

DOI 10.33952/2542-0720-2019-3-19-86-93

УДК 57.023:633.34

Кузнецова В. А.¹, Блинова А. А.^{1,3}, Иваченко Л. Е.^{1,2}, Фесенко Ю. В.¹, Фокина Е. М.¹
**АКТИВНОСТЬ СУПЕРОКСИДДИСМУТАЗЫ И ПОЛИФЕНОЛОКСИДАЗЫ
СЕМЯН РАЙОНИРОВАННЫХ СОРТОВ СОИ АМУРСКОЙ СЕЛЕКЦИИ**

¹ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт сои»;

²ФГБОУ ВО «Благовещенский государственный педагогический университет»;

³ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный аграрный университет»

Реферат. Соя – важнейшая белково-масличная культура мирового значения. Индукция экспрессии генов полифенолоксидазы (ПФО) и супероксиддисмутазы (СОД) в ответ на воздействие стрессовых факторов напрямую связана с устойчивостью растений, поэтому изучение активности этих ферментов для характеристики сортов сои является актуальным. Цель исследований – определить удельную активность и множественные формы супероксиддисмутазы и полифенолоксидазы в семенах районированных сортов сои амурской селекции, провести сравнение сортов по этому признаку, что расширит знания об их адаптивности и поможет в создании новых устойчивых сортов. Для исследования использовали районированные сорта сои, созданные лабораторией селекции и генетики сои ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт сои». Изучены скороспелые (Лидия, Соната), среднеспелые (Китросса, Персона, Гармония, Евгения, Даурия) и позднеспелые (Алёна, Бонус) сорта сои, выращенные на полях ВНИИ сои (с. Садовое, Амурская область) в 2018 г. Содержание белка определяли методом Лоури; активность ПФО – спектрофотометрическим методом, основанным на измерении оптической плотности продуктов реакции окисления пирокатехина; активность СОД – спектрофотометрическим методом, основанным на ингибировании фотохимического восстановления тетразолиевого нитросинего; электрофоретические спектры ферментов – методом электрофореза на колонках в 7,5 % ПААГ (полиакриламидном геле). Впервые определена удельная активность СОД и ПФО семян районированных сортов сои амурской селекции в зависимости от сорта и выявлены их множественные формы (21 и 19 соответственно). Установлено, что удельная активность исследуемых ферментов в семенах сои сортов Амурской селекции значительно варьирует. В семенах скороспелого сорта Лидия выявлена наибольшая удельная активность и повышенное количество форм СОД и ПФО. Среди среднеспелых сортов, за исключением сорта Даурия, выявлена повышенная удельная активность СОД, но низкая удельная активность ПФО. Для позднеспелых сортов обнаружены невысокая удельная активность исследуемых ферментов и значительные различия по количеству множественных форм.

Ключевые слова: соя (*Glycine max* (L.) Merr.), антиоксиданты, супероксиддисмутаза, полифенолоксидаза, множественные формы.

Введение

Соя – важнейшая белково-масличная культура мирового значения. В Амурской области сортами сои селекции ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт сои» занято более 60 % посевных площадей. За годы деятельности селекционерами института создано более 100 сортов сои, из которых в настоящее время 38 включено в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию в РФ. Соя обладает широким спектром защитно-приспособительных реакций, способствующих её устойчивости к различным внешним стрессовым факторам.

В растительной клетке при нормальных условиях в результате неполного восстановления кислорода происходят процессы, сопровождающиеся образованием супероксидного радикала и других активных форм кислорода (АФК). Повышенное накопление в клетках таких прооксидантов при повреждающем воздействии – защитная реакция организма, которая сопровождается развитием стрессовой ситуации, что приводит к необратимой деструкции клеточных мембран и других органелл клетки [1–3].

Для защиты от различных повреждающих стрессоров клетки, в том числе АФК, используют антиоксидантные системы (АОС). К ним принадлежат неферментативные антиоксиданты, такие как аскорбиновая кислота, каротин, глутатион, токоферол, различные фенольные соединения, а также ферменты-антиоксиданты: супероксиддисмутаза, каталаза, гваяколовая пероксидаза, аскорбатпероксидаза, глутатионпероксидаза и другие ферменты аскорбат-глутатионового цикла, которые контролируют содержание супероксидрадикала и пероксида водорода в клетке [4, 5].

