

ВЛИЯНИЕ СПОСОБА СУШКИ НА АНТИОКСИДАНТНУЮ АКТИВНОСТЬ ВЕШЕНКИ В УСЛОВИЯХ *IN VITRO*, ИМИТИРУЮЩИХ ПРОЦЕСС ПИЩЕВАРЕНИЯ

Писков С.И., Тимченко Л.Д., Ржепаковский И.В., Аванесян С.С., Лионова С.С.

Северо-Кавказский федеральный университет, г. Ставрополь,
piskovsi77@mail.ru

*Основная цель проведенного исследования состояла в том, чтобы определить антиоксидантный потенциал в условиях *in vitro*, имитирующих процесс желудочно-кишечного пищеварения плодовых тел вешенки, высушенных различными способами, а именно лиофильной сушкой, горячим воздухом, в микроволновой печи и сушкой на солнце. Ключевым вопросом исследования являлся, насколько значительна разница между антиоксидантными эффектами вешенки, высушенной различными способами с учетом активности радикальной абсорбции, способности к восстановлению железа и активности ингибирования перекисного окисления липидов.*

Введение. В последнее время неуклонно растет интерес к природным антиоксидантам и их использованию для создания продуктов питания нового поколения. Особое внимание в этом плане отводится грибам. Благодаря многообразию содержащихся в них биологически активных веществ они представляют исключительный интерес как ценная сырьевая база для получения продуктов функционального назначения, в частности с антиоксидантным эффектом. Перспективной в этом плане выделяется вешенка, плодовые тела которой содержат целый ряд биоактивных веществ, обеспечивающих ее высокую антиоксидантную активность [6, 16]. Однако различные технологии переработки природного сырья не всегда позволяют максимально сохранить весь комплекс биологически активных веществ и набор интересующих свойств. Большинство технологических процессов, в том числе и сушка, могут влиять как на начальные свойства и состав, так и на клеточную структуру сырья и, следовательно, на высвобождение и биодоступность веществ из пищевой матрицы [3, 12].

Проводимые в этой области исследования нельзя назвать полными, поскольку ряд вопросов по-прежнему остаются невыясненными. В частности, нет достаточных сведений о том, какое влияние на антиоксидантный потенциал вешенки могут оказывать различные способы сушки. Кроме того чистая эффективность антиоксидантов, связанных с пищевыми продуктами, зависит от их фактического уровня и активности в пищеварительном тракте [9]. Поэтому полноценную оценку антиоксидантных свойств пищевых продуктов или их ингредиентов целесообразно проводить в условиях процесса пищеварения. При этом научных сведений об антиоксидантной активности высушенных плодовых

тел вешенки подвергнутых процессу пищеварения практически нет. Целенаправленных исследований влияния способов сушки на антиоксидантную активность вешенки в условиях желудочно-кишечного тракта, не проводилось, что делает вопрос его изучения весьма актуальным.

Материалы и методы

Для исследования использовались свежие плодовые тела вешенки (*Pleurotus ostreatus*). Для эксперимента отбирались грибы с одинаковыми характеристиками зрелости. Перед высушиванием вешенку промывали проточной водой и разрезали на кусочки длиной сторон около 15 мм. Сушку вешенки осуществляли 4-мя различными способами.

При осуществлении *лиофильной сушки (ЛС)* кусочки свежих грибов предварительно замораживали при температуре -40°C в течение 72 часов в морозильной камере (TEFCOLD SE-45, Дания). Последующее высушивание под вакуумом осуществляли в лиофильной сушилке ЛС-500 (Проинтех, Россия). Среднее рабочее давление в сушильной камере достигало 80,5 Па, температура конденсатора составляла $-49,0^{\circ}\text{C}$, нагрев образцов грибов на протяжении всего процесса сушки не превышал 30°C . Общая длительность цикла лиофилизации составляла 26 часов.

Сушка горячим воздухом (ГВ) проводилась при атмосферном давлении и температуре 55°C в суховоздушном термостате с принудительной циркуляцией воздуха (ТС-1/80 СПУ, ОАО «Смоленское СКТБ СПУ», Россия). Длительность сушки составляла 16 часов.

Микроволновую сушку (МС) вешенки осуществляли с помощью бытовой микроволновой печи (модель WD 900 EL 23-2П, Erisson, Россия) при уровне мощности микроволн 200 Вт трехкратно по 20 минут с интервалом 5 минут.

