

Выводы

Разработан состав совместно активированной смеси талломов лишайника рода *Cladonia* и диоксида кремния с улучшенными технологическими свойствами, а именно с повышенной сыпучестью.

Полученные в ходе эксперимента результаты имеют практическую значимость, так как позволяют повысить степень технологичности производства твердых форм препаратов: желатиновых капсул и таблеток.

Литература

1. Росляк А.Т., Брендаков В.Н., Романдин В.И. и др. Способ газовой центробежной классификации и измельчения порошков // Патент России № 2522674 от 20.07.2014.
2. Траутвайн А.И., Ядыкина В.В. Исследование влияния режимов измельчения на реакционную способность минеральных порошков // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. – 2013. № 61–62. С. 248–254.
3. Андреева Н.А., Ивченко О.Г., Кабакова Т.И. Маркетинговый анализ рынка лекарственных

препаратов седативного действия // Фундаментальные исследования. 2011. № 10 (часть 3). С. 604–607.

4. Демина Н.Б., Анурова М.Н., Асфура Т. Разработка рецептуры и технологии таблеток с экстрактом босвеллии // Разработка и регистрация лекарственных средств. 2013. №4.

5. Гигиенические требования по применению пищевых добавок // СанПиН 2.3.2.1293-03.

6. Болдырев В.В. Механохимия и механохимическая активация твердых веществ // Успехи химии. 2006. Т. 75 (3). С. 203–216.

7. Аньшакова В.В. Биотехнологическая механохимическая переработка лишайников рода *Cladonia*. М.: Изд. дом Академии естествознания, 2013. С. 31.

8. Аньшакова В.В., Шарина А.С., Каратаева Е.В., Кершенгольц Б.М. Способ получения сорбционного материала из слоевищ лишайников // Патент России №2464997 от 27.10.2012.

9. Аньшакова В.В., Кершенгольц Б.М. Способ получения высокоактивного твердофазного биопрепарата антибиотического действия «Ягель» из слоевищ лишайников // Патент России № 2467063 от 20.11.2012.

Поступила в редакцию 28.01.2016

УДК (582.663:577.19):577.121.7

Влияние механоактивационной обработки биомассы *Amaranthus retroflexus* L. на выход лиофилизированных экстрактов растительных тканей и содержание биологически активных веществ в них

И.В. Воронов, Е.Р. Поскачина

Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, г. Якутск

Выявлено увеличение выхода лиофилизата при предэкстракционной механоактивации надземной фитомассы *Amaranthus retroflexus* L. на 12–41% от массы исходной ткани в зависимости от условий механохимического воздействия. Максимальный выход лиофилизата наблюдался при обработке со скоростью вращения ротора 20 об./с в течение 3 мин. Установлено, что применение механоактивации не оказывает влияния на содержание суммы низкомолекулярных антиоксидантов в полученной растительной муке, кроме механоактивации при вариантах 20 и 30 об./с в течение 1 мин, при этих условиях наблюдалось снижение на 16% суммарного содержания низкомолекулярных антиоксидантов. Показано, что предэкстракционная механоактивация исходного биосырья не оказывает влияния на содержания рутина в лиофилизатах экстрактов при обработке со скоростью вращения ротора 15 и 20 об./с. Обработка биоматериала при 30 об./с в течение 1 мин приводит к уменьшению выхода его выхода на 13%, а увеличение времени механоактивации биосырья до 2–3 мин вызывает повышение его выхода на 23–27% по сравнению с контролем. Вместе с тем содержание кверцетина снижается в 5–15 раз, а содержание низкомолекулярных антиоксидантов достоверно не изменяется.

ВОРОНОВ Иван Васильевич – к.б.н., с.н.с., e-mail: viv_2002@mail.ru; ПОСКАЧИНА Елена Рудольфовна – к.б.н., н.с., e-mail: poskachinalena@yandex.ru.

Ключевые слова: механоактивация, *Amaranthus retroflexus* L., лиофилизированный экстракт, низкомолекулярные антиоксиданты, флавоноиды.

