

## ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО КАЧЕСТВА СЕМЯН КУКУРУЗЫ

Н. В. ПУШКИНА<sup>1</sup>, В. П. КУРЧЕНКО<sup>2</sup>, Ж. Н. КАЛАЦКАЯ<sup>3</sup>

<sup>1</sup>НИУ «Институт ядерных проблем» Белорусского государственного университета,  
ул. Бобруйская, 11, 220030, г. Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Республика Беларусь

<sup>3</sup>ГНУ «Институт экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси»,  
ул. Академическая, 27, 220072, г. Минск, Республика Беларусь

Отмечено, что использование метода ускоренного старения семян кукурузы, представляющего собой кратковременное их выдерживание при повышенной влажности 75 % и температуре воздуха 40 °С, позволяет моделировать длительный период хранения семян в неблагоприятных условиях. При оценке качества семян кукурузы легко определяющимся и воспроизводимым физико-химическим показателем является выход из них в раствор электролитов, который количественно измеряется электропроводностью и добротностью. Продемонстрировано, что высококачественные семена кукурузы характеризуются минимальной электропроводностью и максимальным уровнем добротности водных растворов, а при снижении всхожести семян в искусственно созданных неблагоприятных условиях (ускоренное старение) наблюдается увеличение выхода электролитов, что ведет к значительному повышению электропроводности экссудатов и уменьшению их добротности. Корреляционная зависимость между прямыми и косвенными показателями качества семян кукурузы в условиях ускоренного старения доказывает возможность использования электрофизических методов для оценки их всхожести.

**Ключевые слова:** семена кукурузы; ускоренное старение; всхожесть; энергия прорастания; электропроводность; добротность; экссудат.

## THE USE OF ELECTROPHYSICAL METHODS FOR EVALUATING THE PHYSIOLOGICAL QUALITY OF CORN SEEDS

N. V. PUSHKINA<sup>a</sup>, U. P. KURCHANKA<sup>b</sup>, J. N. KALATSKAJA<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Research Institute for Nuclear Problems of Belarusian State University,  
Bobrujskaja street, 11, 220030, Minsk, Republic of Belarus

<sup>b</sup>Belarusian State University, Nezavisimosti avenue, 4, 220030, Minsk, Republic of Belarus

<sup>c</sup>V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus,  
Akademicheskaya street, 27, 220072, Minsk, Republic of Belarus

### Образец цитирования:

Пушкина Н. В., Курченко В. П., Калацкая Ж. Н. Возможность использования электрофизических методов для оценки физиологического качества семян кукурузы // Вестн. БГУ. Сер. 2, Химия. Биология. География. 2016. № 1. С. 26–30.

### For citation:

Pushkina N. V., Kurchanka U. P., Kalatskaja J. N. The use of electrophysical methods for evaluating the physiological quality of corn seeds. *Vestnik BGU. Ser. 2, Khimiya. Biol. Geogr.* 2016. No. 1. P. 26–30 (in Russ.).

### Авторы:

**Надежда Викторовна Пушкина** – младший научный сотрудник.

**Владимир Петрович Курченко** – кандидат биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории прикладных проблем биологии биологического факультета.

**Жанна Николаевна Калацкая** – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории роста и развития растений.

### Authors:

**Nadzeya Pushkina**, junior researcher.

*nadyapushkina@gmail.com*

**Uladzimir Kurchanka**, doctor of biology, docent; leading researcher at the laboratory of applied problems of biology, school of biology.

*kurchenko@tut.by*

**Joanna Kalatskaja**, doctor of biology; leading researcher at the laboratory of growth and development of plants.

*kalatskayaj@mail.ru*

The use of the method of accelerated aging of seeds of corn, representing their short-term aging at high humidity of 75 % and an air temperature of 40 °C, allows you to simulate a long period of storage of seeds under adverse conditions. Just determined and reproducible physico-chemical indicator in assessing the quality of corn seeds is a solution of electrolytes in solution, which is quantitatively measured electrical conductivity and good quality. In this paper it is shown that high-quality corn seeds are characterized by a minimum electrical conductivity and maximum good quality and in reducing germination of seeds in artificially created unfavourable conditions (accelerated aging) of the observed increase in the release of electrolytes, which leads to a significant increase in conductivity and decrease in the quality factor. The correlation between direct and indirect indicators of the quality of corn seeds in the conditions of accelerated aging proves the possibility of using electrophysical methods for evaluation of their germination.

