



БИОЛОГИЯ

УДК 633.11:[577.3581.14+581.132+581.143]

СВЕТОЗАВИСИМАЯ БИОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ПРОРОСТКОВ ПШЕНИЦЫ

А. М. Страпко, М. Ю. Касаткин, С. А. Степанов

Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского
E-mail: kasatkinmy@info.sgu.ru

Изучались особенности изменения биоэлектрических тканевых потенциалов проростков яровой мягкой пшеницы на ранних этапах онтогенеза. Оценивался вклад спектрального состава света и моделируемых условий засухи на формирование в тканях потенциалов действия. Выяснено, что биоэлектрическая реакция проростков пшеницы на световое воздействие различается у этиолированных и предварительно освещенных растений. Показано большое значение для генерации потенциала действия участков синей и красной областей спектра. Выявлена неспецифическая реакция в изменении биоэлектрического тканевого потенциала в моделируемых условиях засухи.

Ключевые слова: потенциал действия, спектральный состав света, полиэтиленгликоль, осмотический стресс.

Light-dependent Bioelectric Activity of Wheat Seedlings

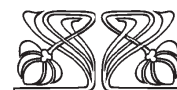
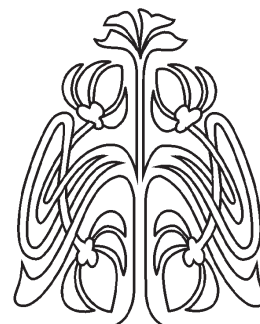
A. M. Strapko, M. Yu. Kasatkin, S. A. Stepanov

Was studied the peculiarities of tissue changes of bioelectric potentials of spring wheat seedlings in the early stages of ontogeny. Appreciated the contribution of the spectral composition of light and simulated drought conditions on the formation of action potentials in the tissues. It was found that the bioelectrical reaction of wheat seedlings to light exposure differs from etiolated plants and pre-lit. It shows more value to generate an action potential areas of blue and red region of the spectrum. Revealed nonspecific response to changes in the bioelectric potential in tissue simulated drought conditions.

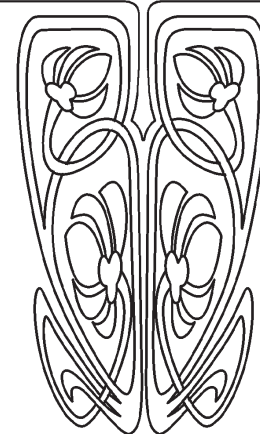
Key words: action potential, spectral composition of light, polyethylene glycol, osmotic stress.

DOI: 10.18500/1816-9775-2016-16-1-59-63

Процесс генерации биопотенциалов у растений является не только пассивной ответной реакцией на внешнее воздействие, но и играет ключевую роль в регуляции жизненно важных процессов. Современное понимание роли биоэлектрической активности растительных тканей сводится к нескольким аспектам. В первую очередь указывают на роль биоэлектрических потенциалов в биоэнергетике клеток [1, 2], участие в координации метаболических превращений, транспорта веществ [3]. Всё большее внимание уделяют также сигнальной роли биоэлектрических потенциалов не только на уровне клеток и тканей, но и всего растения. Однако предполагается, что большинство функциональных проявлений биопотенциалов служит, прежде всего, одной важной цели – временному повышению устойчивости тканей растения под влиянием электрических сиг-



НАУЧНЫЙ
ОТДЕЛ





налов к действию стресс-факторов [4, 5]. Целью данной работы являлось изучение особенностей биоэлектрических потенциалов растений в ходе фотоморфогенеза растений.

Материал и методы исследования

Исследования проводились на кафедре микробиологии и физиологии растений Саратовского государственного университета им. Н. Г. Чернышевского. Объектом изучения являлся сорт яровой мягкой (*Tr. aestivum*) пшеницы саратовской селекции Саратовская 29, полученной из лаборатории селекции пшеницы НИИСХ Юго-Востока (Саратов). Зерновки пшеницы проращивались в чашках Петри на фильтровальной бумаге в термостатируемых условиях при температуре 18 °С, освещении 5000 лк и длине светового дня равной 14 ч. Биоэлектрическая активность тканей измерялась методом внеклеточного отведения биоэлектрического тканевого потенциала между апикальными концами стебля и корня проростков пшеницы. Растения освещались галогеновой лампой накаливания мощностью 100 Вт. Создание светового потока определенной длины волны осуществлялось с использованием цветных стеклянных светофильтров. Для освещения растений синей областью спектра применялся светофильтр марки СС-8 с максимумами пропускания 410–440, 480, 520, 580 и 620 нм. Светофильтр зеленой области спектра марки ЗС-1 имел полосы пропускания 380, 400, 410, 440, 480, 520, 580, 620, 660 нм. Красный светофильтр пропускал свет в области 380–590 и 650–690 нм.

