

КОМПОНЕНТНЫЙ СОСТАВ
РЕСУРСНЫХ ВИДОВ

ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ РОЗМАРИНОВОЙ КИСЛОТЫ
В *PRUNELLA VULGARIS* И *PRUNELLA GRANDIFLORA* (LAMIACEAE)
НА СРЕДНЕМ И ЮЖНОМ УРАЛЕ

© 2021 г. Е. В. Болотник¹, *, Л. И. Алексеева²

¹ФГБУН Ботанический сад Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург, Россия

²Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН, г. Сыктывкар, Россия

*e-mail: LizaVB@yandex.ru

Поступила в редакцию 07.09.2020 г.

После доработки 20.01.2021 г.

Принята к публикации 10.03.2021 г.

Изучена динамика содержания розмариновой кислоты в *Prunella vulgaris* L. и *Prunella grandiflora* L. (Lamiaceae) на Среднем и Южном Урале. У *P. grandiflora* накопление розмариновой кислоты за вегетационный сезон в разных органах составляет от 0.95 до 64.1 мг/г, у *P. vulgaris* — от 6.60 до 61.3 мг/г. Установлено, что для получения высокопродуктивного лекарственного сырья необходимо собирать надземную и подземную массу *P. vulgaris* и *P. grandiflora*.

Ключевые слова: розмариновая кислота, *Prunella vulgaris* L., *Prunella grandiflora* L., фенофазы, БАВ

DOI: 10.31857/S0033994621020035

Розмариновая кислота широко распространена в растительном мире [1] и перспективна для использования в медицине как противовоспалительное [2], антимуtagenное [3], противоопухолевое, антипролиферативное [4], антиаллергическое [5], антидепрессивное [6], противовирусное средство [7]. Розмариновая кислота, благодаря своему широкому спектру фармакологического действия, все больше привлекает внимание исследователей [8].

Роль розмариновой кислоты в растениях не установлена, однако предполагается, что она является защитным соединением [9]. Известно, что фенольные соединения, к которым относится розмариновая кислота, играют важную физиологическую и экологическую роль, выполняют функции защиты от УФ-излучения, засухи, заморозков, озона, ранений, патогенов, тяжелых металлов [10]. Биотические и абиотические факторы индуцируют биосинтез фенольных соединений в растениях. Уровень розмариновой кислоты в значительной степени зависит от условий выращивания [11]. Стресс приводит к значительному увеличению содержания розмариновой кислоты [12]. Содержание розмариновой кислоты зависит также от фенофазы. Для *Zostera marina* L. показано, что высокие концентрации розмариновой кислоты обнаружены весной, низкие концентрации

— в течение лета и осени [13]. Считается, что во время цветения происходит перераспределение интенсивности синтеза от розмариновой кислоты к флавоноидам [14]. Однако, в растениях *Salvia officinalis* L. уровень розмариновой кислоты начинает расти после цветения. Такие отличия в распределении розмариновой кислоты у различных видов в различные фенофазы не имеют объяснения.

В черноголовке обыкновенной *Prunella vulgaris* L. и черноголовке крупноцветковой *Prunella grandiflora* L. семейства губоцветные Lamiaceae Lindl. нами ранее была обнаружена розмариновая кислота [15]. Содержание и распределение розмариновой кислоты в *P. vulgaris* и *P. grandiflora* на Среднем и Южном Урале до настоящего времени не было исследовано. Петрова Н.В. с соавторами [16] исследовала динамику содержания розмариновой кислоты в листьях *P. vulgaris* в естественных условиях произрастания (Ленинградская обл.) и в эксперименте. Показано, что в естественных условиях содержание розмариновой кислоты увеличивается от бутонизации к плодоношению, а в период вегетации отсутствует во всех образцах. Авторами сделано предположение, что существуют как внутренние, так и внешние факторы, влияющие на ход ее накопления в течение сезона вегетации. Мяделец М.А. и др. [17] исследовали содержа-

ние различных групп биологически активных веществ (БАВ) в *P. vulgaris* (Новосибирская обл.) в зависимости от фазы развития. Наибольшая концентрация БАВ отмечена в листьях и соцветиях в период с начала бутонизации до цветения. На территории Северного Китая для *P. vulgaris* показано, что высокие концентрации розмариновой кислоты обнаружены весной, низкие концентрации – в течение лета и осени [18]. Знание динамики содержания розмариновой кислоты имеет не только фундаментальное, но и практическое значение для оценки возможности использования этих видов в качестве лекарственного сырья.

