

УДК 577.164:543.544.5.068.7

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОДОРАСТВОРИМЫХ ВИТАМИНОВ В ПЛОДАХ РАСТОРОПШИ ПЯТНИСТОЙ, ПРОИЗРАСТАЮЩЕЙ В ЕСТЕСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ В РЕСПУБЛИКЕ ДАГЕСТАН

© Ш.А. Балаева<sup>1</sup>, А.Ш. Рамазанов<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup> Дагестанский государственный университет, ул. М. Гаджиева, 43а,  
Махачкала, 367000 (Россия)

<sup>2</sup> Институт проблем геотермии и возобновляемой энергетики (филиал  
ФГБУН «Объединенный институт высоких температур РАН»),  
пр. И. Шамиля, 39а, Махачкала, 367030 (Россия),  
e-mail: a\_ramazanov\_@mail.ru

Работа посвящена определению водорастворимых витаминов в плодах расторопши пятнистой, произрастающей в естественных условиях в некоторых районах Республики Дагестан, отличающихся друг от друга природно-климатическими условиями: Сулейман Стальский, Кайтагский, Магарамкентский, Левашинский и Кулинский районы. Фенотипические факторы (высота над уровнем моря, состав почвы, количество солнечных дней, объем осадка, влажность воздуха, средняя дневная температура и др.) отразились на витаминном составе плодов расторопши пятнистой, произрастающей в естественных условиях. Для определения водорастворимых витаминов в образцах плодов расторопши пятнистой использовали высокоэффективную жидкостную хроматографию в режиме градиентного элюирования. Идентифицированы и количественно определены девять водорастворимых витаминов в плодах расторопши пятнистой (аскорбиновая кислота, витамины группы В и РР). Установлена вариативность содержания водорастворимых витаминов в плодах дикорастущей расторопши в зависимости от условий произрастания. Статистический анализ массива данных по витаминному составу показал наличие не только значимых симбатных и асимбатных корреляций типа  $Y=aX+b$  (коэффициент парной корреляции  $|R|\geq 0.55$ ), но и тесных природных корреляций ( $|R|\geq 0.80$ ) между содержанием некоторых витаминов и отдельными фенотипическими факторами.

*Ключевые слова:* расторопша пятнистая, плоды, водорастворимые витамины, фенотипическая изменчивость, высокоэффективная жидкостная хроматография.

### Введение

Плоды расторопши пятнистой (РП) широко используются в фармации как источник флаволигнанов для производства гепатопротекторных лекарственных средств [1, 2]. После извлечения жирного масла и флаволигнанов остается шрот, который используют для улучшения биологической ценности хлебобулочных и макаронных изделий благодаря содержанию незаменимых аминокислот, водорастворимых витаминов и микро- и макроэлементов [3, 4]. Изучению содержания основных БАВ (жирное масло, флаволигнаны, белки, углеводы, аминокислоты) в плодах РП в зависимости от климатических условий посвящены работы [5, 6].

Водорастворимые витамины играют роль биологических катализаторов и требуются организму в небольших количествах [7]. Восемь витаминов группы В В1 (тиамин), В2 (рибофлавин), В3 (ниацин), В5 (пантотеновая кислота), В6 (пиридоксин), В7 (биотин), В9 (фолиевая кислота) и В12 (кобаламин) образуют группу химически очень разнородных незаменимых веществ, которые имеют широкий спектр функций в

---

*Балаева Шамсият Абдулмеджидовна* – кандидат химических наук, учебный мастер кафедры аналитической и фармацевтической химии, e-mail: balashamsiyat@mail.ru

*Рамазанов Арсен Шамсудинович* – доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой аналитической и фармацевтической химии, e-mail: a\_ramazanov\_@mail.ru

организме человека. Несмотря на то, что биохимически не связаны, они объединены в одну группу, так как встречаются в одних и тех же продуктах и обладают общей особенностью быть растворимыми в воде. Все витамины группы В играют ре-

---

\* Автор, с которым следует вести переписку.

шающую роль в качестве коферментов для ферментативных реакций в различных биологических системах, они тесно взаимосвязаны и дополняют друг друга [8, 9]. Организм людей не способен синтезировать большинство витаминов группы В и поэтому их поступление зависит от рациона питания [10]. Дефицит того или иного витамина приводит к снижению активности соответствующего фермента и снижению соответствующей реакции, что по цепочке приводит к сбою метаболизма других соединений. Так, например, витамины группы В участвуют в энергетическом обмене и нервной регуляции, витамины группы РР обладают антиоксидантными свойствами, очищают кровеносные сосуды и защищают их от повреждений, витамин С поддерживает функции соединительной ткани, эластичность и прочность кровеносных сосудов, повышает устойчивость к острым респираторным заболеваниям [7, 11].

