

References

1. Zemskov V.I. Proektirovanie resursosberegaiushchikh tekhnologii i tekhnicheskikh sistem v zhivotnovodstve: uchebnoe posobie / V.I. Zemskov. – Sankt-Peterburg: Lan, 2021. – 384 s. – ISBN 978-5-8114-1939-5.
2. Fedorenko I.Ia. Tekhnologicheskaiia optimizatsiia khoziaistvennykh kombikormovykh predpriatii: monografiia / I.Ia. Fedorenko, V.V. Sadov. – Barnaul: RIO Altaiskogo GAU, 2017. – 249 s. – ISBN 978-5-94485-305-9.
3. Sergeev N.S. Novoe pokolenie izmelchitelei zerna i semian maslichnykh kultur dlia selskokhoziaistvennogo proizvodstva / N.S. Sergeev, V.N. Nikolaev, M.V. Zapevalov, D.N. Sergeev. – Cheliabinsk: luzhno-Uralskii GAU, 2022. – 196 s. – ISBN: 978-5-88156-893-1.
4. Seidova I.A. Fizikomekhanicheskie svoistva kombikorma i ego osnovnykh komponentov // Vestnik Omskogo GAU. 2022. No. 1 (45). S. 139-146.
5. Sostoianie i innovatsii tekhnicheskogo servisa mashin i oborudovaniia: materialy XV mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, posviashchennoi pamiati dotsenta M.A. Anfinogenova / Novosib. gos. agrar. un-t. Inzhener. in-t. – Novosibirsk: Izd-vo NGAU «Zolotoi kolos» 2023. – 427 s.
6. Dismembrator dlia prigotovleniia gomogenizirovannykh produktov. Pat. 146645 Ros. Federatsiia: V02S13/00/ Sitnikov A.A., Kamyshov Iu.N., Kondrukh V.V., Molchanov P.D., Stavrov P.V., Gurkina K.A., Silchenko I.A., Pochter S.V., zaiavitel i patentoobladatel Alt. gos. tekhn. un-t im. I.I. Polzunova, OOO «IuNIKA». – Zaiavka 2014125602/13; zaiavl. 24.06.2014; opubl. 20.10.2014.
7. Kamishov, Yu., Makarova, N., Sitnikov, A. (2020). Hydroblow as Mechanism of Additional Intensification of Liquid Forages Preparation in Centrifugal-Rotor Dismembrators. *Proceedings of the 5th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2019)*. Pp. 551-558). DOI: 10.1007/978-3-030-22063-1_58.
8. Makarova N.A. Sovershenstvovanie tsen-trobezchno-rotornykh dismembratorov dlia prigotovleniia zhidkikh kormov: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.20.01 / Makarova Natalia Aleksandrovna. – Barnaul, 2015. – 230 s.
9. Svidetelstvo No. 2012616867 Rossiiskaia Federatsiia. Raschet ratsionalnykh parametrov rabochikh organov dismembratora dlia mekhanoaktivatsionnoi obrabotki syria organicheskogo proiskhozhdeniia: svidetelstvo ob ofits. registratsii programmy dlia EVM / Sitnikov A.A., Makarova N.A., Nefedov E.N., Kamyshov Iu.N., Pochter S.V.; zaiavitel i pravoobladatel FGBOU VPO «Altaiskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet im. I.I. Polzunova» – No. 2012614525, zaiavl. 04.06.2012; zaregistrirvano v reestre programm dlia EVM 01.



УДК 631.559.2:58.084.1

DOI: 10.53083/1996-4277-2024-238-8-93-100

**Н.Н. Барышева, Д.Д. Барышев,
С.П. Пронин, В.И. Беляев**
N.N. Barysheva, D.D. Baryshev,
S.P. Pronin, V.I. Belyaev

ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ПОСЕВНОЙ ПРИГОДНОСТИ СЕМЕННОГО МАТЕРИАЛА КАК АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ ИНСТРУМЕНТ РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ

DIAGNOSIS OF SEED SOWING SUITABILITY AS AN ALTERNATIVE RESOURCE-SAVING TOOL

Ключевые слова: диагностирование, посевная пригодность, показатели качества, семена пшеницы, фракционирование, урожайность, лабораторная всхожесть, показатели биоэлектрических сигналов, экспериментальные исследования, инструмент ресурсосбережения.

