

## ДЕЙСТВИЕ ОБРАБОТКИ ПРОДУКТАМИ ПОВЕРХНОСТНОГО РАЗРЯДА СЕМЯН ОЗИМОЙ РЖИ НА МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ И АНТИОКСИДАНТНЫЕ ФЕРМЕНТЫ ПРОРОСТКОВ

А.В. Лазукин<sup>1,2</sup>, Ю.А. Сердюков<sup>1</sup>, Л.Т. Саидова<sup>1</sup>, А.И. Лилиенберг<sup>1,3</sup>, Е.А. Кауер<sup>2</sup>, С.А. Кривов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева Российской академии наук, Москва, Россия, [magnitbio@ifr.moscow](mailto:magnitbio@ifr.moscow)

<sup>2</sup>Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва, Россия, [lazukin\\_av@mail.ru](mailto:lazukin_av@mail.ru)

<sup>3</sup>Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия, [mrrr@yandex.ru](mailto:mrrr@yandex.ru)

**Аннотация.** Изучали действие продуктов поверхностного диэлектрического барьерного разряда на длину ростка, корневой системы, энергию прорастания, активность супероксиддисмутазы и пероксидазы трехсуточных проростков озимой ржи (*Secale cereale* L.). Показана зависимость как от длительности экспозиции семян в плазме барьерного диэлектрического разряда, так и от его частоты. Наибольший стимулирующий эффект проявляется при экспозициях 60-120 с, а спектр наиболее эффективных частот лежит в диапазоне 15-25 кГц.

**Ключевые слова:** рожь, диэлектрический барьерный разряд, супероксиддисмутаза, пероксидаза

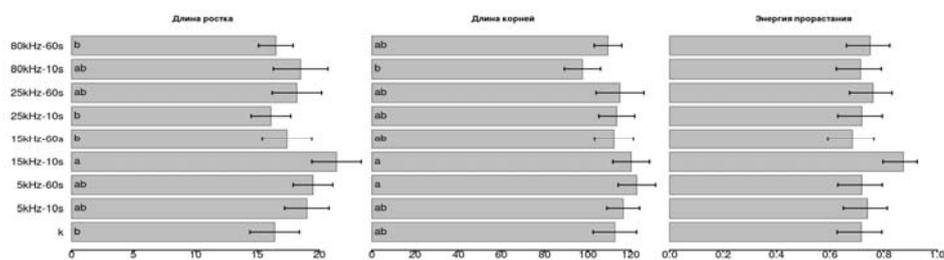
**DOI:** 10.31255/978-5-94797-319-8-458-461

Изучали действие продуктов поверхностного диэлектрического барьерного разряда на длину ростка, длину корневой системы, энергию прорастания, а также активность супероксиддисмутазы и пероксидазы трехсуточных проростков озимой ржи (*Secale cereale* L., сорта «Чулпан»). Работа выполнена с использованием семян из коллекций ЦКП «Биоресурсный центр» Сибирского института физиологии и биохимии растений СО РАН (г. Иркутск).

Поверхностный диэлектрический барьерный разряд развивался вдоль поверхности твердого диэлектрика при атмосферном давлении, без принудительного потока газа через зону обработки. Электронная система, использованная при обработке семян, состояла из девяти полосовых электродов шириной 1 мм, расположенных на расстоянии 5 мм друг от друга. Обратный электрод-подложка заземлен. Диэлектрический барьер — керамическая пластина толщиной 1 мм. Семена размещались на металлическом заземленном электроде на расстоянии 10 мм до плоскости барьера. К полосовым электродам прикладывалось синусоидальное напряжение 2,5 кВ действующего, частотой 5, 15, 23-25, 80 кГц. Время воздействия от 10 секунд до 7 минут. Выдержка семян между обработкой и проращиванием — не более суток. Семена проращивались в термостатируемых условиях (24 °С) в темноте трое суток. На третьи сутки контролировались морфологические характеристики проростков (длина ростка и корневой системы) и энергия прорастания. Активность ферментов определялась спектрофотометрически по методикам Beauchamp, Fridovich [1971] для супероксиддисмутазы и Шевяковой с соавт. [2003] для пероксидаз.