Для регистрации разности электрических потенциалов и потенциалов действия были использованы неполяризующиеся хлорсеребряные микроэлектроды. На электроды, заполненные насыщенным раствором КСl, надевались переходные насадки из гибких трубок, содержащие агаровый гель со слабым ионным

раствором. Для обеспечения «мягкого» контакта с поверхностью растения, смачивания зоны контакта и предотвращения неблагоприятного воздействия на клетки растения электролита, вытекающего из электродов, служили фитильки из бечевки на концах переходных насадок. Для предотвращения воздействия внешних факторов и помех в каналах регистрации разности потенциалов объекты исследования помещались в специально оборудованную камеру, экранированную металлическими листами. Измерение потенциалов в мВ осуществляли на рН-метре-иономере ИПЛ-113, подключенном к компьютеру [6]. Значения потенциалов записывались в файл с помощью программы регистрации данных для последующего анализа. Моделирование условий засухи осуществлялось внесением в среду полиэтиленгликоля (ПЭГ) в концентрации 10, 20 и 30%. Результаты исследований подвергались статистической обработке в табличном процессоре Excel пакета MS Office 2010.

Результаты и их обсуждение

Для изучения вклада фотосинтетического аппарата в светозависимую электрическую реакцию проростков пшеницы исследовались 3-дневные проростки, выращенные в полной темноте и на свету. Потенциал покоя тканей этиолированных растений составлял -28 мВ (рис. 1). Реакция на зеленую область спектра выражалась его плавным слабым снижением до уровня $-28,3$ мВ и не зависела в последующем от выключения освещения в течение всего времени наблюдения.

Применение красного светофильтра вызывало быструю деполяризацию от значений потенциала покоя до $-26,6$ мВ (рис. 2). Установившееся значение биоэлектрического потенциала в конце второй негативной волны составляло $-28,8$ мВ с последующим повышением до нового уровня стационарного значения, равного $-27,3$ мВ.