Influence of Mechanoactivation Processing of Biomass of *Amaranthus Retroflexus* L. on the Yield of Lyophilized Extracts of Vegetable Fabrics and Content of Biologically Active Substances in Them

I.V. Voronov, E.R. Poskachina

Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, Yakutsk

*The increase of the yield of lyophilized extract at preextraction mechanoactivation of overground phytomass of *Amaranthus retroflexus* L for 12–41% is revealed depending on conditions of mechanochemical influence. The maximal yield of the lyophilizate was observed at processing with a speed of rotation 20 rev /sec within 3 minutes. It is established that application of mechanoactivation does not influence the quantity of the sum of low molecular weight antioxidants in the received vegetable flour, except mechanoactivation at 20 and 30 rev / sec within one minute. Under the last conditions decrease by 16,0 % of the total content of low-molecular weight antioxidants was observed. It is shown that preextraction mechanoactivation of initial bioraw materials does not affect on the Rutinum content in the lyophilizates of the extracts when processing with a speed of rotation 15 and 20 rev/sec. Processing of the biomaterial at 30 rev/sec during one minute leads to decrease of Rutinum yield by 13 %, and increase of time of mechanoactivation of the bioraw materials till 2–3 minutes causes increase of the yield to 23–27%, in comparison with the control. At the same time Quercetin content decreases 5–15 times, and low-molecular weight antioxidants content does not change.*

Key words: mechanoactivation, *Amaranthus retroflexus* L., lyophilized extract, low molecular weight antioxidants, flavonoids.

Введение

Использование многократной обработки сырья органическими растворителями при экстрагировании биологически активных веществ (БАВ) отражается на их низком технологическом выходе, что приводит к повышению производственных затрат и времени на проведение полного технологического цикла. Применение высокоэнергетических измельчающих устройств (механоактивация) в биотехнологических схемах позволяет увеличить дисперсность материалов с повышением доступности веществ, содержащихся в сырье благодаря ударно-сдвиговым воздействиям, разрушающим биополимеры, образующие клеточные стенки [1]. Механоактивация широко используется в медицинских технологиях [2], в частности, при модификации лекарственных препаратов, например, глюконата кальция [3, 4], повышение дисперсности и перевод в аморфное состояние которого приводит к повышению лекарственной эффективности препарата.

Механохимические методы получения БАВ растительного происхождения могут быть основаны также на твердофазном превращении этих веществ в водорастворимые формы путем механической обработки растительного сырья и специально подобранных реагентов [5–7].

При этом возможны два пути модификации материалов. Первый – повышение дисперсности материалов с образованием новых соединений, требующих дополнительных серьезных исследований своего биологического действия. И второй – изменение структурного состояния материалов при условии сохранения химического состава, при этом могут формироваться метастабильные полиморфные модификации, не приводящие к изменению фармакологического действия материала. Однако биологическая активность таких материалов значительно выше [5, 6, 8].

Цель исследования заключалась в изучении влияния предэкстракционной механохимической обработки вегетативных частей *A. retroflexus* L. (Amaranthaceae) на содержание флавоноидов и суммы низкомолекулярных антиоксидантов (НМАО) в растительной муке и лиофилизированных экстрактах.

Материал и методы

Объект исследования – *Amaranthus retroflexus* L. дикорастущее растение, широко распространенное в Центральной Якутии и имеющее большой потенциал для использования в разных областях медицинского, пищевого и сельскохозяйственного направлений [9].

Посадка семян проводилась во вспаханную почву в конце мая, расстояние между рядами 70 см, глубина заделки 1–1,5 см. Вегетативная биомасса собиралась в середине июля в фазе цветения. Биосырье сушилось в хорошо проветриваемом помещении без доступа света.

Щирица богата белками, углеводами, имеет высокую семенную продуктивность. В биомассе щирицы содержится вещество амарантин ($C_{29}H_{31}O_{19}$), относящийся к алкалоидам – беталаинам, который является природным водорастворимым антиоксидантом. Растение содержит флавоноиды: рутин, кверцетин и др. [10]. В листьях *A. retroflexus* L. отмечено высокое содержание биогенного хорошо усвояемого кальция (до 5,3% в пересчете на сухую массу). Масло семян *A. retroflexus* L. в большом количестве содержит сквален, обладающий выраженным противоопухолевым и ранозаживляющим действием [11].

Механоактивацию (МА) вегетативных частей растения *A. retroflexus* L. проводили в механохимической мельнице АГО-3 с металлическими шарами диаметром 2–3 мм, со скоростью вращения ротора 15, 20 и 30 об./с в течение 1–3 мин. МА обработке подвергались 100 г предварительно измельченной надземной биомассы *A. retroflexus* L. на мельнице грубого помола (Fritsch).