Важную роль в регуляции биохимических процессов в клетке играют множественные формы ферментов, которые катализируют одну и ту же реакцию, но отличаются друг от друга по физическим и химическим свойствам, например, по сродству к субстрату, максимальной скорости катализируемой реакции (активности), электрофоретической подвижности. Анализ спектра множественных форм имеет большое значение для изучения регуляторных механизмов, контролирующих метаболизм [6]. На множественные формы ферментов оказывают влияние различные химические процессы, происходящие в клетке. Поскольку множественные формы ферментов различаются по свойствам (оптимуму рН, активации ионами, по сродству к субстратам, ингибиторам, активаторам, кофакторам), то характер их распределения (электрофоретический спектр) отражает процессы адаптации, происходящие на молекулярном уровне, и может использоваться для изучения действия различных стрессоров, заболеваний и др.

Из литературных источников известно, что ключевой антиоксидантный фермент, лимитирующий процессы превращения супероксидного радикала в другие активные формы кислорода, – супероксиддисмутаза (СОД), (ЕС 1.15.1.1). Супероксидрадикал имеет короткое время жизни (10^{-6} с) и быстро нейтрализуется при участии СОД с образованием пероксида водорода. Супероксиддисмутаза содержит атомы металлов и в клеточных компартментах присутствует в разных изоформах. У растений известны три изоформы: Mn-СОД, Cu-Zn-СОД и Fe-СОД [5].

Немаловажное значение в регуляции окислительных процессов отводится ферменту полифенолоксидазе (ПФО) (Е.С. 1.10.3.1). Этот фермент не входит в состав АОС, но его роль в ответных реакциях на неблагоприятные условия произрастания растений неоспорима. ПФО – медьсодержащий фермент из класса терминальных оксидаз растительной клетки, локализованный, главным образом, в цитоплазме. ПФО способствует утилизации избытка пероксида водорода. Фермент катализирует реакции, в которых акцептором водорода выступает молекулярный кислород воздуха, а фенолы действуют как неферментативные антиоксиданты доноров водорода, поэтому ПФО участвует в дыхании растительных клеток путем обратимого окисления полифенолов. Установлено, что в стрессовых условиях (при облучении, механическом повреждении, изменении химического состава окружающей среды) в клетке активность ферментов фенолоксидаз возрастает, препятствуя распространению АФК [2, 7].

По мнению ряда авторов, индукция экспрессии генов ПФО и СОД в ответ на воздействие стрессовых факторов напрямую связана с устойчивостью растений,

поэтому изучение активности этих ферментов для характеристики сортов сои является актуальным [1, 8–10].

Цель исследований – определить удельную активность и множественные формы супероксиддисмутазы и полифенолоксидазы в семенах районированных сортов сои амурской селекции, провести сравнение сортов по этому признаку, что расширит знания об их адаптивности и поможет в создании новых устойчивых сортов.

Материалы и методы исследований

Исследования проводили в 2019 г. в ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт сои». Для исследования использовали районированные сорта сои, полученные лабораторией селекции и генетики сои, различающиеся по скороспелости. Изучены скороспелые (Лидия, Соната), среднеспелые (Китросса, Персона, Гармония, Евгения, Даурия) и позднеспелые (Алёна, Бонус) сорта сои, выращенные на полях селекционного севооборота ВНИИ сои (с. Садовое) в 2018 г. Семена хранили в специальных пакетиках при комнатной температуре. Анализ ферментативной активности проводили через полгода после уборки урожая.

Для получения экстрактов белков семян сои, навеску материала (масса навески 500 мг, что составило три–четыре семени) взвешивали на лабораторных весах, гомогенизировали и экстрагировали одновременно в фарфоровых ступках в течение 15 мин при температуре 0–5 °С.

