



ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

Научная статья

УДК 577.151.32

doi: 10.17308/sorpchrom.2022.22/10608

Хроматографическое выделение изоферментов сукцинатдегидрогеназы из листьев кукурузы при солевом стрессе

Дмитрий Николаевич Федорин¹, Орландо Де Хесус Флорес Каро¹,
Александр Трофимович Епринцев¹✉

¹Воронежский государственный университет, Воронеж, Россия, bc366@bio.vsu.ru✉

Аннотация. Целью данного исследования являлось получение в гомогенном состоянии препаратов сукцинатдегидрогеназы (СДГ) из листьев кукурузы и изучение их характеристик, обеспечивающих адаптивную реакцию на солевой стресс. СДГ обладает высоким генетическим полиморфизмом, что может указывать на важность участия ее изоферментов в регуляции метаболизма растений и позволяет клетке формировать набор молекулярных форм, отличающихся по своим кинетическим и регуляторным характеристикам. При использовании многостадийной очистки молекулярных форм данной ферментной системы были получены ее препараты в гомогенном состоянии. Ионообменная хроматография на ДЭАЭ-Sephacel являлась определяющей стадией, позволившей разделить изоферменты исследуемого энзима из листьев кукурузы при воздействии солевого стресса. Показано, что все изоэнзимы десорбируются с ДЭАЭ-Sephacel при разных концентрациях хлорида калия, что может указывать на различие в структурной организации полипептидных компонентов изоформ сукцинатдегидрогеназы. Удельная активность полученных препаратов составляла 0.935 Е/мг белка и 1.495 Е/мг белка, соответственно для изоферментов СДГ1 и СДГ2, при этом выход составлял 42.31 и 35.05%. Электрофоретические исследования, полученных с помощью ДЭАЭ-целлюлозы изоферментов СДГ, показали, что при универсальном проявлении на белок, было показано наличие одной полосы в каждом из исследуемых образцов. Следовательно, полученные препараты сукцинатдегидрогеназы являются электрофоретически гомогенными. Установлено, что изоферменты сукцинатдегидрогеназы из листьев кукурузы, обладали разной степенью сорбции на ионообменнике ДЭАЭ-Sephacel о чем свидетельствуют результаты профиля элюирования с колонки. Десорбция изоферментов СДГ1 и СДГ2 с колонки ДЭАЭ-Sephacel происходила при концентрации КСl 91.65 мМ и 174.95 мМ КСl, соответственно, что свидетельствует о различии величины поверхностного заряда изоферментов сукцинатдегидрогеназы из листьев кукурузы. Изменение значений рН матрикса митохондрий сказывается на конформационных состояниях белковых компонентов изоферментов СДГ, в том числе и на поверхностном заряде молекулы и ионизации аминокислотных остатков активного центра энзима, что находит отражение в изменении сродства к субстрату.

Ключевые слова: *Zea mays*, сукцинатдегидрогеназа, изоферменты, поверхностный заряд, солевой стресс.

Благодарности: работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания ВУЗам в сфере научной деятельности на 2020-2022 годы, проект № FZGU-2020-0044.

Для цитирования: Федорин Д.Н., Флорес Каро О.Х., Епринцев А.Т. Хроматографическое выделение изоферментов сукцинатдегидрогеназы из листьев кукурузы при солевом стрессе // *Сорбционные и хроматографические процессы*. 2022. Т. 22, № 4. С. 545-551. <https://doi.org/10.17308/sorpchrom.2022.22/10608>

Original article

Chromatographic extraction of succinate dehydrogenase isoenzymes from maize leaves under salinity stress