Для того чтобы более детально рассмотреть локализацию розмариновой кислоты и ее количественное содержание необходимо изучить ее накопление в подземных и надземных органах. Целью нашей работы является изучение распределения розмариновой кислоты в органах растений черной головки обыкновенной *Prunella vulgaris* L. и черной головки крупноцветковой *P. grandiflora* L. в зависимости от фенофазы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Изучение динамики накопления розмариновой кислоты в подземных и надземных органах *Prunella vulgaris* и *P. grandiflora* проводили в естественных условиях произрастания в различные фенофазы на Среднем и Южном Урале в 2012 г. (табл. 1). Выборка в ценопопуляциях составляла 30–40 растений. Анализировали среднюю пробу листьев, соцветий, стеблей и корней из каждой ценопопуляции. Листья собирали со среднего яруса растений.

Сушку растений осуществляли при температуре 60°C. Высушенное сырье измельчали до размера частиц, проходящих сквозь сито с отверстиями 1 мм. Анализ проб проводили в трех повторностях. Сухие пробы (100 мг) экстрагировали 10 мл 96%-ного метанола. Анализ розмариновой кислоты проводили методом обращенно-фазовой ВЭЖХ на хроматографе Knauer: насос Smartline 1000, детектор UV-VIS Smartline 2500, $\lambda = 330$ нм с использованием колонки Kromasil 100-5C18 250 × 4 мм (Eka Nobel, Швеция), элюент вода–ацетонитрил–фосфорная кислота (85 : 15 : 0.05, по объему) при скорости элюирования 0.7 мл/мин. Количество розмариновой кислоты рассчитывали методом абсолютной градуировки. Содержание розмариновой кислоты приводили как среднее \pm стандартное отклонение.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для изучения динамики накопления розмариновой кислоты у видов *P. vulgaris*, *P. grandiflora* в различные фенофазы провели анализ ее накопления в подземных и надземных органах (табл. 2, 3).

У *P. vulgaris* в вегетацию содержание розмариновой кислоты соответствовало диапазону 43.2–55.11 мг/г в листьях, 33.3–40.63 мг/г в стеблях, 31.0–43.2 мг/г в корнях (табл. 2). В фенофазу цветения в листьях *P. vulgaris* накапливается розмариновой кислоты от 30.4 до 33.8 мг/г, в стеблях – от 15.8 до 21.8 мг/г, в корнях – от 38.1 до 45.3 мг/г, в соцветиях – от 24.7 до 61.3 мг/г. В фенофазу плодоношения содержание розмариновой кислоты в органах *P. vulgaris* варьирует в интервале: в листьях – от 11.1 до 24.0 мг/г, в стеблях – от 13.9 до 23.3 мг/г, в корнях – от 22.0 до 37.9 мг/г, в соцветиях – от 6.6 до 16.4 мг/г. У *P. vulgaris* отмечены высокие концентрации розмариновой кислоты во всех органах в фазу вегетации, в соцветия и корнях – в период цветения, в корнях – в период плодоношения.

У *P. grandiflora* в вегетацию содержание розмариновой кислоты соответствовало диапазону 21.5–31.2 мг/г в листьях, 18.2–26.7 мг/г в стеблях, 26.7–33.0 мг/г в корнях (табл. 3). В фенофазу цветения в листьях *P. grandiflora* накапливается розмариновой кислоты от 27.2 до 64.10 мг/г, в стеблях – от 15.4 до 20.3 мг/г, в корнях – от 36.2 до 51.2 мг/г, в соцветиях – от 24.4 до 40.6 мг/г. В фенофазу плодоношения содержание розмариновой кислоты в органах *P. grandiflora* варьирует в интервале: в листьях – от 28.3 до 40.09 мг/г, в стеблях – от 17.7 до 24.5 мг/г, в корнях – от 21.8 до 44.0 мг/г, в соцветиях – от 0.95 до 12.5 мг/г. В частности, в большинстве точек сбора наименьшие концентрации розмариновой кислоты в органах отмечены в фазе вегетации, максимальное накопление вещества – в фазе цветения в листьях и корнях, высокое содержание розмариновой кислоты показано в листьях и корнях для растений, приступивших к плодоношению. В течение вегетационного периода наблюдается изменение содержания розмариновой кислоты в различных органах растения. Однако в отличие от *Salvia officinalis* – продуцента розмариновой кислоты [13], у *P. vulgaris* и *P. grandiflora* не наблюдается градиента концентраций розмариновой кислоты между подземной и надземной частью, изменение которого совпадает с фенофазой развития растений. Причины перераспределения розмариновой кислоты по органам пока неизвестны, однако полученный результат указывает на целесообразность сбора травы с корнями.