Растворимые белки, содержащие ПФО, экстрагировали 15 мл раствора 0,06 М фосфатного буфера (рН = 7,2). Гомогенат переносили в мерную колбу на 25 мл, доводили до метки тем же буфером, и затем центрифугировали 10 мин при 4000 об./мин. Растворимые белки, содержащие СОД, экстрагировали 15 мл раствора 0,1 М фосфатного буфера (рН = 7,8) и центрифугировали 10 мин при 8000 об./мин [11, 12]. После центрифугирования осадок отбрасывали, в надосадочной жидкости определяли содержание белка по методу Лоури. Определение проводили в двух биологических повторностях (то есть, брали по две навески семян каждого сорта) и в трёх аналитических повторностях – в каждой биологической повторности измеряли удельную активность и множественные формы три раза (всего проводили по шесть измерений).

Активность ПФО определяли спектрофотометрическим методом, который основан на измерении оптической плотности продуктов реакции, образовавшихся при окислении пирокатехина за определенный промежуток времени. Увеличение оптической плотности образца регистрировали при длине волны 590 нм в течение 2 мин с интервалом в 20 с в кювете с поглощающим слоем 2 см [11]. Активность СОД определяли спектрофотометрическим методом, который основан на способности фермента ингибировать фотохимическое восстановление тетразолиевого нитросинего. Оптическую плотность определяли при 560 нм против темнового контроля в кюветах с толщиной поглощающего слоя 1 см [12]. Определение удельной активности СОД и ПФО проводили в двух биологических и трех аналитических повторностях. Удельную активность ферментов выражали в ед./мг белка.

Расчет активностей производили по соответствующим формулам в относительных единицах на один миллиграмм белка.

Активность СОД определяли по способности фермента ингибировать фотохимическое восстановление тетразолиевого нитросинего и выражали в единицах активности фермента на 1 мг белка (А/мг):

$$A_{\text{СОД}} (\text{ед./мг белка}) = \lg (D_{\text{контр}}/D_{\text{опыт}}) / (\lg^2 \times C_{\text{белка}}) \quad (1)$$

где $D_{\text{контр}}$ – оптическая плотность световой контрольной пробы;

$D_{\text{опыт}}$ – оптическая плотность опытной пробы;

$C_{\text{белка}}$ – содержание белка в пробе, мг.

Активность ПФО определяли по изменению оптической плотности образовавшихся при окислении пирокатехина продуктов реакции за 1 мин с интервалом в 20 с:

$$D'_{590} = (D^2_{590} - D^1_{590}) / (t^2 - t^1) \quad (2)$$

где D'_{590} вычисляли по полученным численным значениям.

Удельную активность ПФО выражали в изменении оптической плотности окисленного субстрата за 1 мин на 1 мг белка.

Активность полифенолоксидазы ($A_{\text{ПФО}}$) рассчитывали по формуле:

$$A_{\text{ПФО}} = (D'_{590} \times N) / (m \times l_{\text{кюв.}} \times C_{\text{белка}}) \quad (3)$$

где D'_{590} – скорость изменения оптической плотности [ед. опт. плот./с];

N – разведение ($N = V_{\text{колбы}} / V_{\text{пробы}}$). С помощью данного коэффициента учитывают, какую долю всего экстракта измерили;

m – масса навески [г];

$l_{\text{кюв.}}$ – толщина кюветы [см] ($l_{\text{кюв.}} = 2$ см);

$C_{\text{белка}}$ – содержание белка в пробе, мг.

Электрофоретические спектры исследуемых ферментов выявляли методом электрофореза на колонках 7,5 % полиакриламидного геля соответствующими гистохимическими методами [13, 14].

Статистическую обработку материалов выполняли с использованием приложения MS Excel [15].

Результаты и их обсуждение

Установлено, что удельная активность исследуемых ферментов в семенах сои сортов амурской селекции значительно варьирует. Для СОД – в диапазоне от 1,27 до 5,02 ед./мг белка и для ПФО – от 0,79 до 2,94 ед./мг белка в зависимости от сорта (рисунок 1). Наибольшая удельная активность и повышенное количество форм СОД и ПФО обнаружены в семенах скороспелого сорта Лидия (рисунок 1, 2). Установлено 13 форм супероксиддисмутазы, обладающих средней электрофоретической подвижностью и восемь форм полифенолоксидазы, которые имеют низкую электрофоретическую подвижность.