Dmitry N. Fedorin¹, Orlando De Jesus Flores Caro¹, Alexander T. Eprintsev¹✉

¹Voronezh State University, Voronezh, Russia, bc366@bio.vsu.ru✉

Abstract. The purpose of our study was to obtain homogeneous succinate dehydrogenase (HSD) preparations from maize leaves and to study their characteristics determining their adaptive response to salinity stress. HSD has high genetic polymorphism, which may indicate the importance of its isoenzymes for the regulation of metabolism of plants and allows cells to form sets of molecular forms with different kinetic and regulatory characteristics. When using a multi-stage purification scheme of molecular forms of the said enzyme system, we obtained its preparations in a homogeneous state. The key stage was ion exchange chromatography on DEAE Sephacel. It allowed us to separate the isoenzymes of the studied enzyme from maize leaves under salinity stress. The study demonstrated that all isoenzymes are desorbed from DEAE Sephacel at various concentrations of potassium chloride, which may indicate the presence of a structural organisation of polypeptide components of the isoforms of succinate dehydrogenase. The specific activity of the obtained preparations was 0.935 U/mg of protein and 1.495 U/mg of protein for isoenzymes HSD1 and SHD2 respectively. The yield was 42.31% and 35.05%. Electrophoretic analysis of the HSD isoenzymes obtained using DEAE-cellulose demonstrated that universal development for proteins revealed a single protein band in each of the studied samples. Therefore, the obtained preparations of succinate dehydrogenase are electrophoretically homogeneous. The study determined that isoenzymes of succinate dehydrogenase from maize leaves had different degrees of sorption on DEAE Sephacel ion exchanger, which is confirmed by the elution of the components from the column. Desorption of the HSD1 and HSD2 isoenzymes from the DEAE Sephacel column occurred when the concentrations of KCl were 91.65 mM and 174.95 mM respectively, which means that isoenzymes of succinate dehydrogenase from maize leaves have different charges. Changes in the pH of the mitochondrial matrix effect the conformational states of the protein components of HSD isoenzymes, as well as the surface charge of the molecule and the ionization of amino acid residues of the active centre of the enzyme, which in turn affects the affinity to the substrate.

Keywords: *Zea mays*, succinate dehydrogenase, isoenzymes, surface charge, salinity stress.

Acknowledgments: the work was carried out with the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation as part of the state assignment to universities in the field of scientific activity for 2020-2022, project No. FZGU-2020-0044.

For citation: Fedorin D.N., Flores Caro O.X., Eprintsev A.T. Chromatographic extraction of succinate dehydrogenase isoenzymes from maize leaves under salinity stress. *Sorbtionnye i khromatograficheskie protsessy*. 2022. 22(4): 545-551. (In Russ.). <https://doi.org/10.17308/sorpchrom.2022.22/10608>

Введение

Сукцинатдегидрогеназа (СДГ, КФ 1.3.99.1) является гетеротетрамерным ферментативным комплексом, участвующим как в цикле Кребса, так и в митохондриальной дыхательной цепи переноса электронов [1]. В последнем случае комплекс СДГ также обозначают как комплекс II. Она катализирует реакцию окисления сукцината до фумарата с образованием ФАДН₂, который клетка может использовать как источник энергии при окислительном фосфорилировании.

Сукцинатдегидрогеназа обладает высоким генетическим полиморфизмом, что может указывать на важность участия ее изоферментов в регуляции метаболизма растений. Наличие в геноме растений 8 генов СДГ-системы позволяет клетке формировать набор молекулярных форм, отличающихся по своим кинетическим и регуляторным характеристикам

[2]. Каждый изофермент СДГ в определенных условиях может играть важную роль, так как это один из механизмов приспособления растений к стрессовым условиям внешней среды. Для того чтобы обеспечить реакционную способность и стабильность структуры сукцинатдегидрогеназы, необходимо присутствие всех её четырех субъединиц. При исследовании дрожжей было выяснено, что стабильность двух гидрофильных субъединиц существенно снижается, если отсутствует одна из гидрофобных. То есть каталитический центр фермента не способен функционировать как независимая димерная структура без мембранного домена [3]. Однако, в клетках растений показано наличие функционально активной формы СДГ, состоящей из двух субъединиц, при этом акцептором электронов для нее может выступать ферредоксин, типичные потенциалы которого находятся в



диапазоне от -155 мВ до -455 мВ, что соответствует величине для принятия электронов от сукцината ($E=28$ мВ при pH 7.0) [4].

