

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ МУЛЬТИЭНЗИМНОЙ КОМПОЗИЦИИ В ТЕХНОЛОГИИ БИОФЛАВОНОИДОВ ОБЛЕПИХОВОГО ШРОТА

**Е.В. Аверьянова, Е.Д. Рожнов, М.Н. Школьников, М.В. Обрезкова**

*Бийский технологический институт (филиал) Алтайский государственный технический  
университет им. И.И. Ползунова», Бийск, Россия*

Разнообразие плодово-ягодного сырья и производимых из него пищевых продуктов обуславливает необходимость совершенствования технологических процессов с целью увеличения ассортимента высококачественных продуктов питания и рационального использования образующихся при этом вторичных продуктов, в том числе методами биотехнологии. Среди продуктов вторичной переработки плодово-ягодного сырья в условиях Алтайского края особое внимание заслуживает обезжиренный шрот, который в значительном количестве образуется при переработке плодов облепихи. В нем содержится большое количество биологически активных веществ: пищевые волокна, витамины, полифенольные соединения и др. [1–3].

Однако несмотря на исследования, проводимые в области совершенствования безотходного использования плодов, шрот до сих пор не находит рационального применения. В большей степени это связано с тем, что наряду с БАВ в водно-этанольном экстракте присутствуют балластные вещества, в том числе углеводной природы, затрудняющие дальнейшую очистку экстракта и понижающие выход целевых продуктов.

В связи с этим целью работы являлось исследование разрушения полифенол-углеводного комплекса облепихового шрота ферментными препаратами и их мультиэнзимными композициями.

Объектами исследования служили: обезжиренный облепиховый шрот (получен с действующего производства облепихового масла экстракционным способом в 2019 г.), физико-химические показатели которого представлены в таблице 1; промышленные ферментные препараты целлюлолитического, пектолитического, пентозоназного, глюкоамилазного и гемицеллюлазного действия, а также их и мультиэнзимные композиции (МЭК), основные характеристики которых и дозировка приведены в таблице 2. Массовую концентрацию сахаров определяли методом Бертрана по ГОСТ 13192–73, а суммарное содержание полифенольных соединений модифицированным методом Фолина-Чокальтеу по ГОСТ Р 55488–2013.

| Таблица 1 – Физико-химические показатели обезжиренного облепихового шрота (n=3) |               |
|---------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| Наименование показателя                                                         | Значение, %   |
| Массовая доля влаги                                                             | 5,0±0,4       |
| Массовая доля золы                                                              | 2,5±0,2       |
| Металлические примеси и посторонние вещества                                    | не обнаружено |
| Массовая доля органических кислот, в пересчете на яблочную                      | 3,3±0,4       |
| Массовая доля общего сахара                                                     | 3,7±0,1       |
| Массовая доля сахарозы                                                          | 0,9±0,1       |
| Массовая доля экстрактивных веществ                                             | 19,0±0,5      |
| Массовая доля клетчатки                                                         | 15,0±0,4      |
| Массовая доля пектиновых веществ (протопектин)                                  | 1,36±0,04     |
| Массовая доля суммы полифенолов                                                 | 0,52±0,1      |

Микробиологическая безопасность используемых образцов облепихового шрота находится в пределах нормы по ТР ТС 021/2011.

Согласно данным ряда исследователей углеводный состав обезжиренного облепихового шрота разнообразен и постоянен независимо от места произрастания облепихи (лат. *Hippophae rhamnoides* L.). В шроте преимущественно содержатся гемицеллюлоза (до 40,3 %) и целлюлоза (до 24,8 %), а также пектиновые вещества (до 9,2 %) и другие полисахариды (до 5,9 %), олигосахариды (до 8,1 %) и редуцирующие сахара (до 4,7 %) от общего количества углеводов в шроте [4]. Моносахаридный состав углеводов

облепихового шрота приведен в таблице 3.

Из таблицы 3 видно, что в олигосахаридах присутствуют галактоза, глюкоза, арабиноза и следовые количества маннозы, ксилозы и рамнозы. Полисахариды преимущественно построены из остатков арабинозы, глюкозы и рамнозы, обнаружены галактоза, ксилоза и манноза. В пектиновых веществах и гемицеллюлозе набор моноз различается лишь их соотношением.

