

DOI: 10.32864/polymmattech-2021-7-2-94-102

УДК 664.2;678.2

ХАРАКТЕРИСТИКА ФРАКЦИОННОГО СОСТАВА И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КРАХМАЛОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ СОРТОВ КУКУРУЗЫ И КАРТОФЕЛЯ, ВЫРАЩИВАЕМЫХ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Е. В. ВОРОБЬЕВА¹⁺, А. А. ПОПОВ^{2,3}, Е. Н. ВОЛНЯНКО⁴

¹Гомельский государственный университет имени Ф. Скорины, ул. Советская, 104, 246019, г. Гомель, Беларусь

²Институт биохимической физики имени Н. М. Эмануэля РАН (ИБХФ РАН), ул. Косыгина, 4, 119334, г. Москва, Россия

³Российский экономический университет имени Г. В. Плеханова, Стремянный пер., 36, 117997, г. Москва, Россия

⁴Институт механики металлополимерных систем имени В. А.Белого НАН Беларуси, ул. Кирова, 32а, 246050, г. Гомель, Беларусь

Проведен анализ фракционного состава (Ап/Ал), определены размеры крахмальных гранул, степень набухания, температура клейстеризации картофельных и кукурузных крахмалов, произведённых из разных сортов культур, выращиваемых в Беларуси. Картофельные крахмалы получены из сортов картофеля: Лазурит, Ласунак, Криница, Универсал, Бриз, Блакит, Архидея; кукурузные крахмалы — из сортов кукурузы: Алмаз 925, Брусница, Конкурент, Бонус, Порумбень 199СВ, Спирит, Бостон.

Установлено, что показатель Ап/Ал образцов картофельных крахмалов имеет значения в интервале 1,584–2,058 ед.; размер гранул — 73,0–118,6 мкм; степень набухания — 1008,6–1044,2%; температура клейстеризации — 53,9–69,1 °С. Кукурузные крахмалы в отличие от картофельных характеризуются большим процентом амилопектиновой фракции, показатель Ап/Ал составляет 2,669–4,186 ед., размер гранул — 51,5–6,0 мкм, степень набухания — 761,3–808,1%, температура клейстеризации — 74,1–95,9 °С. Выявлены корреляционные зависимости между фракционным составом крахмала, выраженным показателем Ап/Ал, и изученными свойствами крахмалов.

Установлено, что наиболее перспективным для создания оксобиоразлагаемых крахмалосодержащих полимерных композитов является картофельный крахмал. На уровне сортовой принадлежности культуры рекомендован крахмал, изготовленный из картофеля сорта «Универсал».

Ключевые слова: оксобиоразлагаемые полимерные композиты, крахмал, сортовая принадлежность, фракционный состав крахмала, амилоза, амилопектин, крахмальное зерно, температура клейстеризации, степень набухания.

CHARACTERISTIC OF FRACTIONAL COMPOSITION AND PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF STARCHES OBTAINED FROM VARIETIES OF CORN AND POTATO GROWN IN THE REPUBLIC OF BELARUS

Е. В. ВОРОБЬЕВА¹⁺, А. А. ПОПОВ^{2,3}, Е. Н. ВОЛНЯНКО⁴

¹Francisk Skorina Gomel State University, Sovetskaya St., 104, 246019, Gomel, Belarus

²N. M. Emanuel Institute of Biochemical Physics RAS, Kosygin St., 4, 119334, Moscow, Russia

³Plekhanov Russian University of Economics, Stremyanny Lane, 36, 117997, Moscow, Russia

⁴V. A. Belyi Metal-Polymer Research Institute of National Academy of Sciences of Belarus, Kirov St., 32a, 246050, Gomel, Belarus

The analysis of the fractional composition (Ap/Al) was carried out, the size of starch granules, the

⁺ Автор, с которым следует вести переписку. E-mail: evorobyova@gsu.by

swelling degree, the temperature of gelatinization of potato and corn starches produced from different varieties grown in Belarus were determined. Potato starches were obtained from the varieties: Lazurit, Lasunak, Krinita, Universal, Briz, Blakit, Arkhideya; corn starch from the varieties: Almaz 925, Brusnitsa, Konkurent, Bonus, Porumben' 199SV, Spirit, Boston.

