

## Содержание флавоноидов в биомассе *Atriplex patula* L. при механоактивационной обработке

И.В. Воронов

Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск, Россия  
viv\_2002@mail.ru

**Аннотация.** Изучено влияние измельчения надземной биомассы *Atriplex patula* L. до размеров частиц 1,0–1,5 мм (грубый помол), 0,8–0,9 мм (средний помол) и 0,5–0,6 мм (мелкий помол) с обработкой в механоактивационной мельнице на общее содержание флавоноидов (спектрофотометрический метод определения), количество рутина, дигидрокверцетина и лютеолин-7-О-глюкозида (метод ВЭЖХ) в растительной муке. Установлено повышение в 1,2 раза экстрактивности общего количества флавоноидов при измельчении до размеров частиц 0,5–0,6 мм относительно изученных вариантов помола. Механоактивационная (МА) обработка в течение 1 мин приводила к снижению общего количества флавоноидов во всех вариантах помола. Измельчение до размеров частиц 0,8–0,9 мм (средний помол) способствовало снижению содержания рутина в растительной муке в 1,6–2,0 раза относительно контрольных значений исследованных вариантов измельчения. МА-воздействие на муку грубого помола способствовало увеличению выхода рутина, за исключением двухминутной МА-обработки. Измельчение до размеров частиц 0,5–0,6 мм приводило к повышению экстрагирования ДКВ, при МА-обработке его уровень не изменялся, за исключением одноминутного МА-воздействия, когда содержание флавоноида снижалось. Измельчение сырья до размеров 1,0–1,5 и 0,5–0,6 мм способствовало повышению содержания лютеолин-7-О-глюкозида, при этом процесс МА-обработки приводил к снижению его количества, за исключением МА муки среднего помола, где наблюдалось увеличение на 33,3 % содержания лютеолин-7-О-глюкозида относительно контроля по группе. Установлен наиболее оптимальный режим МА воздействия со скоростью вращения ротора 1500 об./мин в атмосфере воздуха с предмеханоактивационным измельчением биомассы *A. patula* до размеров частиц 0,5–0,6 мм, который не влияет на изменение количества исследованных физиологически активных веществ в сырье.

**Ключевые слова:** механоактивация, *Atriplex patula* L., рутин, дигидрокверцетин, лютеолин-7-О-глюкозид.

**Благодарности.** Работа выполнена в рамках госзадания ИБПК СО РАН по проекту № АААА-А17-117020110056-0.

### Введение

Экологически безопасные и эффективные решения в переработке природного растительного сырья – актуальная задача для биотехнологической отрасли [1, 2]. Одна из ключевых задач переработки биоматериала – интенсификация процессов выделения экстрактивных веществ и идентификации их состава, представляющих практический интерес. Механохимические методы получения биологически активных веществ растительного происхождения основаны на твердофазном превращении этих веществ в растворимые формы путем механической обработки растительного сырья и специально подобранных реагентов [3–5]. Использование предваритель-

ной механической активации (МА) позволяет достигать максимальной эффективности на стадии последующего экстрагирования физиологически активных веществ, в том числе в водных средах [6–9]. Ударно-сдвиговое воздействие сопровождается измельчением и разупорядочением структуры обрабатываемого материала, сопряженным с разрывом химических связей, что может влиять на экстракцию компонентов [10, 11]. Направленное использование механических воздействий позволяет увеличить поверхности контакта взаимодействующих фаз, накопление в частицах дефектов структуры, появление на свежобразованной поверхности активных центров и радикалов. В результате могут протекать ги-

дротермальные химические процессы, образуются механокомпозиты и изменяются каталитические свойства пористых тел вследствие процессов декристаллизации [12, 13]. В данное время вопрос взаимосвязи процессов предмеханоактивационной пробоподготовки с явлениями механоактивации в аппаратах планетарного типа и их влияние на содержание физиологически активных веществ (ФАВ) в продукте помола остается открытым. Известно, что эффективность МА определяется типом аппарата и режимом воздействия мелющих (рабочих) тел на обрабатываемый материал (стирающим, вихревым, ударным). Существенное влияние на результаты МА оказывают также отношение массы рабочих тел к массе и размеру обрабатываемого материала, материал размольной гарнитуры, геометрия рабочих тел и другие факторы [14].