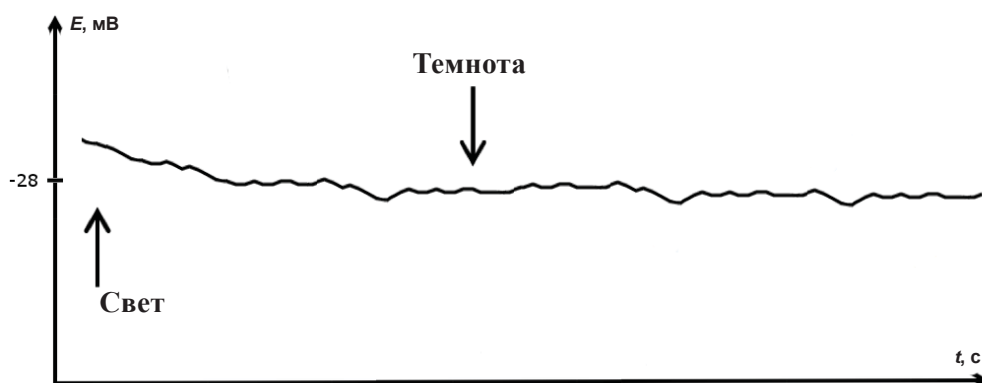


Рис. 1. Реакция этиолированных проростков на освещение через зеленый светофильтр

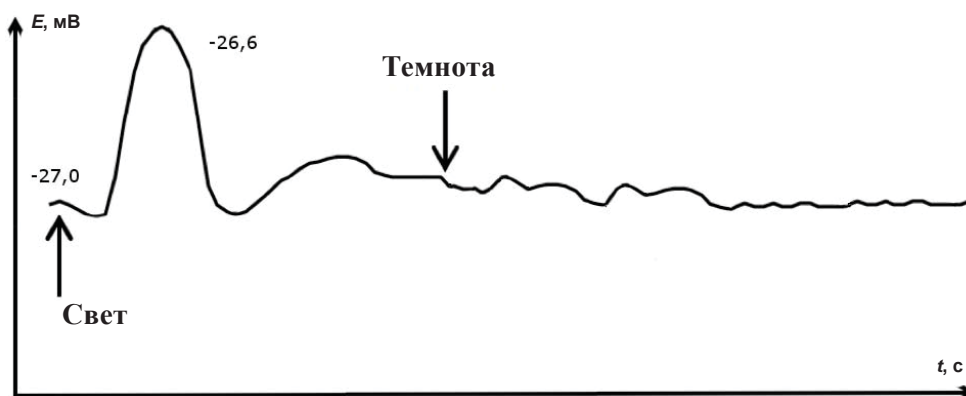


Рис. 2. Реакция этиолированных проростков на освещение через красный светофильтр

Освещение через синий светофильтр вызывало более слабую реакцию, выраженную в деполяризации до значений $-27,7$ мВ (рис. 3). Дальнейшая фаза реполяризации наблюдалась до величины $-28,1$ мВ, выключение света приводило к стабилизации потенциала на уровне, близком к $-28,5$ мВ.

Изменения биоэлектрического тканевого потенциала у растений, выращенных на свету,

имели иные характеристики. Потенциал покоя у проростков этого варианта опыта обнаруживался на уровне -20 мВ.

Применение зеленого светофильтра в освещителе вызывало плавное увеличение потенциала до значения -18 мВ (рис. 4) с последующей реполяризацией до уровня $-17,4$ мВ. Выключение освещения не влияло на дальнейшее изменение потенциала в течение всего времени наблюдения.

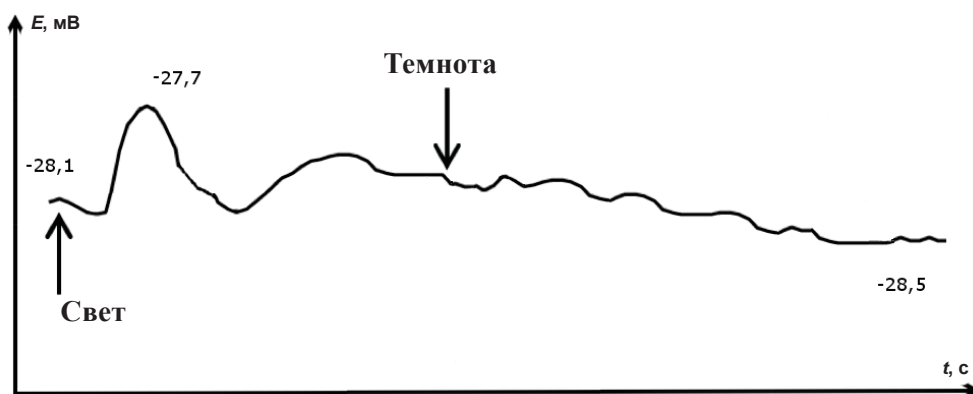


Рис. 3. Реакция этиолированных проростков на освещение через синий светофильтр

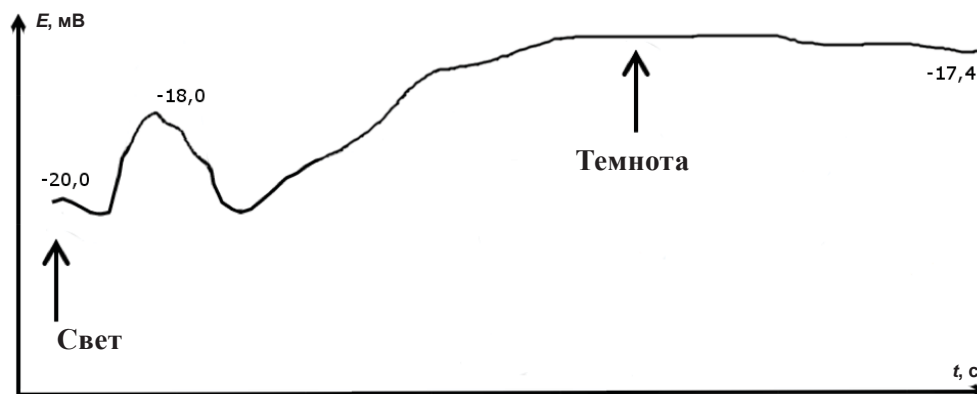


Рис. 4. Реакция освещенных проростков на освещение через зеленый светофильтр



Освещение растений через красный светофильтр (рис. 5) вызывало быструю деполяризацию до уровня -21 мВ с последующей плавной реполяризацией во второй фазе до

уровня $-19,5$ мВ. В третьей фазе наблюдался небольшой пик в $0,2$ мВ и дальнейшая, двухступенчатая реполяризация до уровня $-19,0$ мВ.