It was found that the Ap/AI index of potato starch samples is in the interval 1.584–2.058 units, The granule size is 73.0–118.6 μm . The swelling degree is 1008.6–1044.2%. The gelatinization temperature is 53.9–69.1 °C. The Corn starches are characterized by a large percentage of the amylopectin fraction as opposite potato starches. The Ap/AI index is 2.669–4.186 units. The granule size is 51.5–6.0 microns. The degree of swelling is 761.3–808.1%. The gelatinization temperature is 74.1–95.9 °C. Correlations between the fractional composition of starch expressed by the Ap/AI index and the studied properties of starches were revealed.

It is established that potato starch is the most promising for the creation of biodegradable starch-containing polymer composites. At the level of varietal accessories of the crop, starch made from potatoes of the "Universal" variety is recommended.

Keywords: biodegradable polymer composites, starch, varietal accessory, fractional composition of starch, amylose, amylopectin, starch grain, gelatinization temperature, swelling degree.

Поступила в редакцию 03.02.2021

© Е. В. Воробьева, А. А. Попов, Е. Н. Волнянко, 2021

Для приобретения полного текста статьи, обращайтесь в [редакцию журнала](#)
Full text of articles can be purchased from the editorial office

Адрес редакции: ул. Кирова, 32а, 246050, г. Гомель, Беларусь
Телефон/факс: +375 (232) 34 06 36 / 34 17 11

Address: Kirov St., 32a, 246050, Gomel, Belarus
Phone: +375 (232) 34 06 36. Fax: +375 (232) 34 17 11

E-mail: polmattex@gmail.com
Web: <http://mpri.org.by/izdaniya/pmt/>

Образец цитирования:

Воробьева Е. В., Попов А. А., Волнянко Е. Н. Характеристика фракционного состава и физико-химических свойств крахмалов, полученных из сортов кукурузы и картофеля, выращиваемых в Республике Беларусь // Полимерные материалы и технологии. 2021. Т. 7, № 2. С. 94–102. <http://doi.org/10.32864/polymmattech-2021-7-2-94-102>

Citation sample:

Vorob'eva E. V., Popov A. A., Volnyanko E. N. Kharakteristika fraktsionnogo so-stava i fiziko-khimicheskikh svoystv krakhmalov, poluchennykh iz sortov kukuruzy i kartofelya, vyrashchivaemykh v Respublike Belarus' [Characteristic of fractional composition and physical and chemical properties of starches obtained from varieties of corn and potato grown in the republic of Belarus]. *Polimernye materialy i tekhnologii* [Polymer Materials and Technologies], 2021, vol. 7, no. 2 pp. 94–102. <http://doi.org/10.32864/polymmattech-2021-7-2-94-102>

Литература

1. Попов А. А., Зыкова А. К., Масталыгина Е. Е. Биоразлагаемые композиционные материалы (обзор) // Химическая физика. 2020. №39(6), С. 71–80. doi: 10.31857/S0207401X20060096
2. Ольхов А. А., Григорьева Е. А., Хватов А. В., Попов А. А., Абзальдинов Х. С. Технологические свойства биоразлагаемых композиционных материалов на основе полиэтилена и крахмала // Вестник технологического университета. Казань, 2015. Т. 18, № 16. С. 105–110.
3. Подденежный Е. Н., Бойко А. А., Алексеенко А. А., Дробышевская Н. Е., Урецкая О. В. Прогресс в получении биоразлагаемых композиционных материалов на основе крахмала (обзор) // Вестник Гомельского государственного технического университета им. П. О. Сухого. 2015. № 2(61). С. 31–41.
4. Колесникова Н. Н., Королева А. В., Лихачев А. Н., Луканина Ю. К., Пантюхов П. В., Попов А. А., Хватов А. В., Стоянов О. В., За-

