

Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии им. Д.Н. Прянишникова, 2009. 104 с.

9. Шабалдас О.Г., Есаулко А.Н., Власова О.И., Вольгерс И.А. Фотосинтетическая активность посевов сои в зависимости от сорта в условиях Центрального Предкавказья // Земледелие. 2022. № 8. С. 31–34. <https://doi.org/10.24412/0044-3913-2022-8-31-34>
10. Шаповал О.А., Вакуленко В.В., Прусакова Л.Д., Можарова И.П. Регуляторы роста растений в практике сельского хозяйства. М.: Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии им. Д.Н. Прянишникова, 2009. 60 с.

REFERENCES

1. Бельшикина, М.Е., Кобозева Т.П., Гуреева Е.В. Рост и развитие сортов сои северного экотипа в зависимости от влияния лимитирующих факторов вегетационного периода // Аграрный научный журнал. 2020. № 9. С. 4–9. <https://doi.org/10.28983/asj.y2020i9pp4-9>
2. Борисоник З.Б. Ячмень яровой. М.: Колос, 1974. 255 с.
3. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., доп. и перераб. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
4. Есаулко А.Н., Письменная Е.В., Ожередова А.Ю. и др. Влияние макро- и микроудобрений на фотосинтетическую деятельность и продукционную способность озимой пшеницы на выщелоченном черноземе // Земледелие. 2022. № 7. С. 36–39. <https://doi.org/10.24412/0044-3913-2022-7-36-39>
5. Ничипорович А.А., Строгонова Л.Е., Чмора С.Н., Власова М.П. Фотосинтетическая деятельность растений в посевах (Методы и задачи учета в связи с формированием урожая) / Акад. наук СССР. Ин-т физиологии растений им. К.А. Тимирязева. М.: Изд-во Акад. наук СССР, 1961. 135 с.
6. Опытное дело в полеводстве / сост. Г.Ф. Никитенко. М.: Россельхозиздат, 1982. 190 с.
7. Сабирова Т.П., Шукин С.В., Сабиров Р.А., Носкова Е.В. Фотосинтетический потенциал и продуктивность вико-овсяной смеси в зависимости от обработки почвы и удобрений в условиях Северо-Западного региона // Вестник АПК Верхневолжья. 2019. № 1(45). С. 16–21.
8. Сычев В.Г., Шаповал О.А., Можарова И.П. и др. Методические указания по проведению регистрационных испытаний новых форм удобрений, биопрепаратов и регуляторов роста растений; под редакцией А.А. Завалина, А.И. Еськова; Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии им. Д.Н. Прянишникова, Всероссийский научно-исследовательский, конструкторский и проектно-технологический институт органических удобрений и торфа РАСХН. М. – Владимир: Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии им. Д.Н. Прянишникова, 2009. 104 с.
9. Шабалдас О.Г., Есаулко А.Н., Власова О.И., Вольгерс И.А. Фотосинтетическая активность посевов сои в зависимости от сорта в условиях Центрального Предкавказья // Земледелие. 2022. № 8. С. 31–34. <https://doi.org/10.24412/0044-3913-2022-8-31-34>
10. Шаповал О.А., Вакуленко В.В., Прусакова Л.Д., Можарова И.П. Регуляторы роста растений в практике сельского хозяйства. М.: Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии им. Д.Н. Прянишникова, 2009. 60 с.

