Полтавцев А.М., младший научный сотрудник

Зарайский Е.И., кандидат биологических наук, старший научный сотрудник (Институт прикладной механики Российской академии наук)

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА И БИОБЕЗОПАСНОСТИ НАНОЧАСТИЦ ШОГАОЛА В ИМБИРЕ, ПРИМЕНЯЕМОМ В КОМПЛЕКСНОЙ ОНКОТЕРАПИИ В КАЧЕСТВЕ АНТИОКСИДАНТА

Гингерол и шогаол – это соединения, найденные в имбире. Наночастицы шогаола находятся в более низкой концентрации, чем гингерол, но проявляют более высокую биологическую активность. В данной работе приводятся результаты изучения влияния различных методов сушки, в том числе сушки на солнце и сушки горячим воздухом различной температуры, на образование шести основных активных соединений в имбирных корневищах, а именно 6-, 8-, 10-гингеролы и 6-, 8- и 10-шогаолы, а также содержание эфирного масла. Также была произведена оценка антиоксидантной и антимикробной активности сухого имбиря. Анализ высокоэффективной жидкостной хроматографии показал, что после сушки горячим воздухом с переменной температурой (120, 150 и 180 °C) содержание 6-, 8- и 10-гингерол уменьшалось, а содержание 6-, 8- и 10-шогаол увеличивалось. Высокая концентрация 6-, 8- и 10-шогаол наблюдалась в сушке горячим воздухом (при температуре 150 °C в течение 6 ч).

Ключевые слова: имбирь, гингерол, шогаол, наночастицы, биобезопасность

Poltavtsev A.M.

Zarayskiy E.I.

ASSESSMENT OF THE QUALITY AND BIOSAFETY OF SHOGAOL NANOPARTICLES IN GINGER, USED IN COMPLEX ONCOTHERAPY AS AN ANTIOXIDANT

Gingerol and shogaol are compounds found in ginger. Shogaol nanoparticles are lower in concentration than gingerol, but exhibit higher biological activity. In this paper, we studied the influence of various drying methods, including drying in the sun and drying with hot air from different temperatures to form the six main active compounds in ginger rhizomes, namely 6, 8, 10, gingerols and 6, 8, and 10 -shogaols, as well as the content of essential oil. The antioxidant and antimicrobial activity of dry ginger was also evaluated. The analysis of high performance liquid chromatography showed that after drying with hot air with variable temperature (120, 150 and 180 °C) the content of 6-, 8- and 10-gingerol decreased, and the content of 6-, 8- and 10-shogaol increased. The high formation of 6-, 8- and 10-shogol content was observed in hot air drying (at a temperature of 150 °C for 6 hours)

Key words: ginger, gingerol, shogaol, nanoparticles, biosafety

Имбирь (*Zingiber officinale* Roscoe) – это известная пряность, принадлежащая семье Zingiberaceae, и культивируется во всем мире, но особенно в азиатских странах. В имбире обнаружено несколько фитохимикатов, в том числе 4-, 6-, 8-, 10- и 12-гингеролы и 6-, 8- и 10-шогаолы, флавоноиды и фенолы. Предыдущие исследования показали, что шогаолы являются продуктами дегидратации гексинголей и проявляют более высокую биологическую активность, включая противоопухолевую и антиоксидантную активность. Гингеролы являются основными составляющими в свежих корнях имбиря, тогда как шогаолы встречаются в небольших количествах в высушенных и термически обработанных корнях. Предыдущее исследование, проведенное авторами по другим разновидностям имбиря (var. *Rubrum* Theilade), показало, что сушка в вакуумной печи при 45°C приводила к увеличению содержания 6 и 8-шогаола и антиоксидантной активности по сравнению с методом сушки при средней температуре 15°C и замораживание (-60°C). В этом исследовании оценивали влияние различных традиционных методов сушки, включая сушку под

плёнкой на солнце с сушкой на открытом воздухе и сушку горячим воздухом и их влияние на качество корневища имбиря с точки зрения 6-, 8-, 10 и 12-гингерол и 6-, 8-, 10 и 12-шогаол, содержание эфирного масла и антиоксидантную и противомикробную активность.

Материалы и методы

Оценку качества препаратов проводили методом HPLC, как описано ранее [1]

Спектротометический анализ проводили по стандартной методике, как описано ранее [2] Статистический анализ был проведен с использованием SAS (система статистического анализа, 9.0, SAS Institute, Cary, NC, USA) версии 9.2 и многократного теста Duncan с значимостью на уровне $p < 0,05$. Вычислялось среднее и стандартное отклонение ($n = 3$) каждого стандарта и образца.