В настоящее время увеличивается спрос на нетрадиционные растения как источники водорастворимых витаминов. Для определения водорастворимых витаминов в объектах растительного происхождения наиболее перспективным является метод ВЭЖХ [12–16]. Так, в работе [12] для оценки содержания водорастворимых витаминов в сухом экстракте расторопши пятнистой, произрастающей в Узбекистане, использовали метод ВЭЖХ с диодно-матричным детектированием [12], в работе [13] содержание водорастворимых витаминов в разных частях бананового дерева определяли ВЭЖХ с ультрафиолетовым детектированием, в [14] в плодах тропических фруктов – с использованием диодно-матричного детектора, в [15] в семенах амаранта – с флуоресцентным детектором, в [16] в микрозелени разных культур – методом жидкостной тандемной хромато-масс-спектрометрии.

Исследованию влияния экологических факторов на содержание водорастворимых витаминов в лекарственном растительном сырье посвящены работы [17–21]. Установлено, что содержание витамина С в лекарственном растительном сырье связано со временем сбора, экологическим состоянием окружающей среды, высоты места произрастания, климатическими условиями – количеством выпадающих осадков, влажностью и инсоляцией [17–20]. Содержание водорастворимых антиоксидантов в растительном сырье возрастает с возрастом ГТК (гидротермического коэффициента) [21].

В доступных источниках нет сведений, описывающих зависимость содержания водорастворимых витаминов в плодах РП от почвенно-климатических условий. В связи с этим цель данной работы – исследование влияния почвенно-климатических условий Республики Дагестан (далее Дагестан) на содержание водорастворимых витаминов в плодах РП.

### **Экспериментальная часть**

Материалом для исследований являлись плоды расторопши пятнистой (*Silybum marianum* (L.) Gaertn), собранные в Кайтагском, Сулейман Стальском, Левашинском, Кулинском районах РД в 2019–2020 гг.

Для определения водорастворимых витаминов в объектах растительного происхождения, в том числе в плодах расторопши пятнистой наиболее приемлемым является метод, предложенный в работе [22].

Для извлечения витаминов точную навеску измельченных образцов плодов РП (фракция 0.1–1.0 мм) помещали в колбу объемом 50 см<sup>3</sup>, заливали 10 см<sup>3</sup> 1% раствора фосфорной кислоты (рН 1.5) и обрабатывали ультразвуком частотой 35 кГц в течение часа при температуре 65 °С. Полученные извлечения фильтровали через мембранный фильтр размером пор 0.45 мкм. Хроматографический профиль снимали на жидкостном хроматографе Shimadzu LC-20 Prominence с использованием колонки LUNA C 18, со спектрофотометрическим детектированием при длинах волн 260 и 280 нм. Для разделения витаминов использовали градиентный режим, предложенный авторами в работе [22]: элюент А – 0.6% фосфорная кислота, элюент Б – ацетонитрил. Скорость потока элюента 0.8 см<sup>3</sup>/мин. Температура колонки – 20 °С. Прибор отградуировали с использованием раствора стандартных образцов витаминов тиамин хлорида, никотиновой кислоты, никотинамида, пантотеновой кислоты, цианокобаламин, фолиевой кислоты, биотина, пиридоксина и рибофлавина фирмы «Эколан».

Витамин С определяли титрованием 2,6-дихлорфенолиндофенолятом натрия, по методике ГФ РФ XIII [23].

### **Результаты и обсуждение**

В таблице 1 приведены высота над уровнем моря, климатические (среднегодовые температуры, амплитуда температур, количество осадков, количество солнечных дней, гидротермический коэффициент в 2019–2020 гг.) и почвенные условия, при которых произрастали образцы РП.

Места произрастания образцов отличаются высотой над уровнем моря. Три образца плодов РП собраны в предгорных районах (Кайтагский, Магарамкентский, Сулейман Стальский), по одному – в горном (Левашинский) и высокогорном (Кулинский) районах. По среднедневной температуре относительно холодным является Кулинский район, самым жарким – Кайтагский. Наибольшее количество осадков за период вегетации выпадает в высокогорном Кулинском районе (515 мм), минимальное – в Кайтагском районе (59 мм). Наибольшее количество солнечных дней наблюдалось в Сулейман Стальском и Магарамкентском районах (77), наименьшее – в Кулинском (46). Приведенный в таблице 1 гидротермический коэффициент (ГТК) в пределах 1.0–1.4 характеризует оптимальные условия увлажнения, более 1.4 – избыточные, менее 1.0 – засушливые условия [27].

На рисунках 1 и 2 приведены хроматографические профили раствора стандартных образцов водорастворимых витаминов и водного извлечения из плодов расторопши пятнистой, собранной в Кулинском районе, зарегистрированные при 260 и 280 нм.