Таблица 1. Географические пункты сбора растений рода *Prunella***Table 1.** Location of the collection sites of *Prunella* species

<i>P. vulgaris</i>	
1	Орловка, Челябинская обл., Усть-Катавский округ, сосновый лес у поселка Орловка, берег р. Катав. Координаты: h – 394 м над ур. моря; N 54°52'17"; E 58°5'22" Orlovka, Chelyabinsk region, Ust-Katavsky district, pine forest near Orlovka village, the bank of the Katav River. Elevation 394 m AMSL; N 54°52'17"; E 58°5'22"
2	Хрустальная, Свердловская обл., Первоуральский район, сосновый лес близ станции Хрустальная. Координаты: h – 241 м над ур. моря; N 56°50'58.6"; E 060°10'13.8" Khrustalnaya, Sverdlovsk region, Pervouralsky district, pine forest near the station Khrustalnaya. Elevation 241 m AMSL; N 56°50'58.6"; E 060°10'13.8"
3	Сысерть (Биостанция УрФУ), Свердловская обл., Сысертский район, сосновый лес близ биостанции УрГУ. Координаты: h – 250 м над ур. моря; N 56°36'4" E 61°3'25" Sysert (the UrFU Biological Station), Sverdlovsk region, Sysert district, pine forest near the Ural State University biological station. Elevation 250 m AMSL; N 56°36'4" E 61°3'25"
4	Нижний Иргинск, Свердловская обл., северо-западная часть Красноуфимского района, около д. Нижний Иргинск. Координаты: h – 345 м над ур. моря; N 56°52'33.1"; E 057°27'00.5" Nizhny Irginsk, Sverdlovsk region, north-western part of Krasnoufimsky district, near Nizhny Irginsk village. Elevation 345 m AMSL; N 56°52'33.1"; E 057°27'00.5"
<i>P. grandiflora</i>	
1	Кутушево, Республика Башкортостан, Мечетлинский район, юго-восточный склон горы близ села Кутушево, опушка березового леса. Координаты: h – 327 м над ур. моря; N 55°20'56.7"; E 058°29'11.1" Kutushevo, the Republic of Bashkortostan, Mechetlinsky district, south-eastern slope of a mountain near Kutushevo village, edge of birch forest. Elevation 327 m AMSL, N 55°20'56.7"; E 058°29'11.1"
2	Илек, Челябинская обл., Ашинский район, березовый лес вблизи села Илек. Координаты: h – 469 м над ур. моря; N 55°13'44"; E 58°0'5" Ilek, Chelyabinsk region, Ashinsky district, birch forest near Ilek village. Elevation 469 m AMSL; N 55°13'44"; E 58°0'5"
3	Александровские сопки, Свердловская обл., Красноуфимский район, южный склон сопки. Координаты: h – 334 м над ур. моря; N 56°43'14.8"; E 057°47'08.5" Aleksandrovskiye sopki, Sverdlovsk region, Krasnoufimsky district, the southern slope of the hills. Elevation 334 m AMSL; N 56°43'14.8"; E 057°47'08.5"
4	Мокрая, Свердловская обл., Красноуфимский район, к северу от д. Марийский – Усть-Маш, центральная часть юго-восточного склона горы Мокрая. Координаты: h – 325 м над ур. моря; N 56°19'51"; E 057°53'56.6" Mokraya, Sverdlovsk region, Krasnoufimsky district, to the north of the village Mariisky - Ust-Mash, the central part of the south-eastern slope of Mokraya mountain. Elevation 325 m AMSL; N 56°19'51"; E 057°53'56.6"
5	Средний Мунчуг, Республика Башкортостан, Мечетлинский район, у села Большеустыикинское, березовый лес на юго-западном склоне горы Средний Мунчуг. Координаты: h – 374 м над ур. моря; N 55°54'38.3"; E 058°26'26.5" Sredny Munchug, the Republic of Bashkortostan, Mechetlinsky district, near the Bolsheustikinskoe village, birch forest on the south-western slope of Sredny Munchug mountain. Elevation 374 m AMSL; N 55°54'38.3"; E 058°26'26.5"

Таблица 2. Динамика накопления розмариновой кислоты в органах растений *P. vulgaris* по фенофазам (мг/г)
Table 2. Phenological stage-related dynamics of rosmarinic acid accumulation in *P. vulgaris* plant organs (mg/g)

