

Изучение свойств модифицированного фосфором и глицином экструдированного крахмала

Таропин В.Н., Фролов Д.И.

Аннотация. В статье изучались свойства крахмальных препаратов, полученных из крахмала, экструдированного при различных температурах и подвергнутого обжигу либо с фосфатами, либо с фосфатами и глицином. Были определены следующие характеристики: цветовая разница, содержание фосфора, термические характеристики желатинизации с помощью дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК), водопоглощение и водорастворимость, вязкость, чувствительность препаратов к активности амилоглюкозидазы. Модификация крахмала фосфором привела к значительному уменьшению различий некоторых свойств, возникающих в результате различных температур процесса экструзии, по сравнению с крахмалом, не подвергнутом химической модификации. Обжиг крахмала, экструдированного с фосфатами и глицином, привел к его значительному потемнению (коричневому цвету) и снижению водопоглощения, определяемому в холодных условиях, по сравнению с крахмалом, подвергнутому обжигу только с фосфатами. Модификация фосфатами и глицином не вызвала ожидаемого изменения чувствительности препаратов к активности амилоглюкозидазы. Монофосфаты, полученные из экструдированного картофельного крахмала, характеризовались устойчивостью к действию амилоглюкозидазы около 30% и высокой (около 90%) растворимостью в воде.

Ключевые слова: картофельный крахмал, экструзия, монофосфат крахмала, глицин.

Для цитирования: Таропин В.Н., Фролов Д.И. Изучение свойств модифицированного фосфором и глицином экструдированного крахмала // Инновационная техника и технология. 2023. Т. 10. № 3. С. 25–31.

Study of properties of extruded starch modified by phosphorus and glycine

Taropin V.N., Frolov D.I.

Abstract. In this article, the properties of starch preparations obtained from starch extruded at different temperatures and subjected to firing with either phosphate or phosphate and glycine were studied. The following characteristics were determined: color difference, phosphorus content, thermal characteristics of gelatinization by differential scanning calorimetry (DSC), water absorption and water solubility, viscosity, and sensitivity of the preparations to amyloglucosidase activity. Modification of starch with phosphorus resulted in a significant reduction in the differences of some properties resulting from different temperatures of the extrusion process compared to starch not chemically modified. The firing of starch extruded with phosphates and glycine resulted in a significant darkening (brown color) and a decrease in water absorption, determined under cold conditions, compared to starch fried with phosphates alone. Modification with phosphates and glycine did not cause the expected change in the sensitivity of the preparations to amyloglucosidase activity. Monophosphates obtained from extruded potato starch were characterized by resistance to amyloglucosidase activity of about 30% and high (about 90%) solubility in water.

Keywords: potato starch, extrusion, starch monophosphate, glycine.

For citation: Taropin V.N., Frolov D.I. Study of properties of extruded starch modified by phosphorus and glycine. Innovative Machinery and Technology [Innovatsionnaya tekhnika i tekhnologiya]. 2023. Vol. 10. No. 3. pp. 25–31. (In Russ.).

Введение

Материал, подвергнутый процессу экструзии, подвергается воздействию высокой температуры, механических сил и повышенного давления. За короткий промежуток времени крахмал превращается в пластичную массу, а затем в результате быстрого снижения давления и испарения воды получается продукт с характерной консистенцией. При этом нарушается структура крахмальных гранул, изменяются степень кристалличности и ее пространственное расположение. Экструзия вызывает повышение водорастворимости и снижение вязкости крахмальных клейстеров [1], а также снижает чувствительность крахмальных препаратов к активности амилаз [2]. Продуктами химической модификации крахмала, характеризующимися растворимостью в холодной воде [3] и пониженной восприимчивостью к активности амилаз [4], являются монофосфаты крахмала. Степень замещения фосфатами, а значит и свойства получаемого модифицированного препарата, в основном определяются влажностью и происхождением крахмала, а также временем и температурой его обжига. Снижение чувствительности крахмала к ферментативной активности обусловлено изменением его структуры [5]. Обжарка крахмала с фосфатами или глицином приводит к образованию сложных эфиров и соединений типа Майяра, которые ухудшают доступ фермента к цепи крахмала [6]. Сочетание физической модификации (экструзии) с химической (обжиг с фосфатами или с фосфатами и глицином) может привести к получению крахмальных препаратов с высокой водорастворимостью и пониженной восприимчивостью к амилолитическому разложению.