Таблица 1. Условия прорастания плодов расторопши пятнистой в Дагестане

Условия произрастания	Район (населенный пункт) сбора				
	Кулинский (Хосрех)	Левашинский (Куттиша)	Магарамкентский (Куйсун)	С. Стальский (Гереханово)	Кайтагский (Маджалис)
Высота над уровнем моря, м, [24], Н	2066	1593	532	480	408
Тип почвы [25]	Горно-луговой	Горно-каштановый	Бурый-лесной	Горно-луговой	Аллювиально-луговой
Содержание гумуса в почве, %, [25], G	6.5	6.5	5	4.5	5
pH почв [25]	6.0–6.1	7.0–7.3	6.5–7.0	5.4–6.0	7.0–7.5
Средняя дневная температура воздуха, °С, [25], Т <sub>ср</sub>	20	24	25	25	26
Амплитуда температуры, °С [26], аТ	38	35	36	37	35
Сумма осадков, мм [26], W <sub>1</sub>	515	332	128	123	59
Количество солнечных дней [26], S	46	73	77	77	68
Влажность воздуха, % [26], W <sub>2</sub>	55	52	50	49	45
Сумма активных температур, °С [26], ΣТ	2173	2746	3005	3168	3111
Гидротермический коэффициент (ГТК)	2.4	1.2	0.4	0.4	0.2

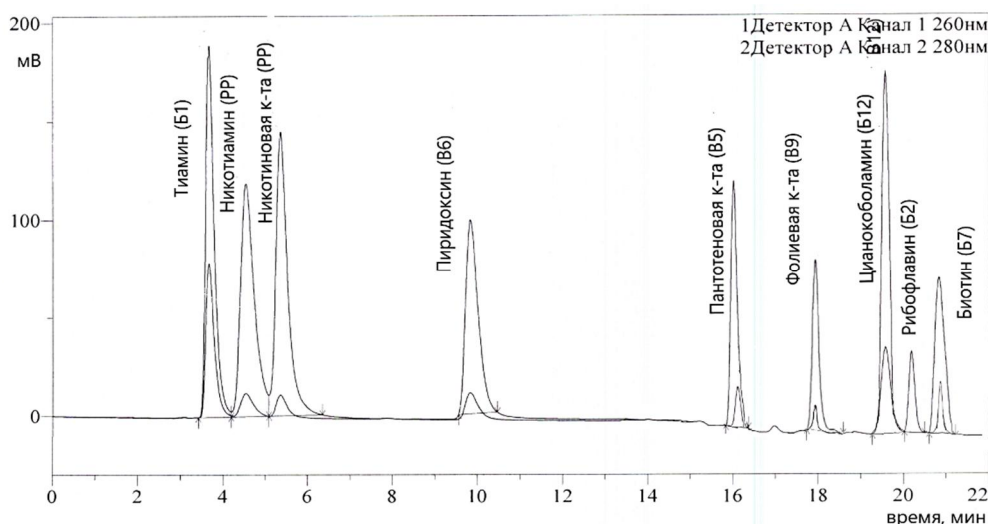


Рис. 1. Хроматографический профиль раствора стандартных образцов водорастворимых витаминов

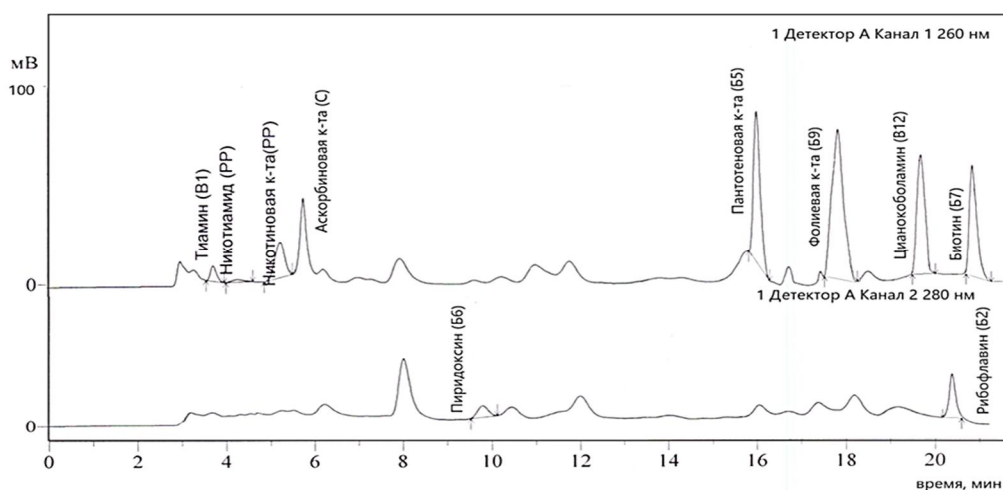


Рис. 2. Хроматографический профиль водорастворимых витаминов водного извлечения плодов расторопши пятнистой, собранных в Кулинском районе

Идентификацию водорастворимых витаминов проводили сравнением времен удерживания на хроматограммах растворов стандартного и анализируемых образцов. Определение содержания проводили по площадям пиков на хроматограмме исследуемого образца относительно пиков на хроматограмме раствора стандартных образцов витаминов.