Солевой стресс является важным абиотическим фактором, влияющим на морфологию и физиологию растений кукурузы. На уровне клеточной физиологии накопление натрия в листьях приводит к осмотическому стрессу и стрессу от засухи из-за нарушения устьичных функций, влияющих на поглощение K^+ и, как следствие, значительной потери воды [5]. На митохондриальном уровне NaCl-стресс вызывает снижение скорости переноса электронов как для первого, так и для второго комплекса ЭТЦ, что свидетельствует о важности СДГ в организации метаболических процессов в клетке.

Любое нарушение функциональности СДГ, как ключевого фермента ЦТК, может вызвать изменения в метаболических и дыхательных путях клетки. Недавние исследования показали, что NaCl влияет на каталитическую активность СДГ [6, 7], при этом актуальным представляется исследование характеристик молекулярных форм данной ферментной системы, обеспечивающих адаптивную реакцию на солевой стресс.

Экспериментальная часть

В качестве объекта исследования использовали 14-дневные растения кукурузы (*Zea mays* L.), выращенные гидропонными способом при температуре 20°C и 12-часовом световом дне при интенсивности 25 Дж/м². Солевой стресс моделировали инкубацией проростков в 150 мМ растворе NaCl, контрольные растения инкубировались в воде.

Активность СДГ определяли в листьях кукурузы спектрофотометрическим методом, основанным на использовании искусственных акцепторов электронов с соответствующим редокс-потенциалом [8]. Содержание белка в пробе определили по методу Лоури [9]. Для получения высоко-

очищенных препаратов СДГ использовали 4-стадийную схему очистки. Все операции проводили при температуре 4°C.

Стадия 1. Гомогенизация. Навеску растительного материала (1 г) гомогенизировали в соотношении 1:5 со средой выделения следующего состава: 50 мМ Трис-HCl буфер (pH 7.5), 1 мМ ЭДТА, 10 мМ KCl, 1 мМ MgCl₂, 0.4 М сахарозы. Полученный гомогенат фильтровали через 4 слоя марли и центрифугировали в течение 5 мин при 3000 об/мин.

Стадия 2. Фракционирование сульфатом аммония. К супернатанту добавили кристаллический сульфат аммония до 20 % насыщения. Центрифугировали 20 мин при 15000 об/мин. Супернатант фракционировали до 60% насыщения сульфатом аммония и вновь центрифугировали 20 мин при 15000 об/мин. Осадок ресуспендировали в 2 см³ среды, содержащей 10 мМ фосфатный буфер (pH 7.8), 0,01% тритон X-100, 20 мМ сукцинат натрия.

Стадия 3. Гель-фильтрация. Полученный ферментативный препарат наносили на колонку, заполненную сефадексом G-25 (Pharmacia, Швеция), для освобождения от солей и низкомолекулярных примесей. Элюцию осуществляли 10 мМ фосфатным буфером (pH 7.8), содержащим 20 мМ сукцинат натрия, со скоростью 30 см³ в час.

Стадия 4. Ионообменная хроматография. Фермент наносили на колонку с ДЭАЭ-Sephacel (Sigma-Aldrich, США), предварительно уравновешенную 30 мМ фосфатным буфером (pH 7.8), содержащим 30 мМ KCl. Фермент десорбировали с колонки градиентом концентрации KCl в среде элюирования. Десорбция фермента осуществлялась линейным градиентом концентрации KCl от 0.03 до 0.2 М в среде десорбирования: 20 мМ фосфатный буфер (pH 6.2), содержащий 20 мМ сукцината.