Сушка на солнце (СС) проводилась под воздействием прямых солнечных лучей при температуре окружающей среды $25\pm 5^{\circ}\text{C}$ и относительной влажности $40\pm 5\%$ в течение 3 дней по 9 часов в день.

Оценку антиоксидантной активности проводили в экстрактах вешенки, полученных путем реакций *in vitro*, имитирующих процесс *желудочно-кишечного пищеварения*, который воспроизводили по методике McDougall с соавт. [11] с некоторыми модификациями.

Активность радикальной абсорбции определяли с использованием набора реагентов (ФИТХЕМ, Беларусь) по принципу, заключающемуся в одноэтапной оценке степени восстановления антиоксидантами предварительно сформированного радикала АБТС [1]. В качестве стандарта использовался раствор тролокса.

Оценку *способности к восстановлению железа* проводили методом FRAP [13]. В качестве контроля выступал раствор аскорбиновой кислоты (1 мг/мл).

Активность ингибирования перекисного окисления липидов экстрактов измеряли в эмульсионной системе в соответствии со способом, описанным

Qian Z.J. [15] с некоторыми модификациями. Тролокс и аскорбиновая кислота использовались в качестве антиоксидантного стандарта.

Общее содержание фенолов в экстрактах измеряли в соответствии с методом Svain T. и Hillis W.E. [17]. Результаты выражались в виде мкг эквивалентов галловой кислоты на мл.

Полученные результаты фиксировали в виде среднего значения и подвергали статистической обработке с использованием метода однофакторного дисперсионного анализа. О достоверности различий величин исследуемых показателей судили при $P < 0,05$.

Результаты

Результаты антиоксидантной активности вешенки, высушенной различными способами показаны в таблице.

Таблица – Показатели антиоксидантной активности вешенки, в условиях пищеварительного тракта *in vitro*

Способы сушки вешенки	Антиоксидантные свойства		
	Активность радикальной абсорбции АБТС, мМТролокс/мл	Способность к восстановлению железа, мкг/мл	Активность ингибирования липидной окисляемости, мкг/мл
Лиофильная сушка (ЛС)	1,20±0,03	163,6±4,1	0,67±0,02
Горячий воздух (ГВ)	1,24±0,03	207,6±5,2	0,74±0,03
Микроволновая сушка (МС)	1,43±0,04	251,5±6,4	0,72±0,02
Сушка на солнце (СС)	1,27±0,02	169,1±4,3	0,81±0,03

Согласно представленным данным средние значения активности радикальной абсорбции, полученные методом АБТС для экстрактов вешенки, высушенной ЛС, ГВ и СС статистически не отличались. Максимальным радикал-связывающим эффектом проявился экстракт вешенки, высушенной МС, и превысил по данному показателю остальные образцы почти на 14% ($P < 0,05$). Выявленные отличия вопреки данным Duan J.L. и Xu J.G [4], свидетельствующим о меньшей сохранности антиоксидантных свойств грибов, высушенных МС, могут быть объяснены разрушением микроволнами клеточных стенок обеспечивающим доступность веществ для гидролиза соляной кислотой и ферментами во время пищеварения.

Сравнивая значения активности радикальной абсорбции можно отметить, что названное свойство экстрактов сухих образцов вешенки коррелирует с содержанием в них фенольных соединений, которые считаются основным компонентом антиоксидантного комплекса грибов.

Наибольшая концентрация фенолов отмечалась в экстрактах вешенки высушенной МС (288,4±7,43 мкг/мл) и достоверно ($P < 0,05$) превышала таковую в экстрактах вешенки, обезвоженной ЛС (250,3±6,30 мкг/мл), ГВ (252,8±6,43 мкг/мл) и СС (260,7±6,51 мкг/мл) (рисунок).

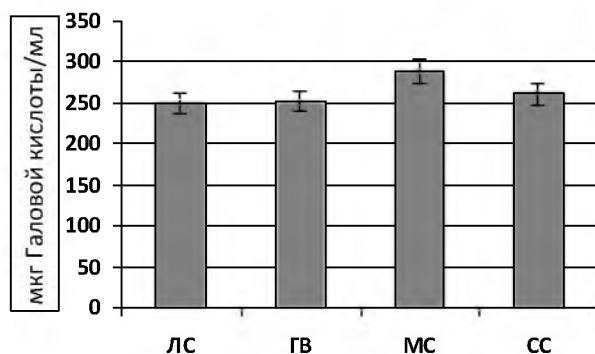


Рисунок – Общее количество фенолов в экстрактах вешенки.