Целью исследований было определение свойств препаратов крахмала, полученных из крахмала, экструдированного при различных температурах и подвергнутого обжигу либо с фосфатами, либо с фосфатами и глицином.

Объекты и методы исследования

Картофельный крахмал влажностью 25% экструдировали в одношнековом лабораторном экструдере ЭК-40 при следующих температурах 50-60-70°C, 100-110-120°C и 150-160-170°C. Далее измельчали и просеивали через сито с размером ячеек 400 мкм. Три препарата экструдированного крахмала, полученные таким способом, разделили на три порции: первый обжаривали при температуре 160°C в течение 3 ч, второй модифицировали фосфором, третий модифицировали фосфором и глицином. Для получения монофосфатов крахмала водный раствор (100 мл) фосфатов натрия (10,44 г $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ и 52,54 г $\text{NaHPO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) тщательно смешивали с 200 г экструдированного крахмала, сушили при температуре 60°C в течение 12 ч до влажности 10% и обжаривали при температуре 160°C в течение 3 часов. Третью порцию подвер-

гали совместному действию фосфора и глицина. Водный раствор глицина (20 г глицина) и раствор фосфатов натрия (10,44 г $\text{Na}_2\text{H}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ и 52,54 г $\text{NaHPO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) смешивали с 200 г экструдированного крахмала, а затем сушили и обжаривали, как описано выше для монофосфата крахмала. Для удаления остатков реагентов все препараты промывали последовательно тремя порциями (по 300 мл) 60%-ного и одной порцией 96%-ного этилового спирта. Модифицированные препараты сушили при комнатной температуре и просеивали через сито с размером ячеек 400 мкм.

Полученные препараты экструдированного и обжаренного крахмала (E70п, E120п, E170п), экструдированного и фосфатно-модифицированного крахмала (E70ф, E120ф, E170ф), а также экструдированного и модифицированного фосфатами и глицином (E70фг, E120фг, E170фг) были подвергнуты следующим анализам:

1) цветовая разница (потемнение) АЕ, рассчитанная по значениям цветовой шкалы Хантера (L, a, b) и определенная с помощью хронометра относительно нативного крахмала. Разница в цвете рассчитывалась по следующей формуле:

$$AE = (AL2 + Aa2 + Ab2)1/2;$$

2) содержание фосфора спектрофотометрическим методом после сухого сжигания в микроволновой системе пробоподготовки;

3) термические характеристики желатинизации с использованием дифференциального сканирующего калориметра, в диапазоне температур 25-100°C и скорости нагрева 10°C/мин. Навеска крахмала по 30 мг. К навескам добавляли бидистиллированную воду в соотношении 3:1. После закрытия сосудов образцы выдерживали в течение 24 ч при комнатной температуре и измерения проводили в пустом эталонном сосуде;

4) водопоглощение и растворимость в воде при температуре 30° или 80°C;

5) вязкость (η_{50}) 5%-ной пасты при температуре 50°C, снятой по кривой текучести ($\gamma = 0 - 300$),

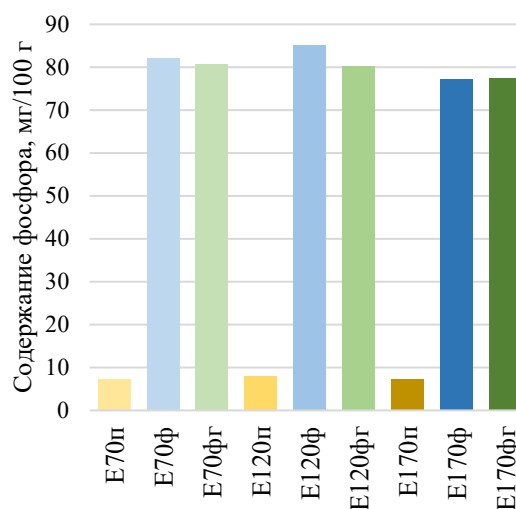


Рис.1. Содержание фосфора в препаратах крахмала

Таблица 1 - Температуры желатинизации, теплоты перехода и средняя удельная теплоемкость крахмальных препаратов, определенные по термическим характеристикам ДСК