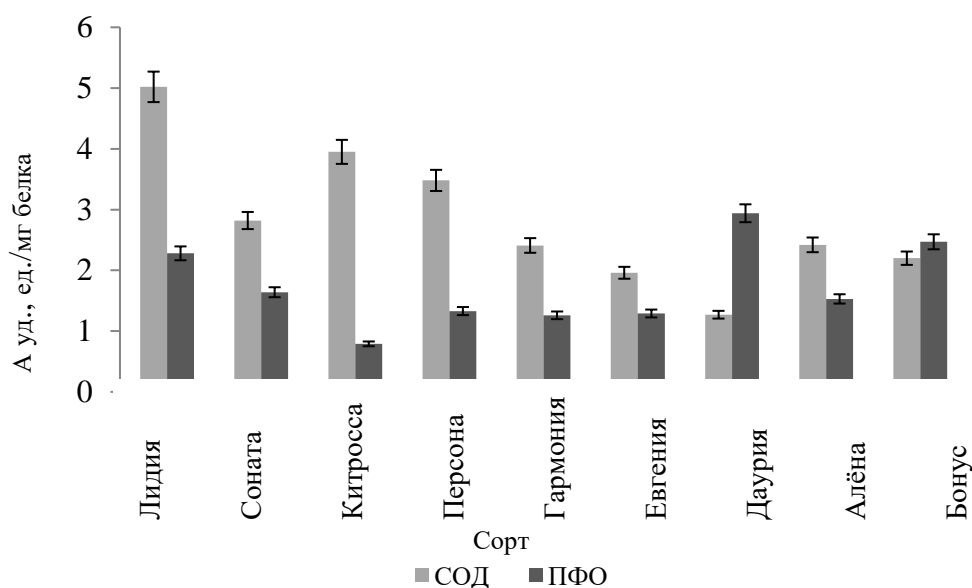


Рисунок 1 – Диаграмма удельной активности супероксиддисмутазы (СОД) и полифенолоксидазы (ПФО) семян сортов сои

Примечание. На графиках указаны планки погрешностей – ошибка опыта.

Среди среднеспелых сортов сои семена сорта Китросса обладают высокой удельной активностью СОД, что сопровождается повышенным числом множественных форм. Выявлено 16 форм фермента. Но для этого сорта также характерна низкая удельная активность ПФО и семь множественных форм с низкой электрофоретической подвижностью.

Семена сои среднеспелого сорта Персона имеют только одну форму СОД, обладающую высокой удельной активностью. Низкая удельная активность ПФО семян сои данного сорта соответствует трем формам фермента со средней электрофоретической подвижностью.

В семенах среднеспелого сорта сои Даурия выявлена наименьшая удельная активность СОД и повышенная удельная активность ПФО. Обнаружено девять множественных форм СОД и шесть форм ПФО, имеющих низкую и среднюю электрофоретическую подвижность.

