

### Проводимость водных вытяжек из семян озимой ржи, обработанных различными электрофизическими методами

ЛАЗУКИН А.В., СЕРДЮКОВ Ю.А., КЛИМОВА М.А., КАУЭР Е.А., КРИВОВ С.А.

*Представлены результаты экспериментального исследования проводимости водных вытяжек и энергии прорастания семян озимой ржи (*Secale cereale L.*, сорт «Чуплан»), обработанных постоянным магнитным полем (10–40 мТ, экспозиция от 10 с до 30 мин), переменным электрическим полем высокого напряжения (15 кГц; 2,5 кВ, 10 и 60 с), продуктами плазмы газового разряда (поверхностный разряд в полосовой электродной системе, питаемой синусоидальным напряжением 2,5 кВ, частотой 5, 15, 25 или 80 кГц) или воздействием повышенной температуры (60 °С, в течение 1–20 мин). Цель исследования – определение корректности метода водных вытяжек при оценке качества семян озимой ржи, подвергнутых электрофизической обработке. Критерием качества выбрана энергия прорастания (трехсуточная всхожесть). Показано, что при тепловом воздействии и при воздействии переменным электрическим полем высокого напряжения метод водных вытяжек дает корректные результаты. При обработках магнитным полем корректными являются только результаты, полученные на пробах с пониженной (относительно контроля) энергией прорастания. При обработке продуктами плазмы газового разряда метод водных вытяжек продемонстрировал некорректные результаты в половине вариантов (9 вариантов обработки из 18 исследованных).*

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** *схема озимой ржи, энергия прорастания, проводимость водной вытяжки, постоянное магнитное поле, газовый разряд, электрическое поле*

Оценка проводимости водной вытяжки (проводимость промывных вод) является одним из методов определения всхожести семян. Суть метода следующая. Проба семян замачивается на сутки в дистиллированной воде. После выдержки измеряется проводимость сформировавшегося водного раствора электролита. Пробы с более низким значением проводимости соответствуют более качественным (по всхожести) семенам [1]. Этот метод относится к биохимическим методам определения качественных характеристик прорастания. По сравнению с другими методами, обеспечивающими подобную оценку (определение энергии прорастания, всхожести, морфоиспытание, различные тесты на ускоренное старение, различное стрессование), измерение проводимостей не требует значительных затрат по времени и ресурсам. Это важно при организации экспериментальных исследований с многофакторными воздействиями, поскольку необходимо сравнивать большое число вариантов.

В опыте с определением проводимости вытяжки по сути измерения оценивалась способность клеточной мембраны удерживать электролит в семени. Чем ниже проводимость раствора, тем более плотная клеточная мембрана у семян, входящих в объ-

ем замачиваемой пробы. При электрофизических обработках, в том числе весьма активных, таких как действие сильных электрических полей и продуктов плазмы газового разряда, мембрана может получить повреждения (локальные пробои). Наличие подобных повреждений может привести к искажению связи между всхожестью и проводимостью получаемого раствора, следовательно, затруднит интерпретацию измерения.

В статье приводятся результаты использования метода водных вытяжек для определения качества семян озимой ржи, подвергнутых воздействию продуктов плазмы поверхностного разряда, постоянного магнитного поля, переменного электрического поля высокого напряжения и повышенной температуры окружающего воздуха. При этом основной акцент в исследовании – не определение оптимальных (стимулирующих) режимов воздействия, а корректность показаний метода водных вытяжек в случае, когда контрольной характеристикой выбрана энергия прорастания.

**Экспериментальная часть.** Оценивался ряд электрофизических воздействий: постоянное магнитное поле, газоразрядное экспонирование и переменное электрическое поле. В случае газоразрядного экс-

понирования одним из действующих факторов является тепловой поток от поверхности диэлектрического барьера к слою семян. Для оценки роли этого фактора в общей картине воздействия также были проведены исследования с тепловым воздействием.