Сельскохозяйственный сектор играет ключевую роль в обеспечении продовольственной безопасности

населения, что представляет одно из важных направлений Долгосрочной стратегии развития зернового комплекса Российской Федерации. В растениеводстве большое внимание уделяется ресурсосберегающим технологиям, обеспечивающим повышение урожайности. При этом актуальным является не только увеличение урожайности, но и повышение качества продукции с сохранением безопасности пищевых продуктов. Наибольший интерес представляет совокупность био-

логических, физических, химических, технологических показателей качества, характеризующих потребительские свойства и пригодность семян для посева. Отбор высококачественного семенного материала, который позволяет получить не только высокую урожайность, но и потребительские характеристики, определяющие пригодность зерна для использования по определенному назначению, представляет дополнительный инструмент ресурсосберегающих технологий. Реализация отбора семян с высоким посевным и продуктивным потенциалом может быть осуществлена путем применения фракционных технологий для сортировки семян и системы диагностирования качества по альтернативным показателям – биоэлектрическим потенциалам. Представлено решение вопроса обеспечения продовольственной безопасности с помощью использования системы диагностирования посевной пригодности семенного материала как альтернативного инструмента ресурсосбережения. Приведены результаты экспериментальных исследований и полевых испытаний, которые подтверждают тот факт, что метод диагностирования показателей посевных качеств по биоэлектрическим потенциалам позволяет не только отобрать высококачественные семена, но и выполнить выбор фракции семян с более высокой потенциальной урожайностью. Исследования показали, что разделение семян пшеницы на фракции по аэродинамическим свойствам и анализ фракционирования по биоэлектрическим потенциалам позволяют значительно повысить урожайность (от 1,3 до 5,6 раз).

Keywords: *diagnostics, sowing suitability, quality indices, wheat seeds, fractionation, yielding capacity, laboratory*

Барышева Надежда Николаевна, д.т.н., профессор, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет имени И.И. Ползунова», г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: mnn-t@mail.ru.

Барышев Денис Дмитриевич, к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет имени И.И. Ползунова», г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: denis.baryshev@bk.ru.

Пронин Сергей Петрович, д.т.н., профессор, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет имени И.И. Ползунова», г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: sppronin@mail.ru.

Беляев Владимир Иванович, д.т.н., профессор, ФГБОУ ВО Алтайский ГАУ, г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: prof-belyaev@yandex.ru.

ry germination, bioelectric signal indices, experimental studies, resource saving tool.

The agricultural sector plays a key role in ensuring food security of the population which represents one of the important directions of the Long-term strategy for the development of the grain complex of the Russian Federation. In crop production, much attention is paid to resource-saving technologies that ensure increased yields. At the same time, it is important not only to increase productivity, but also to improve product quality while maintaining food safety. Of greatest interest is the set of biological, physical, chemical, and technological quality indices that characterize the consumer properties and suitability of seeds for sowing. The selection of high-quality seed material which allows obtaining not only high yields, but also consumer characteristics that determine the suitability of grain for a specific purpose, represents an additional tool for resource-saving technologies. The selection of seeds with high sowing and productive potential may be carried out by using fractional technologies for seed grading and a system for quality diagnosing using alternative indices - bioelectric potentials. This paper discusses a solution to the issue of ensuring food security through the use of diagnostic systems of seed suitability as an alternative tool of resource saving. The results of experimental studies and field tests are presented. They confirm the fact that the method of diagnosing indices of sowing qualities by bioelectrical potentials allows not only selecting high-quality seeds, but also selecting the fraction of seeds with higher potential yield. The studies have shown that fractionation of wheat seeds by aerodynamic properties and selection of a fraction by bioelectrical potentials allows increasing the yield significantly (from 1.3 to 5.6 times).

Barysheva Nadezhda Nikolaevna, Dr. Tech. Sci., Prof., Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russian Federation, e-mail: mnn-t@mail.ru.

Baryshev Denis Dmitrievich, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russian Federation, e-mail: denis.baryshev@bk.ru.

Pronin Sergey Petrovich, Dr. Tech. Sci., Prof., Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russian Federation, e-mail: sppronin@mail.ru.