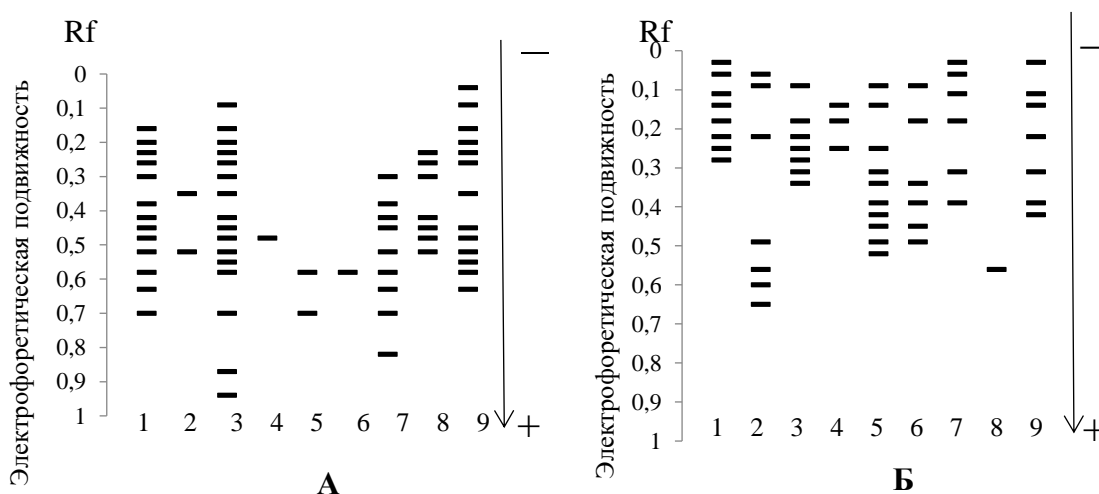


Рисунок 2 – Электрофоретические спектры супероксиддисмутазы (А) и полифенолоксидазы (Б) семян сортов сои

Примечание. 1. Лидия; 2. Соната; 3. Китросса; 4. Персона; 5. Гармония; 6. Евгения; 7. Даурия; 8. Алёна; 9. Бонус.

При средних значениях удельной активности СОД и ПФО в семенах позднеспелых сортов Бонус и Алёна обнаружены значительные различия по количеству множественных форм. Повышенная гетерогенность фермента выявлена у сорта Бонус (13 форм СОД и семь форм ПФО) и невысокая у сорта Алёна (семь форм СОД и одна форма ПФО).

Также средние значения удельной активности СОД и ПФО имеют семена скороспелого сорта Соната (две формы СОД и семь форм ПФО) и среднеспелого сорта Гармония (две формы СОД и десять форм ПФО).

Самая низкая удельная активность СОД отмечена у сои среднеспелого сорта Евгения, где обнаружена только одна форма СОД. Также этот сорт имеет средние значения удельной активности ПФО и шесть форм фермента, преимущественно с высокой электрофоретической подвижностью.

Выводы

Таким образом, нами впервые определена удельная активность супероксиддисмутазы и полифенолоксидазы семян районированных сортов сои амурской селекции в зависимости от сорта и выявлены их множественные формы

(21 и 19 соответственно). Удельная активность супероксиддисмутазы (СОД) и полифенолоксидазы (ПФО) в семенах сои сортов амурской селекции значительно варьирует. Для СОД – в диапазоне от 1,27 до 5,02 ед./мг белка и для ПФО – от 0,79 до 2,94 ед./мг белка в зависимости от сорта. Для каждого электрофоретического спектра СОД и ПФО вычислили показатели относительной электрофоретической подвижности выявленных форм, которые были распределены согласно их относительно электрофоретической подвижности (Rf). Высокая удельная активность и повышенное количество форм СОД и ПФО обнаружено в семенах скороспелого сорта Лидия. В семенах среднеспелого сорта сои Даурия выявлена наименьшая удельная активность СОД и повышенная удельная активность ПФО.