Содержание гингеролов и шогаол в разных методах сушки и температуре показано в табл. 1. Сушка горячим воздухом показал более высокое содержание 6-, 8- и 10-гингерол, чем сушка на солнце под плёнкой и обработанный горячим воздухом имбирь ($p < 0,05$). Между тем, имбирь, обработанный при сушке под плёнкой на солнце / сушке горячим воздухом, показал значительно более высокие уровни 6-, 8- и 10-шогаол, чем имбирь который сушили горячим воздухом ($p < 0,05$). Сушка горячим воздухом, значительно уменьшилось содержание имбиря в корне имбире, но индуцировали образование 6-, 8- и 10-шогаола. Результат этого исследования ясно показал, что получение гингеролов и шогаол из имбиря сильно зависело от температуры. В методе сушки горячим воздухом с увеличением температуры 120 до 150°C концентрация 6- и 8-гингеролов значительно увеличилась, но интересно, что 10-гингерол, который был идентифицирован при 120°C, не обнаруживался при 150°C и 180°C. С увеличением температуры от 120°C до 150°C также резко увеличилась концентрация 6-, 8- и 10-шогаолов. Дальнейшее увеличение температуры сушки до 180°C приводило к уменьшению содержания всех гингеролов и шогаолов. Эти результаты подтверждают влияние и преимущество температуры при превращении гингеролов в шогаол, что согласуется с результатами других исследователей.

Результаты показывают, что традиционный имбирь, засушенный на солнце, содержит самое высокое содержание гингеролов и низкое содержание шогаол по сравнению с методом сушки горячим воздухом. При сушке горячим воздухом мы получаем воздействие на продукт непрерывным потоком воздуха для удаления влаги. Этот процесс является сложным из-за различных механизмов, лежащих в основе процессов – тепло-, массового, водного и энергетического. Качество продуктов, высушенных на горячем воздухе, часто значительно ухудшается по сравнению со свежим продуктом. При сушке горячим воздухом обеспечивает улучшенную

Таблица 1

Количественная оценка 6-, 8- и 10-гингеролов, а также 6-, 8- и 10-шогаол в имбире, высушенной с разной температурой

Гингерол	На солнце		Сушка горячим воздухом		
	сушка горячим воздухом	сушка под плёнкой на солнце	123°C	100°C	180°C
6-	13,48±2.18	10.11 П 2,17 ^б	3.4с!± ^д	4,94±0,00 ^с	0,102,68±0,10 ^с
8	-4,08±0,35 ¹¹	3,09±0,66 ^б	0,31±0,03 ^д	0,43±0,02 ^с	0,15±0,00 ^с
10-	5,93±0,73 ^а	3,96±0,84 ^б	0,65±0,07 ^с	ND	ND
Шогаол					
6-	1,24 П 0.0 (0 ^е	П 2,515 0,03 ^г	32.0:±0.78 ^б	3,93±0,153	2,58 П 0,11 ^с
8	0,61 ±0,00 ^е	1,05 ±0,08 ^г	2,1 (5 = 0 (0,2 5 ^б	2. (62±0,2,1 ^а	1,73±0,06 ^с
1d	0,68±0,04 ^е	1,03±0,03 ^д	2,04±1,18 ^б	3,05±0,33 ^а	1,41±0,02 ^с

Сушка на солнце, сушка горячим воздухом; сушка под плёнкой на солнце; данные были средним ± стандартного отклонения трех измерений различных верхнего индекса строчные буквы в каждой строке указаны значимое различие при $p < 0,05$ (тест Дункана) хроматограмма

Рис. 1. HPLC хроматограмма экстракта при сушке горячим воздухом (А) и сушке горячим воздухом (В) при 150°C

эффективность для преобразования тепла, повышения однородности сушки на поверхности и уменьшения времени сушки по сравнению с сушкой горячим воздухом. В отличие от обычных методов сушки, сушка горячим воздухом непосредственно взаимодействует с образцами. Тепло, генерируемое во влажном образце за счет прямой передачи и поглощения энергии молекулами воды, приводит к быстрой внутренней объемной сушке в результате трения, создаваемого вращающимися диполями и движением ионов. Кроме того, во время этого процесса массоперенос происходит из-за образования пара внутри продукта, который вытесняется на поверхность продукта.