Обсуждение результатов

Была проведена 4-стадийная очистка и получены высокоочищенные препараты

Таблица 1. Очистка сукцинатдегидрогеназы из листьев кукурузы при засолении (n=3, p<0.05)
 Table 1. Purification of succinate dehydrogenase from corn leaves during salinization (n=3, p<0.05)

| Стадия | Объем фракций, см ³ | Белок, мг | Общая активность, Е | Удельная активность, Е/мг белка | Выход, % | Степень очистки |
|---|--------------------------------|-----------|---------------------|---------------------------------|----------|-----------------|
| Гомогенат | 5 | 13.198 | 0.298 | 0.023 | 100 | 1 |
| Фракционирование (NH ₄) ₂ SO ₄ 20-60% | 2 | 5.302 | 0.253 | 0.048 | 84.89 | 2.09 |
| Гель-фильтрация на сефадексе G-25 | 4 | 2.846 | 0.146 | 0.051 | 48.99 | 2.22 |
| Хроматография на ДЭАЭ-Sephacel | 2 | 0.102 | 0.126 | 1.495 | 42.31 | 66.31 |
| | 2 | 0.101 | 0.104 | 0.935 | 35.05 | 41.48 |

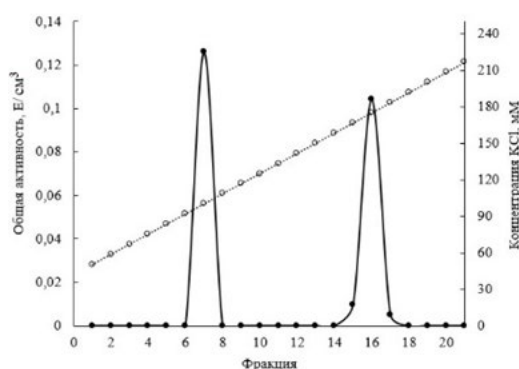


Рис. 1. Профиль элюции с колонки ДЭАЭ-Sephacel изоферментов сукцинатдегидрогеназы из листьев кукурузы, подвергшиеся действию 150 мМ хлорида натрия.
 Fig. 1. Elution profile from the DEAE Sephacel column of isoenzymes of succinate dehydrogenase from maize leaves subjected to 150 mM of sodium chloride

СДГ из листьев кукурузы, подвергшихся солевому стрессу (табл. 1). После десорбции фермента с ДЭАЭ-Sephacel линейным градиентом KCl (50-250 мМ) были получены два препарата, обладающих сукцинатдегидрогеназной активностью. В опытных пробах удельная активность для первого изофермента равнялась 1.495 Е/мг белка, при этом степень очистки составила 66.31 раз, выход – 42.31%. Для второго изофермента значение удельной активности было 0.935 Е/мг белка, а степень очистки и выход – 41.45 раз и 35.05% соответственно.

Изоферменты сукцинатдегидрогеназы, полученные из образцов, инкубированных в 150 мМ NaCl, обладали разной степенью сорбции на ионообменнике ДЭАЭ-Sephacel о чем свидетельствуют результаты профиля элюирования с колонки. Согласно данным литературы изоэлектрическая точка СДГ (pI) равна 6.34

при этом величина pI варьируют в зависимости от анализируемой субъединицы [10]. При условиях, соответствующих pI, белок обладает зарядом и взаимодействует по ионообменному механизму с ионитом [14].

В данной работе сорбция фермента на ДЭАЭ-Sephacel проводилась при pH 7,8, что выше pI изучаемого фермента и способствует формированию отрицательного заряда. Результаты исследования показывают, что СДГ1 и СДГ2 десорбировались с колонки ДЭАЭ-Sephacel при концентрации KCl 91.65 мМ и 174.95 мМ KCl (рис. 1). Отличие в концентрации десорбирующего раствора хлорида калия указывает на различие в величине поверхностного заряда изоферментов сукцинатдегидрогеназы из листьев кукурузы.

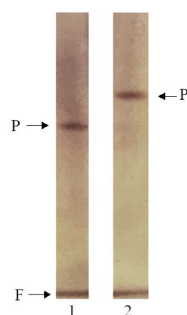


Рис. 2. Электрофореграмма в ПААГ с универсальным окрашиванием нитратом серебра на гомогенность полученных препаратов сукцинатдегидрогеназы из листьев кукурузы при засолении. P – белковые полосы, F – фронт красителя, 1 – СДГ1, 2 – СДГ2 [15].