Существенными преимуществами механоактивационного подхода является исключение из технологии химических реагентов, снижение материальных и трудовых затрат на производство. Дополнительно появляется возможность использовать в качестве источника биологически активных веществ маловостребованные ресурсы – отходы сельскохозяйственного производства и лесной промышленности, сырье с низким содержанием активных веществ [15]. Предполагается, что деформация составляющих веществ сырья может приводить к изменению межатомных и межмолекулярных связей, сопровождающемуся их ослаблением и в предельном случае вызывающему механический разрыв химических связей и образование активных радикалов [16]. В последние 10–15 лет интенсивно ведутся работы по созданию высокоинтенсивных механохимических аппаратов, основное назначение которых – не только измельчение, но одновременно придание обрабатываемому веществу особых свойств, которые приводят к увеличению его реакционной способности [17].

Цель – выявить влияние механоактивационной обработки надземной биомассы *Atriplex patula* L. на содержание рутина, ДКВ и лютеолин-7-О-глюкозида при разных условиях пробоподготовки биосырья.

### Материал и методы

Объект исследования – лебеда раскидистая *Atriplex patula* L., дикорастущее однолетнее травянистое растение, широко распространенное в Центральной Якутии, относится к семейству

Амарантовые (Amaranthaceae), растет вдоль дорог, на сорных, рудеральных местах и солончатых лугах [18]. Цветение и созревание семян *A. patula* идет в течение всего вегетационного периода, каждое растение дает большое количество семян. Цветет в июне–июле. Многие представители рода *Atriplex* издавна используются в народной медицине. *A. patula* имеет промежуточный тип фотосинтеза [19]. Компонентный состав *A. patula*, произрастающей в условиях криолитозоны, изучен недостаточно. Ранее установлено, что листья лебеде богаты белками, минеральными веществами; содержат витамины С, Е, Р, РР, рутин, эфирное масло, сапонины, алкалоиды [20, 21]. Семена и листья растения содержат значительное количество углеводов и аминокислот. *A. patula* может использоваться в качестве кормового и пищевого растения [22].

Посадка семян проводилась во вспаханную почву в конце мая, расстояние между рядами 70 см, глубина заделки 1–1,5 см. Сбор вегетативной биомассы проводился в середине июля в фазе цветения. Сушка биосырья проводилась в хорошо проветриваемом помещении без доступа света.

Механоактивацию вегетативных частей растения *Atriplex patula* L. проводили на лабораторном механоактиваторе АГО-3 с циркониевыми шарами диаметром 6 мм, число оборотов барабана 1500 об./мин в течение 1, 2 и 3 мин в атмосфере воздуха. МА-обработке подвергались 100 г предварительно измельченной надземной биомассы *Atriplex patula* L. на мельнице грубого помола Fritsch (Германия), размер частиц 1,0–1,5 мм (грубый помол) и мельнице мелкого помола Culatti (Германия) с размерами частиц 0,8–0,9 мм (средний помол) и 0,5–0,6 мм (мелкий помол). Среднее максимальное значение скорости шаров составляло 20,41 м/с и рассчитывалось по формуле  $V = 2\pi v R_k / 60$ , где  $v$  – частота вращения водила,  $R_k$  – радиус контейнера [23].

Общее содержание флавоноидов в биомассе определяли спектрофотометрическим методом, который основан на реакции флавоноидов с лимоннокислым борным реактивом с образованием устойчивого окрашенного комплекса. Оптическую плотность растворов измеряли на спектрофотометре UV-2600 фирмы Shimadzu (Япония) при длине волны 420 нм [24].

Определение содержания флавоноидов в метанольных экстрактах осуществляли методом ВЭЖХ на микроколоночном хроматографе Ми-

лихром А-02 фирмы «ЭкоНова» (Россия) с последующей компьютерной обработкой результатов исследования, используя программу «Мульти-Хром» для Windows. Навеску растительной муки массой 0,05 г экстрагировали в 1,0 мл метанола (Merck) в течение 24 ч при постоянном перемешивании в комнатных условиях, после чего полученные экстракты пропускали через мембранный фильтр с диаметром пор 0,20 мкм.

Разделение проводили на хроматографической колонке ProntoSIL 120-5-C18 AQ размером 2×75 мм при условиях: подвижная фаза элюент А – 0,1%-й водный раствор уксусной кислоты; В — ацетонитрил, градиентный режим элюирования с возрастанием доли В от 10 до 75 % в течение 50 мин при скорости потока 50 мкл/мин и температуре колонки 40 °С. Объем проб 4 мкл. Детектирование осуществляли с помощью УФ-спектрофотометрического детектора при длине волны 350 нм.