Местообитание/ Фенофазы Habitat/Phenological stage	Вегетация Vegetation			Цветение Blooming				Плодоношение Fruiting			
	листья leaves	стебли stems	корни roots	листья leaves	стебли stems	корни roots	соцветия inflorescences	листья leaves	стебли stems	корни roots	соцветия inflorescences
Орловка Orlovka	44.5 ± 1.4	40.63 ± 1.21	43.2 ± 1.5	32.58 ± 1.22	21.8 ± 0.7	20.5 ± 0.8	41.9 ± 1.7	24.0 ± 0.8	23.3 ± 0.7	22.0 ± 0.5	6.6 ± 0.3
Хрустальная Khrustalnaya	43.2 ± 1.3	34.5 ± 0.9	32.7 ± 1.1	33.8 ± 1.9	21.7 ± 0.8	27.8 ± 0.9	24.7 ± 0.7	–	–	–	–
Биос Bios	55.1 ± 1.5	33.3 ± 1.0	31.0 ± 0.9	30.7 ± 0.8	15.8 ± 0.5	45.3 ± 1.9	61.3 ± 2.6	–	–	–	–
Нижний Иргинск Nizhny Irginsk	–	–	–	30.4 ± 1.0	19.3 ± 0.7	38.1 ± 1.6	28.3 ± 0.9	11.0 ± 0.5	13.9 ± 0.6	37.9 ± 0.7	16.4 ± 1.0

Таблица 3. Динамика накопления розмариновой кислоты в органах растений *P. grandiflora* по фенофазам (мг/г)
Table 3. Phenological stage-related dynamics of rosmarinic acid accumulation in *P. grandiflora* plant organs (mg/g)

Местообитание/ Фенофазы Habitat/Phenological stage	Вегетация Vegetation			Цветение Blooming				Плодоношение Fruiting			
	листья leaves	стебли stems	корни roots	листья leaves	стебли stems	корни roots	соцветия inflorescences	листья leaves	стебли stems	корни roots	соцветия inflorescences
Кутушево Kutushevo	21.5 ± 0.8	22.5 ± 0.9	26.7 ± 0.6	27.2 ± 0.9	19.2 ± 1.0	46.4 ± 1.7	24.7 ± 0.8	28.3 ± 1.0	24.5 ± 0.7	24.4 ± 0.3	1.71 ± 0.10
Илек Пек	31.2 ± 0.7	18.2 ± 0.8	32.0 ± 0.8	32.1 ± 0.7	15.4 ± 0.6	44.90 ± 1.20	25.7 ± 1.0	32.7 ± 0.9	20.9 ± 0.7	29.1 ± 0.5	12.5 ± 0.2
Александровские сопки Aleksandrovsky sopka	31.1 ± 0.8	26.7 ± 1.0	33.0 ± 0.8	64.10 ± 2.24	19.7 ± 0.6	51.2 ± 1.5	24.4 ± 0.7	40.09 ± 1.20	22.7 ± 0.6	25.5 ± 0.8	0.95 ± 0.10
Мокрая Мокрая	–	–	–	47.33 ± 1.20	20.3 ± 0.6	36.2 ± 1.3	40.6 ± 0.9	33.8 ± 1.0	20.1 ± 0.4	44.0 ± 0.4	8.03 ± 0.13
Средний Мунчуг Sredny Munchug	–	–	–	–	–	–	–	31.8 ± 1.0	17.7 ± 0.4	21.8 ± 0.4	1.94 ± 0.14

Динамика содержания розмариновой кислоты в стеблях *P. grandiflora* носит более консервативный характер, то есть мало изменяется в период вегетации, цветения и плодоношения (рис. 1). В соцветиях максимальные концентрации розмариновой кислоты отмечены в фазу цветения, в фазу плодоношения ее содержание значительно снижается. В листьях содержание розмариновой кислоты повышается от вегетации к цветению, в фазу плодоношения количество ее снижается. Установлено, что наиболее предпочтительной для сбора является фаза цветения, так как накапливается максимальное количество розмарино-

вой кислоты во всей надземной и подземной части растения за сезон.

Как показали результаты исследований, для *P. vulgaris* характерно максимальное накопление розмариновой в листьях в период вегетации и в соцветиях в фазе цветения (рис. 2). В стеблях максимальная концентрация розмариновой кислоты отмечена в фазу вегетации. В фазу цветения в стеблях содержание розмариновой кислоты снижается в два раза. Во время цветения и плодоношения концентрации ее в стеблях одинаковы. Для листьев и стеблей характерно снижение концентрации от вегетации к плодоношению. В соцветиях максимальные концентрации розмарино-

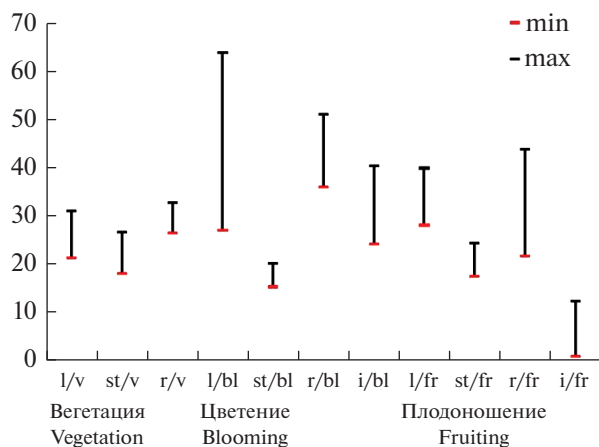


Рис. 1. Содержание розмариновой кислоты в органах *P. grandiflora* в различные фенофазы.