**Key words:** corn seeds; the accelerated aging; germination; germination energy; conductivity; good quality; exudate.

Качество семян – важная характеристика начальных этапов жизненного цикла растений, и ему следует уделять пристальное внимание для сохранения и воспроизводимости сортов или гибридов от поколения к поколению. Семена высокого качества обеспечивают также стартовый потенциал для оптимального формирования продуктивности и устойчивости растений. В свою очередь, на качество семян воздействуют условия периода от их формирования на материнском растении и до посева. На качество семян оказывают влияние все процедуры, проводимые после уборки урожая, в том числе и условия хранения. Семена кукурузы по биолого-морфологическим особенностям во многом отличаются от семян других зерновых культур, что требует дополнительных усилий по их подготовке к хранению и посеву [1]. Всхожесть семян является ключевым показателем качества посевного материала. Все семена за период хранения частично теряют всхожесть. Нахождение их в течение нескольких недель или даже дней в неблагоприятных условиях может вызвать необратимое ухудшение качества, которое сопровождается физиологическим и физическим повреждением клеточных мембран [2–6]. Кроме того, наблюдаются изменения в активности ферментов и интенсивности дыхания семян, а также снижение синтеза белков и РНК, повреждение на уровне ДНК и накопление токсических метаболитов [3], что ведет к увеличению выхода растворимых соединений из тканей, в том числе электролитов, при инкубации их в воде. Увеличение содержания экссудата в водном растворе, полученном из семян, можно определить с помощью электрофизических и спектральных методов [4]. Разработка и расширение применения электрофизических методов, которые коррелируют со всхожестью, позволяют быстро и в короткие сроки оценивать физиологическое качество семян, что имеет важное практическое значение [5].

Косвенным показателем физиологического качества посевного материала служит изменение электропроводности [7] экссудата из семян, обусловленное выходом клеточных метаболитов, в том числе и электролитов (например, таких как сахарофосфаты, аминокислоты, ионы  $K^+$ ), в раствор, которое определяется кондуктометрическим методом. Способность семян сохранять и восстанавливать целостность мембран предотвращает выход электролитов и свидетельствует о их высоком качестве [8–10].

Другим косвенным методом определения качества семян может быть изменение показателя добротности экссудатов семян на высокочастотном СВЧ-резонаторе. Суть метода заключается в измерении диэлектрических характеристик, таких как проводимость экссудатов, резонаторным способом. Значение добротности определяет энергетические характеристики резонатора. По изменению добротности резонатора при помещении в него исследуемого образца можно судить об электрофизических характеристиках данного объекта [11].

Цель настоящей работы – сравнительное исследование возможности использования электрофизических методов для определения физиологического качества семян кукурузы, находящихся в условиях ускоренного старения, которые имитируют долговременное хранение.

Объектом исследования служили семена и проростки кукурузы белорусской селекции сорта Полесский 212 СВ с исходной всхожестью 97 % и влажностью 12,7 %. Семена были откалиброваны, промыты, высушены, затем их выравнивали по влажности над насыщенным раствором хлористого кальция при постоянной температуре 20–22 °C в течение 56 ч. При проведении теста на ускоренное старение (УС) семена кукурузы размещали в эксикаторе над насыщенным раствором хлористого натрия и выдерживали 21 день при температуре 40 °C и 75 % влажности воздуха. Через каждые 3 дня отбирали пробы для определения энергии прорастания, всхожести и электропроводности и добротности водного экссудата семян. Все пробы семян подсушивали на открытом воздухе до исходного уровня влажности 12,7 %. Контролем служили семена, не подвергавшиеся УС. Контрольные и опытные семена разделяли на навески по 7 г в четырехкратной повторности. Далее, семена помещали в пробирки с деионизированной водой на 5 ч. Определение всхожести подсушенных семян проводилось по ГОСТ 12038-84 [12]. Электропроводность семян кукурузы устанавливали по выходу электролитов в раствор кондуктометрическим методом при температуре 20 °C с помощью кондуктометра Hanna HI 9932 [7], на векторном анализаторе цепей Agilent E 5061 В измерялась добротность экссудатов. Статистическая обработка данных выполнялась с использованием функций описательной статистики компьютерной программы Microsoft Office Excel, с помощью которой построены все гистограммы и графики.

