

**Суханов Юрий Владимирович**

канд. техн. наук, старший преподаватель

**Васильев Алексей Сергеевич**

канд. техн. наук, доцент

**Щукин Павел Олегович**

канд. техн. наук, начальник отдела инновационных проектов

ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет»

г. Петрозаводск, Республика Карелия

## ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МИКРОВОЛНОВОЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ЭКСТРАКЦИИ НУТРИЦЕВТИКОВ

**Аннотация:** в рамках выполнения исследований Петрозаводского университета совместно с Торговым домом «Ярмарка» в пищевой отрасли дан краткий анализ возможностей использования микроволновой энергии для экстракции нутрицевтиков из растений.

**Ключевые слова:** микроволновая энергия, пищевая отрасль, экстракция.

При выполнении ПетрГУ совместно с Торговым домом «Ярмарка» поддержанного Минобрнауки проекта (идентификатор проекта – RFMEFI57717X0264) [1–4] и др. дан краткий анализ возможностей использования микроволновой энергии для экстракции нутрицевтиков из растений [6; 18–19].

Микроволновая экстракция (МЭ) увеличивает эффект по сравнению с обычной [5; 7; 12]. При прохождении микроволн через сырье их энергия превращается в тепловую [24]. В промышленности используют микроволны частотой 915 МГц, в домашних микроволновых печах и для лабораторных целей – 2,45 МГц. Известно, что микроволновые печи для экстракции нутриентов могут быть монорежимными и мультирежимными. Монорежимные резонаторы генерируют частоту, используемую в фокусированных микроволновых экстракционных системах. В мультирежимных системах можно совмещать электрические и магнитные поля. В коммерческих целях используют 2 типа МЭ: замкнутая система (закрытая), известная как микроволно-ассоциированная экстракция (МИЭ) и открытая

система, известная как фокусно-микроволно-ассоциированная экстракция с растворителем.

Преобразование микроволновой энергии в тепловую осуществляют двумя путями: дипольная ротация (вращение) и ионная проводимость. Когда частота излучения соответствует вращательным движениям молекул, имеет место энергетический перенос, приводящий к однородному нагреванию растворителя [15]. Ионная проводимость и возрастающая температура, обеспеченные возрастанием микроволновой энергии, увеличивают проникновение растворителя в сырье и способствуют синергической комбинации нагревания и массообмена [17]. Эта синергия приводит к объемному распределению тепла. Во время МИЭ давление значительно усиливается внутри сырья, модифицируя структуру клеток, улучшая проникновению растворителя и увеличивая выход продукта [14].

МЭ зависит от множества факторов: выбор растворителя, мощность излучения, температура экстракции, характеристики образца. Эти операционные параметры очень схожи с таковыми в экстракции по методу Сокслета. Самый важный фактор, влияющий на МИЭ – выбор растворителя, эффективность экстракции зависит от взаимодействия растительного сырья и диэлектрических свойств растворителя. Диэлектрические свойства растворителя играют важную роль в определении его способности избирательно экстрагировать нутриенты: более высокая диэлектрическая постоянная и коэффициент диэлектрической потери растворителя, более высокая способность растворителя абсорбировать микроволновую энергию и превращать ее в тепло. Это свойство растворителя может быть модифицировано объединением с другими растворителями, что приведет к вариативности избирательности растворителя для разных нутриентов [18].

Исследователи, изучая [10] влияние диэлектрических свойств растворителя и растительного сырья на примере экстракции масел из имбиря, сделали вывод, что обогащение матрикса этанолом и водой и диэлектрические свойства растворителя играют решающую роль в увеличении эффективности экстрагирования в сравнении с экстракцией по методу Сокслета. В исследовании [22] изучена эффективность и селективность 30 различных экстрагентов для МИЭ пигментов из

порошка перца и доказано, что эффективность МИЭ существенно зависит от диэлектрической постоянной смеси растворителей. Изучение [17] МИЭ дигликозида секоизолапидина (SDG) показали увеличение экстракции на 6% при использовании 0.5М гидроксида натрия (NaOH) в качестве экстрагента. Есть и другие исследования на эту тему [25].

Другим важным фактором, влияющим на эффективность экстракции МИЭ было соотношение растворителя и образца. В технологиях по методу Сокслета для увеличения экстракции используют большие объемы растворителей. В случае МИЭ объем растворителя – важный фактор и несколько исследований показывают, что оптимально соотношение от 10:1 до 20:1 [17; 22]. Использование большего объема растворителей увеличивает энергию и время для выделения нутрицевтиков из раствора во время стадии очистки.

Температура экстрагирования влияет на выход экстракта в МИЭ. Диэлектрические свойства растворителя определяют температуру процесса. Для экстракции термолабильных компонентов выбор растворителя очень важен, комбинации разных растворителей для уменьшения диэлектрических свойств способствует тому, что температура растворителей остается низкой. В этом случае микроволновая энергия больше влияет на матрикс растений, приводя к увеличению выхода биоактивных компонентов в относительно холодных растворителях [19].