- иков Г. Е., Абзалдинов Х. С. Биоразлагаемые композиционные материалы на основе полиэтилена и древесной муки // Вестник Казанского технологического университета. 2013. Т. 16, № 21. С. 164–167.
5. Шибряева Л. С., Подзорова М. В., Попов А. А. Разработка биоразлагаемых материалов для сельскохозяйственных технологий // Биохимическая физика : труды XV ежегодной международной молодежной конференции, Москва, 23–25 ноября 2015 г. М. : РУДН, 2016. С. 114–117.
 6. Сулова Т. Н., Никонорова В. Н., Сосновская Л. Б., Гиляева Г. В., Салахов И. И. Оценка эффективности деструкции композиций из полиэтилена и крахмала // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17, № 24. С. 120–123.
 7. Савицкая Т. А. Биоразлагаемые композиты на основе природных полисахаридов. Минск : БГУ, 2018. 207 с.
 8. Маринченко В. А., Смирнов В. А., Устинников Б. А., Цыганков П. С., Швеи В. Н., Яровенко В. Л. Технология спирта / под ред. В. А. Смирнова. М. : Легкая и пищевая промышленность, 1981. 416 с.
 9. Патент 2404205С1 РФ, МПК C08L 1/12, C08L 3/02, C08K 5/10, C08K 5/103. Биологически разрушаемая термопластичная композиция / Готлиб Е. М., Миляуша Р. Г., Халилуллин Р. Н., Косточно А. В. ; патентообладатель Казанский государственный технологический университет. N 2009113403/04; заявл.09.04.2009; опубл. 20.11.2010.
 10. Васильев И. Ю., Ананьев В. В., Колпакова В. В., Сарджвеладзе А. С. Разработка технологии получения биоразлагаемых композиций на основе полиэтилена, крахмала и моноглицеридов // Тонкие химические технологии. 2020. Т. 15, № 6. С. 44–55.
 11. Al-Salem S. M., Kishk M. W., Karam H. J., Al-Qassimi M. M., Al-Wadi M. H., Al-Shemmari A. J. Inducing polymer waste biodegradation using oxo-prodegradant and thermoplastic starch-based additives // Journal of Polymer Research, 2021, vol. 28, no. 3, pp. 1–15. doi: 10.1007/s10965-021-02457-6
 12. Shujun W., Jiugao Y., Jinglin Y. Preparation and characterization of compatible thermoplastic starch/polyethylene blends // Polymer Degradation and Stability, 2005, vol. 87, is. 3, pp. 395–401. doi: 10.1016/j.polydegradstab.2004.08.012
 13. Папахин А. А., Колпакова В. В., Бородина З. М., Сарджвеладзе А. С., Васильев И. Ю. Применение модифицированного пористого крахмала для создания биоразлагаемых композиционных полимерных материалов // Техника и технология пищевых производств. 2020. Т. 50, № 3. С. 549–558.
 14. Yiyuan Zou, Chao Yuan, Bo Cui, Pengfei Liu, Zhengzong Wu, Haibo Zhao. Formation of high amylose corn starch/konjac glucomannan composite film with improved mechanical and barrier properties // Carbohydrate Polymers, 2021, vol. 251. doi: 10.1016/j.carbpol.2020.117039
 15. Yiyuan Zou, Chao Yuan, Bo Cui, Haojie Sha, Pengfei Liu, Lu Lu, Zhengzong Wu. High-Amylose Corn Starch/Glucomannan Composite Film: Reinforced by Incorporating β -Cyclodextrin // Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2021, vol. 69, no. 8, pp. 2493–2500. doi: 10.1021/acs.jafc.0c06648
 16. Hernandez-Perez P., Flores-Silva P. C., Velazquez G., Morales-Sanchez E., Rodríguez-Fernández O., Hernández-Hernández E., Mendez-Montealvo G., Sifuentes-Nieves I. Rheological performance of film-forming solutions made from plasma-modified starches with different amylose/ amylopectin content // Carbohydrate Polymers, 2021, vol. 255. doi: 10.1016/j.carbpol.2020.117349
 17. Domene-López, D., Delgado-Marín, J. J., Martín-Gullón, I., García-Quesada, J. C., Montalbán, M. G. Comparative study on properties of starch films obtained from potato, corn and wheat using 1-ethyl-3-methylimidazolium acetate as plasticizer // International journal of biological macromolecules, 2019, vol. 135, pp. 845–854. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2019.06.004
 18. Lawton J. W. Effect of starch type on the properties of starch containing films // Carbohydrate Polymers, 1996, vol. 29, is. 3, pp. 203–208. doi: 10.1016/0144-8617(96)00028-8