Тип препарата	Начальная температура (°С)	Конечная температура (°С)	Теплота перехода (Дж/г)	Средняя удельная теплоемкость (Дж/г·°С)
E70п	47	81,9	3	0,09
E70ф	47,7	71,4	1,2	0,08
E70фг	47,9	72,8	1,5	0,06
E120п	47,9	82,5	3,7	0,11
E120ф	49,5	76,2	1,4	0,05
E120фг	49,5	75,3	1,5	0,06
E170п	48,6	79,9	4,9	0,16
E170ф	47,3	77,9	1,9	0,07
E170фг	48	79,6	2,4	0,07

построенной с использованием ротационного вискозиметра при скорости сдвига 50 с^{-1} ;

б) чувствительность препаратов к активности амилоглюкозидазы. Содержание свободной глюкозы определяли колориметрически с использованием реагента для определения концентрации глюкозы, содержащего глюкозооксидазу и пероксидазу. Содержание глюкозы определяли по кривой, с использованием аналитически чистых растворов глюкозы. Осахаривание рассчитывали по теоретическому содержанию глюкозы, полученной в результате общего осахаривания навески крахмала.

Результат гидролиза считался окончательным, если три последующих результата не отличались друг от друга.

Результаты были статистически обработаны с использованием дисперсионного анализа при уровне достоверности $p < 0,05$.

Результаты и их обсуждение

Экструдированный, а затем обжаренный крахмал характеризовался несколько более темным цветом, чем нативный крахмал. При этом наблюдалась следующая тенденция: чем ниже температура экструзии, тем заметнее разница. Экструзия при температуре $150\text{-}160\text{-}170^\circ\text{C}$ вызывала потемнение крахмала на 3,5%, а проведенная при температуре $50\text{-}60\text{-}70^\circ\text{C}$ на 6,5%. Обжиг с фосфатами вызывал изменение цвета препаратов крахмала на бледно-желтый, характерный для монофосфатов крахмала. Это отразилось на коэффициенте АЕ, варьирующемся от 16 до 27%. Наибольшее изменение цвета наблюдалось у препаратов, обжаренных с фосфатами и глицином, которые имели коричневый цвет с коэффициентом затемнения АЕ 34-39%. Столь существенное изменение цвета указывает на то, что при обжаривании крахмала с глицином происходит реакция Майяра, приводящая к характерному коричневому цвету.

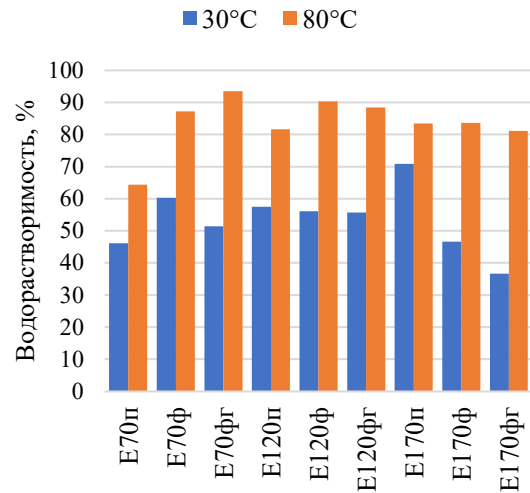


Рис. 2. Водорастворимость препаратов крахмала, определенная при 30°C и 80°C

Обжиг с фосфатами, а также с фосфатами и глицином влияет на десятикратное увеличение содержания фосфора в препаратах по сравнению с препаратами крахмала, не подвергнутыми химической модификации (рис. 1). Содержание фосфора в обжаренных препаратах колебалось от 73 до 83 мг/100 г, а в обжаренных либо с фосфатами, либо с фосфатами и глицином - от 775 до 854 мг/100 г крахмала. Концентрация фосфора в нативном крахмале определяется главным образом типом крахмала, например, в картофельном крахмале она колеблется от 60 до 90 мг/100 г, тогда как в монофосфатах, полученных из картофельного крахмала обжариванием в течение 3 ч при температура 160°C составляет примерно 800 мг/100 г крахмала.