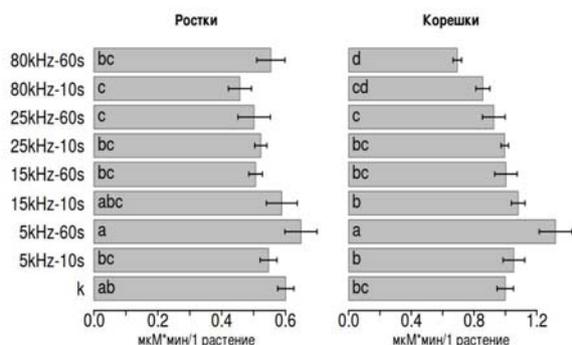
Кратковременная (до 60 с) обработка продуктами газового разряда в широком диапазоне частот не оказала какого-либо негативного действия (рис. 1). Ни в одном из

вариантов длина ростка, корневой системы и энергия прорастания значимо не отличались от контроля за исключением 10 с обработки при 15 кГц, которая несколько стимулировала длину ростка и энергию прорастания.

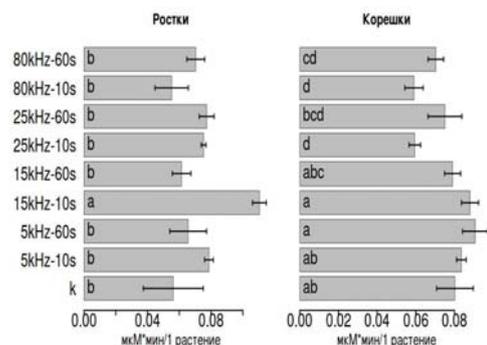


**Рис. 1. Морфологические показатели и энергия прорастания проростков озимой ржи под действием продуктов газового разряда генерируемого током различной частоты (Здесь и далее бары отражают доверительный интервал для  $P < 0,05$ ; варианты, отмеченные одним индексом, не имеют значимых различий).**

Растворимая фракция пероксидазы (ПО; рис. 2) демонстрирует более выраженную картину. В coleoptilyах при 60 с обработке с 5кГц наблюдается тенденция к росту активности и 20-25% снижение в вариантах 25 кГц 60 с и 80 кГц 10 с. В корнях, как и в coleoptilyах обработка 5 кГц в течении 60 с вызывала значимое увеличение активности на ~20%. При дальнейшем увеличении частоты и экспозиции активность фермента постепенно снижалась, достигая минимума (75% от контроля) при 60 с и 80 кГц. Ионсвязанная ПО, будучи ферментом, ассоциированным в первую очередь не с антиоксидантной системой клетки, а с системой биосинтеза клеточной стенки, не угнеталась использованными обработками, в той или иной степени активируясь под их действием. Значимое увеличение активности наблюдается в coleoptilyах при обработке 15 кГц в течении 60 с и в корнях при 15 кГц в течении 10 с, что не противоречит данным по морфологии проростков. Ковалентносвязанная ПО (рис. 3.), также участвующая в формировании клеточной стенки значительно стимулировалась в coleoptilyах обработкой 15 кГц в течение 10 с, что приводило к почти двукратному увеличению ее активности по сравнению с контролем. Тенденция к стимуляции также проявилась при обработках 15 кГц в корнях.

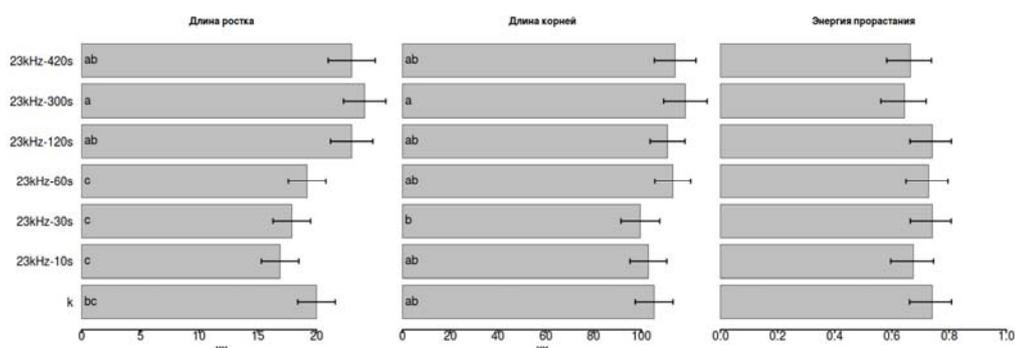


**Рис. 2. Активность растворимой фракции пероксидазы под действием продуктов газового разряда генерируемого током различной частоты.**