 19. Hongsheng Liu, Long Yu, Fengwei Xie, Ling Chen. Gelatinization of cornstarch with different amylose/amylopectin content // Carbohydrate Polymers, 2006, vol. 65, is. 3, pp. 357–363. doi: 10.1016/j.carbpol.2006.01.026
 20. Thuwall M., Boldizar A., Rigdahl M. Extrusion processing of high amylose potato starch materials // Carbohydrate polymers, 2006, vol. 65, is. 4, pp. 441–446. doi:10.1016/j.carbpol.2006.01.033
 21. Soest J. J. G. van, Essers P. Influence of amylose-amylopectin ratio on properties of extruded starch plastic sheets // Journal of Macromolecular Science, Part A: Pure and Applied Chemistry, 1997, vol. 34, is. 9, pp. 1665–1689. doi: 10.1080/10601329708010034
 22. Hemamalini T., Giri Dev V. R. Comprehensive review on electrospinning of starch polymer for biomedical applications // International journal of biological macromolecules, 2018, vol. 106, pp. 712–718. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2017.08.079
 23. Giri Dev V. R., Hemamalini T. Porous electrospun starch rich polycaprolactone blend nanofibers for severe hemorrhage // International journal of biological macromolecules, Part A, 2018, vol. 118, pp. 1276–1283. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2018.06.163
 24. Woranuch S., Pongan A., Puagsuntia K., Subjaleardee N., Intasanta V. Starch-based and multi-purpose nanofibrous membrane for high efficiency nanofiltration // RSC Advances, 2017, vol. 7, is. 56, pp. 35368–35375. doi.org/10.1039/C7RA07484K
 25. Cárdenas William A, Muñoz Prieto Efrén, Gómez-Pachón Edwin Yesid, Vera-Graziano Ricardo. Comparative Study of Starch Fibers Obtained by Electro-spinning of Indigenous, Commercial and Cationic Potato Starch // Journal of Natural Fibers, 2020, vol. 17, is. 6, pp. 809–819. doi: 10.1080/15440478.2018.1534189
 26. Белоусова О. С., Дышлок Л. С., Австриевских А. Н., Щетинин М. П. Изучение термодинамических и реологических свойств природных полимеров, перспективных для получения капсул фармацевтического назначения // Техника и технология пищевых производств. 2014. № 4. С. 13–19.
 27. Ганиев С. Р., Касилов В. П., Кислогубова О. Н., Бутикова О. А., Кочкина Н. Е. Получение биоразрушаемых пленочных материалов на основе крахмала для пролонгированного высвобождения биологически активных соединений с применением волновой технологии // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2021. № 2. С. 77–80. doi: 10.31857/S023571192102005X
 28. Kong L. Ziegler G. R. Role of molecular entanglements in starch fiber formation by electrospinning // Biomacromolecules, 2012, vol. 13, is. 8, pp. 2247–2253. doi: 10.1021/bm300396j
 29. Badrossamay M. R., McIlwee H. A., Goss J. A., Parker K. K. Nanofiber assembly by rotary jet-spinning // Nano Lett., 2010, vol. 10, is. 6, pp. 2257–2261. doi: 10.1021/nl101355x
 30. Patent 3030667A US, C08L3/12. Method of preparing amylose film, tubing, and the like / Kunz W. B. Publ. 24.04.1962.
 31. Рихтер М., Аугустар З., Ширбаум Ф. Избранные методы исследования крахмала. М. : Пищевая промышленность, 1975. 180 с.
 32. Ловкис З. В., Литвяк В. В., Петюшев Н. Н. Технология крахмала и крахмалопродуктов : учебное пособие. Минск : Асобоны, 2007. 178 с.
 33. Литвяк В. В., Росляков Ю. Ф., Бутрим С. М., Козлова Л. Н. Крахмал и крахмалопродукты / под ред. Ю. Ф. Рослякова. Краснодар : КубГТУ, 2013. 204 с.
 34. Андреев Н. Р. Основы производства нативных крахмалов (научные аспекты). М. : Пищепромиздат, 2001. 289 с.
 35. Гулюк Н. Г., Жущман А. И., Ладур Т. А., Штыркова Е. А. Крахмал и крахмалопродукты / под ред. Н. Г. Гулюка. М. : Агропромиздат, 1985. 239 с.
 36. Шишонков М. В. Структура полимерных тел. Минск : БГУ, 2003. 37 с.
 37. Przetaczek-Roznowska I. Physicochemical properties of starches isolated from pumpkin compared with potato and corn starches // International Journal of Biological Macromolecules, 2017, vol. 101, pp. 536–542. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2017.03.092