Термические характеристики препаратов крахмала показали наличие фракций крахмала, переход которых в воду протекает в широком диапазоне температур при относительно низкой теплоте перехода (табл. 1). Диапазон температур и теплоты перехода зависел от применения модификации. Наибольшая теплота перехода отмечена для препаратов экструдированного и обжаренного крахмала (3,0-4,9 Дж/г), увеличение значений теплоты наблюдалось при повышении температуры экструзии. Также начальная и конечная температуры оказались обусловлены температурой процесса экструзии: чем выше температура экструзии, тем выше начальная температура ($47\text{-}48,6^\circ\text{C}$) и тем ниже конечная температура ($81,8\text{-}79,8^\circ\text{C}$) перехода. Увеличение теплоты при уменьшении диапазона температур перехода вызывало и увеличение средней теплоемкости, которая увеличивалась от 0,09 до 0,16 Дж/г $^\circ\text{C}$ вместе с повышением температуры экструзии. Химическая модификация привела к снижению теплоемкости до уровня 0,05-0,08 Дж/г $^\circ\text{C}$ и примерно двукратное снижение теплоты перехода крахмала, которая колебалась от 1,2 до 2,4 Дж/г и увеличивалась при повышении температуры экструзии.

Начальная температура перехода колебалась от $47,3$ до $49,5^\circ\text{C}$. Конечная температура, которая

была выше в случае крахмала, экструдированного при более высоких температурах, колебалась от 71,4 до 79,6°C. Величина теплоты перехода крахмала определяется нарушением структуры цепей крахмала, расположенных в двойных спиральных. В свою очередь, было обнаружено, что увеличение диапазона температур, оказывающее обратное пропорциональное влияние на величину средней удельной теплоты перехода, влияет на деградацию кристаллических структур крахмала [7]. Если рассматривать экструдированный крахмал как своего рода крахмальную пасту очень высокой концентрации, то можно предположить, что в нем происходит медленная перестройка спиральных структур и рекристаллизация крахмала.

Наблюдаемые изменения могут усиливаться при обжиге экструдированного крахмала. Нагревание крахмала приводит к процессам деполимеризации, трансглюкозидирования и реполимеризации, происходящим внутри его молекулы [8]. Удлинение времени процесса декстринизации сопровождается увеличением числа нетипичных для крахмала 1,3 и 1,2 связей между глюкозными остатками образующихся декстринов.

Было обнаружено, что водорастворимость экструдированного и обжаренного крахмала увеличивается вместе с увеличением температуры экструзии (рис. 2). Растворимость в воде, определенная в холодных условиях (при температуре 30°C), колебалась от 46,3 до 71,1%, а в горячих условиях (при температуре 80°C) - от 64,2 до 83,2%. Модификация крахмала фосфором повлияла на уменьшение различий в его растворимости в воде, обусловленных разной температурой экструзии. Растворимость в воде, определенная в холодных условиях, колебалась от 47 до 60%, тогда как в горячих условиях она составила 84%, независимо от температуры экструзии крахмала. Аналогичная тенденция наблюдается и в случае препаратов, модифицированных фосфором и глицином.

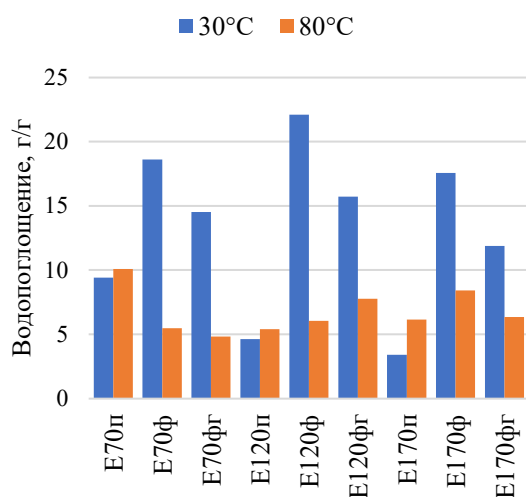


Рис. 3. Водопоглощение препаратов крахмала, определенное при 30°C и 80°C

Их растворимость, определенная при температуре 30°C, колебалась от 51,4 до 55,7%, а определенная при температуре 80°C между 80,9 и 93,4%. Исключением стал препарат E170фг, растворимость которого по данным достигала 36,9%. Экструдированный крахмал характеризуется существенно более высокой растворимостью в воде, чем нативный крахмал, и степень этих изменений определяется, прежде всего, типом крахмала, его влажностью перед экструзией и ее параметрами, особенно температурой. Для монофосфатов крахмала характерна также высокая растворимость в воде, зависящая главным образом от времени и температуры обжига. Сочетание обеих модификаций позволило получить препараты со значительной растворимостью в воде.