Поступила в редакцию 13.12.2024

Принята к публикации 27.12.2024

УДК 633.34:535.372

DOI: 10.31857/S2500208225020032, EDN: НТҮҮНД

СОРТОВЫЕ ОСОБЕННОСТИ ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ СОИ

Михаил Владимирович Беляков¹, доктор технических наук, главный научный сотрудник

Анна Андреевна Лысенкова², аспирант

¹ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, г. Москва, Россия

²ФГБОУ ВО РЭУ имени Г.В. Плеханова, г. Москва, Россия

E-mail: bmw20100@mail.ru

Аннотация. Исследованы возможности определения сортовых особенностей фотолюминесценции семян сои (ранние и средне-ранние сорта) для последующего создания методики ее сортовой идентификации. Измеряли спектральные характеристики возбуждения и фотолюминесцентного излучения на дифракционном спектрофлуориметре CM2203 со специализированным программным обеспечением. Рассчитывали интегральные параметры (поглощательная способность, поток люминесценции) и стоксов сдвиг. Возбуждение семян происходит в диапазоне 300–500 нм с основными максимумами на 365 нм, 424 нм и небольшим побочным 520 нм. Различие интегральной поглощательной способности по сортам составляет до 2,31 раза, в отдельных диапазонах – 2,66 раза. Применение для сортовой идентификации отношений поглощательных способностей как относительных величин, не зависящих от уровня фотосигнала, более предпочтительно, но сортовые различия H_{424}/H_{365} составляют только 1,5–1,6 раза. Потоки фотолюминесценции для разных сортов отличаются в 1,56 раза, стоксов сдвиг незначительно и не может быть параметром идентификации семян. Установлено, что люминесцентные характеристики сои имеют заметные количественные различия, но менее существенные качественные, связанные с соотношением максимумов возбуждения. Идентифицировать сорта по их люминесцентным свойствам возможно по величине потока фотолюминесценции при возбуждении излучением 424 нм, при этом целесообразно использовать различие количественных параметров. Может быть взято значение отношения интегральных поглощательных способностей при возбуждении излучением 424 и 365 нм соответственно. Определение сорта семян сои по люминесцентным свойствам позволит ускорить процесс идентификации и сократить временные и материальные затраты.

Ключевые слова: соя, сортовая идентификация, спектр возбуждения, спектр люминесценции, поток фотолюминесценции

VARIETAL FEATURES OF SOYBEAN PHOTOLUMINESCENCE

M.V. Belyakov¹, *Grand PhD in Engineering Sciences, Chief Researcher*A.A. Lysenkova², *PhD Student*¹FSBSI FSAC VIM, Moscow, Russia²Plekhanov Russian State University of Economics, Moscow, Russia

E-mail: bmw20100@mail.ru

Abstract. Identification of seed varieties is necessary to ensure the purity and yield of the variety. In this paper, the possibilities of determining the varietal characteristics of the photoluminescence of soybean seeds for the subsequent creation of a methodology for its varietal identification are investigated. Seeds of early and medium-early soybean varieties were taken for research. The spectral characteristics of excitation and photoluminescent radiation were measured using a CM2203 diffraction spectrofluorimeter with specialized software. The integral parameters (absorption capacity and luminescence flux) and the Stokes shift were calculated. Seed excitation occurs in the range of about 300–500nm with the main maxima at 365nm and 424nm and a small side 520nm. The difference in the integral absorption capacity by grades is up to 2.31 times, and in some ranges up to 2.66 times. The use of absorption ratios for varietal identification as relative values independent of the level of the photo signal is more preferable, but the varietal differences $H_{\lambda_1}/H_{\lambda_2}$ are only 1.5–1.6 times. Photoluminescence fluxes differ by 1.56 times for different varieties, which will also make it possible to distinguish the seeds of some varieties. The Stokes shift for the studied varieties differs slightly and cannot be a parameter for seed identification. It was found that the luminescent characteristics of the studied soybean varieties have noticeable quantitative differences, but less significant qualitative ones related to the ratio of excitation maxima. It is possible to identify soybean seed varieties by their luminescent properties by the magnitude of the photoluminescence flux when excited by 424nm radiation, while it is advisable to use a difference in quantitative parameters. The value of the ratio of the integral absorption abilities when excited by radiation of 424nm and 365nm, respectively, can be used. Determination of the soybean seed variety by luminescent properties will speed up the identification process and significantly reduce time and material costs.

Keywords: soybeans, varietal identification, excitation spectrum, luminescence spectrum, photoluminescence flux

Развитие растениеводства и повышение его эффективности сопровождается созданием и внедрением цифровых технологий. [3] Разные сорта семян, в том числе сои, отличаются генетически, физическими чистотой, способностью к прорастанию и жизнеспособностью, которые связаны с пищевой ценностью, устойчивостью к стрессу и конечной урожайностью. В прошлом большинство сортов сои идентифицировали с помощью анализа морфологических характеристик (форма, размер, цвет и другое). Оценка морфологических характеристик может зависеть от опыта исследователя, что приводит к возможным ошибкам в диагностике сортовой чистоты. Некоторые имеют схожие морфологические характеристики, что затрудняет их различие.