38. Pycia K., Gesinski K., Jaworska G., Barczak B. Analiza porównawcza wybranych właściwości fizykochemicznych skrobi z komosy ryżowej (*Chenopodium quinoa* Willd.), kukurydzy, pszenicy oraz z ziemniaków // *Journal of Central European Agriculture*, 2019, vol. 20, no. 2, pp. 626–635.
39. Raguzzoni J. C., Lopes da Silva J. A., Maraschin M., Delgado I. Characterization of the physicochemical and thermal properties of unexplored starches with potential industrial uses from six Brazilian maize landraces // *Starch*, 2013, vol. 65, is. 11–12, pp. 938–946. doi: 10.1002/star.201200236
40. Pineda-Hidalgo K. V., Vega-Alvarez E., Calderon-Zamora L., Salazar-Salas N. Y., Gutierrez-Dorado R., Reyes-Moreno C., Bello-Perez L. A., Lopez-Valenzuela J. A. Physicochemical, structural, and proteomic analysis of starch granules from maize landraces of Northwest Mexico // *Cereal Chemistry*, 2015, vol. 92, is. 3, pp. 320–326. doi: 10.1094/CHEM-05-14-0099-R
41. Вассерман Л. А., Филатова А. Г., Хатефов Э. Б., Гольдштейн В. Г., Пластина И. Г. Некоторые структурные и термодинамические характеристики кукурузных крахмалов в зависимости от генотипа растений // *Химическая физика*. 2021. Т. 40, № 2. С. 74–83. doi: 10.31857/S0207401X21020175
42. Трегубов Н. Н., Жарова Е. Я., Жушман А. И., Сидорова Е. К. Технология крахмала и крахмалопродуктов / под ред. Н. Н. Трегубова. 5-е изд., перераб. и доп. М. : Легкая и пищевая промышленность, 1981. 472 с.