В качестве стандартных образцов использовали лютеолин-7-О-глюкозид, рутин (кверцетин-3-О-рутинозид) и дигидрокверцетин (3,3',4',5,7-пентагидроксифлавонон гидрат) производства Sigma-Aldrich. Смесь растворов стандартных образцов готовили в концентрациях 6,25, 12,5, 25,0, 50,0, 100,0 и 200,0 мкг/мл в метиловом спирте. В качестве градуировочных зависимостей использовали уравнения линейной регрессии, связывающие концентрации характеризующих соединений и площади пиков. Содержание индивидуальных компонентов в образцах определяли методом внешнего стандарта как оптимального при хроматографическом анализе многокомпонентных смесей [25].

Все измерения выполнены в четырех повторностях. Полученные результаты представлены в виде средней арифметической величины и ее стандартного отклонения ( $M \pm SD$ ). Статистический анализ полученных данных выполнялся с помощью программы Statistica 10. Достоверность различий определялась по критерию Стьюдента, различия считали достоверными при  $p \leq 0,05$ .

### Результаты исследования и их обсуждение

Общее содержание флавоноидов в контрольных вариантах исследованных предмеханоактивных обработок сырья было выше в среднем в 1,2 раза у растительной муки мелкого помола с размером частиц 0,5–0,6 мм, что может объясняться наиболее лучшей экстрактивностью веществ, при данном варианте измельче-

ния (см. таблицу). Применение различных вариантов МА вегетативной биомассы *A. patula* при скорости вращения 1500 об./мин оказывало статистически достоверное влияние на общее содержание флавоноидов относительно времени МА. Наименьшее содержание общего количества флавоноидов наблюдалось при МА-воздействии на муку грубого и среднего помола в течение 1 мин (до 2,320 мг-экв кверцетина/г<sub>сух.ткани</sub>) по сравнению со всеми условиями обработки, а также в варианте с мукой мелкого помола, где зафиксирован минимум общего содержания флавоноидов внутри группы (3,050 мг-экв кверцетина/г<sub>сух.ткани</sub>). Таким образом, отмечено, что воздействие МА в течение 1 мин приводило к снижению общего количества флавоноидов в муке из вегетативной биомассы *A. patula* во всех вариантах измельчения.

Увеличение времени ударно-сдвигового воздействия до 2 и 3 мин для растительной муки грубого и среднего помола имело разнонаправленное действие относительно общего содержания флавоноидов и четкой закономерности не имело. Следует отметить, что МА-воздействие на растительную муку мелкого помола при экспозиции 2 и 3 минуты не оказывало влияние на общее содержание флавоноидов относительно контроля по группе. Предположено, что МА-воздействие на растительную муку *A. patula* в атмосфере воздуха снижает (1 мин) количество общего содержания флавоноидов вследствие их окисления/деструкции или не оказывает влияния на их содержание при увеличении экспозиции от 2 до 3 мин, возможно, это компенсируется за счет увеличения уровня экстрактивности.

Установлено, что помол до размеров частиц 0,8–0,9 мм (средний помол) способствует снижению содержания рутина в растительной муке в 1,6–2,0 раза относительно контрольных значений исследованных вариантов помола. При этом увеличение времени МА-воздействия на растительную муку среднего помола не влияет на содержание рутина. Наибольшее содержание рутина наблюдалось в контрольном варианте и во всех режимах МА муки мелкого помола, а также при одно- и трехминутной обработке муки грубого помола. Анализ содержания ДКВ в муке *A. patula* показал, что высокое его содержание наблюдалось в контроле при мелком помоле и в вариантах МА, за исключением одноминутного воздействия, при котором выявлено снижение содержания флавоноида в 1,8 раза. Минималь-

**Содержание флавоноидов в биомассе *A. patula* L. при различных вариантах предварительного обмола и времени механоактивационной обработки**

**The content flavonoids in biomass *A. patula* L. with various options for preliminary grinding and time of mechanical activation treatment**