Сопоставление уровня железо-восстанавливающей способности, свидетельствует о том, что ЛС и СС обеспечивают применительно к исследуемому объекту получение близких результатов ($163,6 \pm 4,1$ мкг/мл; $169,1 \pm 4,3$ мкг/мл, соответственно). Из четырех образцов наиболее эффективным в отношении способности к восстановлению железа оказались экстракты вешенки, высушенной МС и ГВ. Значения активности всех экстрактов по данному виду антиоксидантного действия в порядке убывания распределились следующим образом: МС→ГВ→СС→ЛС. Полученные результаты подтверждают данные Ji H. с соавт. [8] и могут быть обусловлены ферментативной деградацией антиоксидантных соединений при использовании длительных, низкотемпературных способов высушивания [3, 5]. Кроме того, более высокие показатели железо-восстанавливающей способности экстрактов вешенки, высушенной способами МС и ГВ, для которых характерно нагревание, могут быть связаны с образованием в процессе сушки новых соединений, например, продуктов реакции Майяра, обладающих высокой антиоксидантной активностью [2].

Несколько иные результаты были получены при оценке торможения реакций окисления липидов. Лидером по степени ингибирования липидной окисляемости в условиях желудочно-кишечного пищеварения *in vitro* оказались образцы экстрактов вешенки, высушенной СС. Важную роль в ингибировании окисляемости липидов играет общее количество фенольных веществ, однако в этом исследовании не было корреляции между содержанием фенолов в экстрактах и активностью торможения окисления липидов. Это может говорить о возможной роли вторичных метаболитов, обеспечивающих этот процесс, например флавоноидов, количество которых по данным Min-Jung Kim [10] возрастает в процессе сушки грибов на солнце за счет, активации УФО специфического фермента катализирующего первую стадию биосинтеза флавоноидов.

Таким образом, использование различных методов оценки антиоксидантной активности, основанных на разных химических реакциях, позволило получить представление об особенностях антиоксидантной активности вешенки, высушенной различными способами и определить

наиболее эффективные способы сушки для получения сухой вешенки с наибольшим антиоксидантным потенциалом в условиях желудочно-кишечного тракта. Выявлено, что наибольшей активностью радикальной абсорбции сухая вешенка как пищевой продукт или ингредиент обладает после применения микроволновой сушки. Железо-восстанавливающую способность вешенка максимально сохраняет при использовании микроволновой сушки и сушки горячим воздухом. Свойства антиоксидантного продукта с акцентом на высокую активность ингибирования липидной окисляемости вешенка максимально проявляет после применения сушки на солнце.

Список литературы:

1. Орешко, Н.А. Разработка тест-систем и определение антирадикальной активности биологических жидкостей и фармацевтических субстанций природного и синтетического происхождения / Н.А. Орешко, П.А. Киселев, Т.М. Юрага, Н.Н. Кохнович, В.С. Камышников // Свободные радикалы в химии и жизни: сб. тез. докл. междунар. конф. – Минск, 2015. – С.122-124.
2. Amarowicz, R. Antioxidant activity of Maillard reaction products / R. Amarowicz // European Journal of Lipid Science and Technology. – 2009. – 111(2). – С. 109-111.
3. Dalmau, E.M. Effects of Freezing, Freeze Drying and Convective Drying on *In Vitro* Gastric Digestion of Apples / E.M. Dalmau, G.M. Bornhorst, V. Eim, C. Rossello, S. Simal // Food Chemistry. – 2016. Duan, J.-L. Effects of Drying Methods on Physico-Chemical Properties and Antioxidant Activity of Shiitake Mushrooms (*Lentinus edodes*) / J.-L. Duan, J.-G. Xu // Agriculture and Food Sciences Research. – 2015. – Vol. 2, №. 2. – P. 51-55.
4. Garau, M.C. Effect of air-drying temperature on physicochemical properties of dietary fibre and antioxidant capacity of orange (*Citrus aurantium* v. Canoneta) by-products / M.C. Garau, S. Simal, C. Rossello, A. Femenia // Food Chemistry. – 2007. – 104(3). – P. 1014-1024.
5. Heleno, S.A. Nutritional value, bioactive compounds and antioxidant properties of three edible mushrooms from Poland / S.A. Heleno, R.C. Ferreira, A.L. Antonio et.al. // Food Bioscience. – 2015. – Vol. 11. – P. 48-55.
6. Hoyos-Arbelaez, J. Electrochemical methods as a tool for determining the antioxidant capacity of food and beverages. A review / J. Hoyos-Arbelaez, M. Vazquez, J. Contreras-Calderon // Food Chem. – 2017. – 221. – P. 1371-1381.
7. Ji, H. Effects of drying methods on antioxidant properties and phenolic content in white button mushroom / H. Ji, A. Du, L. Zhang, S. Li, M. Yang, B. Li // International Journal of Food Engineering. – 2012. – Vol. 8, Is. 3. doi: 10.1515/1556-3758.2491.
8. Jin, B. Influence of *in vitro* digestion on antioxidative activity of coconut meat protein hydrolysates / B. Jin, X. Zhou, B. Li, W. Lai, X. Li. // Tropical Journal of Pharmaceutical Research. – 2015. – 14 (3). – P. 441-447.

