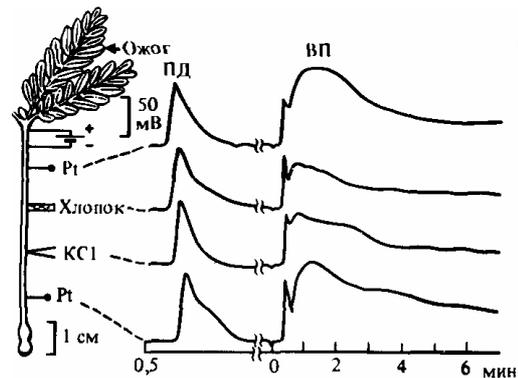
Рисунок 1 – Типы импульсной электрической активности у высших растений

ВП отличается от ПД изменчивой формой и амплитудой, способностью возникать в период абсолютной рефрактерности после ПД, способностью проходить через листовую подушечку (у мимозы) и меньшей скоростью распространения. Он возникает в ответ на повреждающие стимулы: разрезы, разрывы, разминание, ожоги химические и термические и т.п. Длительность ВП составляет десятки минут. Его амплитуда и длительность в определенных пределах зависят от интенсивности (площади) повреждения.

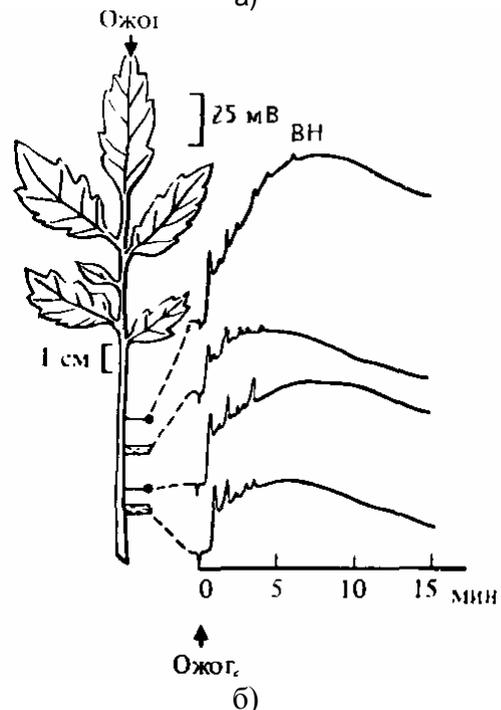
При рассмотрении особенностей ВП прежде всего следует отметить, что генерация ВП имеет место в условиях «жесткого» стресса, связанного с повреждением клеток, например ожогом или механическим воздействием, поэтому ВП иногда называют «посланием смерти» [2, 4]. Типичным для ВП является наличие отчетливо выраженного переднего фронта, сходного по скорости формирования и амплитуде с фазой деполяризации ПД. Другая важная электрическая составляющая «послания смерти» — это импульсы ПД, возникавшие в клетке-рецепторе не только с высоким, но и с низким тургором (например, в присутствии сорбита), когда значительная медленная деполяризация не развивалась [4]

В специально посвященной ВП работе [1] показано, что в черешке мимозы, находящейся в рефрактерном состоянии после про-

ведения ПД в ответ на неповреждающее электрическое раздражение (рисунок 2, а), или в листовом черешке томата (без предварительной неповреждающей физиологически умеренной стимуляции) (рисунок 2, б) возникающий на ожог ВП имеет две компоненты: спайковой формы компоненту (обозначим «а», выглядит как возрастание потенциала со всплесками) и нерегулярной формы компоненту (обозначим «в», выглядит как спад потенциала без каких-либо серьезных всплесков).



а)



б)

Рисунок 2 – Биоэлектрические реакции в черешках мимозы (а) и томата (б), регистрируемые различными типами электродов [1]

Несмотря на то, что отмечается ряд сходных элементов между фазой «а» и ПД, автор работы считает, что компонента «а»

АНАЛИЗ ИЗМЕРЕНИЙ БИОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОТЕНЦИАЛОВ

все же не может быть охарактеризована как ПД, ибо ее амплитуда возрастает с увеличением интенсивности стимуляции и поэтому может быть интерпретирована только как подпороговый потенциал, связанный с первоначальным действием возбуждающей субстанции, освобождаемой при повреждении.

Как отмечено выше, начальная фаза ВП, которая выглядит как небольшие всплески на возрастающей кривой (фаза «а»), является незначительными всплесками. Однако, в настоящее время более признанной и обоснованной является позиция Пиккард [1]. Согласно ей, повреждение высвобождает ране-

вое вещество, которое движется по сосудам проводящих тканей и, диффундируя по апопласту к окружающим живым клеткам, деполаризует их в соответствии с масштабами повреждения, то есть пропорционально концентрации раневого вещества в русле дальнего транспорта. Таким образом генерируется ВП. Когда раневое вещество попадает в электровозбудимые ткани, то оно вызывает (если такие ткани есть) ПД, распространяющейся впереди ВП, но иногда и сливающийся с последним так, что различим лишь передний фронт ПД.