Время, мин Time, minutes	Общее содержание флавоноидов, мг-экв кверцетина/г <sub>сух.ткани</sub> Total flavonoid content, mg-Eq quercetin/g <sub>dry tissue</sub>	Рутин, мг/г <sub>сух. ткани</sub> Rutin, mg/g <sub>dry tissue</sub>	Дигидрокверцетин, мг/г <sub>сух. ткани</sub> Dihydroquercetin, mg/g <sub>dry tissue</sub>	Лютеолин-7-О-глюкозид, мг/г <sub>сух. ткани</sub> Luteolin-7-O-glucoside, mg/g <sub>dry tissue</sub>
<b>Грубый помол/Coarse grinding</b>				
Контроль/ Control	2,780±0,080 <sup>c</sup>	0,450±0,010 <sup>b</sup>	0,030±0,002 <sup>c</sup>	0,060±0,003 <sup>f</sup>
1	2,320±0,060 <sup>a</sup>	0,490±0,020 <sup>c</sup>	0,030±0,001 <sup>c</sup>	0,010±0,001 <sup>a</sup>
2	2,880±0,080 <sup>c</sup>	0,430±0,010 <sup>b</sup>	0,030±0,001 <sup>c</sup>	0,020±0,001 <sup>b</sup>
3	2,610±0,070 <sup>b</sup>	0,490±0,020 <sup>c</sup>	0,010±0,001 <sup>a</sup>	0,050±0,003 <sup>c</sup>
<b>Средний помол/Medium grinding</b>				
Контроль/ Control	2,670±0,080 <sup>b</sup>	0,280±0,010 <sup>a</sup>	0,020±0,001 <sup>b</sup>	0,030±0,002 <sup>c</sup>
1	2,220±0,070 <sup>a</sup>	0,260±0,010 <sup>a</sup>	0,020±0,001 <sup>b</sup>	0,040±0,002 <sup>d</sup>
2	2,750±0,080 <sup>b</sup>	0,260±0,010 <sup>a</sup>	0,020±0,001 <sup>b</sup>	0,040±0,001 <sup>d</sup>
3	2,920±0,090 <sup>c</sup>	0,280±0,010 <sup>a</sup>	0,020±0,001 <sup>b</sup>	0,040±0,001 <sup>d</sup>
<b>Мелкий помол/Fine grinding</b>				
Контроль/ Control	3,240±0,100 <sup>d</sup>	0,550±0,030 <sup>c</sup>	0,070±0,003 <sup>c</sup>	0,060±0,003 <sup>f</sup>
1	3,050±0,090 <sup>c</sup>	0,530±0,020 <sup>c</sup>	0,040±0,002 <sup>d</sup>	0,020±0,001 <sup>b</sup>
2	3,190±0,100 <sup>d</sup>	0,500±0,020 <sup>c</sup>	0,070±0,003 <sup>c</sup>	0,060±0,003 <sup>f</sup>
3	3,330±0,100 <sup>d</sup>	0,510±0,020 <sup>c</sup>	0,070±0,003 <sup>c</sup>	0,030±0,002 <sup>c</sup>

*Примечание.* Значения с одинаковыми надстрочными литерами статистически значимо не различались при  $p < 0,05$ .

*Note.* Values with the same superscript letters were not statistically significantly different at  $p < 0,05$ .

ная концентрация ДКВ была определена в варианте трехминутной МА муки грубого помола (0,010 мг/г<sub>сух. ткани</sub>). Возможно, что длительное МА-воздействие на муку с размером частиц 1,0–1,5 мм (грубый помол) в атмосфере воздуха способствует процессам, связанным с окислением ДКВ, вследствие этого наблюдается снижение его количества в пробах. Следует учесть, что в остальных вариантах при увеличении времени МА снижения количества ДКВ не наблюдалось. Известно, что важное значение имеет и размер частиц, подвергающихся МА-обработке: мука *A. patula* среднего помола в контроле и в вариантах МА-действия содержала одинаковое количество ДКВ, что может указывать на интенсификацию экстрактивности вещества при МА-обработке на фоне возможных процессов окисления. Высокое содержание ДКВ (0,070 мг/г<sub>сух. ткани</sub>) выявлено в муке мелкого помола во всех исследованных

вариантах, за исключением одноминутной МА, где наблюдалось снижение его количества в 1,8 раза относительно значений по группе. Сравнительно разные варианты предмеханоактивационного помола биомассы *A. patula* выявлено снижение в 2,0 раза количества лютеолин-7-О-глюкозида в муке среднего помола относительно контрольных значений других групп, при этом МА-воздействие способствовало увеличению в 1,3 раза его содержания. В вариантах МА муки грубого помола с увеличением времени воздействия наблюдалось повышение содержания данного флавоноида в максимальном значении при трехминутной обработке (0,050 мг/г<sub>сух. ткани</sub>), но в сравнении с контролем по группе его содержание было снижено в 1,2 раза. Количество лютеолин-7-О-глюкозида в растительной муке мелко помола оставалось на уровне контроля только в варианте двухминутного МА-воздействия, тог-

да как при одно- и трехминутном наблюдалось снижение его содержания в 3,0 и 2,0 раза соответственно.