В таблице 2 приведено содержание водорастворимых витаминов в образцах плодов РП, произрастающих в разных почвенно-климатических условиях на территории Дагестана. В плодах РП обнаружены витамины группы В, РР и аскорбиновая кислота. Наибольшее содержание водорастворимых витаминов оказалось в плодах РП, собранных в Кулинском и Левашинском районах, наименьшее – Маграмкентском и С.-Стальском районах.

С ростом суммы активных температур и уменьшением суммы осадков суммарное содержание водорастворимых витаминов в образцах уменьшается. Во всех пробах обнаружено: аскорбиновая, фолиевая, пантотеновая кислоты и биотин в количествах, содержание которых может удовлетворить суточную потребность взрослого человека при потреблении в пищу до 100 г шрота плодов РП. Этот продукт может послужить дополнительным источником тиамин, рибофлавина, пиридоксина, никотиновой кислоты и никотинамида.

Статистический анализ хроматографических данных показал, что в витаминном составе плодов РП наблюдается вариативность, обусловленная фенотипическими факторами, отраженными в таблице 1. Имеются симбатные и асимбатные изменения состава водорастворимых витаминов в плодах РП в зависимости от природно-климатических условий произрастания РП. Найденные значимые корреляции ( $|R| \geq 0.55$ ) приведены в таблице 3. Наиболее тесные корреляции ( $|R| \geq 0.80$ ) выделены жирным шрифтом.

Таблица 2. Содержание водорастворимых витаминов в плодах расторопши пятнистой, произрастающей в разных районах Дагестана (2020 г.) (n=3, p=0.95)

Витамин	Содержание в образцах, мг/ 100 г					Суточная потребность, мг [28]
	Кулинский	Левашинский	Маграмкентский	С.-Стальский	Кайтагский	
Аскорбиновая кислота (С)	80±5	78±6	65±3	60±5	62±6	50–100
Тиамин (В1)	0.7±0.2	0.7±0.2	0.6±0.1	0.4±0.1	0.5±0.1	2–3
Рибофлавин (В2)	0.5±0.1	0.5±0.1	0.9±0.2	1.0±0.1	2.5±0.2	2–4
Пантотеновая к-та (В5)	23±2	21±1	20±1	15.4±0.3	15±1	5–15
Пиридоксин (В6)	0.2±0.1	0.6±0.2	0.9±0.2	0.2±0.1	0.4±0.2	2–6
Биотин (В7)	8±2	10±3	11±2	13±1	18±3	0.05–0.15
Фолиевая к-та (В9)	18±1	20±3	21±1	21±1	22±2	0.4–0.6
Цианокобаламин (В12)	3.1±0.2	2.9±0.2	2.8±0.2	2.6±0.1	2.1±0.1	0.003–0.09
Никотиновая к-та (РР)	2.5±0.2	3.5±0.4	2.9±0.5	1.4±0.1	1.9±0.3	
Никотинамид (РР)	0.2±0.1	0.2±0.1	0.3±0.1	0.2±0.1	0.2±0.1	20–60
Сумма (SS)	137±11	137±12	116±10	116±9	125±13	

Таблица 3. Значимые линейные тренды для водорастворимых витаминов плодов дикорастущей расторопши пятнистой  $Y=aX+b$  и степени парной корреляции R