Водопоглощение экструдированного и обжаренного крахмала, определенное при температуре 30 или 80°C, колебалось от 3,5 до 10,2 г воды на 1 г крахмала (рис. 3). Фосфорилирование крахмала вызывало значительное увеличение водопоглощения, определяемого в холодных условиях. Экструдированный крахмал, обжаренный с фосфатами при самой низкой температуре (50-60-70°C), обугливался примерно в 2 раза, а экструдированный при более высоких температурах (100-110-120 и 150-160-170°C) - примерно в 5 раз больше, чем крахмал, не модифицированный химическим путем. Высокое водопоглощение монофосфатов крахмала подтверждено в ряде научных работ. Способность к водопоглощению, определенная в жарких условиях, была значительно ниже и достигала нескольких процентов. Вероятно, это связано с высокой (80-90%) растворимостью образующихся монофосфатов крахмала. Обжиг крахмала с фосфатами и глицином приводил к уменьшению (на 22-32%) водопоглощающей способности при температуре 30°C по сравнению с монофосфатами крахмала. Модификация крахмала не оказала существенного влияния на его низкое водопоглощение, измеренное в жарких условиях.

Обжаренный экструдированный крахмал образовывал пасты с низкой вязкостью (0,029-0,06 мПа·с), которая снижалась с увеличением температуры экструзии (рис. 4). Такая зависимость обусловлена интенсивной деградацией крахмала, протекающей при более высоких температурах процесса экструзии. Химическая модификация крахмала в значительной степени ослабила влияние условий экструзии на вязкость приготовленной пасты, которая в случае монофосфатов крахмала составляла от 0,024 до 0,027 мПа·с, а в случае препаратов, модифицированных фосфатами и глицином - от 0,019 до 0,025 мПа·с. Более низкая вязкость паст, приготовленных из крахмала, модифицированного фосфатами и глицином, по сравнению с монофосфатами, скорее всего, обусловлена гидролитическим действием аминокислотной кислоты (глицина).

Образование монофосфатов сопровождается сопутствующим термолизом крахмала, влияющим

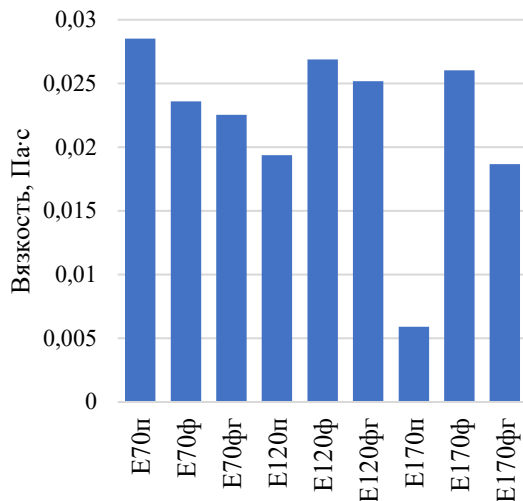


Рис. 4. Вязкость η_{50} 5% крахмальных клейстеров при температуре 50°C

на снижение вязкости, а также фосфорилированием, вызывающим повышение вязкости приготовленных паст. По-видимому, на выравнивание вязкости исследованных паст в гораздо большей степени повлияла одинаковая и относительно высокая степень замещения фосфором, чем различия в молекулярной массе крахмала, экструдированного при различных температурах.

Установлено, что чувствительность химически немодифицированного крахмала к активности амилогликозидазы не зависит от температуры экструзии и достигает 93% (рис. 5). Полученные монофосфаты крахмала, а также крахмалы, обжаренные с фосфатами и глицином, характеризовались на 25% ниже склонностью к гидролизу. Неполная ферментативная деградация экструдированного крахмала была подтверждена в исследованиях других авторов [9, 10, 11]. Одновременная модификация соединениями фосфора и глицином не вызвала ожидаемых изменений в чувствительности производимых препаратов к активности амилогликозидазы.

