

## ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПОЛУЧЕНИЯ ИНУЛИНА ИЗ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

*Болотников Дмитрий Александрович, студент 3 курса технологического института, ФГБОУ ВО РГАУ–МСХА имени К. А. Тимирязева, e-mail: dimanb2608@mail.ru*

*Хахарев Алексей Евгеньевич, студент 3 курса технологического института, ФГБОУ ВО РГАУ–МСХА имени К. А. Тимирязева, e-mail: ustas.ha2015@yandex.ru*

*Научный руководитель – Карпова Наталья Александровна, ассистент кафедры процессов и аппаратов перерабатывающих производств ФГБОУ ВО РГАУ–МСХА имени К. А. Тимирязева, e-mail: n.karпова@rgau-msha.ru.*

*Аннотация.* В данной статье проведен обзор основных современных технологий получения инулина из растительного сырья. В настоящее время используются следующие методы экстракции: традиционный, с помощью ферментов, ультразвуковой, с помощью микроволн, с помощью импульсного электрического поля.

*Ключевые слова:* инулин, методы экстракции, инулинсодержащий сироп, экстракция с помощью ферментов, ультразвуковая экстракция, микроволны, импульсное электрическое поле.

Традиционно промышленное производство инулина состоит в основном из двух стадий: экстракции и очистки. На первом этапе корни цикория нарезают на однородные ломтики, а затем подвергают диффузии при температуре 70...80 °С в течение 1...2 ч, чтобы обеспечить удовлетворительную экстракцию корня цикория. В результате этой экстракции образуется неочищенный инулинсодержащий сироп, который очищается на втором этапе процесса методами первичной дефекации и сатурации. Примеси, такие как пептиды, некоторые анионы, расщепленные белки и коллоиды, осаждаются CaCO<sub>3</sub>, а затем удаляются фильтрованием. Затем предварительно очищенный сок проходит дальнейшую очистку с использованием катионных и анионных ионообменных смол для деминерализации и активированного угля для обесцвечивания. Полученный сок затем стерилизуют фильтрацией (через фильтры 0,2 мкм), выпаривают и, наконец, сушат распылением. Распылительная сушка до сих пор была самой удобной технологией для превращения очищенного инулина в пригодный для хранения, микробиологически безопасный и коммерческий конечный продукт [1].

Высокое потребление энергии (использование температуры) и сложные этапы очистки являются слабыми местами обычного процесса экстракции инулина в промышленных масштабах. Замена традиционно ис-

пользуемых методов экстракции инулина нетрадиционными с меньшими затратами энергии, более коротким временем обработки, повышенным выходом и чистотой имеет первостепенное значение [1].

Наиболее важные нетрадиционные методы, применяемые для экстракции инулина, обсуждаются ниже.

*Экстракция с помощью ферментов* широко используется для дезинтеграции клеточной стенки, что приводит к улучшению высвобождения молекул-мишеней из внутриклеточных во внеклеточные компартменты. Ферменты широко применяются в производстве соков для увеличения выхода экстракта [1].

Процесс извлечения инулина из топинамбура с помощью биоферментов был запатентован Fan, Liu и Wang (2010). Авторы эффективно экстрагировали инулин добавлением целлюлазы и пектиназы, которые преимущественно гидролизуют как  $\alpha$ -1,4, так и  $\beta$ -1,4 гликозидные связи клеточных стенок растений и приводят к увеличению их проницаемости. На основе этого метода было замечено значительное сокращение времени экстракции горячей водой с 30 до 5...10 минут с увеличением выхода с 50 до 70 % [1, 2].

*Применение метода ультразвуковой экстракции* основано на том, что энергия ультразвука способствует высвобождению органических и неорганических соединений из матрикса растений, что интенсифицирует массоперенос и ускоряет доступ растворителя к внутриклеточному содержанию. Механизм экстракции с помощью ультразвука включает в основном два физических явления: 1) диффузию через клеточные стенки и 2) вымывание клеточного содержимого после разрушения стенок [1]. Например, несколько исследовательских групп применяли данный метод для экстракции инулина. Lingyun et al. (2007) изучали оптимальные условия экстракции инулина из клубней топинамбура, широко культивируемых в северной части Китая. Авторы сообщили, что оптимальные условия экстракции инулина с выходом 83,6 % были найдены при нейтральном pH, времени экстракции 20 минут, температуре 77 °C [1, 3].

*Экстракция с помощью микроволн.* Принцип нагревания микроволнами основан на их прямом воздействии на полярные материалы. Электромагнитная энергия преобразуется в тепло в результате ионной проводимости и вращения диполей. Благодаря своим особенностям, таким как более быстрый нагрев, уменьшенные температурные градиенты, уменьшенный размер оборудования и повышенный выход экстракции, данный метод широко применяется для экстракции природных соединений по сравнению с традиционными методами [1]. Например, Ну и др. (2007) сравнили эффективность извлечения инулина из свежего порошка топинамбура (*Helianthus tuberosus*) с помощью традиционных процессов и процессов микроволновой экстракции. При той же температуре экстракции (95 °C), времени экстракции (60 мин) и соотношении твердой и жидкой

фаз (1:20) обработка микроволнами мощностью 400 Вт в течение 120 с привела к лучшему выходу инулина (82,97 %). по сравнению с обычной экстракцией (65,50 %) [1, 4].

*Экстракция с помощью импульсного электрического поля* является инновационным и перспективным методом нетермической обработки пищевых продуктов. Воздействуют импульсным электрическим напряжением на материал, помещенный между высоковольтным электродом и заземленным. Когда клетки подвергаются воздействию определенного электрического поля, их мембраны обычно становятся проницаемыми. Это явление называется электропорацией, образуя временные (обратимые) или постоянные (необратимые) поры через мембраны, что способствует высвобождению внутриклеточного содержимого [1].

В исследовании, проведенном Zhu, Bals, Grimi и Vorobiev, была проведена пилотная противоточная экстракция инулина из ломтиков цикория с использованием данного метода. Интенсивность приложенного электрического поля составляла 600 В/см при продолжительности воздействия 50 мс. Авторы сообщают о снижении температуры диффузии на 10...15 °С при сопоставимой концентрации инулина в экстракте ( $\approx 11,5$  г/100 мл сока) [1,5].

### **Библиографический список**

1. **Zhu, Z., He, J., Liu, G., Barba, F. J., Koubaa, M., Ding, L., ... Vorobiev, E.** (2016). Recent insights for the green recovery of inulin from plant food materials using non-conventional extraction technologies: A review. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 33, 1–9. doi:10.1016/j.ifset.2015.12.023.

2. **Fan, S., Liu, J., & Wang, Z.** (2010). Method for producing inulin and other fructancontaining products from Jerusalem artichoke. Patent EP2698387A1.

3. **Lingyun, W., Jianhua, W., Xiaodong, Z., Da, T., Yalin, Y., Chenggang, C., ... Fan, Z.** (2007). Studies on the extracting technical conditions of inulin from Jerusalem artichoke tubers. *Journal of Food Engineering*, 79(3), 1087–1093.

4. **Hu, Q., Qui, S., Wang, H., Zhou, J., & Tang, Y.** (2007). Study on strategy of pH control on the inulin extraction from Jerusalem artichoke. *Science and Technology of Food Industry*, 28, 150–155.

5. **Zhu, Z., Bals, O., Grimi, N., & Vorobiev, E.** (2012). Pilot scale inulin extraction from chicory roots assisted by pulsed electric fields. *International Journal of Food Science and Technology*, 47(7), 1361–1368.