Выбор растворителя также влияет на растворимость и селективность выделяемых веществ в экстракционном растворе. И полярные, и неполярные растворители могут использоваться для МИЭ. Биоактивные компоненты (фенолы, флавоноиды) сильно отличаются по своей полярности. Экстракция агликонов флавоноидов (флавоны, флаваноны и изофлавоны) требует менее полярных растворителей [18], тогда как более полярные необходимы для экстракции гликозидов флавоноидов [13]. Взаимосвязанные мощность микроволн и температура контролируют разделение анализируемых веществ между образцом и раствором и влияют на температуру экстракции [16]. Повышение микроволновой мощности повышает скорость экстракции и увеличение выхода продукта [11].

Однако, увеличение мощности микроволн может и понижать выход продукта [16]. При экстракции фенольных компонентов из кожуры картофеля [19] увеличение микроволновой мощности уменьшило выход продукта аскорбиновой кислоты вследствие воздействия высокой температуры во время экстракции, а концентрация растворителя (смесь воды и метанола) влияет на выход продукта, поскольку способность растворителя абсорбировать микроволновую энергию меняется в зависимости от количества добавленной в метанол воды [19].

Увеличение микроволновой мощности увеличивает выход продукта и уменьшает время экстракции, но эффективность растет только при достижении оптимальной температуры и затем начинает уменьшаться, поскольку выбор оптимальных микроволновой мощности и температуры влияет на стабильность и избирательность выбранных нутрициентов компонентов [18]. Чрезмерное воздействие микроволновой радиации приводит к уменьшению выхода продукта, т. к. разрушает его структуру [12]. Исследования [20] влияния различных уровней микроволновой мощности на экстракцию фенолов из листьев «*Ipomoea batatas*» показали, что при времени экстракции 90 с, пропорции этанола 70%, соотношение твердого тела – растворителя 30 мл/г выход фенолов увеличивается с увеличением микроволн до 350 Ватт, а с дальнейшим увеличением мощности уменьшается.

Свежий растительный материал не подходит для использования МИЭ, т.к. выход продукта ниже, чем из сухого растительного материала. В более измельченном сырье увеличивается площадь взаимодействия между сырьем и растворителем, приводя к большему выходу продукта [8; 21]. Благодаря преимуществам МИЭ перед традиционной экстракцией растворителем из твердого вещества (более короткое время экстракции, меньшее количество растворителя, увеличение выхода продукта, избирательности), МИЭ является потенциальной альтернативой для экстракции нутрициентов. Однако, использование органических растворителей требует дополнительной очистки, поскольку МИЭ неполярными растворителями имеет низкую эффективность [17; 19; 23]. Органические растворители, такие как метанол, этанол, этил ацетат, гексан, ацетон, широко

используемые для МИЭ, могут ограниченно использоваться из-за строгой регуляции качества и безопасности продуктов. Некоторые химические вещества могут быть токсичны, поэтому без дополнительной очистки экстракта его нельзя использовать в пищу.

### ***Список литературы***

1. Васильев А.С. Направления развития технологий и оборудования для экстракции пищевых ингредиентов при обогащении продуктов питания и создании функциональных продуктов [Текст] / А.С. Васильев, И.Р. Шегельман, В.В. Вапиров // Инновационные технологии в образовании и науке: Сборник материалов III Международной научно-практической конференции / Редколлегия: О.Н. Широков [и др.]. – 2017. – С. 173–174.

2. Шегельман И.Р. Направления исследований проблем продовольственной безопасности за рубежом [Текст] / И.Р. Шегельман, В.В. Вапиров, А.С. Васильев // Наука, образование, общество: тенденции и перспективы развития: Сборник материалов VIII Международной научно-практической конференции / Редколлегия: О.Н. Широков [и др.]. Чебоксары. – 2017. – С. 152–155.

3. Шегельман И.Р. Тенденции развития технологий и оборудования для гидротермической обработки и обезвоживания пищевого сырья при подготовке к производству продуктов питания [Текст] / И.Р. Шегельман, В.В. Вапиров, А.С. Васильев // Наука, образование, общество: тенденции и перспективы развития: Сборник материалов VIII Международной научно-практической конференции. Редколлегия: О.Н. Широков [и др.]. – Чебоксары, 2017. – С. 156–157.

4. Шегельман И.Р. Некоторые направления разработки изобретений для производства пищевых продуктов быстрого приготовления [Текст] / И.Р. Шегельман, В.В. Вапиров, А.С. Васильев // Научные исследования: теория, методика и практика: Сборник материалов III Международной научно-практической конференции. В 2-х т. / Редколлегия: О.Н. Широков [и др.]. – 2017. – С. 249–251.

5. Influence of solvent, matrix dielectric properties, and applied power on the liquid-phase microwave-assisted processes (MAPTM) extraction of ginger [Текст] /

M.J. Alfaro, M. R. Bélanger, F.C. Padilla, J. R. Jocelyn Paré // Food Research International. – 2003. – №36. – P. 499–504.

6. Microwave-assisted extraction of phenolic antioxidant compounds from peanut skins [Текст] / T. Ballard, P. Mallikarjunan, K. Zhou, S. O’Keefe // Food Chemistry. – 2011. – №120. – P. 1185–1192.