Литература

1. Mazid M., Khan T. A., Mohammad F. Role of secondary metabolites in defense mechanisms of plants // *Biology and Medicine*. 2011. Vol. 3. P. 232–249.
2. Шубина А. Г., Синюткина С. Е., Попова Е. Д. Активность полифенолоксидазы в хвое ели голубой (*Picea pungens*) и картофеле (*Solanum tuberosum*) как фитоиндикационный маркер состояния окружающей среды // *Вестник Тамбовского университета. Серия «Естественные и технические науки»*. 2012. Т. 17. № 1. С. 347–348.
3. Никерова К. М., Галибина Н. А. Мощенская Ю. Л., Новицкая Л. Л., Подгорная М. Н., Софронова И. Н. Ферменты антиоксидантной системы – индикаторы разных сценариев ксилогенеза: в раннем онтогенезе и во взрослом состоянии (на примере *Betula pendula* Roth) // *Труды Карельского научного центра Российской академии наук*. 2018. № 6. С. 68–80.
4. Романова Е. В. Ферменты в антиоксидантной системе растений: супероксиддисмутазы // *Агро XXI*. 2008. № 7–9. С. 27–30.
5. Gopavajhula R. V., Viswanatha C. K., Akbar A. K. P., Shaik J. P., Narasimha R. P., Alanazi M. Modeling and analysis of soybean (*Glycine max* L.) Cu/Zn, Mn and Fe superoxide dismutases // *Genetics and Molecular Biology*. 2013. Vol. 36. Iss. 2. P. 225–236.
6. Иваченко Л. Е., Кашина В. А., Маскальцова Е. С., Разанцев В. И., Стасюк Е. М., Трофимцова И. А. Методы изучения полиморфизма ферментов сои. Благовещенск: изд-во БГПУ, 2008. 142 с.
7. Половникова М. Г., Воскресенская О. Л. Активность компонентов антиоксидантной защиты и полифенолоксидазы у газонных растений в онтогенезе в условиях городской среды // *Физиология растений*. 2008. Т. 55. № 5. С. 777–785.
8. Romero A. M., Doval M. M., Sturla M. A., Judis M. A. Superoxide dismutase in soy sprouts // *Informacion Tecnologica*. 2001. Vol. 12(6). P. 55–59.
9. Холявка М. Г., Карпова С. С., Калаев В. Н., Лепешкина Л. А., Агапов Б. Л., Артюхов В. Г. Оценка оксидативного статуса растений, произрастающих в различных условиях // *Фундаментальные исследования*. 2014. № 8. С. 891–897.
10. Палий А. Е., Гребенникова О. А., Палий И. Н., Губанова Т. Б. Особенности накопления фенольных соединений и изменения активности полифенолоксидазы у некоторых сортов *Olea* // *Сборник научных трудов государственного Никитского ботанического сада*. 2017. № 144. С. 222–226.
11. Ермаков А. И., Арасимович В. В., Ярош Н. П. Методы биохимического исследования растений. Л.: Колос, 1972. 456 с.
12. Некрасова Г. Ф., Кисилева И. С. Руководство к лабораторным и практическим занятиям по «Экологической физиологии растений», Екатеринбург: издательство УГУ, 2008. 267 с.
13. Сибгатуллина Г. В., Хаертдинова Л. Р., Гумерова Е. А., Акулов А. Н., Костюкова Ю. А., Никонорова Н. А., Румянцева Н. И. Методы определения редокс-статуса культивируемых клеток растений: учебно-методическое пособие. Казань: издательство Казанского (Приволжского) федерального университета, 2011. 61 с.
14. Urbanska A. Waluk M., Matok H., Leszczynski B. Polyphenol oxidase of bird cherry-oat aphid // *Aphids and Other Homopterous Insects*. 2001. Vol. 8. P. 55–64.
15. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.

References

1. Mazid M., Khan T. A., Mohammad F. Role of secondary metabolites in defense mechanisms of plants // *Biology and Medicine*. 2011. Vol. 3. P. 232–249.
2. Shubina A. G., Sinyutina S. E., Popova (Biryukova) E. D. Polyphenoloxidase activity in needles of fur-tree blue (*Picea pungens*) and potato (*Solanum tuberosum*) as phytoindication marker of

environment state // Tambov University Reports. Series Natural and Technical Sciences. 2012. Vol. 17. No. 1. P. 347–348.

3. Nikerova K. M., Galibina N. A. Moshchenskaya Yu. L., Novitskaya L. L., Podgornaya M. N., Sofronova I. N. The antioxidant enzymes – indicators of different xylogenesis scenarios: in early ontogeny and in adult plants (example of *Betula pendula* Roth) // Proceedings of Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2018. No. 6. P. 68–80.

4. Romanova E. V. Enzymes in the antioxidant system of plants: superoxide dismutase // Agro XXI. 2008. No. 7–9. P. 27–30.

5. Ramana V. G., Viswanatha C. K., Akbar A. K. P., Shaik J. P., Narasimha R. P., Alanazi M. Modeling and analysis of soybean (*Glycine max* L.) Cu/Zn, Mn and Fe superoxide dismutases // Genetics and Molecular Biology. 2013. Vol. 36. Iss. 2. P. 225–236.