References

1. Popov A. A., Zykova A. K., Mastalygina E. E. Biorazlagaemye kompozitsionnye materialy (obzor) [Biodegradable Composites (Review)]. *Khimicheskaya fizika* [Russian Journal of Physical Chemistry B: Focus on Physics], 2020, no. №39(6), pp. 71–80. doi: 10.31857/S0207401X20060096
2. Ol'khov A. A., Grigor'eva E. A., Khvatov A. V., Popov A. A., Abzal'dinov Kh. S. Tekhnologicheskie svoystva biorazlagaemykh kompozitsionnykh materialov na osnove polietilena i krakhmala [Technological properties of biodegradable composite materials based on polyethylene and starch]. *Vestnik tekhnologicheskogo universiteta* [Herald of Kazan Technological University], 2015, vol. 18, no. 16, pp. 105–110.
3. Poddenezhnyy E. N., Boyko A. A., Alekseenko A. A., Drobyshevskaya N. E., Uretskaya O. V. Progress v poluchenii biorazlagaemykh kompozitsionnykh materialov na osnove krakhmala (obzor) [Progress in the production of biodegradable starch-based composite materials (review)]. *Vestnik Gomel'skogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. P. O. Sukhogo* [Bulletin of the Sukhoi State technical University of Gomel], 2015, no. 2(61), pp. 31–41.
4. Kolesnikova N. N., Koroleva A. V., Likhachev A. N., Lukanina Yu. K., Pantyukhov P. V., Popov A. A., Khvatov A. V., Stoyanov O. V., Zaikov G. E., Abzal'dinov Kh. S. Biorazlagaemye kompozitsionnye materialy na osnove polietilena i drevesnoy muki [Biodegradable composite materials based on polyethylene and wood flour]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Herald of Kazan Technological University], 2013, vol. 16, no. 21, pp. 164–167.
5. Shibrayaeva L. S., Podzorova M. V., Popov A. A. Razrabotka biorazlagaemykh materialov dlya sel'skokhozyaystvennykh tekhnologiy [Development of biodegradable materials for agricultural technologies]. *Trudy XV ezhegodnoy mezhdunarodnoy molodezhnoy konferentsii «Biokhimicheskaya fizika»* [Proceedings of the XV Annual International Youth Conference “Biochemical Physics”]. Moscow : RUDN Publ., 2016, pp. 114–117.
6. Suslova T. N., Nikonorova V. N., Sosnovskaya L. B., Gilaeva G. V., Salakhov I. I. Otsenka effektivnosti destruktivnoy kompozitsii iz polietilena i krakhmala [Evaluation of the destruction efficiency of polyethylene and starch compositions]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Herald of Kazan Technological University], 2014, vol. 17, no. 24, pp. 120–123.
7. Savitskaya T. A. *Biorazlagaemye kompozity na osnove prirodnykh polisakharidov* [Biodegradable composites based on natural polysaccharides]. Minsk : BGU Publ., 2018. 207 p.
8. Marinchenko V. A., Smirnov V. A., Ustinnikov B. A., Tsygankov P. S., Shvets V. N., Yarovenko V. L. *Tekhnologiya spirta* [Alcohol technology]. Ed. V. A. Smirnov. Moscow : Legkaya i pishchevaya promyshlennost' Publ., 1981. 416 p.
9. Gotlib E. M., Milyausha R. G., Khalilullin R. N., Kostochko A. V. Biologicheski razrushaemaya termoplastichnaya kompozitsiya [Biodegradable thermoplastic composition]. Patent RF, no. 2404205S1, 2010.