Существуют другие физико-химические методы сортовой идентификации, такие как применение вертикального электрофореза запасных белков семян, ДНК-фингерпринтинга с помощью молекулярных маркеров ПЦР, газовой хроматографии, сопряженной с масс-спектрометрией. [2, 4, 5] Разработан экспресс-способ определения современных сортов и гибридов подсолнечника по геометрической форме их контуров, основанный на Фурье-анализе и статистической теории распознавания образцов. [6]

Спектроскопия в ближнем инфракрасном использует отраженный свет для анализа химического состава семян, что позволяет определять содержание влаги, масла, белка и других компонентов. Исследователями предложены методики сортовой идентификации семян кукурузы в ближнем инфракрасном диапазоне (871,61...1766,32 нм) с обработкой по методу Савицкого–Голея в сочетании со стандартными нормальными переменными, первой производной, гиперспектральной визуализации при длинах волн 400...1000 нм в сочетании с алгоритмом ансамблевого обучения в подпространстве. [8, 12, 14] Для сортовой идентификации семян сои пригодна одномерная сверточная нейронная сеть вместе с гиперспектральной технологией. [9]

Гиперспектральную съемку в ближнем инфракрасном диапазоне применяли для определения сорта семян ячменя, риса, пшеницы, сорго. [7, 10, 11, 13]

Однако современная гиперспектральная съемка проводится исключительно по морфологическим характеристикам и тоже имеет ряд существенных ограничений и недостатков. Среди них необходимость предварительной обработки для сглаживания и уменьшения размерности гиперспектральных данных, что не подходит для онлайн-режима. Кроме того, инфракрасные приборы дорогостоящие, требующие высокого качества изображения и искусственного интеллекта, более дешевые, экспрессные и простые – оптически фотолюминесцентны.

Цель работы – определение сортовых особенностей фотолюминесценции семян сои для последующего создания методики ее сортовой идентификации.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объект изучения – семена сои сортов *Баргузин*, *Пума*, *Саяна*, *Селена* (ранние), *Вилана*, *Грея* (средне-ранние).

Спектральные характеристики возбуждения (эффективное поглощение) и фотолюминесцентного излучения проводили на дифракционном спектрофлуориметре CM2203 со специализированным программным обеспечением. Измеряли спектры поглощения при синхронном сканировании монохроматорами в расширенном спектральном диапазоне (250...600 нм), определяя длины волн максимумов эффективного поглощения, затем спектры излучения при возбуждении на длинах волн максимального поглощения. Установив монохроматор регистрации люминесцентного свечения на длину волны максимума спектра фотолюминесценции, измеряли уточненный спектр возбуждения в более узком диапазоне. Для семян каждого сорта проводили по 20 измерений каждого спектра. [1]

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Спектры возбуждения (поглощения) при синхронном сканировании представлены на рисунке 1.

Наибольшее эффективное поглощение происходит в диапазоне 300...500 нм. Основные максимумы находятся на длинах волн 365 и 424 нм. Длинноволновый максимум поглощения на длине волны 520 нм существенно слабее и менее заметен. Для всех исследованных сортов вид спектральных характеристик $\eta(\lambda)$ схожий, имеются различия в соотношениях максимумов ($\lambda_b=365$ нм, 424 и 520 нм), которые могут быть оценены по интегральной поглощательной способности Н:

$$H = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \eta(\lambda) d\lambda,$$

где $\eta(\lambda)$ – спектральная характеристика возбуждения (поглощения), $\lambda_1, \dots, \lambda_2$ – границы спектрального диапазона.

Результаты представлены в таблице 1.

Если говорить о величине Н во всем исследуемом спектре (250...500 нм), то различие по сортам составляет до 2,31 раза: наибольшая у *Селены*, наименьшая – *Баргузин*. Поглощательная способность для диапазона 330...375 нм (максимум возбуждения $\lambda_b=365$ нм) составляет до 2,66 раза, 400...470 нм ($\lambda_b=424$ нм) – 2,13 и 505...550 нм ($\lambda_b=520$ нм) – 2,20 раз. Отношение H_{424}/H_{365} различается до 1,5 раза, H_{365}/H_{520} – 1,6 раза. Применение для сортовой идентификации отношений погло-

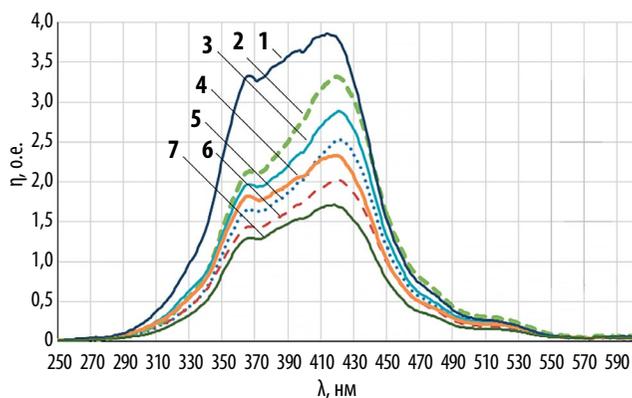


Рис. 1. Спектры возбуждения семян сои, измеренные при синхронном сканировании.