Биологически активные вещества последовательно экстрагировали из вегетативных частей (сухое сырье) 40 и 70% водно-спиртовыми растворами в соотношении 1:10 по технологической схеме (рисунок). Получены два варианта лиофилизата без обработки в механохимической мельнице и с применением предэкстракционной механоактивации вегетативных частей *A. retroflexus* L.

Определение содержания кверцетина и рутина проводили в экстрактах и в растворах лиофилизатов с использованием метода ВЭЖХ на микроколоночном хроматографе Милихром А-02 фирмы «ЭкоНова» (Россия) с последующей компьютерной обработкой результатов исследования, используя программу «МультиХром» для «Windows» [12].

Общее содержание низкомолекулярных антиоксидантов в экстрактах и в растворах лиофилизатов определяли спектрофотометрическим методом, который основан на окислении антиоксидантов хлоридом железа (III). При этом $FeCl_3$ восстанавливается до $FeCl_2$, количество которого определяется по интенсивности окраски при добавлении о-фенантролина. Оптическую плотность растворов измеряли на спектрофотометре UV-2600 фирмы «SHMADZU» при длине волны 510 нм [13].

Все измерения выполнены в четырех биологических и аналитических повторностях. Результаты экспериментов представлены среднеарифметическими значениями. При определении параметров статистический разброс определяли путем закладки 5% ошибки на метод [14].

Результаты и обсуждение

Применение различных вариантов механоактивации вегетативных частей *A. retroflexus* L. не оказывало статистически достоверного влияния на содержание НМАО в расчете на 1 г полученной растительной муки, кроме механоактивации при вариантах 20 и 30 об./с в течение 1 мин. При этих условиях наблюдалось снижение на 16 % суммарного содержания НМАО в исследованных объектах по отношению к контрольному значению (табл. 1).

Т а б л и ц а 1
Содержание суммы НМАО, рутина и кверцетина в биомассе *A. retroflexus* L. при действии различных вариантов механоактивации

Скорость вращения ротора, об./с	Время обработки, мин	ΣНМАО, мг·экв кверцетина/г	Рутин, мг/г _{сух.ткани}	*Кверцетин, мг/г _{сух.ткани}
0	0	1,86±0,09	2,74±0,14	-
15	1	1,85±0,09	2,98±0,15	-
	2	1,89±0,09	2,88±0,14	-
	3	1,71±0,09	3,03±0,15	-
20	1	1,57±0,08	2,82±0,14	-
	2	1,70±0,08	3,05±0,15	-
	3	1,68±0,08	2,74±0,14	-
30	1	1,60±0,08	2,39±0,12	-
	2	1,82±0,09	3,38±0,17	-
	3	1,91±0,10	3,49±0,17	-

$p \leq 0,05$

*Концентрация кверцетина в пробе вегетативных частей *Amaranthus retroflexus* L. была ниже предела обнаружения прибора использованного для анализа – ВЭЖХ Милихром А-02 с УФ-детектором.

Содержание рутина в расчете на 1 г вегетативных частей *A. retroflexus* L. при скорости вращения 15 и 20 об./с статистически достоверно не изменялось. Обработка биоматериала при 30 об./с в течение 1 мин привела к уменьшению выхода рутина на 13%, а увеличение времени механоактивации биосырья до 2–3 мин вызвало повышение его выхода на 23–27% по сравнению с контролем.