Таблица 2 – Характеристика и дозировка ферментных препаратов и их МЭК

| Ферментный препарат или МЭК                                      | Механизм действия                                                   | Оптимальные условия |       | Дозировка, мл/г×10 <sup>-3</sup> |
|------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|---------------------|-------|----------------------------------|
|                                                                  |                                                                     | pH                  | t, °C |                                  |
| ЦеллоЛюкс А (ООО ПО «Сиббиофарм», Россия)                        | гидролиз целлюлозы, глюкоамилозы, β-глюкана и ксилана               | 3,5–6,0             | 45–60 | 0,100                            |
| Ultraflo XL (Novozymes A/S, Дания)                               | гидролиз целлюлозы и гемицеллюлозы                                  | 4,0–6,0             | 30–60 | 0,300                            |
| Ultraflo MAX (Novozymes A/S, Дания)                              | гидролиз гемицеллюлозы, ксилана, целлюлозы, арабиноксиланов         | 4,0–6,0             | 50–60 | 0,100                            |
| BrewZyme BGX (Polfa Tarchomin Pharmaceutical Works S.A., Польша) | гидролиз β-глюканов, ксиланов и целлюлозы                           | 5,0–5,5             | 50–55 | 0,050                            |
| Pectinex BE 3-L (Novozymes A/S, Дания)                           | гидролиз пектина                                                    | 4,5–6,0             | 50–60 | 0,100                            |
| Ultraflo MAX и ЦеллоЛюкс А (1:1)                                 | гидролиз целлюлозы, гемицеллюлозы, ксилана, β-глюкана, глюкоамилозы | 4,0–6,0             | 45–60 | 0,200                            |
| Ultraflo XL и BrewZyme BGX (1:1)                                 | гидролиз целлюлозы и гемицеллюлозы, ксиланов и β-глюканов           | 5,0–5,5             | 50–55 | 0,075                            |
| Ultraflo XL и Pectinex BE 3-L (1:1)                              | гидролиз целлюлозы, гемицеллюлозы и пектина                         | 4,5–6,0             | 50–60 | 0,500                            |
| BrewZyme BGX и ЦеллоЛюкс А (1:1)                                 | гидролиз β-глюканов, ксиланов, целлюлозы, глюкоамилозы              | 5,0–5,5             | 50–55 | 0,172                            |
| ЦеллоЛюкс А и Pectinex BE 3-L (1:1)                              | гидролиз целлюлозы, глюкоамилозы, β-глюкана, ксилана и пектина      | 4,5–6,0             | 50–60 | 0,450                            |

Таблица 3 – Моносахаридный состав углеводов облепихового шрота по [4]

| Наименование углеводов | Галактоза | Глюкоза | Манноза | Ксилоза | Арабиноза | Рамноза |
|------------------------|-----------|---------|---------|---------|-----------|---------|
| Редуцирующие сахара    | 1,7       | 2,9     | –       | –       | –         | –       |
| Олигосахариды          | 2,2       | 2,3     | следы   | следы   | 2,0       | следы   |
| Полисахариды           | следы     | 1,0     | следы   | следы   | 4,2       | 1,0     |
| Пектиновые вещества    | 3,1       | 1,2     | 1,0     | 1,0     | 1,2       | 3,9     |
| Гемицеллюлоза          | 1,2       | 1,3     | 1,0     | 1,0     | 1,3       | 1,7     |

Для проведения ферментативного гидролиза облепихового шрота предварительно измельченную навеску смешивали с дистиллированной водой (гидромодуль 1:50) при температуре 30–35 °C и при перемешивании дозировали ферментный препарат или МЭК до достижения концентрации, указанной в таблице 2. Ферментализацию проводили в термостате в течение 1,5 ч при оптимальных для каждого фермента условиях. Образующийся ферментализат отфильтровывали от твердых частиц шрота под вакуумом водоструйного насоса и далее использовали для определения суммарного содержания полифенольных соединений и редуцирующих сахаров.

Используемые ферментные препараты состоят из комплекса ферментов целлюлазного, гемицеллюлазного, глюканазного, пентозоназного и пектиназного действия. Так, эндоглюканаза (целлюлаза, β-глюканаза) – фермент, входящий в состав целлюлолитического комплекса, катализирует гидролиз β-1,4 – гликозидных связей в молекуле целлюлозы с образованием β-D-глюкозы.