щательных способностей, как относительных величин, не зависящих от уровня фотосигнала для конкретного образца семени, – более предпочтительно, в том числе при создании алгоритмов технического контроля с помощью искусственного интеллекта.

Используя длины волн максимумов возбуждения $\lambda_b=365$ нм и 424 нм определены спектры фотолюминесцентного излучения $\phi(\lambda)$ и уточненные спектры возбуждения (рис. 2).

Кривые $\eta(\lambda)$ и $\phi(\lambda)$ имеют характерный вид стоксовых кривых, однако кривая возбуждения двумодальная с максимумами как на 424 нм, так и более коротковолновом 396 нм, меньшим на 14%. Максимум спектров люминесценции для данных сортов находится на длинах волн примерно 515...525 нм и выражен менее явно, с отрицательной величиной эксцесса. [1]

Были рассчитаны интегральные параметры спектров возбуждения и люминесценции, а также стоксов сдвиг как разность длин волн максимумов спектров $\phi(\lambda)$ и $\eta(\lambda)$ (табл. 2).

Потоки фотолюминесценции для разных сортов могут отличаться в 1,56 раза, что даже с учетом достаточно большого доверительного интервала позволит различать семена некоторых сортов. Стоксов сдвиг для исследованных сортов отличается незначительно и не может быть параметром идентификации семян ввиду субъективности его определения из-за слабой выраженности максимума спектра люминесценции.

Различие фотолюминесцентных свойств семян сои объясняется как различием содержания веществ-люминофоров (лигнин, пигменты), так и оптических поглощательных свойств поверхностной ткани.

Выводы. Люминесцентные характеристики исследованных сортов сои имеют заметные количественные различия, но менее существенные качественные, связанные с соотношением максимумов возбуждения. Идентифицировать сорта семян сои по их люминесцентным свойствам возможно по величине потока фотолюминесценции при возбуждении излучением 424 нм, при этом целесообразно использовать различие количественных параметров. Также можно взять за значение отношения интегральных поглощательных способностей при возбуждении излучением 424 и 365 нм соответственно. Возможность определения сорта семян сои по люминесцентным характеристикам позволит не только ускорить процесс идентификации, но и сократить затраты, необходимые на проведение такого анализа другими методами.

Таблица 1.

Интегральная поглощательная способность сои для различных спектральных диапазонов

| Сорт | Н ± ΔН, о. е., нм | | | | H ₄₂₄ /H ₃₆₅ | H ₃₆₅ /H ₅₂₀ |
|--------------------|-------------------|-----------|-----------|------------|------------------------------------|------------------------------------|
| | 250...600 | 330...375 | 400...470 | 505...550 | | |
| <i>Баргузин</i> | 181 ± 51 | 41 ± 13 | 82 ± 23 | 5,4 ± 0,8 | 2,0 ± 0,2 | 7,4 ± 1,4 |
| <i>Вилана</i> | 250 ± 40 | 53 ± 11 | 120 ± 17 | 7,2 ± 0,6 | 2,4 ± 0,2 | 7,1 ± 1,3 |
| <i>Вилана бета</i> | 217 ± 21 | 48 ± 6 | 100 ± 8 | 6,4 ± 0,3 | 2,2 ± 0,2 | 7,3 ± 0,8 |
| <i>Грея</i> | 333 ± 21 | 68 ± 8 | 161 ± 10 | 10,5 ± 0,6 | 2,4 ± 0,3 | 6,6 ± 1,0 |
| <i>Лума</i> | 295 ± 49 | 65 ± 11 | 137 ± 19 | 8,3 ± 1,2 | 2,2 ± 0,3 | 7,8 ± 1,4 |
| <i>Саяна</i> | 251 ± 24 | 60 ± 7 | 109 ± 12 | 7,4 ± 0,6 | 1,8 ± 0,1 | 8,2 ± 1,0 |
| <i>Селена</i> | 419 ± 66 | 109 ± 20 | 175 ± 28 | 8,6 ± 1,0 | 1,6 ± 0,1 | 13 ± 2,0 |