Belyaev Vladimir Ivanovich, Dr. Tech. Sci., Prof., Altai State Agricultural University, Barnaul, Russian Federation, e-mail: prof-belyaev@yandex.ru.

Введение

Обеспечение продовольственной безопасности населения представляет одно из важных направлений Долгосрочной стратегии развития зернового комплекса Российской Федерации. Сельскохозяйственный сектор играет ключевую роль в решении данного вопроса [1, 2], именно

поэтому увеличению показателей эффективности сельского хозяйства, внедрению ресурсосберегающих технологий, в том числе для производства зерновых культур, посвящено множество работ [2, 3-6].

Ресурсосбережение подразумевает комплекс мероприятий, который позволяет оптимизиро-

вать производство продукции, сократить сопутствующие расходы, направлен на рациональное использование ресурсов.

В растениеводстве большое внимание уделяется ресурсосберегающим технологиям, обеспечивающим повышение урожайности [6]. При этом актуальным является не только увеличение урожайности, но и повышение качества продукции с сохранением безопасности пищевых продуктов [4]. Наибольший интерес представляет совокупность биологических, физических, химических, технологических показателей качества, характеризующих потребительские свойства и пригодность семян для посева [6].

Отбор высококачественного семенного материала, который позволяет получить не только высокую урожайность, но и потребительские характеристики, определяющие пригодность зерна для использования по определенному назначению, представляет дополнительный инструмент ресурсосберегающих технологий.

Реализация отбора семян с высоким посевным и продуктивным потенциалом может быть осуществлена путем применения фракционных технологий для сортировки семян и системы диагностирования качества по альтернативным показателям – биоэлектрическим потенциалам.

Целью исследования является разработка и апробация методики диагностирования посевной пригодности семенного материала, разделенного на фракции, в качестве альтернативной ресурсосберегающей технологии, позволяющей обеспечить количественный и качественный рост показателей выращиваемой зерновой продукции, повысить продуктивность сельского хозяйства.

Материалы и методы

Объектом исследования является методика диагностирования посевной пригодности семян по биоэлектрическим потенциалам как альтернативный инструмент агротехнического приема ресурсосбережения.

Предмет исследования – показатели урожайности и лабораторные показатели биоэлектрических потенциалов для оценки посевной пригодности выращиваемой продукции.

Для диагностирования биоэлектрических потенциалов семян пшеницы был использован ранее разработанный метод контроля потенциалов, подробно представленный в работе [7].

Метод включает подготовку семян к исследованию (замачивание зерен в дистиллированной воде при температуре 20°C), измерение в соответствии с разработанной методикой (прокол зерна электродом-иглой в область зародыша и запись сигнала в течение 5 с), обработку данных (фильтрацию для исключения шумовой компоненты) и анализ данных с использованием методов машинного обучения.

В качестве материала для экспериментальных исследований использовались семена пшеницы мягких сортов (табл. 1), выращенных на территории Алтайского края. В данной работе представлены результаты урожайности за 2019-2020 гг.

Сорта семян пшеницы и их урожайность за 2019 г. следующие: Алтайская-75 – 16 ц/га, Гранни – 22,3 ц/га, Тасос – 39 ц/га.

Фракционные технологии – сепарирование семян по аэродинамическим свойствам.

Исследования урожайности в 2020 г. проводились на опытном поле, расположенном в Павловском районе Алтайского края (Сибирский федеральный округ Российской Федерации).

Методика полевых испытаний – мелкоделяночные опыты.

Результаты исследований и их обсуждение

Лабораторная всхожесть семян представляет один из основных факторов, характеризующих посевную пригодность. В результате исследования всхожести семян пшеницы разных сортов установлено, что семенной материал является кондиционным, пригоден для посева. Значения лабораторной всхожести варьируются в диапазоне от 90 до 99% (табл. 1).

Поскольку разделение семян на фракции представляет один из наиболее эффективных способов повышения урожайности [7, 8], в данной работе принято решение – выполнить исследования показателей качества семян после применения фракционных технологий. При этом для экспериментальных исследований выбран способ разделения семян на фракции по аэродинамическим свойствам с использованием пневмосепаратора Петкус К293. Разделение семян по аэродинамическим свойствам является наименее травмирующим способом сортировки [9], что представляет собой важный фактор в отборе высококачественного семенного материала, так как травмированные семена в

партии способствуют заражению семян, снижению урожайности.