В результате проведенных лабораторных исследований установлено, что семена кукурузы сорта Полесский 212 СВ с исходной всхожестью 97 % и влажностью 12,7 % достаточно долго сохраняют высокую всхожесть в условиях УС. Анализируя данные, приведенные на рис. 1, можно сделать вывод: семена данного сорта имеют высокое качество, так как их всхожесть сохраняется до 7 дней при действии неблагоприятных факторов (высокая температура и влажность) и при этом формируются нормально развитые проростки.

По мере увеличения времени нахождения семян в условиях УС их качество ухудшалось: замедлилась скорость прорастания, снизилась всхожесть и зарегистрировано большое количество непроросших семян. На 21-й день проведения теста на УС наблюдается минимальное число проросших семян – 50 %, максимальное непроросших – 42 % и 8 % – морфологически аномальных проростков (рис. 1).

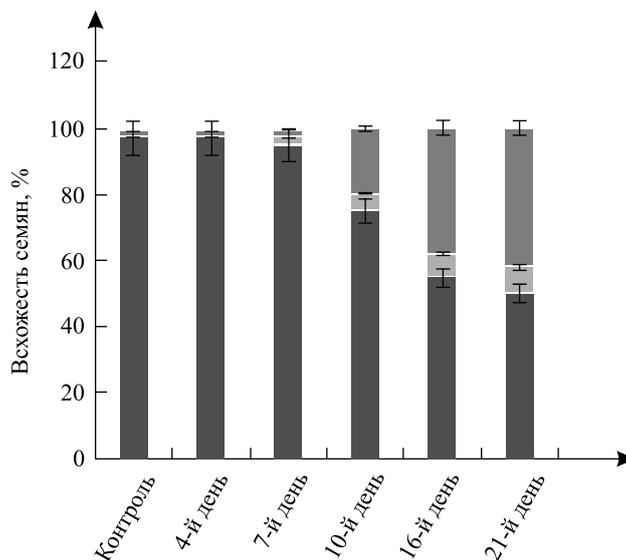


Рис. 1. Всхожесть семян кукурузы сорта Полесский 212 СВ в условиях УС:

■ – непроросшие семена; ■ – ненормально развитые проростки; ■ – нормально развитые проростки

В условиях УС существенно снижается сила роста или скорость прорастания семян кукурузы, что обуславливает уменьшение их энергии прорастания (табл. 1). Хотя высокая всхожесть – на уровне 95 % – сохранялась в течение 7 дней нахождения в неблагоприятных условиях УС, энергия прорастания несколько снизилась уже на 4-й день УС, а на 7-й день УС – еще более значительно по сравнению с контролем.

Таблица 1

**Энергия прорастания и всхожесть семян кукурузы сорта Полесский 212 СВ при УС**

Вариант опыта, дней	Энергия прорастания, %	Всхожесть, %
Контроль	95,0 ± 2,0	97,0 ± 2,0
4	84,0 ± 3,0	97,0 ± 2,0
7	59,0 ± 3,3	95,0 ± 3,0
10	30,0 ± 2,8	75,0 ± 5,0
16	23,0 ± 4,6	55,0 ± 6,0
21	18,0 ± 3,3	50,0 ± 6,0

Сопоставление данных по всхожести семян в условиях УС с выходом электролитов из семян в раствор в эти сроки обнаруживает обратно пропорциональную зависимость: снижение всхожести семян кукурузы сопровождается увеличением электропроводности экссудатов. При этом возрастает показатель добротности, т. е. потери энергии, поглощенной компонентами электролитного состава из семян, имеющих различную всхожесть (рис. 2). На 7-й день нахождения семян в условиях УС их всхожесть сохраняется на уровне, близком к контролю, при этом электропроводность увеличивается незначительно

(с 56,2 до 80,0 мкСм/см<sup>-1</sup>), в свою очередь, добротность ( $Q$ ) снижается с 450 до 430 ГГц. Уменьшение всхожести семян до 75–55 % сопровождается резким увеличением выхода электролитов, что ведет к возрастанию электропроводности раствора до 398 мкСм/см<sup>-1</sup> и еще большему снижению добротности до 411 ГГц. При максимальных сроках УС семян кукурузы – 21 день – наблюдается минимальная всхожесть – 50 %, максимальная электропроводность – 411 мкСм/см<sup>-1</sup> и минимальный показатель добротности – 400 ГГц.