**Воздействия. 1. Постоянное магнитное поле.** Воздействие постоянным магнитным полем является самостоятельным методом стимуляции всхожести и качественных характеристик прорастания. Результаты получены для целого ряда культур, в том числе зерновых [2–4]. Постоянное магнитное поле создается в катушке (последовательная намотка). Это дает возможность регулировать интенсивность воздействия током, протекающим по катушке. Проба семян располагается в пластиковом контейнере, обернутом слоем теплоизоляции внутри катушки. Катушка охлаждается группой радиаторов. Были рассмотрены варианты воздействия постоянным магнитным полем с напряженностью 10, 20 и 40 мТ при времени экспонирования от 10 с до 30 мин. Напряженность магнитного поля измерялась теслометром ТПУ-1.

**2. Газоразрядное экспонирование.** Рассматривалось воздействие продуктов плазмы поверхностного диэлектрического барьерного разряда, существующего во влажном воздухе атмосферного давления. Воздействие поверхностным разрядом позволяет повысить качественные характеристики прорастания семян злаковых культур [5,6] и обеспечивает в оптимальных режимах полное протравление поверхности семян [7].

Электродная система, использованная для обработки, состоит из 10 полос алюминиевой фольги (50 мкм толщиной и 1 мм шириной), расположенных на поверхности барьера из корундовой керамики (ВК-96, 1 мм толщиной) на расстоянии 5 мм друг от друга. К полосам приложено высокое синусоидальное напряжение 2,5 кВ, частотой 5, 15, 25 или 80 кГц. Обратный электрод, расположенный на противоположной стороне керамики, заземлен. Электродная система располагается над слоем семян. Расстояние между поверхностью диэлектрического барьера и заземленной поверхностью, на которой располагаются семена, составляет 10 мм.

**3. Переменное электрическое поле.** Воздействие переменным электрическим полем высокого напряжения проводится в электродной системе, использованной для газоразрядного экспонирования. Разница заключается в том, что с обратного электрода снято заземление. Таким образом, поверхностный разряд в системе не формируется, а семена находятся только под действием переменного электрического поля, созданного в промежутке между

полосовыми электродами и заземленным электродом, на котором лежат семена. К полосовым электродам приложено синусоидальное напряжение частотой 15 кГц 2,5 кВ (действующее значение) в течение 10 и 60 с.

**4. Тепловое воздействие.** Тепловая обработка имитирует воздействие теплового потока, возникающего в системе с поверхностным разрядом (газоразрядное экспонирование). Проба семян располагается на массивной металлической пластине. Проба с пластиной помещается в печь, прогретую до 60 °С. После 1, 5, 10 и 20 мин выдержки в печи от пробы делаются отборы для закладки на проращивание и вытяжку.

**Проводимость водной вытяжки.** Проводимость вытяжки определяется на единицу массы заложенной пробы [1]. Каждый из вариантов воздействия — по 3–5 повторов по  $1 \pm 0,2$  г. Проба заливается в пластиковый стакан с 50 мл дистиллированной воды. Пробы выдерживаются в течение 24 ч при температуре 4 °С. После выдержки семена отделяются от раствора электролита и измеряется проводимость раствора. По каждому варианту вычисляется среднее значение проводимости по всем пробам. Проводимость измеряется кондуктометром Condi 330i.

**Определение всхожести.** Кроме проводимости вытяжки, на обработанных семенах также определяется трехсуточная всхожесть (энергия прорастания). Семена проращиваются в темноте в термостате при 24 °С на двух слоях фильтровальной бумаги в пластиковых контейнерах по 50 семян на повтор, по 3–6 повторов на вариант в течение трех суток. Бумага предварительно увлажняется дистиллированной водой из расчета 10 мл на пробу; 2 мл дистиллированной воды на пробу вносится ежедневно. Каждые сутки контейнеры проветриваются, и их положение в термостате меняется. Всхожесть определяется как число нормально взошедших семян к числу заложенных в опыт. Нормально проросшими считаются проростки с длиной ростка больше половины длины семени и имеющие не менее двух нормально развитых корней.