Эндоксиланаза (ксиланаза), подобным образом, катализирует расщепление β-1,4 – гликозидных связей в молекулах ксилана с образованием олигосахаридов различной молекулярной массы. Полигалактуроназа (пектиназа) гидролизует 1–4-α-D-галактуронозидные связи пектина до эфиров галактуроновой кислоты и арабинозы [5–6]. Результаты экспериментов представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Массовая концентрация редуцирующих сахаров и полифенолов в ферментолизатах облепихового шрота в зависимости от используемого ферментного препарата или МЭК (n=3)

| Ферментные препараты/МЭК      | Массовая концентрация сахаров, г/л | Массовая концентрация полифенолов, г/л |
|-------------------------------|------------------------------------|----------------------------------------|
| ЦеллоЛюкс А                   | 3,84±0,02                          | 0,221±0,001                            |
| Ultraflo XL                   | 5,60±0,02                          | 0,275±0,001                            |
| Ultraflo MAX                  | 8,00±0,02                          | 0,256±0,001                            |
| BrewZyme BGX                  | 3,20±0,02                          | 0,255±0,001                            |
| Pectinex BE 3-L               | 2,40±0,02                          | 0,279±0,001                            |
| ЦеллоЛюкс А и Pectinex BE 3-L | 3,80±0,02                          | 0,228±0,001                            |
| BrewZyme BGX и Ultraflo XL    | 7,80±0,02                          | 0,266±0,001                            |
| Ultraflo XL и Pectinex BE 3-L | 6,30±0,02                          | 0,290±0,001                            |
| BrewZyme BGX и ЦеллоЛюкс А    | 6,80±0,02                          | 0,248±0,001                            |
| Ultraflo MAX и ЦеллоЛюкс А    | 11,04±0,02                         | 0,246±0,001                            |

Из данных таблицы 4 видно, что наибольшая концентрация редуцирующих сахаров (11,04 г./л) наблюдается при использовании МЭК Ultraflo MAX и ЦеллоЛюкс А, а наименьшая (2,40 г./л) – при ферментоллизе ферментным препаратом Pectinex BE 3-L. Наибольшая концентрация полифенолов наблюдается при использовании МЭК Ultraflo XL и Pectinex BE 3-L (0,290 г./л), а наименьшая у ЦеллоЛюкс А (0,221 г./л). Следует отметить, что в результате ферментоллиза облепихового шрота, как и следовало ожидать, массовая концентрация полифенольных веществ изменяется незначительно и не зависит от используемого фермента, в то время как углеводный компонент сырья расщепляется наиболее интенсивно при воздействии МЭК, содержащей ферменты целлюлолитического, пентозоназного, глюкоамилазного и гемицеллюлазного действия.

После проведения ферментативного гидролиза обезжиренного облепихового шрота, образующиеся простые сахара легко удаляются при промывке концентрированного ферментолизата водой с последующим отделением полифенольных веществ фильтрованием. При этом сохраняется нативная структура полифенолов за счет снижения вероятности гидролиза флавоноидных гликозидов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Никулина, Е.О. Облепиховый шрот как функциональный ингредиент для создания продуктов функционального назначения / Е.О. Никулина, Г.В. Иванова, О.Я. Кольман // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2015. – № 10. – С. 98–105.
2. Чиркина, Т.Ф. Химический состав облепихового шрота / Т.Ф. Чиркина, А.М. Золотарева, Н.Д. Гончикова [и др.] // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 1994. – № 1 – С. 23–24.
3. Аверьянова, Е.В. Биологическая ценность облепихи как основа ее комплексной безотходной переработки / Е.В. Аверьянова // Современная наука и инновации. – 2018. – № 3 (23). – С. 129–139.
4. Турдумамбетов, К. Углеводный состав шрота из облепихи крушиновидной и получение облепихового масла из шрота и семян / К. Турдумамбетов, К.Т. Шалпыков, Э.Э. Эрнзарова [и др.] // Известия НАН КР. – 2017. – № 1. – С. 26–28.
5. Белова, О.В. Ксиланаза и целлюлаза гриба *Cerrena Unicolor* ВКМ F-3196: Получение, свойства, применение для осахаривания растительного сырья. / О.В. Белова, А.В. Лисов, Н.Г. Винокурова [и др.] // Прикладная биохимия и микробиология. – 2014. – № 2. – С. 171–176.
6. Никитина, Е.В. Бактериальные источники амилалитических ферментов: характеристика и нетрадиционное применение / Е.В. Никитина // Вестник Казанского технологического университета. – 2015. – № 10. – С. 245–247.