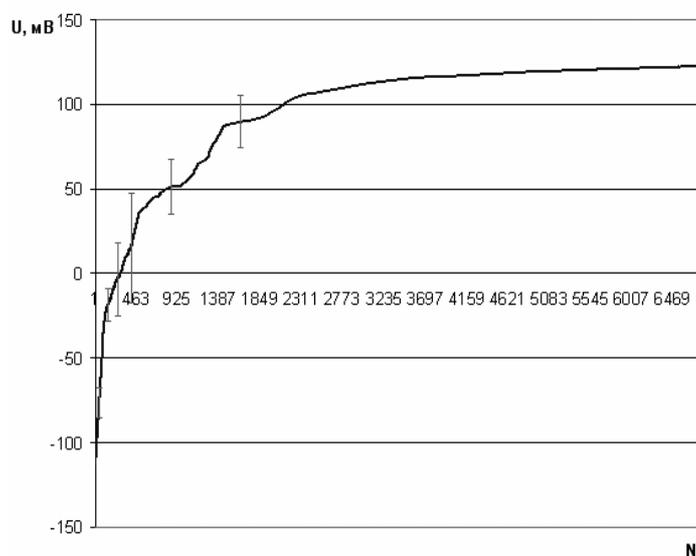


Рисунок 3 – Усредненное изменение ПД зерен пшеницы с всхожестью 87% за время 30 сек, 300 отсчетов соответствуют 1 сек [5]

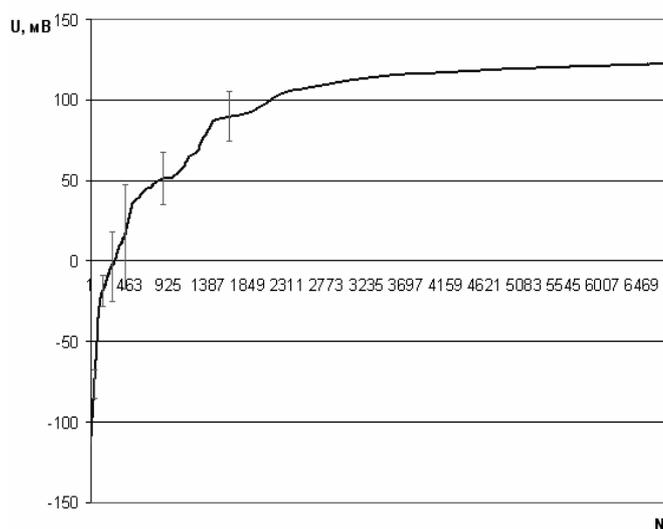


Рисунок 4 – Усредненное изменение ПД зерен пшеницы с всхожестью 97% за время 30 сек, 300 отсчетов соответствуют 1 сек [5]

На данный момент в научной лаборатории АлтГТУ проводят исследования электрических свойств зерен с целью дальнейшего использования этих данных для определения всхожести зерна. Первоначальной предпосылкой является гипотеза, что зерно, как любая живая ткань, должно на возбуждающее воздействие отвечать соответствующей электрической реакцией. Размещение электрода внутри зерна является механическим раздражающим фактором, на который в зависимости от качества зерен должны вырабатываться различные потенциалы действия.

В исследованиях зерно сначала замачивают на 8 часов (в соответствии с ГОСТ по проверке на всхожесть), после чего каждое зерно прокалывается электродом в области эндоспермы и помещается в герметичную камеру. [5]

На рисунках 3 и 4 показаны результаты измерения импульсной электрической активности зерен (зерно с разными показателями всхожести). Изначально предполагалось, что наблюдается потенциал действия зерна. Но если сравнить полученные результаты с рисунком 1, а (где изображен потенциал действия растения), то видны существенные различия. Более того, оба потенциала на рисунках 3 и 4 больше похожи на переменный потенциал растения (переменный потенциал на рисунке 1, б).

В результате проведенных экспериментов можно сделать выводы:

1. Диаметр иглы электрода значителен, если брать во внимание размер зерна (около 5 – 7 миллиметров), поэтому вызванное механическое воздействие приводит к разруши-

тельному результату и появлению переменного потенциала.

2. В зависимости от расстояния размещения электрода до жизненно важного участка зерна (зародыша) возможно сначала проявление потенциала действия, а затем переменного потенциала (по Пикард).

3. Также от расстояния размещения электрода до зародыша зависит уровень фиксируемой импульсной электрической активности зерна.

Для подтверждения данной гипотезы требуется проведение дополнительных экспериментов, что по нашему мнению позволит эффективнее и значительно быстрее, чем стандартными методами, определять всхожесть зерна.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Оприотов В.А., Пятыгин С.С., Ретивин В.Г. Биоэлектrogenез в высших растений. – М.: Наука, 1991.
2. Пятыгин С.С. Распространяющиеся электрические сигналы в растениях // Цитология Том 50 – 2008 – С. 154 – 159.
3. Оприотов В.А. Электрические сигналы у высших растений // Соросовский образовательный журнал – 1996 – С. 22-27.
4. Shimmen T. Electrical perception of «death message» in Chara: involvement of turgor pressure // Plant Cell Physiol. 42 – 2001 - 366—373.
5. Матлаев А. Г. Метод и средство контроля всхожести семян пшеницы по изменению потенциала действия. [Текст] дис. ... канд.техн. наук: 05.11.13: защищена 29.12.2009 – Барнаул, 2009. – 92 с.: ил.

Лукоянычева Ольга Викторовна – аспирантка, тел.: (3852) 29-07-96, e-mail: it@agtu.secna.ru