По горизонтали – органы и фенофазы: 1/v (листья, вегетация), st/v (стебли, вегетация), r/v (корни, вегетация), 1/bl (листья, цветение), st/bl (стебли, цветение), r/bl (корни, цветение), i/bl (соцветия, цветение), l/fr (листья, плодоношение), st/fr (стебли, плодоношение), r/fr (корни, плодоношение), i/fr (соцветия, плодоношение); *по вертикали* – содержание розмариновой кислоты, мг/г сухого растения.

Fig. 1. Phenological stage-related content of rosmarinic acid in *P. grandiflora* plant organs.

X-axis – plant organs and phenological stages: 1/v (leaves, vegetation), st/v (stems, vegetation), r/v (roots, vegetation), 1/bl (leaves, blooming), st/bl (stems, blooming), r/bl (roots, blooming), i/bl (inflorescences, blooming), l/fr (leaves, fruiting), st/fr (stems, fruiting), r/fr (roots, fruiting), i/fr (inflorescences, fruiting); *y-axis* – content of rosmarinic acid, mg/g of dry matter.

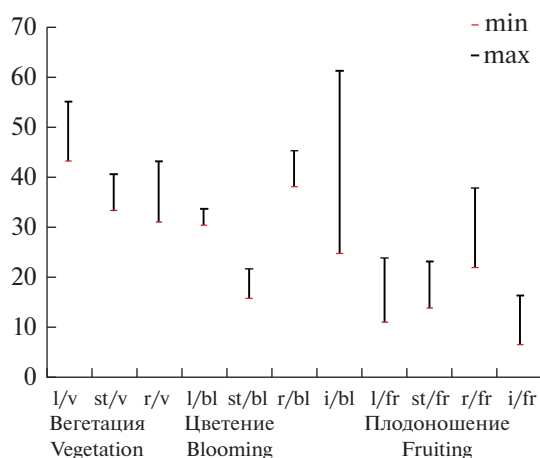


Рис. 2. Содержание розмариновой кислоты в органах растения *P. vulgaris* в различные фенофазы.

По горизонтали – органы и фенофазы: 1/v (листья, вегетация), st/v (стебли, вегетация), r/v (корни, вегетация), 1/bl (листья, цветение), st/bl (стебли, цветение), r/bl (корни, цветение), i/bl (соцветия, цветение), l/fr (листья, плодоношение), st/fr (стебли, плодоношение), r/fr (корни, плодоношение), i/fr (соцветия, плодоношение); *по вертикали* – содержание розмариновой кислоты, мг/г сухого растения.

Fig. 2. Phenological stage-related content of rosmarinic acid in *P. vulgaris* plant organs.

X-axis – organs and phenological stages: 1/v (leaves, vegetation), st/v (stems, vegetation), r/v (roots, vegetation), 1/bl (leaves, blooming), st/bl (stems, blooming), r/bl (roots, blooming), i/bl (inflorescences, blooming), l/fr (leaves, fruiting), st/fr (stems, fruiting), r/fr (roots, fruiting), i/fr (inflorescences, fruiting); *y-axis* – content of rosmarinic acid, mg/g of dry matter.

вой кислоты отмечены в цветение, в фазу плодоношения ее содержание значительно снижается. Высокие концентрации розмариновой кислоты обнаружены в фазу вегетации: в листьях, стеблях и корнях *P. vulgaris* накапливаются максимальные концентрации розмариновой кислоты за сезон. Результаты по высокому содержанию розмариновой кислоты в период вегетации в листьях не вполне согласуются с данными, полученными ранее по этому виду [16]. Однако, известно, что уровень розмариновой кислоты в значительной степени зависит от условий произрастания [11]. Таким образом, определение оптимальных сроков сбора будет зависеть от географического места сбора и фитоценологических условий. Установлено, что необходимо проводить сбор подземной и надземной части растения для получения ценного сырья. Согласно литературным сведениям, у некоторых видов семейства Lamiaceae также выявлено высокое содержание розмариновой кислоты не только в надземной части растений, но и в корнях [19]. Локализация розмариновой кислоты в репродуктивных органах укладывается в

гипотезу об экологической роли розмариновой кислоты у растений, т.е. веществ, сдерживающих численность фитофагов: растения создают повышенный градиент концентрации розмариновой кислоты в органах, ответственных за сохранение вида.