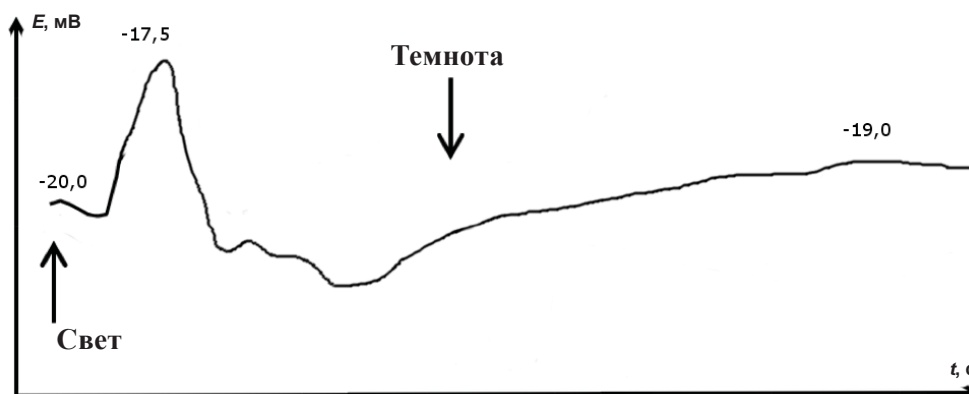


Рис. 5. Реакция освещенных проростков на освещение через красный светофильтр

Реакция на свет, прошедший синий светофильтр, состояла в небольшом отклике первой фазы до уровня $-19,9$ мВ и относительно быстром возврате к уровню потенциала покоя (рис. 6). Третья фаза проявлялась в более силь-

ной деполяризации до $19,8$ мВ, что в 2 раза превышало аналогичную реакцию первой фазы. После выключения источника света потенциал покоя резко снижался и устанавливался равным $-18,3$ мВ.

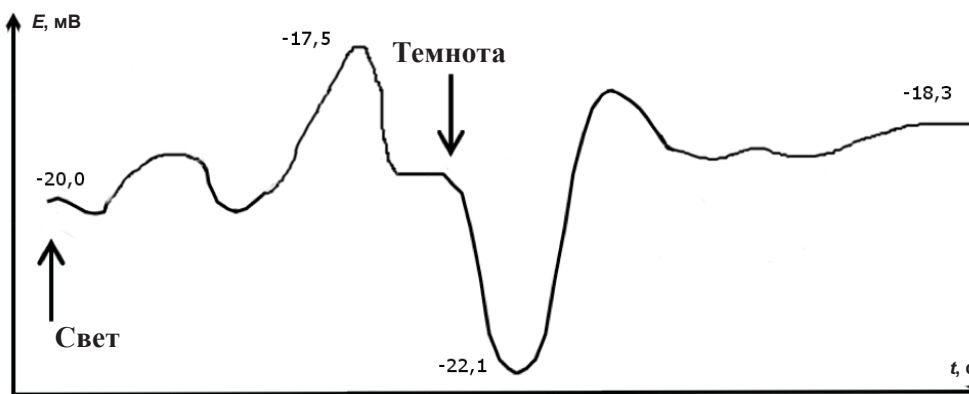


Рис. 6. Реакция освещенных проростков на освещение через синий светофильтр

Таким образом, биоэлектрическая реакция растений яровой мягкой пшеницы на световое воздействие различается у этиолированных и предварительно освещенных проростков. Большое значение для генерации потенциала действия имеют участки синей и красной областей спектра, совпадающие с максимумами поглощения пигментов фотосинтетического аппарата. Это позволяет предположить участие пигментов фотосинтеза в генерации ответной биоэлектрической реакции на световое воздействие. В то же время этиолированные проростки пшеницы также обнаруживают ответную реакцию на освещение в некоторых вариантах опыта.

Отсутствие реакции на свет после прохождения зеленого светофильтра, имеющего значительный пик поглощения в области 420 нм, позволяет говорить об участии криптохромной системы в генерации потенциала действия.

Регистрация изменения светозависимой электрической реакции в онтогенезе проростка пшеницы осуществлялась в период от 2 до 5 дней с момента замачивания зерновок. Было установлено, что биоэлектрическая реакция проростков на световое воздействие зависит от степени зрелости компонентов фотосинтетических систем, т.е. от возраста растений. Двухдневные проростки в основном проявляют хорошо за-



метную реакцию на синий свет, что связано с присутствием большого числа каротиноидов в тканях. По мере их развития к 5-му дню от момента прорастания накопление хлорофиллов приводит к унификации ответной реакции на синюю и красную области спектра, т.е. в тех участках, где происходит поглощение света молекулами хлорофиллов.