Выводы

Исследованные препараты крахмала различались по своим свойствам, причем направление и степень этих изменений зависели от температуры экструзии и применяемой химической модификации. Наибольшие различия наблюдались у экструдированных и обжаренных препаратов, свойства которых определялись преимущественно температурой процесса экструзии. Экструдированный крахмал, обжаренный с соединениями фосфора, имел более темный цвет (желтый), содержал зна-

Литература

- [1] Govindasamy S., Campanella O. H., Oates C. G. Influence of extrusion variables on subsequent saccharification behaviour of sago starch // Food chemistry. – 1995. – Т. 54. – №. 3. – С. 289-296.

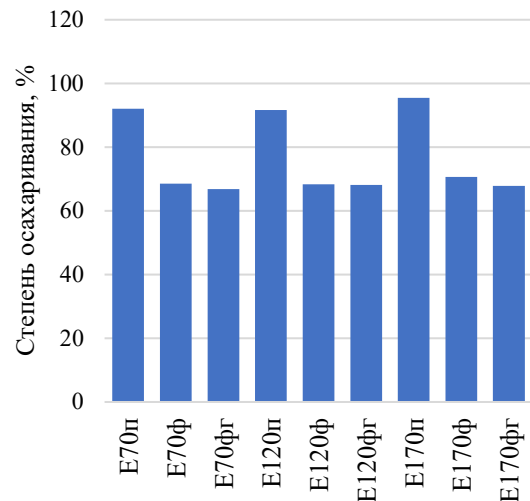


Рис. 5. Осахаривание препаратов крахмала

чительно больше фосфора, характеризовался меньшей теплотой перехода, в несколько раз более высоким водопоглощением, определяемым в холодных условиях, и меньшей восприимчивостью к активности амилазы, по сравнению с экструдированным и обжаренным крахмалом.

Модификация крахмала фосфором привела к значительному смягчению различий некоторых свойств, возникающих в результате различных температур процесса экструзии, по сравнению с крахмалом, не подвергнутым химической модификации. Все монофосфаты крахмала характеризовались одинаковой теплотой и удельной теплотой перехода, одинаковой растворимостью, определенной в горячих условиях, одинаковой растворимостью, определенной в холодных условиях, а также сходным водопоглощением, определенным в горячих условиях, вязкостью приготовленных паст и одинаковой восприимчивостью к активности амилогликозидазы.

Модификация крахмала, экструдированного с фосфатами и глицином, привела к его значительному потемнению (коричневому цвету) и снижению водопоглощения, определяемому в холодных условиях, по сравнению с крахмалом, обжаренным только с фосфатами. Модификация фосфатами и глицином не вызвала ожидаемого изменения чувствительности препаратов к активности амилогликозидазы. Монофосфаты, полученные из экструдированного картофельного крахмала, характеризовались 30% устойчивостью к активности амилогликозидазы и высокой (около 90%) водорастворимостью.

References

- [1] Govindasamy S., Campanella O. H., Oates C. G. Influence of extrusion variables on subsequent saccharification behavior of sago starch // Food chemistry. – 1995. – Т. 54. – No. 3. – pp. 289-296.