ВЫВОДЫ

У *P. vulgaris* за вегетационный сезон розмариновой кислоты накапливается в листьях от 11.0 до 55.1 мг/г, в стеблях от 13.9 до 40.63 мг/г, в соцветиях от 6.6 до 61.3 мг/г, в корнях от 22.0 до 45.3 мг/г. У *P. grandiflora* отмечено содержание розмариновой кислоты в листьях от 21.5 до 64.10 мг/г, в стеблях от 15.4 до 26.7 мг/г, в корнях от 21.8 до 51.2 мг/г, а в соцветиях от 0.95 до 40.6 мг/г. Таким образом, высокая концентрация розмариновой кислоты отмечена как в надземной, так и в подземной части растений *P. vulgaris*, *P. grandiflora*. От цветения к плодоношению содержание розмариновой кислоты в соцветиях значительно снижается до минимальных значений. Дальнейшие исследования содержания розмариновой кислоты у черноголовки

и других видов, несомненно, будут весьма полезными для понимания центров и путей биосинтеза этих веществ, их биогенетических связей и роли, которую они играют в жизни растений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Petersen M., Abdullah Y., Benner J., Eberle D., Gehlen K., Hücherig S., Janiak V., Kim K. H., Sander M., Weitzel C., Wolters S. 2009. Evolution of rosmarinic acid biosynthesis. — *Phytochemistry*. 70(15–16): 1663–1679. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2009.05.010>
2. Santamaria L., Tateo F., Bianchi A., Bianchi L. 1987. Rosmarinus officinalis extract inhibits as antioxidant mutagenesis by 8-methoxypsoralen (8-MOP) and benzo[a]pyrene (BP) in *Salmonella typhimurium*. — *Med. Biol. Environ.* 15: 97–101.
3. Makino T., Ono T., Muso E., Yoshida H., Honda G., Sasayama S. 2000. Inhibitory effects of rosmarinic acid on the proliferation of cultured murine mesangial cells. — *Nephrol. Dial. Transplant.* 15(8): 1140–1145. <https://doi.org/10.1093/ndt/15.8.1140>
4. McCue P.P., Kalidas S. 2004. Inhibitory effects of rosmarinic acid extracts on porcine pancreatic amylase in vitro. — *Asia Pac. J. Clin. Nutr.* 13(1): 101–106. <http://apjcn.nhri.org.tw/server/APJCN/13/1/101.pdf>
5. Takeda H., Tsuji M., Matsumiya T., Kubo M. 2002. Identification of rosmarinic acid as a novel antidepressive substance in the leaves of *Perilla frutescens* Britton var. *acuta* Kudo (*Perillae Herba*). — *Jpn. J. Neuropsychopharmacol.* 22(1): 15–22. PMID: 11917505
6. Dimitrova Z., Dimov B., Manolova N., Pancheva S., Ilieva D., Shishkov S. 1993. Antiherpes effect of *Melissa officinalis* L. extracts. — *Acta Microbiol. Bulg.* 29: 65–72. PMID: 8390134
7. Mazumder A., Neamati N., Sunder S., Schulz J., Pertz H., Eich E., Pommier V. 1997. Curcumin analogues with altered potencies against HIV-1 integrase as probes for biochemical mechanisms of drug action. — *J. Med. Chem.* 40(19): 3057–30637. <https://doi.org/10.1021/jm970190x>
8. Буданцев А.А., Лесиовская Е.Е. 2012. Розмариновая кислота: источники и биологическая активность. — *Раст. ресурсы*. 48(3): 453–468. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17823120>
9. Petersen M., Häusler E., Karwatzki B., Meinhard J. 1993. Proposed biosynthetic pathway for rosmarinic acid in cell cultures of *Coleus blumei* Benth. — *Planta*. 189(1): 10–14. <https://doi.org/10.1007/BF00201337>
10. Dixon R.A., Paiva N.L. 1995. Stress-induced phenylpropanoid metabolism. — *The Plant Cell*. 7(7): 1085–1097. <https://doi.org/10.1105/tpc.7.7.1085>
11. Fletcher R.S., Slimmon T., McAuley C.Y., Kott L.S. 2005. Heat stress reduces the accumulation of rosmarinic acid and the total antioxidant capacity in spearmint (*Mentha spicata* L.). — *J. Sci. Food Agric.* 85(14): 2429–2436. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2270>
12. Bettaieb I., Hamrouni-Sellami I., Bourgou S., Limam F., Marzouk B. 2011. Drought effects on polyphenol composition and antioxidant activities in aerial parts of *Salvia officinalis* L. — *Acta Physiol. Plant.* 33(4): 1103–1111. <https://doi.org/10.1007/s11738-010-0638-z>
13. Ravn H., Pedersen M.F., Borum J., Andary C., Anthoni U., Christophersen C., Nielsen P.H. 1994. Seasonal variation and distribution of two phenolic compounds, rosmarinic acid and caffeic acid, in leaves and roots-rhizomes of eelgrass (*Zostera Marina* L.). — *Ophelia*. 40(1): 51–61. <https://doi.org/10.1080/00785326.1994.10429550>
14. Generalić I., Skroza D., Šurjak J., Možina S.S., Ljubenković I., Katalinić A., Šimat V., Katalinić V. 2012. Seasonal Variations of Phenolic Compounds and Biological Properties in Sage (*Salvia officinalis* L.). — *Chem. Biodivers.* 9(2): 441–457. <https://doi.org/10.1002/cbdv.201100219>
15. Алексеева Л.И., Болотник Е.В. 2013. Розмариновая кислота и антиоксидантная активность *Prunella grandiflora* и *Prunella vulgaris* (Lamiaceae). — *Растительный мир Азиатской России*. 1(11): 121–125. <http://www.izdatgeo.ru/pdf/rast/2013-1/121.pdf>
16. Петрова Н.В., Буданцев А.Л., Медведева Н.А., Шаварда А.Л. 2016. Динамика содержания розмариновой кислоты в листьях *Prunella vulgaris* (Lamiaceae) в природе и в эксперименте. — *Раст. ресурсы*. 2: 295–303. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25818699>
17. Мяделец М.А., Кукушкина Т.А., Барсукова И.Н. 2014. Содержание биологически активных веществ в *Prunella vulgaris* L. (Lamiaceae) в зависимости от фазы развития. — *Сиб. мед. журн (Иркутск)*. 127(4): 102–105. <http://smj.ismu.baikal.ru/index.php/osn/issue/view/26/2014-4>
18. Chen Y., Guo Q.S., Zhu Z.B., Zhang L.X. 2012. Changes in bioactive components related to the harvest time from the species of *Prunella vulgaris*. — *Pharm. Biol.* 50(9): 1118–1122. <https://doi.org/10.3109/13880209.2012.658477>
19. Luis J.C., Johnson C.B. 2005. Seasonal variations of rosmarinic and carnosic acids in rosemary extracts. Analysis of their *in vitro* antiradical activity. — *Spanish Journal of Agricultural Research*. 3(1): 106–112. <https://doi.org/10.5424/sjar/2005031-130>