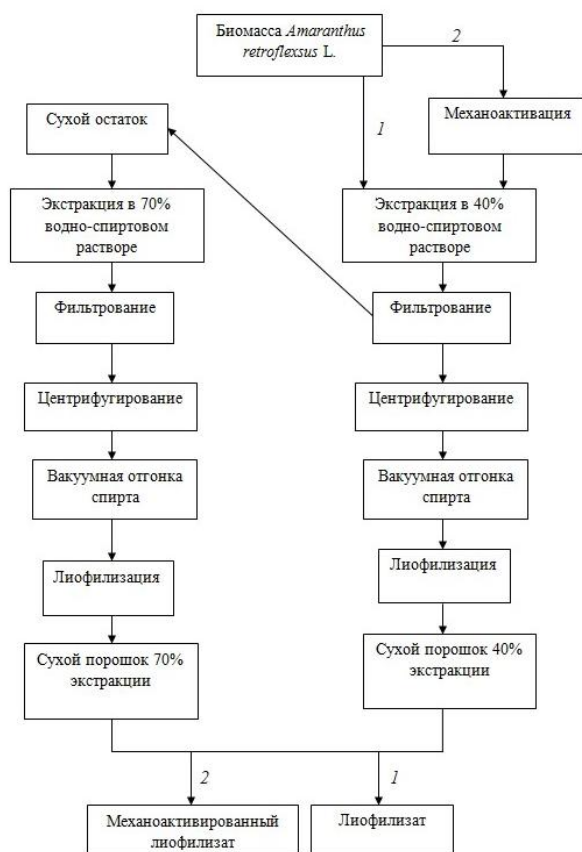


Схема получения лиофилизированных экстрактов из щирицы запрокинутой (*Amaranthus retroflexus* L.): 1 – лиофилизат, полученный без механоактивационной обработки; 2 – лиофилизат, полученный с механоактивационной обработкой исходной биомассы *A. retroflexus* L.

Предэкстракционная обработка измельченных вегетативных частей *A. retroflexus* L. в механохимической мельнице способствовала увеличению массы выхода лиофилизата на 12–41% по отношению к контрольному значению (табл. 2).

Таблица 2
Выход лиофилизата *A. retroflexus* L. при действии различных вариантов механоактивации

Скорость вращения ротора, об./с	Время обработки, мин	Выход лиофилизата из 100 г растительного материала, %
0	0	9,34±0,47
15	1	10,54±0,53
	2	10,43±0,52
	3	10,92±0,55
20	1	11,79±0,59
	2	12,00±0,60
	3	13,24±0,66
30	1	10,82±0,54
	2	11,98±0,60
	3	11,29±0,56

p<0,05

Максимальный выход лиофилизата наблюдался при условии предэкстракционной обработки биоматериала при механоактивации со скоростью 20 об./с в течение 3 мин.

Содержание суммы НМАО в лиофилизированном экстракте из *A. retroflexus* L. при механоактивации не изменялось, за исключением снижения данного показателя на 12% при скорости вращения 20 об./с в течение 3 мин по отношению к контрольному значению. Содержание рутина в лиофилизате увеличивалось в 1,2–4,0 раза во всех выбранных вариантах механоактивации по отношению к контрольному значению (табл.3).

При механоактивации исходной биомассы *A. retroflexus* L. происходило статистически достоверное снижение содержания кверцетина в получаемом лиофилизате в 5–15 раз по отношению к контрольному значению.

Таблица 3
Содержание суммы НМАО, рутина и кверцетина в лиофилизате *A. retroflexus* L. при действии различных вариантов механоактивации

Скорость вращения ротора, об./с	Время обработки, мин	ΣНМАО, мг·экв кверцетина/г	Рутин, мг/г лиофилизата	Кверцетин, мг/г лиофилизата
0	0	3,27±0,16	3,84±0,19	1,59±0,08
15	1	3,33±0,17	6,09±0,30	0,32±0,02
	2	3,25±0,16	6,90±0,34	0,47±0,02
	3	3,22±0,16	8,36±0,42	0,57±0,03
20	1	3,13±0,16	6,12±0,31	0,25±0,02
	2	3,19±0,16	8,19±0,41	0,28±0,02
	3	2,89±0,14	10,89±0,54	0,30±0,02
30	1	3,15±0,16	4,58±0,23	0,39±0,02
	2	3,22±0,16	8,62±0,43	0,30±0,01
	3	3,45±0,17	16,24±0,81	0,10±0,01

p<0,05

Возможно, это связано с окислением кверцетина при воздействии предэкстракционной механоактивации биосырья, что способствовало снижению его концентрации в лиофилизированных экстрактах.

Заключение

В результате проведенного исследования при предэкстракционной обработке вегетативных частей *A. retroflexus* L. увеличивается выход лиофилизата при всех использованных режимах механоактивации.

Установлено что механохимическая активация вегетативных частей *A. retroflexus* L. не

влияет на содержание суммы низкомолекулярных антиоксидантов и рутина в полученной растительной муке. За исключением увеличения на 27% содержания рутина при условии обработки в режиме 30 об./с в течение 2–3 мин.