- [2] Ge X. et al. Mechanistic insights into the supramolecular structure and physicochemical properties of twin-screw extruded high amylose corn starch with different amylose content by improved electron beam irradiation // *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. – 2023. – С. 103414.
- [3] Hernández H. A. R. et al. Complexation of octenyl succinic anhydride-esterified corn starch/polyphenol-rich Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) extract: Structural and digestibility features // *Food Hydrocolloids*. – 2023. – Т. 145. – С. 109125.
- [4] Benavent-Gil Y., Rosell C. M. Morphological and physicochemical characterization of porous starches obtained from different botanical sources and amyolytic enzymes // *International Journal of Biological Macromolecules*. – 2017. – Т. 103. – С. 587-595.
- [5] Wang Z. et al. Synthesis and Functions of Resistant Starch // *Advances in nutrition* (Bethesda, Md.). – С. S2161-8313 (23) 01322-4.
- [6] Obadi M., Xu B. Review on the physicochemical properties, modifications, and applications of starches and its common modified forms used in noodle products // *Food Hydrocolloids*. – 2021. – Т. 112. – С. 106286.
- [7] Суворова А. И., Тюкова И. С., Труфанова Е. И. Биоразлагаемые полимерные материалы на основе крахмала // *Успехи химии*. – 2000. – Т. 69. – №. 5. – С. 494-504.
- [8] Донков С. А., Кадетова М. Ю. Ферментативный гидролиз крахмала и крахмалсодержащего растительного сырья при получении сахаросодержащих продуктов для животноводства (обзор патентов) // *Вестник Красноярского государственного аграрного университета*. – 2019. – №. 3 (144). – С. 116-121.
- [9] Шабурова Г. В., Курочкин А. А., Воронина П. К. Повышение технологического потенциала несоложенных зернопродуктов // *Техника и технология пищевых производств*. – 2014. – №. 1 (32). – С. 90-96.
- [10] Zhang B. et al. Extrusion induced low-order starch matrices: Enzymic hydrolysis and structure // *Carbohydrate Polymers*. – 2015. – Т. 134. – С. 485-496.
- [11] Liu W. C., Halley P. J., Gilbert R. G. Mechanism of degradation of starch, a highly branched polymer, during extrusion // *Macromolecules*. – 2010. – Т. 43. – №. 6. – С. 2855-2864.
- [2] Ge X. et al. Mechanistic insights into the supramolecular structure and physicochemical properties of twin-screw extruded high amylose corn starch with different amylose content by improved electron beam irradiation // *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. – 2023. – P. 103414.
- [3] Hernández H. A. R. et al. Complexation of octenyl succinic anhydride-esterified corn starch/polyphenol-rich Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) extract: Structural and digestibility features // *Food Hydrocolloids*. – 2023. – Т. 145. – P. 109125.
- [4] Benavent-Gil Y., Rosell C. M. Morphological and physicochemical characterization of porous stars obtained from different botanical sources and amyolytic enzymes // *International Journal of Biological Macromolecules*. – 2017. – Т. 103. – P. 587-595.
- [5] Wang Z. et al. Synthesis and Functions of Resistant Starch // *Advances in nutrition* (Bethesda, Md.). – S. S2161-8313 (23) 01322-4.
- [6] Obadi M., Xu B. Review on the physicochemical properties, modifications, and applications of stars and their common modified forms used in noodle products // *Food Hydrocolloids*. – 2021. – Т. 112. – P. 106286.
- [7] Suvorova A.I., Tyukova I.S., Trufanova E.I. Biodegradable polymer materials based on starch // *Advances in chemistry*. – 2000. – Т. 69. – No. 5. – pp. 494-504.
- [8] Donkov S. A., Kadetova M. Yu. Enzymatic hydrolysis of starch and starch-containing plant raw materials in the production of sugar-containing products for livestock (review of patents) // *Bulletin of the Krasnoyarsk State Agrarian University*. – 2019. – No. 3 (144). – pp. 116-121.
- [9] Shaburova G.V., Kurochkin A.A., Voronina P.K. Increasing the technological potential of unmalted grain products // *Technology and technology of food production*. – 2014. – No. 1 (32). – P. 90-96.
- [10] Zhang B. et al. Extrusion induced low-order starch matrices: Enzymic hydrolysis and structure // *Carbohydrate Polymers*. – 2015. – Т. 134. – P. 485-496.
- [11] Liu W. C., Halley P. J., Gilbert R. G. Mechanism of degradation of starch, a highly branched polymer, during extrusion // *Macromolecules*. – 2010. – Т. 43. – No. 6. – pp. 2855-2864.

Сведения об авторах

Information about the authors

<p>Таропин Валерий Николаевич магистрант кафедры «Пищевые производства» ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет» 440039, г. Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11</p>	<p>Taropin Valery Nikolaevich undergraduate of the department «Food productions» Penza State Technological University</p>
<p>Фролов Дмитрий Иванович кандидат технических наук доцент кафедры «Пищевые производства» ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет» 440039, г. Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11 Тел.: +7(937) 408-35-28 E-mail: surr@bk.ru</p>	<p>Frolov Dmitriy Ivanovich PhD in Technical Sciences associate professor at the department of «Food productions» Penza State Technological University Phone: +7(937) 408-35-28 E-mail: surr@bk.ru</p>