Dynamics of Rosemarinic Acid Content in *Prunella vulgaris* and *Prunella grandiflora* (Lamiaceae) in the Middle and Southern Urals

E. V. Bolotnik^{a, *}, L. I. Alekseeva^b

^aFGBI Botanical Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

^bInstitute of Biology, Komi Scientific Center, Ural Branch, RAS, Syktyvkar, Russia

*e-mail: LizaVB@yandex.ru

Abstract—The dynamics of rosmarinic acid content in *Prunella vulgaris* L. and *Prunella grandiflora* L. in the Middle and Southern Urals was studied. Seasonal accumulation of rosmarinic acid in different plant parts ranges from 0.95 to 64.1 mg/g in *P. grandiflora* and from 6.60 to 61.3 mg/g in *P. vulgaris*. It was established that to obtain high quality medicinal raw materials, collection of both the above- and belowground parts of *P. vulgaris* and *P. grandiflora* is recommended.

Keywords: rosmarinic acid, *Prunella vulgaris* L., *Prunella grandiflora* L., phenophases, biologically active substances

REFERENCES

- Petersen M., Abdullah Y., Benner J., Eberle D., Gehlen K., Hücherig S., Janiak V., Kim K.H., Sander M., Weitzel C., Wolters S. 2009. Evolution of rosmarinic acid biosynthesis. — *Phytochemistry*. 70(15–16): 1663–1679. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2009.05.010>
- Santamaria L., Tateo F., Bianchi A., Bianchi L. 1987. Rosmarinus officinalis extract inhibits as antioxidant mutagenesis by 8-methoxypsoralen (8-MOP) and benzo[a]pyrene (BP) in *Salmonella typhimurium*. — *Med. Biol. Environ.* 15: 97–101.
- Makino T., Ono T., Muso E., Yoshida H., Honda G., Sasayama S. 2000. Inhibitory effects of rosmarinic acid on the proliferation of cultured murine mesangial cells. — *Nephrol. Dial. Transplant.* 15(3): 1140–1145. <https://doi.org/10.1093/ndt/15.8.1140>
- McCue P.P., Kalidas S. 2004. Inhibitory effects of rosmarinic acid extracts on porcine pancreatic amylase *in vitro*. — *Asia Pac. J. Clin. Nutr.* 13(1): 101–106. <http://apjcn.nhri.org.tw/server/APJCN/13/1/101.pdf>
- Takeda H., Tsuji M., Matsumiya T., Kubo M. 2002. Identification of rosmarinic acid as a novel antidepressive substance in the leaves of *Perilla frutescens* Britton var. *acuta* Kudo (*Perillae Herba*). — *Jpn. J. Neuropsychopharmacol.* 22(1): 15–22. PMID: 11917505
- Dimitrova Z., Dimov B., Manolova N., Pancheva S., Ilieva D., Shishkov S. 1993. Antiherpes effect of *Melissa officinalis* L. extracts. — *Acta Microbiol. Bulg.* 29: 65–72. PMID: 8390134
- Mazumder A., Neamati N., Sunder S., Schulz J., Pertz H., Eich E., Pommier V. 1997. Curcumin analogues with altered potencies against HIV-1 integrase as probes for biochemical mechanisms of drug action. — *J. Med. Chem.* 40(19): 3057–30637. <https://doi.org/10.1021/jm970190x>
- Budantsev A.L., Lisiovskaya E.E. 2012. Rosmarinic acid: resources and biological activity. — *Rastitelnye Resursy*. 48(3): 453–468. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17823120> (In Russian)