Витамины X/Y	R	$aX+b$	Витамины X/Y	R	$aX+b$
C/H	0.95	137X-6274	B <sub>5</sub> /W <sub>1</sub>	0.89	1.4X+30.5
C/Тср	-0.83	34-0.4X	B <sub>5</sub> /B <sub>7</sub>	-0.90	23-X
C/G	0.96	0.2X-3.6	B <sub>5</sub> /B <sub>9</sub>	-0.97	22.1-0.55X
C/W <sub>2</sub>	0.92	33X-1525	B <sub>5</sub> /B <sub>12</sub>	0.89	0.1X+0.8
C/S	-0.72	163-1.8X	B <sub>5</sub> /PP	0.92	0.2X-1.3
C/ΣT	-0.93	6678-72X	B <sub>5</sub> /SS	0.79	2X+73
C/ГТК	0.90	0.2X-7.4	B <sub>6</sub> /pH	0.67	2.5X+6
C/W <sub>1</sub>	0.82	0.6X+20	B <sub>6</sub> /aT	-0.59	37-4X
C/B <sub>1</sub>	0.94	0.01X-0.36	B <sub>7</sub> /H	-0.79	2867-214X
C/B <sub>5</sub>	0.94	0.4X-8.5	B <sub>7</sub> /Тср	0.80	0.7X+18
C/B <sub>7</sub>	-0.75	30-0.4X	B <sub>7</sub> /G	-0.68	7.5-0.2X
C/B <sub>9</sub>	-0.98	28-0.2X	B <sub>7</sub> /W <sub>2</sub>	-0.84	716-56X
C/B <sub>12</sub>	0.75	0.03X+0.2	B <sub>7</sub> /ΣT	0.77	111X+1882
C/PP	0.87	0.1X-3.5	B <sub>7</sub> /ГТК	-0.79	3-0.3X
C/SS	0.90	0.9X+50	B <sub>7</sub> /W <sub>1</sub>	-0.98	61-1.3X
B <sub>1</sub> /H	0.80	7333X-2108	B <sub>7</sub> /B <sub>9</sub>	0.87	0.4X+11
B <sub>1</sub> /Тср	-0.60	31-17X	B <sub>7</sub> /B <sub>12</sub>	-0.99	2.7-0.1x
B <sub>1</sub> /G	0.92	10X+1.1	B <sub>7</sub> /PP	-0.68	3.3-0.2X
B <sub>1</sub> /W <sub>2</sub>	0.66	1677X-483	B <sub>9</sub> /H	-0.96	9332-562X
B <sub>1</sub> /ΣT	-0.77	4451-3780X	B <sub>9</sub> /Тср	0.90	1.6X-0.1
B <sub>1</sub> /ГТК	0.70	7.7X-2.4	B <sub>9</sub> /G	-0.92	15.3-0.7X
B <sub>1</sub> /W <sub>1</sub>	0.63	28X+38	B <sub>9</sub> /W <sub>2</sub>	-0.96	2296-142X
B <sub>1</sub> /B <sub>5</sub>	0.88	24X+2.9	B <sub>9</sub> /S	0.71	7X-37
B <sub>1</sub> /B <sub>7</sub>	-0.60	17-20X	B <sub>9</sub> /ΣT	0.96	298X-1572
B <sub>1</sub> /B <sub>9</sub>	-0.86	21-14X	B <sub>9</sub> /ГТК	-0.94	11-0.6X
B <sub>1</sub> /B <sub>12</sub>	0.60	1.6X+1.3	B <sub>9</sub> /W <sub>1</sub>	-0.91	98-2.6X
B <sub>1</sub> /PP	0.95	7.2X-1.1	B <sub>9</sub> /B <sub>12</sub>	-0.86	4.2-0.2X
B <sub>1</sub> /SS	0.97	58X+70	B <sub>9</sub> /PP	-0.82	7.9-0.4X
B <sub>2</sub> /H	-0.61	1607-640X	B <sub>9</sub> /SS	-0.80	141-3X
B <sub>2</sub> /Тср	0.59	2.2X+22	B <sub>12</sub> /H	0.80	2662X-4203
B <sub>2</sub> /W <sub>2</sub>	-0.66	389-197X	B <sub>12</sub> /Тср	-0.79	40-8X
B <sub>2</sub> /ГТК	-0.58	1.6-0.8X	B <sub>12</sub> /G	0.70	2.8X+0.1
B <sub>2</sub> /W <sub>1</sub>	-0.88	54-5X	B <sub>12</sub> /W <sub>2</sub>	0.84	691X-1123
B <sub>2</sub> /B <sub>5</sub>	-0.73	15.5-2.7X	B <sub>12</sub> /ΣT	-0.76	5465-1339X
B <sub>2</sub> /B <sub>7</sub>	0.94	4.2X+5.4	B <sub>12</sub> /ГТК	0.79	3.1X-5.2
B <sub>2</sub> /B <sub>9</sub>	0.67	1.4X+13.7	B <sub>12</sub> /W <sub>1</sub>	0.98	16X+19
B <sub>2</sub> /B <sub>12</sub>	-0.95	2.2-0.3X	B <sub>12</sub> /PP	0.67	1.8X-1.6
B <sub>5</sub> /H	0.87	288X-2845	PP/H	0.70	852X-669
B <sub>5</sub> /Тср	-0.79	34-0.8X	PP/G	0.83	2.2X+3.0
B <sub>5</sub> /G	0.87	0.4X+0.76	PP/W <sub>2</sub>	0.65	196X-160
B <sub>5</sub> /W <sub>2</sub>	0.87	71X-723	PP/ΣT	-0.66	3698-428X
B <sub>5</sub> /ΣT	-0.86	4877-152X	PP/W <sub>1</sub>	0.66	3.9X+42
B <sub>5</sub> /ГТК	0.83	0.3X-3.5	PP/SS	0.87	7X+82