**Посевной материал.** В качестве модельного объекта использовались семена озимой ржи (*Secale cereale* L.) сорта «Чуплан» урожая 2013 г., полученные из коллекций ЦКП «Биоресурсный центр» Сибирского института физиологии и биохимии растений СО РАН (г. Иркутск).

Все эксперименты выполнены в 4 квартале 2017 г. и 1 квартале 2018 г.

**Результаты.** Результаты измерения проводимости  $\gamma$  мкСм/(г·см) (на 1 г массы семян) растворов водных вытяжек из проб, полученных после обра-

боток и энергии прорастания (всхожесть на третьи сутки в %) соответствующих вариантов, приведены в табл. 1–4 (указаны средние значения проводимости и энергии прорастания по трем пробам (не менее)). В табл. 1 приведены результаты магнитного и теплового воздействия; результаты по газоразрядному экспонированию при различной частоте питающего напряжения и времени экспозиции.

Для каждого из случаев в таблицах также указано, явился ли результат, полученный методом водных вытяжек корректным (К) или ложным (Л). Корректным результатом считается случай, когда проба с пониженным относительно контрольной пробы выходом электролита обладает большей (опять же относительно контрольной пробы) энергией прорастания.

Таблица 1

Магнитный опыт (напряженность, время)	Проводимость $\gamma$ , мкСм/(гсм)	Энергия прорастания $E$ , %
Контроль	75,9	76,3
10 мТ, 1 мин	78,4	71,4 (К)
10 мТ, 10 мин	80,4	68,4 (К)
20 мТ 10 сек	83,6	74,5 (К)
20 мТ, 1 мин	85,3	72,2 (К)
20 мТ, 30 мин	85,5	77,5 (Л)
40 мТ, 1 мин	88,6	80,5 (Л)

Таблица 2

Тепловой опыт: время	Проводимость $\gamma$ , мкСм/(гсм)	Энергия прорастания $E$ , %
Контроль	70,9	78,0
1 мин	71,3	69,7 (К)
5 мин	72,9	72,3 (К)
10 мин	71,3	70,4 (К)
20 мин	71,7	73,6 (К)

Таблица 3

Газоразрядное воздействие: частота, время	Проводимость $\gamma$ , мкСм/(гсм)	Энергия прорастания $E$ , %
Контроль	78,1	69,9
5 кГц, 10 с	80,8	71,7 (Л)
5 кГц, 60 с	72,3	72,9 (К)
15 кГц, 10 с	77,5	78,5 (К)
15 кГц, 60 с	78,5	69,6 (К)
25 кГц, 10 с	74,6	71,9 (К)
25 кГц 60 с	76,1	74,2 (К)
80 кГц, 10 с	77,0	71,4 (К)
80 кГц, 60 с	75,6	73,3 (К)

Электрическое поле		
Контроль	70,8	78,0
10 с	74,5	77,0 (К)
60 с	85,3	70,3 (К)

Таблица 4

Газоразрядное воздействие, время	Проводимость $\gamma$ , мкСм/(гсм)	Энергия прорастания $E$ , %
Частота 15 кГц		
Контроль	71,6	65,3
5 с	69,3	64,0 (Л)
10 с	72,9	68,2 (Л)
60 с	64,5	64,6 (Л)
120 с	82,5	67,7 (Л)
180 с	68,4	57,5 (Л)
300 с	69,7	63,9 (Л)
420 с	72,1	58,9 (К)
Частота 80 кГц		
Контроль	63,5	69,2
10 с	70,6	71,1 (Л)
30 с	65,1	69,4 (Л)
60 с	65,1	51,9 (К)

Во всех опытах с тепловым воздействием и действием электрического поля метод водных вытяжек показал корректные по энергии прорастания результаты. В случае воздействия постоянным магнитным полем корректными являлись только случаи, когда пробы обладали пониженной энергией прорастания. Из 18 рассмотренных вариантов газоразрядного экспонирования в половине случаев метод водных вытяжек дал некорректный результат. При этом наблюдались случаи проб с повышенным выходом электролита при повышении энергии прорастания и обратный вариант – снижение энергии прорастания, сопровождалось снижением проводимости вытяжки.