В результате сортировки семян по аэродинамическим свойствам получено 12 фракций семян пшеницы, по 4 фракции для каждого сорта, отбор осуществлялся по скорости сепарирования – 8, 9, 10 и 11 м/с.

Результаты оценки лабораторной всхожести. Оценка лабораторной всхожести семян

пшеницы, разделенных на фракции, показала, что семена из фракций, отсортированных на скорости 9 м/с, для всех проанализированных сортов семян пшеницы показали максимальную всхожесть.

Результаты оценки лабораторной всхожести в соответствии со стандартной методикой [10] представлены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты оценки лабораторной всхожести и урожайности пшеницы

Сорт	АДС, м/с	Лабораторная всхожесть семян перед высевом, %	Лабораторная всхожесть не разделенных на фракции семян, %	Значение урожайности, ц/га
Алтайская 75	8	89%	91%	20,5
	9	97%		29,3
	10	91%		13,5
	11	92%		6,4
Гранни	8	90%	95%	26,2
	9	94%		46,4
	10	93%		14,8
	11	95%		8,4
Тасос	8	91%	99%	37,5
	9	100%		48,5
	10	90%		23,1
	11	93%		13,0

Дисперсионный анализ результата экспериментального исследования показал, что лабораторная всхожесть семян пшеницы зависит как от принадлежности семян к тому или иному сорту (уровень значимости $3,78 \cdot 10^{-15}$, заданный уровень – 0,05), так и от аэродинамических свойств (уровень значимости $1,5 \cdot 10^{-72}$, заданный уровень значимости – 0,05).

Для обеспечения продовольственной безопасности наибольший интерес представляет конечный результат – урожайность зерновых культур, поэтому для завершения эксперимента были выполнены мелкоделяночные опыты, которые позволили зафиксировать урожайность для трех анализируемых сортов семян пшеницы – Алтайская 75, Гранни, Тасос. Для оценки урожайности были использованы семена, разделенные на фракции.

Основываясь на полученные результаты экспериментальных исследований и полевых опытов, выполнен анализ зависимости урожайности от лабораторной всхожести семян трех разных сортов, разделенных на фракции по аэродинамическим свойствам (рис. 1).

Установлена нелинейная зависимость урожайности от лабораторной всхожести семян

пшеницы (рис. 1). При этом зафиксировано, что график изменения урожайности с увеличением лабораторной всхожести отличается для каждого проанализированного сорта. Данное отличие объясняется тем, что аэродинамические свойства также влияют на урожайность.

Результаты данных исследований подтверждают, что данный показатель не может быть использован для прогнозирования потенциальной урожайности, хотя и используется при расчете нормы посева. Поскольку значения лабораторной всхожести дают низкую корреляцию с конечным результатом – урожайностью, необходим альтернативный подход – диагностирование дополнительных показателей качества, коррелирующих с урожайностью. Одними из таких показателей являются биоэлектрические потенциалы семян пшеницы [7].

Известно, что биоэлектрические потенциалы используются не только для оценки лабораторной всхожести, но и при диагностике устойчивости растений к неблагоприятным средам, для адаптации растений к климатическим изменениям [11]. Исследования авторов показали, что растения способны реагировать на внешние раздражители путем генерации электрических

импульсов, при этом электрическая реакция зависит от физиологического состояния и свойств растений. При этом также установлено, что повышение градиентов потенциалов вдоль про-

дольной оси зерновки повышает активность физиологических и метаболических процессов в семенах, стимулирует ростовые процессы и улучшает посевные качества [11].