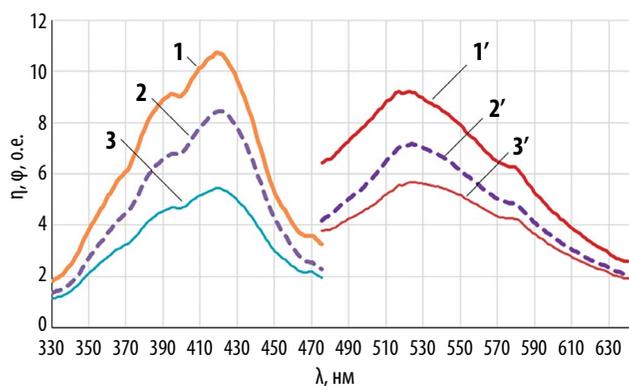


Рис. 2. Спектральные характеристики возбуждения (поглощения) и люминесцентного свечения семян соргов: *Селена* (1 и 1'), *Пума* (2 и 2') и *Саяна* (3 и 3').

Таблица 2.

Интегральные параметры и стоксов сдвиг спектров соргов при возбуждении $\lambda_b = 424$ нм

| Сорт | $\Phi \pm \Delta\Phi$, о. е. | $H \pm \Delta H$, о. е. | $\Delta\lambda$, нм |
|--------------------|-------------------------------|--------------------------|----------------------|
| <i>Вилана</i> | 688 ± 77 | 491 ± 63 | 102 |
| <i>Вилана бета</i> | 717 ± 60 | 507 ± 42 | 104 |
| <i>Грея</i> | 973 ± 70 | 601 ± 60 | 105 |
| <i>Пума</i> | 809 ± 49 | 697 ± 43 | 104 |
| <i>Саяна</i> | 685 ± 61 | 490 ± 33 | 105 |
| <i>Селена</i> | 1067 ± 125 | 920 ± 102 | 101 |

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Беляков М.В. Люминесцентный метод и оптико-электронные устройства экспресс-диагностики качества семян агрокультур: специальность 05.20.02 “Электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве”: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук Смоленск, 2021. 438 с.
2. Клименков Ф.И., Клименкова И.Н., Иванова Л.П. и др. Лабораторный сортовой контроль в практике первичной селекции и семеноводства, идентификации и сортовой чистоты семян зерновых культур // *Аграрная Россия*. 2023. № 12. С. 23–28. <https://doi.org/10.30906/1999-5636-2023-12-23-28>
3. Лобачевский Я.П., Дорохов А.С. Цифровые технологии и роботизированные технические средства для сельского хозяйства // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2021. Т. 15. № 4. С. 6–10. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2021-15-4-6-10>
4. Смоликова Г.Н., Шаварда А.Л., Алексейчук И.В. и др. Метаболомный подход к оценке сортовой специфичности семян *Brassica napus L.* // *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2015. № 19(1). С. 121–127. <https://doi.org/10.18699/VJ15.015>
5. Ториков В.Е., Шпилев Н.С., Клименков Ф.И. Использование электрофоретических методов для идентификации сортов зерновых культур // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2019. № 2(172). С. 5–12.
6. Шаззо А.А., Корнена Е.П., Кабалина Е.В. Экспресс-способ идентификации современных сортов и гибридов семян подсолнечника на основе спектрального анализа контура изображения // *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология*. 2009. № 1(307). С. 111–112.