Прослеживается наличие неслучайного, взаимосвязанного изменения соотношений между водорастворимыми витаминами X/Y. Для тесных трендов симбатно изменяются соотношения в парах аскорбиновая кислота (C) – тиамин (B<sub>1</sub>), аскорбиновая кислота (C) – пантотеновая кислота (B<sub>5</sub>), аскорбиновая кислота (C) – цианокобаламин (B<sub>12</sub>), аскорбиновая кислота (C) – сумма никотинамида и никотиновой кислоты (PP), тиамин (B<sub>1</sub>) – пантотеновая кислота (B<sub>5</sub>), тиамин (B<sub>1</sub>) – цианокобаламин (B<sub>12</sub>), тиамин (B<sub>1</sub>) – сумма никотиновой кислоты и никотинамида (PP), рибофлавин (B<sub>2</sub>) – биотин (B<sub>7</sub>), рибофлавин (B<sub>2</sub>) – фолиевая кислота (B<sub>9</sub>), пантотеновая кислота (B<sub>5</sub>) – цианокобаламин (B<sub>12</sub>), пантотеновая кислота (B<sub>5</sub>) – сумма никотинамида и никотиновой кислоты (PP), биотин (B<sub>7</sub>) – фолиевая кислота (B<sub>9</sub>).

Асимбатно изменяется соотношение в парах аскорбиновая кислота (C) – биотин (B<sub>7</sub>), аскорбиновая кислота (C) – фолиевая кислота (B<sub>9</sub>), тиамин (B<sub>1</sub>) – биотин (B<sub>7</sub>), тиамин (B<sub>1</sub>) – фолиевая кислота (B<sub>9</sub>), рибофлавин (B<sub>2</sub>) – пантотеновая кислота (B<sub>5</sub>), рибофлавин (B<sub>2</sub>) – цианокобаламин (B<sub>12</sub>), пантотеновая кислота (B<sub>5</sub>) – биотин (B<sub>7</sub>), пантотеновая кислота (B<sub>5</sub>) – фолиевая кислота (B<sub>9</sub>), биотин (B<sub>7</sub>) – цианокобаламин (B<sub>12</sub>), биотин (B<sub>7</sub>) – сумма никотинамида и никотиновой кислоты (PP), фолиевая кислота (B<sub>9</sub>) – цианокобаламин

( $B_{12}$ ) фолиевая кислота ( $B_9$ ) – сумма никотинамида и никотиновой кислоты (PP). Прослеживаются прямые и обратные корреляции между содержанием отдельных водорастворимых витаминов и суммой витаминов (SS) в плодах РП. Общее содержание витаминов в плодах РП растет в основном за счет увеличения содержания аскорбиновой кислоты (С и пантотеновой кислоты ( $B_5$ ), при этом содержание фолиевой кислоты ( $B_9$ ) сокращается (табл. 2).

Некоторые водорастворимые витамины чувствительны к изменениям почвенно-климатических условий произрастания (табл. 1 и 2). Так, в плодах РП, выросшей в более теплом климате (Кайтагский и С. Стальский районы), увеличивается содержание рибофлавина ( $B_2$ ), биотина ( $B_7$ ), фолиевой кислоты ( $B_9$ ), в то же время уменьшается доля аскорбиновой (С), пантотеновой ( $B_5$ ), никотиновой кислот и цианокобаламина ( $B_{12}$ ) (табл. 2). В работе [19] на примере шиповника показано, что ответной реакцией растения на понижение температуры является усиление синтеза и накопление аскорбиновой кислоты. Это подтверждается и данными, представленными в таблице 2, наибольшее содержание аскорбиновой кислоты обнаружено в плодах РП, произрастающей в Кулинском районе.

Факторы влажности ( $W_1$  – сумма осадков и  $W_2$  – влажность воздуха) влияют асимбатно на содержание в плодах РП рибофлавина ( $B_2$ ), биотина ( $B_7$ ), фолиевой кислоты ( $B_9$ ) – чем больше сумма осадков и влажность воздуха, тем ниже содержание этих витаминов в плодах РП. Эти же факторы влияют симбатно на содержание тиамин ( $B_1$ ), цианокобаламина ( $B_{12}$ ), никотинамида и никотиновой кислоты (PP), пантотеновой ( $B_5$ ) и аскорбиновой кислот (С). Обратная зависимость содержания тиамин ( $B_1$ ) и пантотеновой ( $B_5$ ) кислоты в зерне яровой мягкой пшеницы сорта Баганская 95, выращенной в степи Кемеровской области, от факторов влажности – выявлена в работе [29]. По-видимому, это различие связано с генетическими особенностями РП и пшеницы.