6. Ivachenko L. E., Kashina V. A., Maskaltsova E. S., Razantsvey V. I., Stasyuk E. M., Trofimtsova I. A. Methods for the study of polymorphism of soy enzymes. Blagoveshchensk: BSPU Publishing House, 2008. 142 p.

7. Polovnikova M. G., Voskresenskaya O. L. Activities of antioxidant system components and polyphenol oxidase in ontogeny of lawn grasses under megapolis conditions // Plant Physiology. 2008. Vol. 55. No. 5. P. 777–785.

8. Romero A. M., Doval M. M., Sturla M. A., Judis M. A. Superoxide dismutase in soy sprouts // Informacion Tecnologica. 2001. Vol. 12 (6). P. 55–59.

9. Kholiyavka M. G., Karpova S. S., Kalaev V. N., Lepeshkina L. A., Agapov B. L., Artyukhov V. G. Assessment of the oxidative status of the plants growing in various conditions // Fundamental Research. 2014. No. 8. P. 891–897.

10. Paliy A. E., Grebennikova O. A., Paliy I. N., Gubanova T. B. Seasonal dynamics of phenolic compounds accumulation and polyphenoloxidase activity changes in some *Olea europaea* L. cultivars // Collection of scientific works SNBG. 2017. No. 144. P. 222–226.

11. Ermakov A. I., Arasimovich V. V., Yarosh N. P. Methods of biochemical research of plants. Leningrad: Kolos, 1972. 456 p.

12. Nekrasova G. F., Kisileva I. S. A guide to laboratory and practical exercises on “Ecological Plant Physiology”. Ekaterinburg: Publishing House of the Ural State University, 2008. 267 p.

13. Sibgatullina G. V., Khaertdinova L. R., Gumerova E. A., Akulov A. N., Kostyukova Yu. A., Nikonorova N. A., Rumyantseva N. I. Methods for determining the redox status of cultivated plant cells: a teaching tool. Kazan: Publishing House of Kazan (Volga Region) Federal University, 2011. 61 p.

14. Urbanska A., Waluk M., Matok H., Leszczynski B. Polyphenol oxidase of bird cherry-oat aphid // Aphids and Other Homopterous Insects. 2001. Vol. 8. P. 55–64.

15. Dospekhov B. A. Methods of field research. Moscow: Agropromizdat, 1985. 351 p.

UDC 57.023:633.34

Kuznetsova V. A., Blinova A. A., Ivachenko L. E., Fesenko Yu. V., Fokina E. M.
SUPEROXIDE DISMUTASES AND POLYPHENOLOXIDASES ACTIVITY IN THE SEEDS OF ZONED VARIETIES OF SOYBEAN OF THE AMUR BREEDING

Summary. *Soya bean is one of the most important crops that contain protein and oil. Induction of the expression of polyphenol oxidase (PPO) and superoxide dismutase (SOD) genes in response to stress factors is directly related to plant resistance. Therefore, the study of the activity of these enzymes to characterize soybean varieties is relevant. The purpose of the research was to study the specific activity and multiple forms of SOD and PPO in the seeds of zoned varieties of soybeans of the Amur selection. For the study, zoned soybean varieties obtained by the laboratory for soybean breeding and genetics at the All-Russian Research Institute of Soybeans were used. Early ripening ('Lidia', 'Sonata'), mid-ripening ('Kitrossa', 'Persona', 'Harmony', 'Evgenia', 'Dauria') and late-ripening ('Alyona', 'Bonus') soybean varieties grown on the fields of the All-Russian Research Institute of Soybeans (village of Sadovoye in the Amur Region) in 2018 were studied. The protein content was determined using Lowry method; PPO activity – by the spectrophotometric method based on measuring the optical density of the products of the pyrocatechol oxidation reaction; SOD activity – by the spectrophotometric method based on the inhibition of photochemical reduction of nitroblue tetrazolium; electrophoretic*

spectra of enzymes – by electrophoresis on columns of 7.5 % PAAG. For the first time, the specific activity of SOD and PPO of seeds of zoned soybean varieties of the Amur breeding was determined. Depending on the variety, their multiple forms were revealed (21 and 19, respectively). The specific activity of the studied enzymes in soybean seeds varied significantly. In the seeds of variety 'Lydia', the highest specific activity and an increased number of SOD and PPO forms were revealed. In all mid-ripening varieties except 'Dauria', the increased specific activity of SOD and low specific activity of PPO was revealed. For late-ripening varieties, low specific activity of the studied enzymes and significant differences in the number of multiple forms were found.