Некоторые исследователи сообщают, что скорость конверсии гингеролов в шогоаол зависит от температуры и продолжительности. Это было также доказано в этом исследовании. Мы изучали влияние термической обработки (75–150°C) на превращение гингерола в шогоаол в имбирный порошок после сушки и сообщили, что отопление при 150°C в течение 80 мин, приводило к индуцированию содержания 6-шогоала. Однако в предыдущем исследовании при сушке в печи (при 50°C) имбирный порошок обрабатывают с различной температурой гелирования, но в нашем исследовании мы применяли различные методы сушки на основе различной температуры сушки на начальной стадии после сбора урожая.

ВЭЖХ экстракты, сушка горячим воздухом, сушки горячим воздухом при 150°C показаны на рис. 1. Как видно, у имбиря при сушке горячим воздухом было более высокое содержание гингерола, чем в имбире при сушки на солнце, но после применения сушки горячим воздухом содержание гингерола уменьшалось, когда результат был достигнут. предыдущий поиск и гипотеза что при высокой температуре гинголы превращаются в шогоалы через дегидратацию.

Когда температура была дополнительно увеличена до 180°C, содержание шогоаола значительно уменьшилось ($p < 0,05$). Это может быть связано с деградацией и полимеризацией шогоаол в течение длительного процесса нагрева. Эти реперы подтверждают эффективность тепла. Опекание в повышении содержания витамина в дрожжах. С одной стороны, температура облегчает превращение гингеролов в соответствующие шогоалы. Группы р-гидроксикетонных соединений гингерола термически дегидратируют с образованием соответствующих производных шогоаол; возникающие в результате р-ненасыщенные кетоны в шогоаолах являются термодинамически стабильными. Относительно, кислые растворы способствуют обезвоживанию 6-гинггеля для получения 6-шогоала, что похоже на настоящие результаты. В водных растворах эти кислоты образуют разные анионы, которые могут катализировать превращение гингеролов в соответствующие шогоалы. Увеличение содержания шогоаола может быть связано с расчетом эффекта высокой температуры и кислотного катализатора; это индуцирует р-гидроксикетонную часть в гингерол, пройти обезвоживание. При 180°C, содержание шогоаол резко уменьшилось ($p < 0,05$). В предыдущем состоянии было показано, что превращение гингеролов в шогоалы происходит в водных средах. Высокие температуры приводят к более быстрому

испарению, ингибирующему это превращению. Следовательно, деградация и полимеризация уменьшали содержание шогола. Как правило, при сушке горячим воздухом при 150°C, возникающем при формировании высокого уровня шогола, это лечение было выбрано для оценки эффекта различного времени высыхания на разрешениях шогола. Статистический анализ был проведен с использованием SAS (система статистического анализа, 9.0, SAS Institute, Cary, NC, USA) версии 9.2 и многократного теста Duncan с значимостью на уровне $p < 0,05$. Вычислялось среднее и стандартное отклонение ($n = 3$) каждого стандарта и образца.

Выводы

Наиболее очевидный вывод, который следует извлечь из этого исследования, заключается в том, что с применением высоких температур в процессе сушки гингеролы были превращены в шогола и после этого были улучшены антиоксидантная и антимикробная активность. Метод сушки горячим воздухом одновременно увеличивал содержание 6-, 8- и 10-шоголов, в то время как метод сушки горячим воздухом имел более высокое содержание 6-, 8- и 10-гингерола. Сушка на солнце и сушка под плёнкой на солнце обладают самым высоким содержанием эфирного масла, чем при сушке горячим воздухом. Кроме того, метод сушки на солнце может быть использован для получения продуктов из имбиря с высокой добавленной стоимостью по сравнению с методами сушки горячим воздухом и сушкой под плёнкой на солнце. Данные текущего исследования могут быть полезны для будущих исследований с целью оптимизации метода сушки на солнце с использованием методологии поверхности ответа, чтобы получить оптимальную скорость температуры и время высыхания.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ravindran P., Babu K.N.* Ginger: the genus zingiber. Fl : CRC Press ; Boca Raton, 2016.
2. *Schwertner H.A., Rios D.C.* High-performance liquid chromatographic analysis of 6-gingerol, 8-gingerol, 10-gingerol, and 6-shogaol in ginger-containing dietary supplements, spices, teas, and beverages // J. Chromatogr. B. 2007. Vol. 856. P. 41–47.
3. *Bhattarai S., Tran V.H., Duke C.C.* The stability of gingerol and shogaol in aqueous solutions // J. Pharm. Sci. 2001. Vol. 90. P. 1658–1664.