Также необходимо отметить, что семена озимой ржи, использованные в исследовании, обладают разнокачественностью, что отражается в виде заметных колебаний энергии прорастания контроля при переходе от опыта к опыту. При этом проводимость водной вытяжки, полученной из контрольных проб и энергия прорастания пробы не образуют последовательного ряда. Имеется в виду, что контрольная проба, обладающая наименьшей всхожестью, не формирует раствор электролита с наибольшей проводимостью.

Существенные отличия в проводимости на необработанных (контрольных) пробах могут быть связаны с наличием поверхностных загрязнений на

семенах, в том числе поверхностных повреждений, вызванных фитопатогенами, которые при замачивании пробы участвуют в формировании раствора электролита.

Некорректные результаты при применении метода водных вытяжек для оперативного измерения всхожести проб, обработанных газовым разрядом, могут быть связаны как с повреждениями в клеточной мембране, так и взаимодействием поверхностных загрязнений и фитопатогенов с продуктами плазмы газового разряда (ионный ветер, активные формы кислорода, активные формы азота).

**Выводы.** Анализ полученных экспериментальных результатов сравнения проводимости водной вытяжки из семян озимой ржи, обработанных постоянным магнитным полем, продуктами газового разряда, переменным электрическим полем и повышенной температурой, с энергией прорастания семян после такой же обработки показал следующее.

1. При обработке магнитным полем изменение проводимости корректно указывает только на снижение энергии прорастания.

2. При обработке продуктами газового разряда (газоразрядное экспонирование) корректными явилась только половина измерений.

3. При воздействии повышенной температуры и переменного электрического поля высокого напряжения прогноз, полученный по методу водных вытяжек, явился корректным во всех случаях.

*Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант № 18-76-10019).*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Milošević M., Vujaković M., Karagić D. Vigour tests as indicators of seed viability. — *Genetika*, 2010, vol 42, No. 1, pp. 103–118.
2. Hussein H.F., Nail R.C.A., Jabail W.A. Walailak J. — *Sci & Tech*, 2012, 9(4), pp. 341–345.

3. Harb A., Jarayesh I.A-A. — *Int. J. Biophys*, 2013, 3(1), pp. 26–32.

4. Florez M., Carbonell M.V., Martinez E., Alvarez J. — *Int. J. Env. Agric & Biotech*, 2016, No. 1(2), pp. 125–131.

5. Jiafeng J., Xin, H., Ling L. I., Jiangang L., Hanliang S., Qilai X., Renhong Y., Yuanhua D. — *Plasma Science and Technology*, 2014, No. 16(1), p. 54.

6. Meng Y., Qu G., Wang T., Sun Q., Liang D., Hu S. — *Plasma Chemistry and Plasma Processing*, 2017, No. 37(4), pp. 1105–1119.

7. Zahoranová A., Henselova M., Hudcova D., Kaliráková B., Kováček D., Medvecka V., Ěernák M. — *Plasma Chemistry and Plasma Processing*, 2016, No. 36(2), pp. 397–414.

[21.05.2018]

*А в т о р ы: Лазукин Александр Вадимович окончил Институт электроэнергетики (ИЭЭ) Московского энергетического института (МЭИ) в 2011 г. Научный сотрудник кафедры ТЭВН МЭИ; научный сотрудник группы магнитобиологии растений Института физиологии растений им. К.А. Тимирязева (ИФР) РАН.*

*Сердюков Юрий Александрович окончил Воронежский государственный университет в 2008 г. В 2013 г. защитил кандидатскую диссертацию «Действие слабого постоянного магнитного поля на антиоксидантную систему проростков редиса». Старший научный сотрудник, руководитель группы магнитобиологии растений ИФР РАН.*

*Климова Мария Андреевна — аспирантка Института проблем энергетической эффективности (ИПЭЭФ) МЭИ. Ассистент кафедры химии и электрохимической энергетики (ХиЭЭ) МЭИ.*