7. Bu Y., Jiang X., Tian J. et al. Rapid nondestructive detecting of sorghum varieties based on hyperspectral imaging and convolutional neural network // *J Sci Food Agric*. 2023. Vol. 103. PP. 3970–3983. <https://doi.org/10.1002/jsfa.12344>
8. Fu L., Sun J., Wang S. et al. Identification of maize seed varieties based on stacked sparse autoencoder and near-infrared hyperspectral imaging technology // *Journal of Food Process Engineering*. 2022. Vol. 45. No. 9. e14120. <https://doi.org/10.1111/jfpe.14120>
9. Li H., Zhang L., Sun H., et al. Identification of soybean varieties based on hyperspectral imaging technology and one-dimensional convolutional neural network // *Journal of Food Process Engineering*. 2021. Vol. 44. No. 8. e13767. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13767>
10. Singh T., Garg N.M., Iyengar S. R. S. Nondestructive identification of barley seeds variety using near-infrared hyperspectral imaging coupled with convolutional neural network // *Journal of Food Process Engineering*. 2021. Vol. 44. No. 10. e13821. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13821>
11. Sun J., Zhang L., Zhou X. et al. A method of information fusion for identification of rice seed varieties based on hyperspectral imaging technology // *Journal of Food Process Engineering*. 2021. Vol. 44. No. 9. e13797. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13797>
12. Wang Y., Song S. Variety identification of sweet maize seeds based on hyperspectral imaging combined with deep learning // *Infrared Physics & Technology*. 2023. Vol. 130. 104611. <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2023.104611>
13. Zhao X., Que H., Sun X. et al. Hybrid convolutional network based on hyperspectral imaging for wheat seed varieties classification // *Infrared Physics & Technology*. 2022. Vol. 125. 104270. <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2022.104270>
14. Zhou Q., Huang W., Tian X., et al. Identification of the variety of maize seeds based on hyperspectral images coupled with convolutional neural networks and subregional voting // *J Sci Food Agric*, 2021. Vol. 101. PP. 4532–4542. <https://doi.org/10.1002/jsfa.11095>

REFERENCES

1. Belyakov M.V. Lyuminescentnyj metod i optiko-elektronnyye ustrojstva ekspress-diagnostiki kachestva semyan agrokul'tur: special'nost' 05.20.02 “Elektrotekhnologii i elektrooborudovanie v sel'skom hozyajstve”: dissertaciya na soiskanie uchenoj stepeni doktora tekhnicheskikh nauk Smolensk, 2021. 438 s.
2. Klimenkov F.I., Klimenkova I.N., Ivanova L.P. i dr. Laboratornyj sortovoj kontrol' v praktike pervichnoj selekcii i semenovodstva, identifikacii i sortovoj chistoty semyan zernovykh kul'tur // *Agrarnaya Rossiya*. 2023. № 12. S. 23–28. <https://doi.org/10.30906/1999-5636-2023-12-23-28>
3. Lobachevskij Ya.P., Dorohov A.S. Cifrovye tekhnologii i robotizirovannye tekhnicheskie sredstva dlya sel'skogo hozyajstva // *Sel'skohozyajstvennyye mashiny i tekhnologii*. 2021. T. 15. № 4. S. 6–10. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2021-15-4-6-10>
4. Smolikova G.N., Shavarda A.L., Aleksejchuk I.V. i dr. Metabolomnyj podhod k ocenke sortovoj specifichnosti semyan *Brassica napus L.* // *Vavilovskij zhurnal genetiki i selekcii*. 2015. № 19(1). S. 121–127. <https://doi.org/10.18699/VJ15.015>
5. Torikov V.E., Shpilev N.S., Klimenkov F.I. Ispol'zovanie elektroforeticheskikh metodov dlya identifikacii sortov zernovykh kul'tur // *Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2019. № 2(172). S. 5–12.
6. Shazzo A.A., Kornena E.P., Kabalina E.V. Ekspress-sposob identifikacii sovremennykh sortov i gibridov semyan podsolnechnika na osnove spektral'nogo analiza kontura izo-

- brazheniya // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Pishchevaya tekhnologiya. 2009. № 1(307). S. 111–112.
7. Bu Y., Jiang X., Tian J. et al. Rapid nondestructive detecting of sorghum varieties based on hyperspectral imaging and convolutional neural network // J Sci Food Agric. 2023. Vol. 103. PP. 3970–3983. <https://doi.org/10.1002/jsfa.12344>
 8. Fu L., Sun J., Wang S. et al. Identification of maize seed varieties based on stacked sparse autoencoder and near-infrared hyperspectral imaging technology // Journal of Food Process Engineering. 2022. Vol. 45. No. 9. e14120. <https://doi.org/10.1111/jfpe.14120>
 9. Li H., Zhang L., Sun H., et al. Identification of soybean varieties based on hyperspectral imaging technology and one-dimensional convolutional neural network // Journal of Food Process Engineering. 2021. Vol. 44. No. 8. e13767. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13767>
 10. Singh T., Garg N.M., Iyengar S. R. S. Nondestructive identification of barley seeds variety using near-infrared hyperspectral imaging coupled with convolutional neural network // Journal of Food Process Engineering. 2021. Vol. 44. No. 10. e13821. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13821>
 11. Sun J., Zhang L., Zhou X. et al. A method of information fusion for identification of rice seed varieties based on hyperspectral imaging technology // Journal of Food Process Engineering. 2021. Vol. 44. No. 9. e13797. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13797>
 12. Wang Y., Song S. Variety identification of sweet maize seeds based on hyperspectral imaging combined with deep learning // Infrared Physics & Technology. 2023. Vol. 130. 104611. <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2023.104611>
 13. Zhao X., Que H., Sun X. et al. Hybrid convolutional network based on hyperspectral imaging for wheat seed varieties classification // Infrared Physics & Technology. 2022. Vol. 125. 104270. <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2022.104270>
 14. Zhou Q., Huang W., Tian X., et al. Identification of the variety of maize seeds based on hyperspectral images coupled with convolutional neural networks and subregional voting // J Sci Food Agric, 2021. Vol. 101. PP. 4532–4542. <https://doi.org/10.1002/jsfa.11095>