Полученные данные по содержанию ФАВ в *A. patula* позволяют говорить о наиболее оптимальном режиме МА со скоростью вращения ротора 1500 об./мин, в атмосфере воздуха с предмеханоактивационным измельчением биомассы сырья до размеров частиц 0,5–0,6 мм. Следует отметить и тот факт, что помол до размеров частиц 0,5–0,6 мм без применения МА-обработки также содержит высокие концентрации ФАВ в сырье, но при этом не исключается возможность передачи энергии при МА-воздействии на молекулы веществ, что может способствовать увеличению их реакционной способности.

### Выводы

Установлено повышение в 1,2 раза экстрактивности общего количества флавоноидов при измельчении до размеров частиц 0,5–0,6 мм (мелкий помол) относительно изученных вариантов помола. Механоактивационная обработка в течение 1 мин приводила к снижению общего количества флавоноидов во всех вариантах помола. Измельчение до размеров частиц 0,8–0,9 мм (средний помол) способствует снижению содержания рутина в растительной муке в 1,6–2,0 раза относительно контрольных значений исследованных вариантов измельчения. МА-воздействие на муку грубого помола (0,5–0,6 мм) способствовало увеличению выхода рутина, за исключением двухминутной МА-обработки. Измельчение до размеров частиц 0,5–0,6 мм приводит к повышению экстрагирования ДКВ, а при МА-обработке его уровень не изменялся, за исключением одноминутного МА-воздействия, где наблюдалось снижение содержания флавоноида. Показано, что измельчение сырья до размеров 1,0–1,5 и 0,5–0,6 мм способствовало повышению содержания лютеолин-7-О-глюкозида в растительной муке относительно измельчения 0,8–0,9 мм, при этом процесс МА-обработки приводил к снижению его количества, за исключением МА муки среднего помола, где наблюдалось увеличение на 33,3 % содержания лютеолин-7-О-глюкозида относительно контроля по группе.

Установлен наиболее оптимальный режим МА-воздействия со скоростью вращения ротора 1500 об./мин в атмосфере воздуха с предмеханоактивационным измельчением биомассы *A. patula* до размеров частиц 0,5–0,6 мм, который не

влияет на изменение количества исследованных физиологически активных веществ в сырье.

### Литература

1. Бирюков В.В. Основы промышленной биотехнологии. М., 2004. 296 с.
2. Rodionova N.S., Popov E.S., Kustov V.Yu. et al. Impact of mechanical activation on the prebiotic properties of plant biological resources // International Journal of Civil Engineering and Technology. 2019. No. 10(01). P. 1718–1730.
3. Ломовский О.И., Белых В.Д. Механохимическая экстракция водорастворимых компонентов из растительного липидсодержащего сырья // Периодический сборник научных трудов «Обработка дисперсных материалов и сред». 2000. № 10. С. 71–75.
4. Chuev V.P., Kameneva O.D., Chikalo T.M. Use of mechanochemical activation to modify properties of bioactive compounds // Siberian Chemical Journal. 1991. No. 5. P. 156–157.
5. Vedernikov N., Karlivans V., Roze I., Rolle A. Mechanochemical destruction of plant raw materials polysaccharides in presence of small amounts of concentrated sulfuric acid // Siberian Chemical Journal. 1991. No. 5. P. 67–72.
6. Ильина И.А., Земскова З.Г., Миронова О.П. Проблемы интенсификации процесса производства модифицированных пектинов на основе методов механохимии // Наука Кубани. 2007. № 2. С. 61–67.
7. Сунцова А.П., Метелева Е.С., Душкин А.В. Механохимическое получение и исследование водорастворимых композиций на основе флавоноидов – генистеина, дигидрокверцетина, рутина // Фундаментальные исследования. 2014. № 11. С. 2174–2179.
8. Kamarludin S., Jainal S., Azizan M. et al. Mechanical pretreatment of lignocellulosic biomass for biofuel production // Applied Mechanics and Materials. 2014. No. 625. P. 838–841. DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.625.838>
9. Lomovsky O., Bychkov A., Lomovsky I. Mechanical pretreatment. biomass fractionation technologies for a lignocellulosic feedstock based biorefinery. Elsevier. 2016. P. 23-55. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802323-5.00002-5>.
10. Савельева А.В., Юдина Н.В. Механохимические превращения кислородсодержащих соединений липидов торфа // Химия растительного сырья. 2013. № 4. С. 201–206. DOI: 10.14258/jcprm.1304201
11. Zhang W., Liang M., Lu C. Morphological and structural development of hardwood cellulose during mechanochemical pretreatment in solid state through pan-milling // Cellulose. 2007. No. 14(5). P. 447–456.
12. Bychkov A., Podgorbunskikh E., Bychkova E., Lomovsky O. Current achievements in the mechanically pretreated conversion of plant biomass // Biotechnol Bioeng. 2019. Vol. 116(5). P.1231–1244. doi: 10.1002/bit.26925.
13. Vtjurina L.M. Khvoshchev S.S. Synthesis and characterization of MWW zeolites // Studies in Surface