10. Vasil'ev I. Yu., Anan'ev V. V., Kolpakova V. V., Sardzhveladze A. S. Razrabotka tekhnologii polucheniya biorazlagaemykh kompozitsiy na osnove polietilena, krakhmala i monoglitseridov [Technology development of biodegradable compositions based on polyethylene, starch and monoglycerides]. *Tonkie khimicheskie tekhnologii* [Fine Chemical Technologies], 2020, vol. 15, no. 6, pp. 44–55.
11. Al-Salem S. M., Kishk M. W., Karam H. J., Al-Qassimi M. M., Al-Wadi M. H., Al-Shemmari A. J. Inducing polymer waste biodegradation using oxo-prodegradant and thermoplastic starch-based additives. *Journal of Polymer Research*, 2021, vol. 28, no. 3, pp. 1–15. doi: 10.1007/s10965-021-02457-6
12. Shujun W., Jiugao Y., Jinglin Y. Preparation and characterization of compatible thermoplastic starch/polyethylene blends. *Polymer Degradation and Stability*, 2005, vol. 87, is. 3, pp. 395–401. doi: 10.1016/j.polymdegradstab.2004.08.012
13. Papakhin A. A., Kolpakova V. V., Borodina Z. M., Sardzhveladze A. S., Vasil'ev I. Yu. Primenenie modifitsirovannogo poristogo krakhmala dlya sozdaniya biorazlagaemykh kompozitsionnykh polimernykh materialov [Application of modified porous starch to create biodegradable composite polymer materials]. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv* [Food Processing: Techniques and Technology], 2020, vol. 50, no. 3, pp. 549–558.
14. Yiyuan Zou, Chao Yuan, Bo Cui, Pengfei Liu, Zhengzong Wu, Haibo Zhao. Formation of high amylose corn starch/konjac glucomannan composite film with improved mechanical and barrier properties. *Carbohydrate Polymers*, 2021, vol. 251. doi: 10.1016/j.carbpol.2020.117039
15. Yiyuan Zou, Chao Yuan, Bo Cui, Haojie Sha, Pengfei Liu, Lu Lu, Zhengzong Wu. High-Amylose Corn Starch/Glucomannan Composite Film: Reinforced by Incorporating β -Cyclodextrin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2021, vol. 69, no. 8, pp. 2493–2500. doi: 10.1021/acs.jafc.0c06648
16. Hernandez-Perez P., Flores-Silva P. C., Velazquez G., Morales-Sanchez E., Rodríguez-Fernández O., Hernández-Hernández E., Mendez-Montealvo G., Sifuentes-Nieves I. Rheological performance of film-forming solutions made from plasma-modified starches with different amylose/amylopectin content. *Carbohydrate Polymers*, 2021, vol. 255. doi: 10.1016/j.carbpol.2020.117349
17. Domene-López, D., Delgado-Marín, J. J., Martín-Gullón, I., García-Quesada, J. C., Montalbán, M. G. Comparative study on properties of starch films obtained from potato, corn and wheat using 1-ethyl-3-methylimidazolium acetate as plasticizer. *International journal of biological macromolecules*, 2019, vol. 135, pp. 845–854. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2019.06.004
18. Lawton J. W. Effect of starch type on the properties of starch containing films. *Carbohydrate Polymers*, 1996, vol. 29, is. 3, pp. 203–208. doi: 10.1016/0144-8617(96)00028-8
19. Hongsheng Liu, Long Yu, Fengwei Xie, Ling Chen. Gelatinization of cornstarch with different amylose/ amylopectin content. *Carbohydrate Polymers*, 2006, vol. 65, is. 3, pp. 357–363. doi: 10.1016/j.carbpol.2006.01.026
20. Thuwall M., Boldizar A., Rigdahl M. Extrusion processing of high amylose potato starch materials. *Carbohydrate polymers*,