Fig. 2. Electropherogram in PAGE with universal staining with silver nitrate for the homogeneity of the obtained preparations of succinate dehydrogenase under salinity stress.

P – protein bands, F – dye front, 1 – HSD1, 2 – HSD2 [15].

Диск-электрофорез в полиакриламидном геле с окраской нитратом серебра показал гомогенность полученных препаратов изоферментов во всех пробах, полученных после ионообменной хроматографии. При проявлении было обнаружено наличие только одной белковой полосы в каждом образце (рис. 2).

Заключение

Полученные результаты согласуются с данными предыдущих исследований, согласно которым показано наличие двух изоферментов СДГ в листьях кукурузы [11], в листьях гороха [12]. Показано, что в условиях солевого стресса происходит модуляция величины рН цитозоля мембранных органоидов клетки, в том числе за счет перераспределения вакуолярного пула протонов [13]. Изменение значений рН матрикса митохондрий сказывается на конформационных состояниях белковых компонентов изоферментов СДГ, что находит отражение в изменении сродства к субстрату.

Список литературы

1. Епринцев А.Т., Попов В.Н., Федорин Д.Н. Сукцинатдегидрогеназа высших растений. Воронеж: Центр. Черн. Книжное изд-во. 2010. 184 с.
2. Millar A.H., Eubel H., Jansch L., Krufft V., Heazlewood J.L., Braun H-P. v // *Plant Molecular Biology*. 2004. Vol. 56. pp. 77-90.

Любое изменение рН влияет на структуру белка, а снижение активности фермента за пределами оптимального рН определяется набором аминокислотных остатков в активном центре энзима, способных к протонированию и депротонированию, а также конформационными изменениями, вызванными протонизацией аминокислот.

Таким образом, применение 4-х стадийной схемы очистки СДГ, определяющей стадией в которой была ионообменная хроматография, позволившая разделить изоферментов на основе величины их поверхностного заряда. Два изофермента СДГ десорбировались с ДЭАЭ-Sephacel при различных концентрациях хлорида калия, что предполагает различие в организации их полипептидов.

Конфликт интересов

Авторы заявляют, что у них нет известных финансовых конфликтов интересов или личных отношений, которые могли бы повлиять на работу, представленную в этой статье.

3. Sun F., Huo X., Zhai Y., Wang A., Xu J., Su D., Bartlam M., Rao Z. Structure of Mitochondrial Respiratory Membrane Protein Complex II // *Cell*. 2005. Vol. 121. No 7. pp. 1043-1057.

4. Cammack R., Maguire J.J., Ackrell B.A.C. Mechanisms of Electron Transfer in Succinate Dehydrogenase and Fumarate Reductase: Possible Functions for Iron-Sulphur Centre 2

and Cytochrome b. *Cytochrome Systems*. 1987. pp 485-491.

5. Балнокин Ю.В., Котов А.А., Мясоедов Н.А., Хайлова Г.Ф., Куркова Е.Б., Луньков Р.В., Котова Л.М. Участие дальнего транспорта Na^+ в поддержании градиента водного потенциала в системе среда – корень – лист у галофита *Suaeda altissima* // *Физиология растений*. 2005. Т. 52. С. 549-557.

6. Jacoby R.P., Che-Othman M.H., Millar A.H., Taylor N.L. Analysis of the sodium chloride-dependent respiratory kinetics of wheat mitochondria reveals differential effects on phosphorylating and non-phosphorylating electron transport pathways. // *Plant, Cell & Environment*. 2016. Vol. 39. pp. 823-833.

7. Prasada R.K., Lall A.M., Abraham G., Ram G., Ramteke P.W. Prasada R.K., Lall A.M., Abraham G., Ram G., Ramteke P.W. International Journal of Bioinformatics and Biological Science. 2013; 1(3): 293-302. // *International Journal of Bioinformatics and Biological Science*. 2013. Vol. 1. No 3. pp. 293-302.