В полученных лиофилизированных экстрактах после механообработки исходного биосырья содержание рутина увеличивается в 1,2–4,0 раза, содержание НМАО сохраняется на уровне контроля и наблюдается понижение содержания кверцетина в 5–15 раз.

Работа выполнена в рамках НИР VI.62.1.9. «Создание лекарственных и профилактических средств повышенной усвояемости из природного северного биосырья с применением механохимических биотехнологий. № госрегистрации 0376-2014-0007.

Литература

1. Boldyreva E., Boldyrev V. (Eds.) Reactivity of Molecular Solids / E. Boldyreva, V. Boldyrev. London: John Wiley & Sons, 1999. 328 p.

2. *Фундаментальные основы механической активации, механосинтеза и механохимических технологий* / Под ред. Е.Г. Авакумова. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2009.

3. *Изменение супрамолекулярной структуры клеточной стенки Saccharomyces cerevisiae при механоферментативной обработке* / А.Л. Бычков [и др.] // Химия в интересах устойчивого развития. 2009. № 5. С. 479–486.

4. *Способ лечения гипокальциемий, остеопорозов, переломов: пат. № 2268053 РФ* / Г.Н. Коньгин [и др.]; заявитель и патентообладатель Коньгин Г.Н.; заявка № 2004113712/14 зарегистр. 05.05.2004 г. // Изобретения. Полезные модели. 2006. № 02.

5. *Ломовский О.И., Белых В.Д.* Механохимическая экстракция водорастворимых компонен-

тов из растительного липидсодержащего сырья // Периодический сборник научных трудов «Обработка дисперсных материалов и сред». Одесса: НПО «Вотум». 2000. №10. С. 71–75.

6. *Chuev V.P., Kameneva O.D., Chikalo T.M.* Use of mechanochemical activation to modify properties of bioactive compounds // Сибирский химический журнал. 1991. Вып. 5. С. 156–157.

7. *Vedernikov N., Karlivans V., Roze I., Rolle A.* Mechanochemical destruction of plant raw materials polysaccharides in presence of small amounts of concentrated sulfuric acid // Сибирский химический журнал. 1991. Вып. 5. С. 67–72.

8. *Panic G., Winter R.* A comparative study of the effect of hydrostatic pressure up to 4 GPa on the monoclinic and the orthorhombic polymorphs of paracetamol // Biochemistry. 2000. Vol. 39. P. 1862–1869.

9. *Васильченко А.И.* *Amaranthus retroflexus* L. Щирица запрокинутая // Флора СССР. 1936. Т. VI. С. 362–363.

10. *Зеленков В.Н., Гульшина В.А., Терешкова Л.Б.* Амарант. Биохимический и химический портрет в онтогенезе. М.: РАЕН, 2011. 104 с.

11. *Кислова Н.М.* Полезные свойства сорняков. М.: АСТ-ПРЕСС, 2009. 288 с.

12. *Шейн А.А., Прокопьев И.А., Филиппова Г.В., Журавская А.Н.* Влияние техногенного загрязнения на содержание фотосинтетических пигментов и флавоноидов у *Matricaria chamomilla* (Asteraceae) // Растительные ресурсы. 2014. Т. 50 (2). С. 235–241.

13. *Ермаков А.И.* Методы биохимического исследования растений. Л.: Агропромиздат, 1987. 430 с.

14. *Лакин Г.Ф.* Биометрия. М.: Высшая школа, 1980. 293 с.

Поступила в редакцию 04.02.2016

УДК 639.21: 639.38 (571.56)

Пищевая и биологическая ценность чира *Coregonus nasus* (Pallas) индигирской популяции в Республике Саха (Якутия)

А.Ф. Абрамов, Т.В. Слепцова, А.А. Ефимова

Якутский научно-исследовательский институт сельского хозяйства, г. Якутск

*Даны результаты исследований пищевой и биологической ценности филе и теши чира *Coregonus nasus* (Pallas) индигирской популяции. Чир – один из основных промысловых видов рыб, ежегодный*

АБРАМОВ Алексей Федорович – д.б.н., проф., e-mail: uniicx@mail.ru; СЛЕПЦОВА Татьяна Васильевна – н.с., e-mail: uniicx@mail.ru; ЕФИМОВА Александра Аркадьевна – к.с.-х.н., в.н.с., e-mail: alekefim@mail.ru.