- Petersen M., Häusler E., Karwatzki B., Meinhard J. 1993. Proposed biosynthetic pathway for rosmarinic acid in cell cultures of *Coleus blumei* Benth. — *Planta*. 189(1): 10–14. <https://doi.org/10.1007/BF00201337>
- Dixon R.A., Paiva N.L. 1995. Stress-induced phenylpropanoid metabolism. — *The Plant Cell*. 7(7): 1085–1097. <https://doi.org/10.1105/tpc.7.7.1085>
- Fletcher R.S., Slimmon T., McAuley C.Y., Kott L.S. 2005. Heat stress reduces the accumulation of rosmarinic acid and the total antioxidant capacity in spearmint (*Mentha spicata* L.). — *J. Sci. Food Agric.* 85(14): 2429–2436. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2270>
- Bettaieb I., Hamrouni-Sellami I., Bourgou S., Limam F., Marzouk B. 2011. Drought effects on polyphenol composition and antioxidant activities in aerial parts of *Salvia officinalis* L. — *Acta Physiol. Plant.* 33(4): 1103–1111. <https://doi.org/10.1007/s11738-010-0638-z>
- Ravn H., Pedersen M.F., Borum J., Andary C., Anthoni U., Christophersen C., Nielsen P.H. 1994. Seasonal variation and distribution of two phenolic compounds, rosmarinic acid and caffeic acid, in leaves and roots-rhizomes of eelgrass (*Zostera Marina* L.). — *Ophelia*. 40(1): 51–61. <https://doi.org/10.1080/00785326.1994.10429550>
- Generalić I., Skroza D., Šurjak J., Možina S.S., Ljubenković I., Katalinić A., Šimat V., Katalinić V. 2012. Seasonal Variations of Phenolic Compounds and Biological Properties in Sage (*Salvia officinalis* L.). — *Chem. Biodivers.* 9(2): 441–457. <https://doi.org/10.1002/cbdv.201100219>

15. *Alekseeva L.I., Bolotnik E.V.* 2013. Rosmarinic acid and antioxidant activity of *Prunella grandiflora* и *Prunella vulgaris* (Lamiaceae). – Rastitelnyj Mir Aziatskoj Rossii. 1(11): 121–125. <http://www.izdatgeo.ru/pdf/rast/2013-1/121.pdf> (In Russian)
16. *Petrova N.V., Budantsev A.L., Medydeva N.A., Shavarda A.L.* 2016. Content of rosmarinic acid in leaves of *Prunella vulgaris* (Lamiaceae) in nature and experiment. – Rastitelnye Resursy. 2: 295–303. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25818699> (In Russian)
17. *Myadelets M.A., Kukushkina T.A., Barsukova I.N.* 2014 The content of biologically active substances in *Prunella vulgaris* L. (Lamiaceae) depending on the phase of development. – Sibirsky Meditsinsky Zhurnal (Irkutsk). 127(4): 102–105. <http://smj.ismu.baikal.ru/index.php/osn/issue/view/26/2014-4> (In Russian)
18. *Chen Y., Guo Q.S., Zhu Z.B., Zhang L.X.* 2012. Changes in bioactive components related to the harvest time from the species of *Prunella vulgaris*. – Pharm. Biol. 50(9): 1118–1122. <https://doi.org/10.3109/13880209.2012.658477>
19. *Luis J.C., Johnson C.B.* 2005. Seasonal variations of rosmarinic and carnosic acids in rosemary extracts. Analysis of their *in vitro* antiradical activity. – Spanish Journal of Agricultural Research. 3(1): 106–112. <https://doi.org/10.5424/sjar/2005031-130>