8. Попов В.Н., Епринцев А.Т., Федорин Д.Н. Световая регуляция экспрессии сукцинатдегидрогеназы в листьях *arabidopsis thaliana* // *Физиология растений*. 2007. Т. 54. С. 409-415.

9. Lowry O.H., Rosebrough N.J., Farr A.L., Randall R.J. Protein measurement with the Folin phenol reagent. // *Journal Biological Chemistry*. 1951. Vol. 193. pp. 265-275.

10. Schilling B., Murray J., Yoo C.B., Row R.H., Cusack M.P., Capaldi R.A., Gibson B.W. Proteomic analysis of succinate dehydrogenase and ubiquinol-cytochrome c reductase (Complex II and III) isolated by immunoprecipitation from bovine and mouse heart mitochondria // *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)*. 2006. Vol. 1762. pp. 213-222.

11. Федорин Д.Н., Карабутова Л.А., Покусина Т.А., Епринцев А.Т. Выделение изоформ сукцинатдегидрогеназы из зеленых листьев кукурузы методом ионообменной хроматографии // *Сорбционные и хроматографические процессы*. 2016. Т. 16. №4 С. 544-549.

12. Федорин Д.Н., Епринцев А.Т. Выделение изоферментов сукцинатдегидрогеназы из листьев гороха методом ионообменной хроматографии // *Сорбционные и хроматографические процессы*. 2018. Т. 18. №4 С. 563-567.

13. Kader M.A., Lindberg S. Cytosolic calcium and pH signaling in plants under salinity stress Cytosolic calcium and pH signaling in plants under salinity stress // *Plant Signal Behavior*. 2010. Vol. 5. No 3. pp. 233-238.

14. Селеменов В.Ф., Рудакова Л.В., Рудаков О.Б., Беланова Н.А., Назарова А.А. Фосфолипиды на фоне природных матриц. Воронеж: Научная книга. 2020. 318 с.

15. Селеменов В. Ф., Рудаков О. Б., Славинская Г.В., Дроздова Н.В. Пигменты пищевых производств (меланоидины). М: Дели принт. 2008. 246 с.

References

1. Eprintsev A.T., Popov V.N., Fedorin D.N. Sukcinatdegidrogenaza vysshih rastenij. Voronezh: Center. Chern. Book publishing house. 2010. 184 p. (In Russ.)

2. Millar A.H., Eubel H., Jansch L., Kruft V., Heazlewood J.L., Braun H-P. Structure of Mitochondrial Respiratory Membrane Protein Complex II. *Plant Molecular Biology*. 2004; 56; 77-90. <https://doi.org/10.1007/s11103-004-2316-2>

3. Sun F., Huo X., Zhai Y., Wang A., Xu J., Su D., Bartlam M., Rao Z. Structure of Mitochondrial Respiratory Membrane Protein Complex II. *Cell*. 2005; 121(7); 1043-1057. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2005.05.025>

4. Cammack R., Maguire J.J., Ackrell B.A.C. Mechanisms of Electron Transfer in Succinate Dehydrogenase and Fumarate Reductase: Possible Functions for Iron-Sulphur Centre 2 and Cytochrome b. *Cytochrome Systems*. 1987; 485-491. https://doi.org/10.1007/978-1-4613-1941-2_68

5. Balnokin Yu.V., Kotov A.A., Myasoedov N.A., Khailova G.F., Kurkova E.B., Lunkov R.V., Kotova L.M. Uchastie dal'nego transporta Na^+ v podderzhanii gradienta vodnogo potenciala v sisteme sreda – koren' – list u galofita *Suaeda altissima*. *Fiziologiya rasteniy*. 2005; 52: 549–557. <https://doi.org/10.1007/s11183-005-0072-z> (In Russ.)