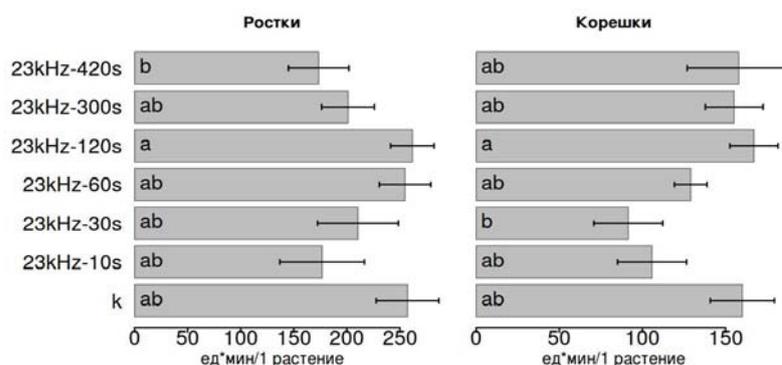
**Рис. 3. Активность ковалентно-связанной фракции пероксидазы под действием продуктов газового разряда генерируемого током различной частоты.**

Для оценки влияния величины экспозиции обработки на биологический эффект была выбрана частота 23 кГц. При данных условиях наибольший стимулирующий эффект на длину ростка (рис. 4.) оказала обработка с экспозицией 300 с (~120%), тогда как короткие экспозиции (10-60 с) демонстрировали тенденцию к снижению. На длину корневой системы и энергию прорастания обработки не оказали значимого влияния.



**Рис. 4. Морфологические показатели и энергия прорастания проростков озимой ржи под действием продуктов газового разряда с различной экспозицией.**

Значимых отличий в активности супероксиддисмутазы (рис. 5) по сравнению с контролем не обнаружено, хотя имеются тенденции к увеличению таковой в coleoptilyах при экспозициях 60 и 120 с и в корнях при 120-420 с, а так же к снижению при 10 и 30 с в обоих случаях. Растворимая фракция ПО активировалась с ростом экспозиции, достигая максимума при 120-секундной обработке, как в coleoptilyах, так и в корнях (~ на 50 и 40% соответственно).



**Рис. 5. Активность супероксиддисмутазы проростков озимой ржи под действием продуктов газового разряда с различной экспозицией.**

Таким образом, наблюдается зависимость как от длительности экспозиции семян в плазме барьерного диэлектрического разряда, так и от его частоты. Наибольший стимулирующий эффект проявляется при экспозициях 60-120 с, а спектр наиболее эффективных частот лежит в диапазоне 15-25 кГц.

#### Литература

Beauchamp C., Fridovich I. Superoxide dismutase improved assay and an assay applicable to acrylamide gels // *Analytical Biochemistry*. – 1971. – V. 44. – P. 267-287.

Шевякова Н.И., Нетронина И.А., Аронова Е.Е., Кузнецов Вл.В. Распределение Cd и Fe в растениях *Mesembryanthemum crystallinum* при адаптации к Cd-стрессу // *Физиология растений* – 2003. – Т.50. – С.756-763.

### EFFECT OF PROCESSING OF SURFACE DISCHARGE OF SEEDS OF WINTER RYE ON MORPHOLOGICAL INDICATORS AND ANTIOXIDANT ENZYMES OF SEEDS BY PRODUCTS

A.V. Lazukin<sup>1,2</sup>, Y.A. Serdyukov<sup>1</sup>, L.T. Saidova<sup>1</sup>, A.I. Lilienberg<sup>1,3</sup>, E.A. Kauer<sup>2</sup>, S.A. Krivov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>К.А. Timiryazev Institute of Plant Physiology RAS, Moscow, Russia, *magnitbio@ifr.moscow*

<sup>2</sup>Federal State Budget Educational Institution of Higher Education National research university «МПЕИ», Moscow, Russia, *lazukin\_av@mail.ru*

<sup>3</sup>Federal State Budget Educational Institution of Higher Education M.V. Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia, *mrrrr@yandex.ru*

**Abstract.** The effect of surface dielectric barrier discharge products on the length of the germ, the root system, the germination energy, the activity of superoxide dismutase and peroxidase of three-day-old seedlings of winter rye (*Secale cereale* L.) was studied. Dependence is shown both on the duration of seed exposure in the barrier dielectric discharge plasma and on its frequency. The greatest stimulating effect is manifested with exposures of 60-120 s, and the spectrum of the most effective frequencies lies in the range 15-25 kHz.

**Keywords:** rye, dielectric barrier discharge, superoxiddismutase, peroxidase