Keywords: soybean *Glycine max (L.) Merr.*, antioxidant, superoxide dismutase, polyphenoloxidase, multiple forms.

Кузнецова Виктория Александровна, старший научный сотрудник лаборатории биотехнологии ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт сои»; 675027, Россия, Амурская обл., г. Благовещенск, ул. Игнатьевское шоссе, 19; e-mail: kva@vniisoi.ru.

Блинова Анастасия Андреевна, младший научный сотрудник лаборатории биотехнологии ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт сои»; 675027, Россия, Амурская обл., г. Благовещенск, ул. Игнатьевское шоссе, 19; студент 2 курса магистратуры ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный аграрный университет»; 675005, Россия, Амурская обл., г. Благовещенск, ул. Политехническая, 86; e-mail: baa@vniisoi.ru.

Иваченко Любовь Егоровна, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории биотехнологии ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт сои»; 675027, Россия, Амурская область, г. Благовещенск, ул. Игнатьевское шоссе, 19; доцент, профессор кафедры химии ФГБОУ ВО «Благовещенский государственный педагогический университет»; 675000, Россия, Амурская обл., г. Благовещенск, ул. Ленина, 104; e-mail: ile@vniisoi.ru.

Фокина Евгения Михайловна, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, заведующая лабораторией селекции и генетики сои ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт сои»; 675027, Россия, Амурская обл., г. Благовещенск, ул. Игнатьевское шоссе, 19; e-mail: fem@vniisoi.ru.

Фесенко Юлия Валерьевна, младший научный сотрудник лаборатории биотехнологии ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт сои»; 675027, Россия, Амурская обл., г. Благовещенск, ул. Игнатьевское шоссе, 19; e-mail: 1216-2@mail.ru.

Kuznetsova Viktoria Aleksandrovna, senior researcher, Laboratory of biotechnology, FSBI "All-Russian Research Institute of Soybeans"; 19 Ignatievskoe shosse, Blagoveshchensk, Amur Region, 675027, Russia; e-mail: kva@vniisoi.ru.

Blinova Anastasia Andreevna, junior researcher, Laboratory of biotechnology, FSBSI "All-Russian Research Institute of Soybeans"; 19 Ignatievskoe shosse, Blagoveshchensk, Amur Region, 675027, Russia; 2nd-year student of the magistracy of FSBEI of HE "Far Eastern State Agrarian University"; 86 Polytechnicheskaya str., Blagoveshchensk, Amur Region, 675005, Russia; e-mail: baa@vniisoi.ru.

Ivachenko Lyubov Egorovna, Dr. Sc. (Biol.), leading researcher, Laboratory of biotechnology, FSBI "All-Russian Scientific Research Institute of Soybeans"; 19 Ignatievskoe shosse, Blagoveshchensk, Amur Region, 675027, Russia; associate professor, professor of the Department of chemistry, Blagoveshchensk State Pedagogical University; 104 Lenin str., Blagoveshchensk, Amur Region, 675000, Russia; e-mail: ile@vniisoi.ru.

Fokina Evgenia Mikhailovna, Cand. Sc. (Agr.), leading researcher, head of the Laboratory for soybean breeding and genetics, FSBI "All-Russian Scientific Research Institute of Soybeans"; 19 Ignatievskoe shosse, Blagoveshchensk, Amur Region, 675027, Russia; e-mail: fem@vniisoi.ru.

Fesenko Yulia Valerievna, junior researcher, Laboratory of biotechnology, FSBI "All-Russian Scientific Research Institute of Soybeans"; 19 Ignatievskoe shosse, Blagoveshchensk, Amur Region, 675027, Russia; e-mail: 1216-2@mail.ru.

Дата поступления в редакцию – 13.08.2019.

Дата принятия к печати – 30.08.2019.