Моделируемые условия засухи создавались действием осмотического стресса на 5-дневные проростки пшеницы. Стационарное состояние 5-дневных проростков в отсутствии освещения составляло примерно $-19,1$ мВ. Реакция на зеленый светофильтр проявлялась в начальной деполяризации до значений $-18,8$ мВ после включения источника света с последующей реполяризацией до исходного значения потенциала покоя. Амплитуда третьей позитивной волны реакции на световое воздействие была еле заметна и медленно уменьшалась до значений $-20,1$ мВ. Выключение освещения приводило к резкой реполяризации до уровня $-20,3$ мВ. Деполяризация в этом случае была быстрой и наблюдалась до $-19,8$ мВ и быстро выходила на плато своего значения ($-20,9$ мВ) при последующей реполяризации.

Освещение с использованием красного светофильтра вызывало медленную деполяризацию с последующей реполяризацией от значений потенциала покоя до $-20,1$ мВ. Применение синего светофильтра обнаруживало у проростков аналогичную реакцию, выраженную в реполяризации до значений $-21,1$ мВ.

Стационарное состояние 5-дневных проростков, выросших на 10% ПЭГ, в начале регистрации на установке было ниже контрольных значений и составляло $-22,1$ мВ. Реакция на использование зеленого светофильтра проявлялась в начальной деполяризации до значений $-22,4$ мВ после включения источника света с последующей реполяризацией до $-22,8$ мВ. Амплитуда третьей позитивной волны реакции на световое воздействие возвращала значение потенциала к темновому стационарному. Выключение освещения приводило к резкой реполяризации в фазе до уровня $-23,3$ мВ.

Освещение с использованием красного светофильтра вызывало медленную деполяризацию с последующей реполяризацией от значений потенциала покоя до $-22,9$ мВ. Применение синего светофильтра обнаруживало у проростков аналогичную реакцию, выраженную в реполяризации до значений $-22,7$ мВ.

Анализ действия более высоких концентраций ПЭГ (20 и 30%) выявил сходную ответную реакцию. Отличия составляли лишь более вы-

сокий потенциал покоя ($-22,6$ и $-22,9$ мВ соответственно) и сильная деполяризация ($22,6$) при облучении через синий светофильтр проростков, выращенных на 30% ПЭГ.

Таким образом, выявлено неспецифическое изменение биоэлектрического тканевого потенциала при действии осмотического стресса на проростки яровой мягкой пшеницы. Внесение в среду ПЭГ увеличивало потенциал покоя проростков в среднем в 2–2,5 раза.

Выводы

1. Биоэлектрическая реакция растений яровой мягкой пшеницы на световое воздействие различается у этиолированных и предварительно освещенных проростков. Большое значение для генерации потенциала действия имеют участки синей и красной областей спектра, совпадающие с максимумами поглощения пигментов фотосинтетического аппарата.

2. Установлено изменение биоэлектрического тканевого потенциала на ранней стадии онтогенеза проростков яровой мягкой пшеницы, зависящее от степени зрелости компонентов фотосинтетических систем побега.

3. Выявлено неспецифическое изменение биоэлектрического тканевого потенциала в моделируемых условиях засухи для проростков яровой мягкой пшеницы.

Список литературы

1. *Опритов В. А., Пятыгин С. С., Ретивин В. Г.* Биоэлектрогенез у высших растений. М. : Наука, 1991. 216 с.
2. *Пятыгин С. С., Опритов В. А., Воденев В. А.* Сигнальная роль потенциала действия у высших растений // Физиология растений. 2008. Т. 55. С. 312–319.
3. *Пятыгин С. С., Воденев В. А., Опритов В. А.* Сопряжение генерации потенциала действия в клетках растений с метаболизмом: современное понимание проблемы // Успехи современной биологии. 2005. Т. 125, № 5. С. 520–528.
4. *Пятыгин С. С.* Электрогенез клеток растения в условиях стресса // Успехи современной биологии. 2003. Т. 123. С. 552–562.
5. *Катичева Л. А., Сурова Л. М., Шерстнева О. Н., Бушуева А. В., Глинская Е. В., Воденев В. А.* Изменение электрического сопротивления плазмалеммы клеток высшего растения при генерации переменного потенциала // Вестн. Нижегород. ун-та им. Н. И. Лобачевского. 2013. № 3 (1). С. 151–154.
6. *Сухов В. С., Неруш В. Н., Калинин В. А., Крауз В. О., Воденев В. А.* Биоэлектрические явления : биоэлектрогенез у растений. Раздел большого практикума по биофизике : учеб.-метод. пособие. Н. Новгород : Изд-во Нижегород. гос. ун-та, 2009. 69 с.