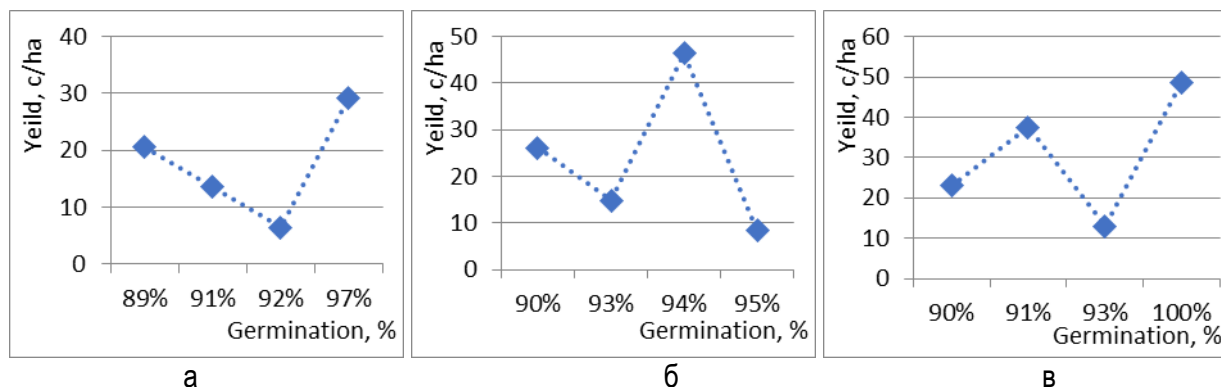


Рис. 1. Результаты зависимости лабораторной всхожести семян пшеницы разных сортов от урожайности мелкоделяночных опытов 2020 г.:
а – Altaiskaya-75; б – Granny; в – Tasos

Биоэлектрические потенциалы семян пшеницы характеризуются состоянием оболочки зерен и концентрацией ионов на внутренней и внешней стороне оболочки. Поскольку от проницаемости оболочки и концентрации ионов зависят качество зерна, его посевная пригодность, показатели биоэлектрических сигналов могут быть использованы для диагностирования как лабораторной всхожести, так и для прогнозирования урожайности.

Для оценки зависимости биоэлектрических потенциалов от лабораторной всхожести и урожайности семян пшеницы были выбраны информативные точки, характеризующие уникальную специфику изменения сигнала для каждой фракции, для каждого сорта.

Отбор данных информативных точек подробно представлен в работе [7].

В качестве информативных точек выбраны: $\Delta U/\Delta t$ – скорость изменения потенциала, которая характеризует проницаемость оболочки семян; $\Delta t_{10\%}$ – временной интервал, характеризующий форму потенциала в области максимального значения, зависит как от проницаемости оболочки, так и от концентрации ионов на внешней стороне оболочки; максимальное значение – максимум на графике, зависит как от проницаемости оболочки, так и от концентрации ионов на внешней стороне оболочки.

В таблице 2 приведены результаты исследований биоэлектрических потенциалов семян пшеницы разных сортов, разделенных на фракции по аэродинамическим свойствам.

Таблица 2

Результаты измерения

Сорт	Скорость сепарирования, м/с	$\Delta U/\Delta t$, мВ/мс	$\Delta t_{10\%}$, с	Среднее максимальное значение, мВ
Алтайская 75	8	1,03	0,02±0,01	249±6
	9	0,52	0,15±0,01	174±4
	10	1,14	0,04±0,01	221±7
	11	0,75	0,03±0,01	207±6
Гранни	8	0,57	0,13±0,01	258±3
	9	0,49	0,31±0,02	236±6
	10	0,46	0,10±0,01	176±4
	11	0,40	0,09±0,01	126±5
Тасос	8	0,46	0,24±0,01	197±3
	9	0,33	0,54±0,02	137±1
	10	0,61	0,22±0,01	200±3
	11	0,52	0,10±0,01	162±4

Основываясь на результатах экспериментальных исследований, были построены зависимости полученных показателей биоэлектрических потенциалов семян пшеницы, разделенных на фракции, от их урожайности.

В результате исследований установлено, что временной интервал, характеризующий форму графика изменения потенциала в области максимального значения ($\Delta t_{10\%}$), может быть использован как для прогнозирования урожайных свойств, так и для выбора фракции с максимальными посевными качествами.

График изменения информативного признака $\Delta t_{10\%}$ представлен на рисунке 2.

Стоит отметить, что в результате мелкоделяночных опытов в 2020 г. было установлено, что семена из фракции с аэродинамическими свойствами 9 м/с показали максимальную урожайность (табл. 2). Из этого следует, что данная фракция наиболее пригодна для высева в сравнении с остальными, поэтому представляет интерес исследование зависимости информативного признака $\Delta t_{10\%}$ от аэродинамических свойств (рис. 3).