Поступила в редакцию 17.12.2024
Принята к публикации 31.12.2024

УДК 633.34:631

DOI: 10.31857/S2500208225020041, EDN: HUMBBF

АДАПТИВНЫЕ СВОЙСТВА ПЕРСПЕКТИВНЫХ СОРТООБРАЗЦОВ СОИ В УСЛОВИЯХ РЯЗАНСКОЙ ОБЛАСТИ ПО ПРИЗНАКУ «СБОР БЕЛКА С ЕДИНИЦЫ ПЛОЩАДИ»

Елена Васильевна Гуреева, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник
Анна Викторовна Солодягина, младший научный сотрудник

Институт семеноводства и агротехнологий – филиал ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»,
с. Подвьязь, Рязанская обл., Россия
E-mail: elenagureeva@bk.ru

Аннотация. Исследования проводили в 2021–2023 годах в Институте семеноводства и агротехнологий (ИСА – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ), расположенном в Рязанской области. Уровень адаптивных свойств перспективных сортообразцов сои оценивали по признаку «сбор белка с единицы площади» общепринятыми методами. Почва опытного участка – темно-серая лесная тяжелосуглинистая, содержание органического вещества – 4,95%, подвижного фосфора – 213 мг/кг почвы, подвижного калия – 155 мг/кг почвы, общего азота – 0,228%, рНсол. – 4,91 ед. Установлено, что среднее содержание белка в семенах варьировало от 37,0 до 42,8%, у стандарта – 40,2%, сбор белка за период исследований – 750 кг/га. Слабую вариабельность показателя «сбор белка с единицы площади» наблюдали у сортообразцов Н-25/17, Н-7/17, Н-19/17 и Н-32/17 ($V = 6,7–9,7\%$). Для определения адаптивности сорта использовали коэффициент отзывчивости на условия внешней среды – от 1,12 (Н-25/17) до 2,02 (Н-9/17). Линии Н-19/17 и Н-25/17 обладают высокой генетической гибкостью и имеют слабую вариабельность показателя «сбора белка с единицы площади» – 8,7 (Н-19/17) и 6,7% (Н-25/17).

Ключевые слова: Рязанская область, соя, сортообразец, белок, сбор белка, адаптивность, стрессоустойчивость

ADAPTIVE PROPERTIES OF PROSPECTIVE SOYBEAN VARIETIES IN THE RYAZAN REGION CONDITIONS BY THE FEATURE OF “PROTEIN COLLECTION PER UNIT OF AREA”

E.V. Gureeva, *PhD in Agricultural Sciences, Leading Researcher*
A.V. Solodyagina, *Junior Researcher*

Institute of Seed Production and Agrotechnologies – branch of the Federal State Budgetary Budgetary Institution
“Federal Scientific Agroengineering Center VIM” s. Podvyezze, Rязan region, Russia
E-mail: elenagureeva@bk.ru

Abstract. Soy is a common leguminous and oilseed crop of our planet and has great food and feed value. Its seeds contain from 37 to 42% protein, from 19 to 22% oil and up to 30% carbohydrates. Soy protein is considered to be the highest quality and cheapest biochemical component in solving the problem of protein deficiency in the world. The research was carried out in 2021–2023 at the Institute of Seed Production and Agrotechnology (ISA – branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution FNAC VIM), located in the Rязan region. The level of adaptive properties of