7. Microwave-assisted extraction in the analysis of 21 organochlorine pesticides in plants [Текст] / M. Barriada-Pereira, E. Concha-Graña, M. González-Castro, S. Muniategui-Lorenzo, P. Lopez-Mahia, D. Prada-Rodriguez, E. Fernández-Fernández // Journal of Chromatography A. – 2003. – №1008. – P. 115–122.

8. Brachet A. Focused microwave-assisted extraction of cocaine and benzoylecgonine from coca leaves [Текст] / A. Brachet, P. Christen, J. Veuthey // Phytochemical Analysis. – 2002. – №13. – P. 162 – 169.

9. Optimisation of the microwave-assisted extraction of pigments from paprika powders [Текст] / K. Csiktusnádi, E. Forgács, T. Cserháti, T. Mota, H. Morais, and A. Ramos // Journal of Chromatography A. – 2000. – №889. – P. 41–49.

10. Influence of operating parameters on the use of the Microwave-Assisted Process (MAP) for the extraction of azadirachtin-related limonoids from neem (*Azadirachta indica*) under atmospheric pressure conditions [Текст] / J. Dai, V. Yaylayan, G. Raghavan, J. Paré, Z. Liu, J. Bélanger // Journal of Agricultural and Food Chemistry. – 2001. – №49. – P. 4584–4588.

11. Hu Z. Desirability function approach for the optimization of microwave-assisted extraction of saikosaponins from *Radix Bupleuri* [Текст] / Z. Hu, Z., M. Cai, H. Liang // Separation and Purification Technology. – 2008. – №61. – P. 266–275.

12. Kaufmann B. Recent extraction techniques for natural products: Microwave-assisted extraction and pressurised solvent extraction [Текст] / B/ Kaufmann, P. Christen. // Phytochemical Analysis. – 2002. – №13. – P. 105–113.

13. Kothari V. Antioxidant activity of seed extracts of *Annona squamosa* and *Carica papaya* [Текст] / V. Kothari, S. Seshadri // Nutrition and Food Science. – 2010. – №40. – P. 403–408.

14. Kratchanova M. The effect of microwave heating of fresh orange peels on the fruit tissue and quality of extracted pectin [Текст] / M. Kratchanova, E. Pavlova, I. Panchev // Carbohydrate Polymers. 2004. – №56. – P. 181–185.
15. Kubrakova I.V. Microwave heating for enhancing efficiency of analytical operations (review) [Текст] / I. Kubrakova, E. Toropchenova // Inorganic Materials. – 2008. – №44. – P. 1509–1519.
16. Determination of antitumor constitute mollugin from traditional Chinese medicine *Rubia cordifolia*: Comparative study of classical and microwave extraction techniques [Текст] / W. Ma, Y. Lu, X. Dai, R. Liu, R. Hu, Y. Pan // Separation Science and Technology. – 2009. – №. 44. P. 995–1006.
17. Nemes S.M. Microwave-assisted extraction of secoisolariciresinol diglucoside-method development [Текст] / S. Nemes, V. Orsat // Food and Bioprocess Technology. – 2011. – №. 1219 – P. 1227.
18. Routray W. Microwave-assisted extraction of flavonoids: A review [Текст] / W. Routray, V. Orsat // Food and Bioprocess Technology. – 2002. – №. 5. – P. 409–424.
19. Microwave-assisted extraction of phenolic antioxidants from potato peels [Текст] / A. Singh, K. Sabally, S. Kubow, D. J. Donnelly, Y. Gariepy, V. Orsat, G. Raghavan // Molecules. – 2011. – №. 16. – P. 2218–2232.
20. Song J. Optimized microwave-assisted extraction of total phenolics (TP) from *Ipomoea batatas* leaves and its antioxidant activity. Innovative [Текст] / J. Song, D. Li, C. Liu, Y. Zhang // Food Science and Emerging Technologies. – 2011. – №. 12. – P. 282–287.
21. Sparr E. Analytical-scale microwave-assisted extraction [Текст] / E. Sparr, E. Björklund // Journal of Chromatography A. – 2000. – №902. – P. 227–250.
22. Optimization of the extraction of paclitaxel from *Taxus baccata* L. by the use of microwave energy [Текст] / M. Talebi, A. Ghassempour, Z. Talebpour, A. Rassouli, L. Dolatyari // Journal of Separation Science. – 2006. – №27. – P. 1130–1136.

23. Wang L. Recent advances in extraction of nutraceuticals from plants [Текст] / L. Wang, C. Weller // Trends in Food Science and Technology. – 2006. – №17. – P. 300–312.

24. Zhang H. Microwave assisted extraction of secondary metabolites from plants: Current status and future directions [Текст] / H. Zhang, X. Yang, Y. Wang // Trends in Food Science and Technology. – 2011. – №22. – P. 672–688.

25. Zhou H.-Y. Microwave-assisted extraction of solanesol from tobacco leaves [Текст] / H.-Y. Zhou, C.-Z. Liu // Journal of Chromatography A. – 2006. – №1129. – P. 135–139.