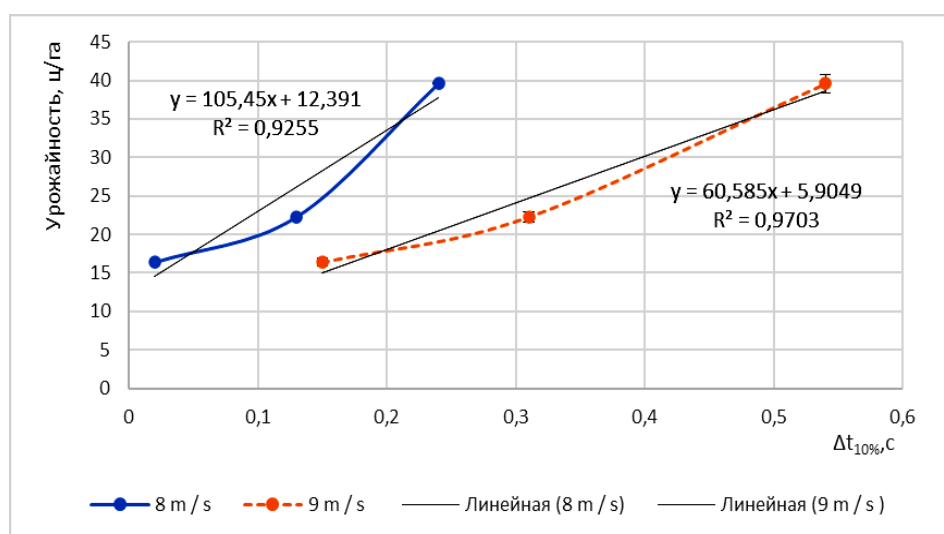


Рис. 2. Зависимость урожайности от информативного признака $\Delta t_{10\%}$ (данные за 2019 г.)

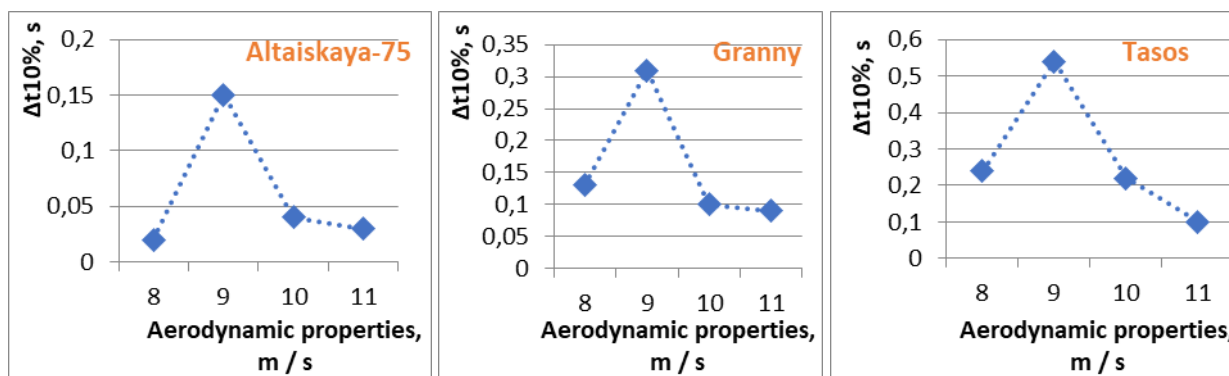


Рис. 3. Зависимость информативного признака $\Delta t_{10\%}$ от аэродинамических свойств

Графики изменения демонстрируют следующую особенность: семена из фракции с аэродинамическими свойствами 9 м/с характеризуются тем, что показатель $\Delta t_{10\%}$ выше, чем данный показатель в остальных фракциях, минимум в два раза.

Остальные информативные признаки из биоэлектрических потенциалов более зависимы от сорта семян, поэтому для построения модели прогнозирования урожайности необходимо использовать интеллектуальные методы, что подтверждено ранними исследованиями [12].

Выводы

В результате экспериментальных исследований и полевых опытов установлено, что фракционирование семян пшеницы позволяет повысить урожайность.