*Кауэр Екатерина Андреевна — студентка ИЭЭ МЭИ. Лаборантка группы магнитобиологии растений ИФР РАН.*

*Кривов Сергей Анатольевич окончил МЭИ в 1980 г. В 2000 г. защитил докторскую диссертацию «Разработка научных основ электрической сепарации по проводимости» в МЭИ. Профессор кафедры ТЭВН МЭИ.*

*Elektrichestvo, 2018, No. 11, pp. 49–53*

*DOI:10.24160/0013-5380-2018-11-49-53*

## The Conductivity of Aqueous Extracts from Winter Rye Seeds Treated with Different Electrophysical Methods

**LAZUKIN Alexander V.** (National Research University «Moscow Power Engineering Institute» — «NRU «MPEI», Moscow, Russia) — Scientific Researcher

**SERDUKOV Yury A.** (Institute of Physics of Plants (IPP) of Russian Academy of Sciences, Moscow Russia) — Senior Staff Scientist, Cand. of Biological Sciences

**KLIMOVA Mariya A.** (NRU «MPEI», Moscow, Russia) — Assistant of Department, Ph.D. Student

**KAUER Yekaterina A.** (NRU «MPEI», Moscow, Russia) — Student, Laboratory Assistant of IPP

**KRIVOV Sergey A.** (NRU «MPEI», Moscow, Russia) — Professor, Dr. Sci. (Eng.)



*The article presents the results from experimental investigations into the conductivity of aqueous extracts and seed vigor of winter rye (*Secale cereale* L., the «Chuplan» variety) treated with DC magnetic field (10–40 mT with exposure time from 10 s to 30 min), AC high-voltage electric field (15 kHz, 2.5 kV with exposure time equal to 10 and 60 s), gas discharge plasma products (surface discharge in the strip electrodesystem fed by 2.5 kV sine-wave voltage with frequencies of 5, 15, 25, or 80 kHz), or subjected to an elevated temperature (60 °C for 1–20 min). The aim of the investigation was to determine the adequacy of the aqueous extract method in estimating the quality of winter rye seeds that have been subjected to electrophysical treatment. The seed vigor (three days germination) was selected as the quality criterion. It is shown that the aqueous extraction method yields correct results for seeds subjected to thermal treatment and treatment by high-voltage AC electric field. For seeds treated by magnetic field, correct results are only obtained for samples with decreased (with respect to reference samples) seed vigor. For seeds treated by gas discharge plasma products, the aqueous extracts method yielded incorrect results in half of the cases (9 treatment cases out of 18 ones that were studied).*

**Key words:** winter rye, aqueous extract conductivity, DC magnetic field, gas discharge, AC electric field

## REFERENCES

1. Milošević M., Vujaković M., Karagić D. Vigour tests as indicators of seed viability. – *Genetika*, 2010, vol 42, No. 1, pp. 103–118.
2. Hussein H.F., Hail R.C.A., Jabail W.A. Walailak J. – *Sci & Tech*, 2012, 9(4), pp. 341–345.
3. Harb A., Jarayesh I.A.-A. – *Int. J. Biophys*, 2013, 3(1), pp. 26–32.
4. Florez M., Carbonell M.V., Martinez E., Alvarez J. – *Int. J. Env. Agric & Biotech*, 2016, No. 1(2), pp. 125–131.
5. Jiafeng J., Xin, H., Ling L. I., Jiangang L., Hanliang S., Qilai X., Renhong Y., Yuanhua D. – *Plasma Science and Technology*, 2014, No. 16(1), p. 54.
6. Meng Y., Qu G., Wang T., Sun Q., Liang D., Hu S. – *Plasma Chemistry and Plasma Processing*, 2017, No. 37(4), pp. 1105–1119.
7. Zahoranová A., Henselova M., Hudecova D., Kaliráková B., Kováček D., Medvecká V., Ěernák M. – *Plasma Chemistry and Plasma Processing*, 2016, No. 36(2), pp. 397–414.

[21.05.2018]