9. Kim, Min-Jung Antioxidant and antigenotoxic effects of shiitake mushrooms affected by different drying method / Min-Jung Kim, Won-Mi Chu, EunJu Par // J Korean Soc Food Sci Nutr. – 2012. – 41(8). – P. 1041-1048. doi: 10.3746/jkfn.2012.41.8.1041.
10. McDougall, G.J. Anthocyanins from red wine-their stability under simulated gastrointestinal digestion / G.J. McDougall, S. Fyffe, P. Dobson, D. Stewart // Phytochemistry. – 2005. – Vol. 66, Is. 21. – P. 2540-2548. doi: 10.1016/j.phytochem.2005.09.003.
11. Parada, J. Food Microstructure Affects the Bioavailability of Several Nutrients / J. Parada, J. M. Aguilera // Journal of Food Science. – 2007. – 72(2). – P. 21-32.
12. Perez-Burillo, S. Towards an improved Global Antioxidant Response method (GAR+): physiological-resembling in vitro antioxidant capacity methods / S. Perez-Burillo, S. Pastoriza, J.A. Rufian-Henares // Food Chemistry. – 2017.
13. Piljac-Žegarac, J. Electrochemical determination of antioxidant capacity of fruit tea infusions / J. Piljac-Žegarac, L. Valek, T. Stipcevic, S. Martinez // Food Chem. – 2010. – 121(3). – P. 820-825. doi:10.1016/j.foodchem.2009.12.090.
14. Qian, Z.J. Free radical scavenging activity of a novel antioxidative peptide purified from hydrolysate of bullfrog skin / Z.J. Qian, W.K. Jung, S.K. Kim // Rana catesbeiana Shaw. Bioresourc Technol. – 2008. – 99(6). – P. 1690-1698.
15. Radzki, W. Effect of processing on the content and biological activity of polysaccharides from *Pleurotus ostreatus* mushroom / W. Radzki, M. Ziaja-Sołtys, J. Nowak et.al. // LWT - Food Science and Technology. – 2016. – Vol. 66. – P. 27-33.
16. Rigiridhar, K. Oral repletion of iron induces free radical mediated alterations in the gastrointestinal tract of rat / K. Rigiridhar, K.M. Nair, R. Subramanian, L. Singotamu // Mol Cell Biochem. – 2001. – 219. – P. 91-98.
17. Vieira, P.A.F. Antioxidant activities, total phenolics and metal contents in *Pleurotus ostreatus* mushrooms enriched with iron, zinc or lithium / P.A.F. Vieira, D.C. Gontijo, B.C. Vieira et.al. // LWT - Food Science and Technology. – 2013. – Vol. 54, Is. 2. – P. 421-425.

**БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОЛУЧЕНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ
НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ ПРЕБИОТИКОВ – ГАЛАКТООЛИГОСАХАРИДЫ**

Родная А.Б., Лодыгин А.Д., Храмцов А.Г.

Северо-Кавказский федеральный университет, г. Ставрополь

akhramtcov@ncfu.ru

На основе информационного файла показана возможность получения и применения нового класса пребиотиков - нанокластеров галактоолигосахаридов (ГОС).