Прослеживается прямая пропорциональная зависимость между содержанием гумуса в почве (G) и содержанием тиамин ( $B_1$ ), цианокобаламина ( $B_{12}$ ), никотинамида и никотиновой кислоты (PP), пантотеновой ( $B_5$ ), аскорбиновой кислот (С) и обратная зависимость содержания биотин ( $B_7$ ) и фолиевой кислоты ( $B_9$ ) в плодах РП. На фактор высоты над уровнем моря (H) асимбатно реагирует содержание рибофлавина ( $B_2$ ), биотин ( $B_7$ ) и фолиевой кислоты ( $B_9$ ), симбатно – тиамин ( $B_1$ ), цианокобаламина ( $B_{12}$ ), аскорбиновой (С), пантотеновой ( $B_5$ ), никотиновой кислот и никотинамида (PP). Необходимо отметить содержание практически всех водорастворимых витаминов, и их сумма достаточно тесно коррелируют с гидротермическим коэффициентом (ГТК). С ростом гидротермического коэффициента (табл. 1, Кулинский и Левашинские районы) растет и суммарное содержание водорастворимых витаминов (табл. 2). Повышение содержания антиоксидантов, в том числе аскорбиновой кислоты в ягодах голубики обыкновенной, произрастающей в Якутии, с ростом гидротермического коэффициента установлено в работе [21].

### **Заключение**

Методом ВЭЖХ в плодах РП идентифицировано и определено 9 водорастворимых витаминов (тиамин ( $B_1$ ), рибофлавин ( $B_2$ ), пиридоксин ( $B_6$ ), биотин ( $B_7$ ), цианокобаламин ( $B_{12}$ ), никотиновая кислота и никотинамид (PP), пантотеновая ( $B_5$ ), фолиевая ( $B_9$ ), аскорбиновая (С) кислоты). С учетом содержания аскорбиновой, фолиевой, пантотеновой кислот, цианокобаламина и биотин в плодах РП, 5–100 г данного продукта может удовлетворить суточную потребность человека в этих витаминах.

Статистический анализ данных по витаминному составу плодов дикорастущей расторопши пятнистой показал наличие значимых природных корреляций между содержанием некоторых витаминов группы В, РР и С.

### **Список литературы**

1. Куркин В.А. Расторопша пятнистая: монография. Самара, 2010. 118 с.
2. Цаприлова С.В., Родионова С.В. Расторопша пятнистая: химический состав, стандартизация, применение // Вестник фармации. 2008. №3 (41). С. 92–104.
3. Донцова С.С., Москвичева Е.В., Тимошенкова И.А. Исследование муки из семян расторопши // Неделя науки СПбПУ. 2017. С. 109–112.
4. Темираев Р.Б., Темболатовна Б.З., Александровна В.Л., Эриковна В.Р. Использование шрота расторопши в рецептуре макаронных изделий для повышения их протекторных свойств // Наука, техника и образование. 2014. №1 (1). С. 27–29.