Для эффективного выбора фракций семян с максимальным посевным потенциалом необходимо применять систему диагностирования качества семян по альтернативным показателям биоэлектрических потенциалов. Зафиксировано, что временной интервал, характеризующий форму изменения потенциалов в области максимального значения ($\Delta t_{10\%}$), может быть использован как для оценки урожайных свойств, так и для выбора фракций высококачественных семян.

Таким образом, в совокупности выполненные исследования подтверждают тот факт, что диагностирование качества семенного материала по альтернативным показателям биоэлектрических потенциалов может быть использовано как инструмент ресурсосбережения, поскольку данный подход решает вопрос отбора семян с высоким посевным потенциалом.

Применение систем диагностирования качества семенного материала позволяет значительно повысить урожайность безопасными способами, повышает рентабельность аграрного сектора. Однако исследования в данной области также показали, что, несмотря на значительное влияние семенного фактора на урожайность и качество зерновых культур, разработанные алгоритмы, методы и подходы к диагностированию должны быть оптимизированы с учетом изменения климатических условий. Сельскохозяйственная отрасль и продовольственная безопасность наиболее подвержены изменению климата [6], что требует введения дополнительного климатического фактора в модель прогнозирования урожайности, чему и будут посвящены дальнейшие исследования.

Библиографический список

1. Kopittke, P. M., Menzies, N. W., Wang, P., McKenna, B. A., & Lombi, E. (2019). Soil and the intensification of agriculture for global food security. *Environment International*, 132, 105078. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105078>.
2. Adamchuk V., Gritsyshyn M., Perepelytsya N. Technological and technological support as the

main factor of sustainability development of agro-industrial production. *Mechanization in Agriculture & Conserving of the Resources*. - 2019. - Vol. 65. Issue 3. – P. 106-110.

3. Cole, M. B., Augustin, M. A., Robertson, M. J., et al. (2018). The Science of Food Security. *NPJ Science of Food*, 2, 14. <https://doi.org/10.1038/s41538-018-0021-9>.

4. Урожайность, качество зерна и эффективность возделывания яровой пшеницы при разных системах применения минеральных и микробиологических удобрений на участках с разным почвенным плодородием / В. И. Беляев, О. В. Черепанова, Р. Е. Прокопчук [и др.]. – DOI 10.53083/1996-4277-2024-231-1-50-56. – Текст: непосредственный // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2024. – № 1 (231). – С. 50-56.

5. Belyaev, V., Buxmann, V., Pirozhkov, D., Chernyshkov, V. (2024). Efficiency of Differentiated Sowing of Spring Wheat in the Steppe Zone of the Novosibirsk Region. In: Zokirjon ugli, K.S., Muratov, A., Ignateva, S. (eds) *Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of Agriculture in the Far East (AFE-2022)*. AFE 2023. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 733. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-37978-9_109.

6. Gostev, A., Dubovik, D., Masyutenko, N., et al. (2019). The impact of agricultural resource-saving technologies on grain yield and quality. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 390. 012040. DOI: 10.1088/1755-1315/390/1/012040.

7. Барышева, Н. Н. Метод определения всхожести семян пшеницы на основе мембранных потенциалов / Н. Н. Барышева, С. П. Пронин. – DOI 10.15507/2658-4123.029.201903.443-455. – Текст: электронный // Инженерные технологии и системы. – 2019. – Т. 29, № 3. – С. 443-455. – URL: <https://doi.org/10.15507/2658-4123.029.201903.443-455>.

8. Взаимосвязи между основными показателями технологических качеств зерна пивоваренного ячменя и продовольственного овса при фракционировании / А. В. Пасынков, А. А. Завалин, Е. Н. Пасынкова [и др.]. – Текст: непосредственный // Российская сельскохозяйственная наука. – 2019. – № 5. – С. 11-16.

9. Piven, V. (2018). Determination of the Extent of Fraction in Air Separation of Grain Material. *Journal of Physics: Conference Series*. 1059. 012001. DOI: 10.1088/1742-6596/1059/1/012001.

10. Hampton J.G., Tekrony D.M. (1995). Handbook of vigor test methods, 3rd Edition. The International Seed Testing Association, Zurich, Switzerland, pp. 117.