- 2006, vol. 65, is. 4, pp. 441–446. doi: 10.1016/j.carbpol.2006.01.033
21. Soest J. J. G. van, Essers P. Influence of amylose-amylopectin ratio on properties of extruded starch plastic sheets. *Journal of Macromolecular Science, Part A: Pure and Applied Chemistry*, 1997, vol. 34, is. 9, pp. 1665–1689. doi: 10.1080/10601329708010034
22. Hemamalini T., Giri Dev V. R. Comprehensive review on electrospinning of starch polymer for biomedical applications. *International journal of biological macromolecules*, 2018, vol. 106, pp. 712–718. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2017.08.079
23. Giri Dev V. R., Hemamalini T. Porous electrospun starch rich polycaprolactone blend nanofibers for severe hemorrhage. *International journal of biological macromolecules, Part A*, 2018, vol. 118, pp. 1276–1283. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2018.06.163
24. Woranuch S., Pangon A., Puagsuntia K., Subjaleandee N., Intasanta V. Starch-based and multi-purpose nanofibrous membrane for high efficiency nanofiltration. *RSC Advances*, 2017, vol. 7, is. 56, pp. 35368–35375. doi.org/10.1039/C7RA07484K
25. Cárdenas William A., Muñoz Prieto Efrén, Gómez-Pachón Edwin Yesid, Vera-Graziano Ricardo. Comparative Study of Starch Fibers Obtained by Electro-spinning of Indigenous, Commercial and Cationic Potato Starch. *Journal of Natural Fibers*, 2020, vol. 17, is. 6, pp. 809–819. doi: 10.1080/15440478.2018.1534189
26. Belousova O. C., Dyshlyuk L. C., Avstrievskikh A. H., Shchetinin M. P. Izuchenie termodinamicheskikh i reologicheskikh svoystv prirodnikh polimerov, perspektivnykh dlya polucheniya kapsul farmatsevticheskogo naznacheniya [Study of the thermodynamic and rheological properties of natural polymers, promising for the production of pharmaceutical capsules]. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv* [Food processing: Techniques and Technology], 2014, no. 4, pp. 13–19.
27. Ganiev S. R., Kasilov V. P., Kislogubova O. N., Butikova O. A., Kochkina N. E. Poluchenie biorazrushaemykh plenochnykh materialov na osnove krakhmala dlya prolongirovannogo vysvobozhdeniya biologicheskii aktivnykh soedineniy s primeneniem volnovoy tekhnologii [Production of biodegradable film materials based on starch for the prolonged release of biologically active compounds using wave technology]. *Problemy mashinostroeniya i nadezhnosti mashin* [Journal of Machinery Manufacture and Reliability], 2021, no. 2, pp. 77–80. doi: 10.31857/S023571192102005X
28. Kong L., Ziegler G. R. Role of molecular entanglements in starch fiber formation by electrospinning. *Biomacromolecules*, 2012, vol. 13, is. 8, pp. 2247–2253. doi: 10.1021/bm300396j
29. Badrossamay M. R., McIlwee H. A., Goss J. A., Parker K. K. Nanofiber assembly by rotary jet-spinning. *Nano Lett.*, 2010, vol. 10, is. 6, pp. 2257–2261. doi: 10.1021/nl101355x
30. Kunz W. B. Method of preparing amylose film, tubing, and the like. Patent US, no. 3030667A, 1962.
31. Rikhter M., Augustat Z., Shirbaum F. *Izbrannye metody issledovaniya krakhmala* [Selected Methods for Studying Starch]. Moscow : Pishchevaya promyshlennost' Publ., 1975. 180 p.
32. Lovkis Z. V., Lityyak V. V., Petushev N. N. *Tekhnologiya krakhmala i krakhmaloproduktov* [Starch and starch products technology]. Minsk : Asobny Publ., 2007. 178 p.
33. Lityyak V. V., Roslyakov Yu. F., Butrim S. M., Kozlova L. N. *Krakhmal i krakhmaloprodukty* [Starch and starch products]. Ed. Yu. F. Roslyakov. Krasnodar : KubGTU Publ., 2013. 204 p.
34. Andreev N. R. *Osnovy proizvodstva nativnykh krakhmalov (nauchnye aspekty)* [Basics of the native starches production (scientific aspects)]. Moscow : Pishchepromizdat Publ., 2001. 289 p.
35. Gulyuk N. G., Zhushman A. I., Ladur T. A., Shtyrkova E. A. *Krakhmal i krakhmaloprodukty* [Starch and starch products]. Ed. N. G. Gulyuk. Moscow : Agropromizdat Publ., 1985. 239 p.
36. Shishonok M. V. *Struktura polimernykh tel* [The structure of polymer bodies]. Minsk : BGU Publ., 2003. 37 p.
37. Przetaczek-Rożnowska I. Physicochemical properties of starches isolated from pumpkin compared with potato and corn starches. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2017, vol. 101, pp. 536–542. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2017.03.092
38. Pycia K., Gesinski K., Jaworska G., Barczak B. Analiza porównawcza wybranych właściwości fizykochemicznych skrobi z komosy ryżowej (*Chenopodium quinoa* Willd.), kukurydzy, pszenicy oraz z ziemniaków. *Journal of Central European Agriculture*, 2019, vol. 20, no. 2, pp. 626–635.
39. Raguzzoni J. C., Lopes da Silva J. A., Maraschin M., Delgado I. Characterization of the physicochemical and thermal properties of unexplored starches with potential industrial uses from six Brazilian maize landraces. *Starch*, 2013, vol. 65, is. 11–12, pp. 938–946. doi: 10.1002/star.201200236
40. Pineda-Hidalgo K. V., Vega-Alvarez E., Calderon-Zamora L., Salazar-Salas N. Y., Gutierrez-Dorado R., Reyes-Moreno C., Bello-Perez L. A., Lopez-Valenzuela J. A. Physicochemical, structural, and proteomic analysis of starch granules from maize landraces of Northwest Mexico. *Cereal Chemistry*, 2015, vol. 92, is. 3, pp. 320–326. doi: 10.1094/CCHEM-05-14-0099-R
41. Vasserma L. A., Filatova A. G., Khatefov E. B., Gol'dshteyn V. G., Plashchina I. G. Nekotorye strukturnye i termodinamicheskie kharakteristiki kukuruznykh krakhmalov v zavisimosti ot genotipa rasteniy [Some structural and thermodynamic characteristics of corn starches depending on the plant genotype]. *Khimicheskaya fizika* [Russian Journal of Physical Chemistry B: Focus on Physics], 2021, vol 40, no. 2. pp. 74–83. doi: 10.31857/S0207401X21020175
42. Tregubov N. N., Zharova E. Ya., Zhushman A. I., Sidorova E. K. *Tekhnologiya krakhmala i krakhmaloproduktov* [Starch and starch products technology]. Ed. N. N. Tregubov. Moscow : Legkaya i pishchevaya promyshlennost' Publ., 1981. 472 p.