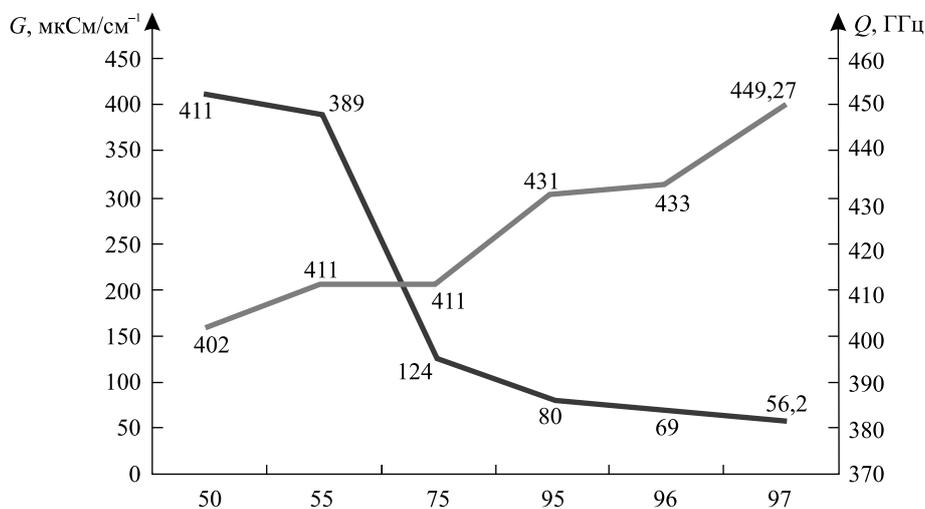


Рис. 2. Зависимость электропроводности ( $G$ ) и добротности ( $Q$ ) от всхожести семян кукурузы в условиях УС:  
 — — электропроводность; — — добротность

Таким образом, показано, что энергия прорастания и всхожесть кукурузы снижаются при неблагоприятных условиях хранения, которые имитирует тест на УС семян, в то же время выход электролитов из тканей семян значительно возрастает, что приводит к увеличению электропроводности и уменьшению добротности растворов. Эти электрофизические показатели являются косвенными признаками для оценки качества семян в процессе хранения (см. рис. 2). Вышеназванные показатели представлены несвязанными величинами. При этом перемена значений нескольких из них сопутствует систематическому изменению значений других величин. Для выявления их взаимосвязи был применен множественный корреляционный анализ [13]. Это метод обработки статистических данных для изучения коэффициентов корреляции между несколькими случайными переменными. В ходе анализа сравниваются коэффициенты корреляции между признаками и устанавливаются их статистические взаимосвязи.

Матрицы множественного корреляционного анализа, представленные в табл. 2, по оценке взаимосвязи времени УС семян, энергии прорастания, всхожести, электропроводности и добротности, характеризуются высокими коэффициентами корреляции. Приведенные значения корреляционных коэффициентов показывают достоверное, закономерное изменение зависимости между временем УС, энергией прорастания, всхожестью, электропроводностью и добротностью, где коэффициент  $R_{xy} \rightarrow 1$ .

Таблица 2

Корреляционная матрица между временем УС, энергией прорастания, всхожестью, электропроводностью и добротностью

Вариант опыта	Время УС, ч	Энергия прорастания	Всхожесть	Электропроводность	Добротность
Время УС	1	-0,934 32	-0,954 96	0,931 252	-0,945 91
Энергия прорастания		1	0,909 78	-0,814 65	0,969 02
Всхожесть			1	-0,963 72	0,901 712
Электропроводность				1	-0,805 57
Добротность					1

Корреляционная матрица отражает динамику изменения энергии прорастания, всхожести, добротности и электропроводности от периода хранения семян в условиях УС. На основе матриц установлены обратная и прямая зависимости между данными показателями: по мере увеличения срока хранения семян в условиях УС снижается всхожесть семян и добротность экссудатов, но возрастает электропроводность (см. табл. 2).