11. Шогенов, Ю. Х. Влияние биоэлектрической полярности на транспорт воды в проводящих пучках растения / Ю. Х. Шогенов, Ю. М. Романовский. – Текст: непосредственный // Инновации в сельском хозяйстве. – 2016. – № 4 (19). – С. 265-272.

12. Comparison of Machine Learning Methods for Solving the Problem of Wheat Seeds Classification by Yield Properties / D. D. Baryshev, N. N. Barysheva, S. P. Pronin, O. K. Nikol'skii // *Russian Agricultural Sciences*. – 2020. – Vol. 46, No. 4. – P. 410-417. – DOI 10.3103/S1068367420040047.

References

1. Kopittke, P. M., Menzies, N. W., Wang, P., McKenna, B. A., & Lombi, E. (2019). Soil and the intensification of agriculture for global food security. *Environment International*, 132, 105078. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105078>.

2. Adamchuk V., Gritsyshyn M., Perepelytsya N. Technological and technological support as the main factor of sustainability development of agro-industrial production. *Mechanization in Agriculture & Conserving of the Resources*. - 2019. - Vol. 65. Issue 3. – P. 106-110.

3. Cole, M. B., Augustin, M. A., Robertson, M. J., et al. (2018). The Science of Food Security. *NPJ Science of Food*, 2, 14. <https://doi.org/10.1038/s41538-018-0021-9>.

4. Beliaev V.I., Cherepanova O.V., Prokopchuk R.E., Zhandarova S.V., Sokolova L.V. Urozhainost, kachestvo zerna i effektivnost vozdel'yvaniia iarovoi pshenitsy pri raznykh sistemakh primeneniia mineralnykh i mikrobiologicheskikh udobrenii na uchastkakh s raznym pochvennym plodorodiem // *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2024. No. 1 (231). S. 50–56.

5. Belyaev, V., Buxmann, V., Pirozhkov, D., Chernyshkov, V. (2024). Efficiency of Differentiated

Sowing of Spring Wheat in the Steppe Zone of the Novosibirsk Region. In: Zokirjon ugli, K.S., Muratov, A., Ignateva, S. (eds) *Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of Agriculture in the Far East (AFE-2022)*. AFE 2023. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 733. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-37978-9_109.

6. Gostev, A., Dubovik, D., Masyutenko, N., et al. (2019). The impact of agricultural resource-saving technologies on grain yield and quality. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 390. 012040. DOI: 10.1088/1755-1315/390/1/012040.

7. Barysheva N.N., Pronin S.P. Metod opredeleniia vskhozhesti semian pshenitsy na osnove membrannykh potentsialov // *Inzhenernye tekhnologii i sistemy*. 2019. T. 29, No. 3. S. 443–455. DOI: <https://doi.org/10.15507/2658-4123.029.201903.443-455>

8. Vzaimosviasi mezhdu osnovnymi pokazateli-ami tekhnologicheskikh kachestv zerna pivovaren-nogo iachmenia i prodovolstvennogo ovsa pri fraktsionirovani / Pasyukov A.V., Zavalin A.A., Pasyukova E.N., Skorobogatykh N.A., Kotelnikova N.V. // *Rossiiskaia selskokhoziaistvennaia nauka*. – 2019. – No. 5. – S. 11-16.

9. Piven, V. (2018). Determination of the Extent of Fraction in Air Separation of Grain Material. *Journal of Physics: Conference Series*. 1059. 012001. DOI: 10.1088/1742-6596/1059/1/012001.

10. Hampton J.G., Tekrony D.M. (1995). Handbook of vigor test methods, 3rd Edition. The International Seed Testing Association, Zurich, Switzerland, pp. 117.

11. Shogenov Iu.Kh., Romanovskii Iu.M. Vliianie bioelektricheskoi poliarnosti na transport vody v provodiashchikh puchkakh rasteniia // *Innovatsii v selskom khoziaistve*. – 2016. – No. 4 (19). – S. 265-272.

12. Comparison of Machine Learning Methods for Solving the Problem of Wheat Seeds Classification by Yield Properties / D. D. Baryshev, N. N. Barysheva, S. P. Pronin, O. K. Nikol'skii // *Russian Agricultural Sciences*. – 2020. – Vol. 46, No. 4. – P. 410-417. – DOI 10.3103/S1068367420040047.