Science and Catalysis. 2002. Vol. 144. P. 671–675. [https://doi.org/10.1016/S0167-2991\(02\)80195-1](https://doi.org/10.1016/S0167-2991(02)80195-1)

14. *Чижевская С.В., Чекмарев А.М., Клименко О.М. и др.* Интенсификация на основе механической активации процессов разложения редкометалльного сырья пиро-, гидро- и сольвометаллургическими методами // Научные основы химии и технологии переработки комплексного сырья и синтеза на его основе функциональных материалов. Сб. научн. тр. Апатиты, 2008. Ч. 1, т. 1. С. 198–200.

15. *Хренкова Т.М.* Механохимическая активация углей. М., 1993. 176 с.

16. *Болдырев В.В.* Экспериментальные методы в механохимии твердых неорганических веществ. Новосибирск, 1983. 64 с.

17. *Аввакумов Е.Г.* Механические методы активации химических процессов. Новосибирск, 1986. 305 с.

18. *Иванова В.П.* Двудольные растения окрестностей г. Якутска (определитель). Якутск, 1990. 160 с.

19. *Конспект флоры Сибири: Сосудистые растения* / сост. Л.И. Малышев, Г.А. Пешкова, К.С. Байкова и др.; под ред. К.С. Байков. Новосибирск, 2005. 362 с.

20. *Тимофеев Н.П.* Протеиновая ценность новых культур в условиях Севера (Теоретическое обоснова-

ние и практическая реализация) // Нетрадиционные природные ресурсы, инновационные технологии и продукты. Сб. научн. тр. Вып. 6. М.: РАЕН, 2002. С. 115–139.

21. *Пашинский В.Г.* Лекарственные растения в терапии сахарного диабета. Томск: НИИ фармакологии ТНЦ СО РАМН, 1990. 145 с.

22. *Воронов И.В.* Аминокислотный состав *Atriplex patula* L. и *Amaranthus retroflexus* L. (Amaranthaceae), произрастающих в Центральной Якутии // Химия растительного сырья. 2018. № 3. С. 69–74. DOI: 10.14258/jsergm.2018033610

23. *Бороненко М.П., Лавриков В.В., Серегин А.Е. и др.* Контроль энергии измельчения и механоактивации планетарной мельницы АГО-3 // Вестник Югорского государственного университета. 2016. № 2 (41). С. 7–16.

24. *Рогожин В.В.* Методы биохимических исследований. Якутск, 1999. 113 с.

25. *Шеин А.А., Прокопьев И.А., Филиппова Г.В., Журавская А.Н.* Влияние техногенного загрязнения на содержание фотосинтетических пигментов и флавоноидов у *Matricaria chamomila* (Asteraceae) // Растительные ресурсы. 2014. № 50(2). С. 235–241.

Поступила в редакцию 15.06.2020

Принята к публикации 03.08.2020

#### Об авторе

ВОРОНОВ Иван Васильевич, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, 677980, Якутск, пр. Ленина, 41, Россия, <https://orcid.org/0000-0002-5460-4024>, Researcher ID:S-8071-2018, [viv\\_2002@mail.ru](mailto:viv_2002@mail.ru).