Таким образом, использование метода УС, представляющего собой кратковременную инкубацию семян кукурузы при повышенной влажности 75 % и температуре воздуха 40 °С, позволяет моделировать длительный период их хранения в неблагоприятных условиях. Этот метод дает возможность в короткие сроки оценить качество семян различных сортов кукурузы по скорости прорастания и способности к сохранению всхожести в неблагоприятных условиях хранения. Просто определяющимся и воспроизводимым физико-химическим показателем при оценке качества семян кукурузы является выход из них в раствор электролитов, который количественно определяется электропроводностью и добротностью, с помощью кондуктометрического экспресс-метода и векторного анализатора цепей. В настоящей работе показано, что высококачественные семена кукурузы характеризуются минимальной электропроводностью и высоким показателем добротности водных растворов, а при снижении всхожести семян в искусственно созданных неблагоприятных условиях УС наблюдается увеличение выхода электролитов, что ведет к значительному повышению электропроводности экссудатов и снижению их добротности. Корреляционная зависимость между прямыми и косвенными показателями качества семян кукурузы в условиях УС доказывает возможность использования электрофизических методов для оценки их всхожести.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК (REFERENCES)

1. Блинова К. Ф. Кукуруза // Ботанико-фармакогностический словарь : справ. пособие / под ред. К. Ф. Блиновой, Г. П. Яковлева. М., 1990.
2. Ladonne F. Relationship between standard germination test, conductivity test and field emergence of pea seeds // *Acta Hort.* 1989. Vol. 253, № 2. P. 153–162 [Ladonne F. Relationship between standard germination test, conductivity test and field emergence of pea seeds. *Acta Hort.* 1989. Vol. 253, No. 2. P. 153–162 (in Engl.)].
3. Priestly D. A. Seed ageing // Implications for seed storage and persistence in the soil. New York, 1986.
4. Блинкова М. В. Хранение семян кукурузы и подготовка их к посеву [Электронный ресурс]. 2014. Режим доступа: <http://agrolib.ru/> (дата обращения: 12.07.2015).
5. Веселова Т. В., Веселовский В. А., Козарь В. И. Люминесцентный метод определения влажности и жизнеспособности семян // Физиология семян. Формирование, прорастание, прикладные аспекты : сб. ст. Душанбе, 1990. С. 276–280.
6. Вартапетян Б. Б. Учение об анаэробном стрессе растений – новое направление в экологической физиологии, биохимии и молекулярной биологии растений. Становление новой научной дисциплины // Физиология растений. 2005. Т. 52, № 6. С. 931–953 [Vartapetian B. B. The doctrine about an anaerobic stress of plants – the new direction in ecological physiology, biochemistry and molecular plant biology. Formation of new scientific discipline. *Fiziol. Rast. = Russ. J. Plant Physiol.* 2005. Vol. 52, No. 6. P. 931–953 (in Russ.)].
7. Алексейчук Г. Н., Ламан Н. А. Механизм старения семян при неблагоприятных условиях хранения // Ботаника: исследования. 2008. Вып. 36. С. 311–325 [Alekseichuk G. N., Laman N. A. The mechanism of aging of seeds under adverse storage conditions. *Botany: researches.* 2008. Vol. 36. P. 311–325 (in Russ.)].
8. TeKrony D. M. Seed Vigour Testing // *J. Seed Technol.* 1995. Vol. 8. P. 55–60 [TeKrony D. M. Seed Vigour Testing. *J. Seed Technol.* 1995. Vol. 8. P. 55–60 (in Engl.)].
9. Seed Vigor Testing Handbook. Contribution No. 32 to the Handbook of Seed Nesting // Association of Official Seed Analysts. New York, 2002.
10. Mokhoff N. Agilent and UC Davis form millimeter research center [Electronic resource]. 2015. URL: [http://www.eetimes.com/document.asp?doc\\_id=1264252](http://www.eetimes.com/document.asp?doc_id=1264252) (date of access: 15.07.2015).
11. Бидерман В. Л. Теория механических колебаний. М., 1980.
12. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести : ГОСТ 12038-84. М., 2011.
13. Гурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика. 10-е изд., стер. М., 2004.

Статья поступила в редакцию 23.09.2015.  
Received by editorial board 23.09.2015.