6. Jacoby R.P., Che-Othman M.H., Millar A.H., Taylor N.L. Analysis of the sodium chloride-dependent respiratory kinetics of wheat mitochondria reveals differential effects on phosphorylating and non-phosphorylating electron transport pathways. *Plant, Cell & Environment*. 2016; 39: 823-833. <https://doi.org/10.1111/pce.12653>

7. Prasada R.K., Lall A.M., Abraham G., Ram G., Ramteke P.W. Prasada R.K., Lall A.M.,



Abraham G., Ram G., Ramteke P.W. International Journal of Bioinformatics and Biological Science. 2013; 1(3): 293-302. *International Journal of Bioinformatics and Biological Science*. 2013; 1(3): 293-302.

8. Popov V.N., Eprintsev A.T., Fedorin D.N. Svetovaya regulyaciya ekspressii sukcinatdehidrogenazy v list'yah arabidopsis thaliana. *Fiziologiya rasteniy*. 2007; 54: 409-415. (In Russ.)

9. Lowry O.H., Rosebrough N.J., Farr A.L., Randall R.J. Protein measurement with the Folin phenol reagent. *Journal Biological Chemistry*. 1951; 193: 265-275. <https://doi.org/10.1016/s0021-9258%2819%2952451-6>

10. Schilling B., Murray J., Yoo C.B., Row R.H., Cusack M.P., Capaldi R.A., Gibson B.W. Proteomic analysis of succinate dehydrogenase and ubiquinol-cytochrome c reductase (Complex II and III) isolated by immunoprecipitation from bovine and mouse heart mitochondria. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)*. 2006; 1762: 213-222.

11. Fedorin D.N., Karabutova L.A., Pokusina T.A., Eprintsev A.T. Vydelenie izoform sukcinatdehidrogenazy iz zelenyh list'ev kukuruzy metodom ionoobmennoj hromatografii. *Sorbtsionnye i khromatograficheskie protsessy*. 2016; 16(4): 544-549. (In Russ.)

12. Fedorin D.N., Eprintsev A.T. Vydelenie izofermentov sukcinatdehidrogenazy iz list'ev goroha metodom ionoobmennoj hromatografii. *Sorbtsionnye i khromatograficheskie protsessy*. 2018; 18(4): 563-567. <https://doi.org/10.17308/sorp-chrom.2018.18/564> (In Russ.)

13. Kader M.A., Lindberg S. Cytosolic calcium and pH signaling in plants under salinity stress. *Plant Signal Behavior*. 2010; 5(3): 233-238. <https://doi.org/10.4161/psb.5.3.10740>

14. Selemenev V.F., Rudakova L.V., Rudakov O.B., Belanova N.A., Nazarova A.A., Fosfolipidy na fone prirodnyh matric Voronezh. Nauchnaya kniga. 2020. 318 p. (In Russ.)

15. Selemenev V.F., Rudakov O.B., Slavinskaya G.V., Drozdova N.V. Pigmenty pishchevyh proizvodstv (melanoidiny). M. Delhi print. 2008. 246 p. (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the authors

А.Т. Епринцев – заведующий кафедрой биохимии и физиологии клетки, профессор, доктор биологических наук. Воронежский государственный университет, Воронеж, Россия

Д.Н. Федорин – доцент кафедры биохимии и физиологии клетки, доцент, кандидат биологических наук. Воронежский государственный университет, Воронеж, Россия

О.Х. Флорес Каро – аспирант кафедры биохимии и физиологии клетки. Воронежский государственный университет, Воронеж, Россия

A.T. Eprintsev – Head of the Department of Biochemistry and Cell Physiology, Professor, Doctor of Biological Sciences. Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation, e-mail: bc366@bio.vsu.ru

D.N. Fedorin – Associate Professor of the Department of Biochemistry and Cell Physiology, Associate Professor, Candidate of Biological Sciences. Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation

O.J. Florez Caro – PhD student, Department of Biochemistry and Cell Physiology. Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation

Статья поступила в редакцию 28.06.2022; одобрена после рецензирования 27.07.2022; принята к публикации 10.08.2022.

The article was submitted 28.06.2022; approved after reviewing 27.07.2022; accepted for publication 10.08.2022.