#### Информация для цитирования

*Воронов И.В.* Содержание флавоноидов в биомассе *Atriplex patula* L. при механоактивационной обработке // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2020, Т. 25, № 3. С. 89–96. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2020-25-3-8>

DOI 10.31242/2618-9712-2020-25-3-8

## The content of flavonoids in *Atriplex patula* L. biomass during mechanical activation treatment

I.V. Voronov

*Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, Yakutsk, Russia*  
[viv\\_2002@mail.ru](mailto:viv_2002@mail.ru)

**Abstract.** The effect of grinding of the aboveground biomass of *Atriplex patula* L. to particle size of 1.0–1.5 mm (coarse grinding), 0.8–0.9 mm (average grinding) and 0.5–0.6 mm (fine grinding) with further processing in a mechanical mill on the total content of flavonoids, amounts of rutin, dihydroquercetin and luteolin-7-o-glucoside in vegetable flour was studied. The total content of flavonoids in the biomass was

determined by means of spectrophotometry, the content of rutin, dihydroquercetin and luteolin-7-O-glucoside was determined by means of HPLC. It was found that the yield of the total amount of flavonoids increased by a factor of 1.2 when crushed to a particle size of 0.5–0.6 mm, with respect to the studied grinding versions. Mechanical activation (MA) for one minute led to a decrease in the total amount of flavonoids in all grinding versions. It was found that grinding to a particle size of 0.8–0.9 mm (average grinding) reduces the content of rutin in plant flour by a factor of 1.6–2.0 with respect to the control. MA of coarse flour increased the yield of rutin, with the exception of the two-minute MA treatment. It was found that grinding to the particle size of 0.5–0.6 mm leads to an increase in the amount of extracted dihydroquercetin; with MA treatment of the resulting flour, dihydroquercetin content does not change, except for one-minute MA, when there was a 1.8 times decrease in dihydroquercetin content. It is shown that the grinding of raw materials to the size of 1.0–1.5 and 0.5–0.6 mm causes an increase in the content of luteolin-7-O-glucoside in plant flour. The MA treatment of plant flour led to a decrease in the amount of luteolin-7-O-glucoside under these grinding conditions. The exception was MA treatment of average-milled flour, where the content of dihydroquercetin increased by 33.3 % (with respect to the control in the group). The most optimal mode of MA was established, with a rotor speed of 1500 rpm in air; with pre-MA grinding of *A. patula* biomass to a particle size of 0.5–0.6 mm, which does not affect the change in the amount of the studied physiologically active substances in the raw material.

**Key words:** mechanical activation, *Atriplex patula* L., rutin, dihydroquercetin, luteolin-7-O-glucoside.

**Acknowledgements.** This work was carried out as part of the state tasks of the IBPC SB RAS on projects № AAAA-A17-117020110056-0.

### References

1. Biryukov V.V. Osnovy promyshlennoj biotekhnologii. M., 2004. 296 p.
2. Rodionova N.S., Popov E.S., Kustov V.Yu. et al. Impact of mechanical activation on the prebiotic properties of plant biological resources // International Journal of Civil Engineering and Technology. 2019. No. 10(01). P. 1718–1730.
3. Lomovsky O.I., Belykh V.D. Mekhanohimicheskaya ekstrakciya vodorastvorimyh komponentov iz rastitel'nogo lipidsoderzhashchego syr'ya // Periodical collection of scientific papers «Processing of dispersed materials and media». 2000, No. 10. P. 71–75.
4. Chuev V.P., Kameneva O.D., Chikalo T.M. Use of mechanochemical activation to modify properties of bioactive compounds // Siberian Chemical Journal. 1991. No. 5. P. 156–157.
5. Vedernikov N., Karlivans V., Roze I., Rolle A. Mechanochemical destruction of plant raw materials polysaccharides in presence of small amounts of concentrated sulfuric acid // Siberian Chemical Journal. 1991. No. 5. P. 67–72.
6. Ilyina I.A., Zemskova Z.G., Mironova O.P. Problemy intensifikacii processa proizvodstva modifitsirovannyh pektinov na osnove metodov mekhanohimii // Nauka Kubani. 2007. No. 2. P. 61–67
7. Suntsova A.P., Meteleva E.S., Dushkin A.V. Mekhanohimicheskoe poluchenie i issledovanie vodorastvorimyh kompozicij na osnove flavonoidov – genisteina, digidrokvercicina, rutina // Fundamentalnye Issledovaniya. 2014. No. 11.P. 2174–2179.
8. Kamarludin S., Jainal S., Azizan M. et al. Mechanical pretreatment of lignocellulosic biomass for biofuel production // Applied Mechanics and Materials. 2014. No. 625. P. 838–841. DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.625.838>
9. Lomovsky O., Bychkov A., Lomovsky I. Mechanical pretreatment. biomass fractionation technologies for a lignocellulosic feedstock based biorefinery. Elsevier. 2016. P. 23-55. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802323-5.00002-5>.
10. Savelyeva A.B., Yudina N.V. Mekhanohimicheskie prevrashcheniya kislorodsoderzhashchih soedinenij lipidov torfa // Chimija rastitelnonogo syriya. 2013. No. 4. P. 201–206. DOI: 10.14258 / jcpr.1304201
11. Zhang W., Liang M., Lu C. Morphological and structural development of hardwood cellulose during mechanochemical pretreatment in solid state through pan-milling // Cellulose. 2007. No. 14(5). P. 447–456.
12. Bychkov A., Podgorbunskikh E., Bychkova E., Lomovsky O. Current achievements in the mechanically pretreated conversion of plant biomass // Biotechnol Bioeng. 2019. Vol. 116(5). P.1231–1244. doi: 10.1002/bit.26925.
13. Vtjurina L.M., Khvoshchev S.S. Synthesis and characterization of MWW zeolites // Studies in Surface Science and Catalysis. 2002. Vol. 144. P. 671–675. [https://doi.org/10.1016/S0167-2991\(02\)80195-1](https://doi.org/10.1016/S0167-2991(02)80195-1)
14. Chizhevskaya S.V., Chekmarev A.M., Klimenko O.M. et al. Intensifikaciya na osnove mekhanicheskoy aktivacii processov razlozheniya redkometal'nogo syr'ya piro-, gidro- i sol'vometallurgicheskimi metodami. // Nauchnyie osnovy khimii i tehnologii pererabotki kompleksnogo syriya i sinteza na ego osnove funkcionalnykh materialov. Sat scientific tr Apatity, 2008. Part 1, vol. 1. P. 198–200.
15. Khrenkova T.M. Mekhanohimicheskaya aktivaciya uglej. M., 1993.176 p.

16. *Boldyrev V.V.* Eksperimental'nye metody v mekhanohimii tverdyh neorganicheskikh veshchestv. Novosibirsk, 1983. 64 p.
17. *Avvakumov E.G.* Mekhanicheskie metody aktivatsii himicheskikh processov. Novosibirsk, 1986. 305 p.
18. *Ivanova V.P.* Dvudol'nye rasteniya okrestnostej g. Yakutska (opredelitel'). Yakutsk, 1990. 160 p.
19. *Konspekt flory Sibiri: Sosudistye rasteniya / sost. L.I. Malyshev, G.A. Peshkova, K.S. Bikes and others; pod red. K.S. Bikes.* Novosibirsk, 2005. 362 p.
20. *Timofeev N.P.* Proteinovaya cennost' novyh kul'tur v usloviyah Severa (Teoreticheskoe obosnovanie i prakticheskaya realizatsiya) // *Netraditsionnyye prirodnyye resursy, innovatsionnyye tehnologii i produkty*. Vol. 6. M., RANS, 2002. P. 115–139.
21. *Pashinsky V.G.* Tomsk: NII farmakologii, TSC SB RAMS, 1990. 145 p.
22. *Voronov I.V.* Aminokislotnyj sostav *Atriplex patula* L. i *Amaranthus retroflexus* L. (Amaranthaceae), proizrastayushchih v Central'noj Yakutii // *Chimija rastitel'nogo syrija*. 2018. No. 3. P. 69–74. DOI: 10.14258/jcpm.2018033610
23. *Boronenko M.P., Lavrikov V.V., Seregin A.E. et al.* Kontrol' energii izmel'cheniya i mekhanoaktivatsii planetarnoj mel'nicy AGO-3 // *Vestnik Yugorskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2016. No. 2 (41). P. 7–16
24. *Rogozhin V.V.* Metody biohimicheskikh issledovanij. Yakutsk, 1999. 113 p.
25. *Shein A.A., Prokopyev I.A., Filippova G.V., Zhuravskaya A.N.* Vliyanie tekhnogen'nogo zagryazneniya na sodержanie fotosinteticheskikh pigmentov i flavonoidov u *Matricaria Chamomila* (Asteraceae) // *Rastitelnyye resursy*. 2014, Vol. 50 (2). P. 235–241.

*About the author*

VORONOV Ivan Vasilievich, candidate of biological sciences, senior researcher, Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, Federal Research Center «Yakut scientific center SB RAS», 41 Lenina pr., Yakutsk 677980, Russia, <https://orcid.org/0000-0002-5460-4024>, Researcher ID:S-8071-2018, [viv\\_2002@mail.ru](mailto:viv_2002@mail.ru).

*Citation*

*Voronov I.V.* The content of flavonoids in *Atriplex patula* L. biomass during mechanical activation treatment // *Arctic and Subarctic Natural Resources*. 2020, Vol. 25, No. 3. P. 89–96. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2020-25-3-8>