5. Рамазанов А.Ш., Балаева Ш.А., Рудаков О.Б., Саранов И.А. Влияние климатических условий Республики Дагестан на содержание жирного масла и других биологически активных веществ в плодах расторопши пятнистой // Химия растительного сырья. 2021. №4. С. 207–215. DOI 10.14258/jcprm.2021049668.
6. Рамазанов А.Ш., Балаева Ш.А., Рудаков О.Б., Селеменов В.Ф. Определение белковой ценности плодов расторопши пятнистой, произрастающей в Республике Дагестан // Сорбционные и хроматографические процессы. 2021. Т. 21. №5. С. 697–707. DOI: 10.17308/sorpchrom.2021.21/3776.
7. Долматова И.А., Зайцева Т.Н., Рябова В.Ф., Горелик О.В. Биологическая роль витаминов // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. 2020. Т. 11. №1. С. 116–119.
8. Calderón-Ospina C.A., Nava-Mesa M.O. B Vitamins in the nervous system: Current knowledge of the biochemical modes of action and synergies of thiamine, pyridoxine, and cobalamin // CNS neuroscience & therapeutics. 2020. Vol. 26. Pp. 5–13. DOI: 10.1111/cns.13207.
9. Kennedy D.O. B vitamins and the brain: mechanisms, dose and efficacy – a review // Nutrients. 2016. Vol. 8. P. 68. DOI: 10.3390/nu8020068.
10. Peterson C.T., Rodionov D.A., Osterman A.L., Peterson S.N. B vitamins and their role in immune regulation and cancer // Nutrients. 2020. Vol. 12. P. 3380. DOI: 10.3390/nu12113380.
11. Павленко О.А. Роль витаминов в здоровье человека // Новые концептуальные подходы к решению глобальной проблемы обеспечения продовольственной безопасности в современных условиях. 2021. С. 338–341.
12. Ogli Q.F.S., Hakimovich T.F. Water-soluble Vitamins of Dry Extract of Milk Thistle (*Silybum Marianum*) Seeds, Grown in Uzbekistan. Hplc Method // Journal of HPLC. 2020. Vol. 6. Pp. 21–23.
13. Debnath B., Manna K. Ethnomedicinal Information and High-Performance Liquid Chromatography Analysis of Water-soluble Vitamins (C, B1, B3, B6, folic acid) and Fat-Soluble Vitamins (A, D3, E) of Three Consumable Parts of *Musa paradisiaca*: Cultivated in Tripura, India // Food Science and Engineering. 2021. Pp. 31–37. DOI: 10.37256/fse.212021580.
14. Assis R.C., Soares R.L.G., Siqueira A.C.P., Rosso V.V., Sousa P.H.M., Mendes A.E. Determination of water-soluble vitamins and carotenoids in Brazilian tropical fruits by High Performance Liquid Chromatography // Heliyon. 2020. Vol. 6. Pp. 1–10. DOI: 10.1016/j.heliyon.2020.e05307.
15. Oh Y.K., Kim J., Cao D.V., Kim C.S., Boo K.H. Analysis of the water-soluble vitamins B2 and B6 of crops in the Amaranthaceae family by HPLC-FLD // International Food Research Journal. 2021. Vol. 28. N3. Pp. 503–507.
16. Шаклеина М.Н., Алашкин А.А., Соловьева М.С. Оценка содержания витаминов в микрорзелени нескольких видов культурных растений // Химия растительного сырья. 2022. №2. С. 165–171. DOI: 10.14258/jcprm.2022029988.
17. Черных Е.П., Мильшина Л.А., Гоголева О.В. Влияние экологических факторов и периода вегетации на содержание биологически активных веществ в некоторых видах растительного сырья Красноярского края // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2012. №11. С. 128–131.
18. Филиппова А.В., Суровяткина Т.Н., Гусев Н.Ф. О содержании витамина С в траве *Filipendula ulmaria* Max. (L.) степной зоны Оренбуржья // Тенденции развития науки и образования. 2020. №60-1. С. 14–18. DOI: 10.18411/lj-04-2020-04.
19. Новрузов А.Р. Содержание и динамика накопления аскорбиновой кислоты в плодах *Rosa canina* L. // Химия растительного сырья. 2014. №3. С. 221–226. DOI: 10.14258/jcprm.1403221.
20. Резниченко И.Ю., Фролова Н.А. Влияние климатических условий на биологическую ценность ягодного сырья Амурской области // Хранение и переработка сельхоз сырья. 2018. №4. С. 92–100.
21. Тимофеев С.М. Антиоксидантные свойства ягод *Vaccinium uliginosum* в зависимости от температурно-влажностных условий произрастания в различных климатопах Якутии // Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова. 2020. №2 (76). С. 23–31. DOI: 10.25587/SVFU.2020.76.61505.
22. Бендрьшев А.А., Пашков Е.Б., Пирогов А.Б., Шпигун О.А. Определение водорастворимых витаминов в витаминных премиксах, биологически-активных добавках и фармацевтических препаратах методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с градиентным элюированием // Вестник Московского университета. Серия 2. Химия. 2010. Т. 51. №4. С. 315–324.
23. ФС.2.5.0035.15 Расторопши пятнистой плоды. URL: <https://pharmacopoeia.ru/fs-2-5-0035-15-rastoropshi-ruatnistoj-plody>.
24. Атлас Республики Дагестан / под ред. Ш.И. Исмаилова. М., 1999. 65 с.
25. Залибеков З.Г. Почвы Дагестана. Махачкала, 2010. 241 с.
26. Гидрометцентр России [Электронный ресурс]. URL: <https://meteoinfo.ru/>.
27. Янчук Т.В., Макаркина М.А. Влияние метеорологических условий вегетационного периода на накопление сахаров и органических кислот в ягодах смородины черной // Современное садоводство. 2014. №2 (10). С. 63–69.
28. Рекомендуемые уровни потребления пищевых и биологически активных веществ: методические рекомендации. М., 2004. 46 с.
29. Влияние гидротермического режима на содержание белка и витаминов в зерне пшеницы в степной зоне Кемеровской области // Достижения науки и техники АПК. 2013. №6. С. 29–32.

*Поступила в редакцию 12 сентября 2022 г.*

*После переработки 4 ноября 2022 г.*

*Принята к публикации 28 августа 2023 г.*

**Для цитирования:** Балаева Ш.А., Рамазанов А.Ш. Определение водорастворимых витаминов в плодах расторопши пятнистой, произрастающей в естественных условиях в Республике Дагестан // Химия растительного сырья. 2023. №3. С. 227–235. DOI: 10.14258/jcprm.20230311868.

*Balayeva Sh.A.<sup>1</sup>, Ramazanov A.Sh.<sup>1,2\*</sup>* DETERMINATION OF WATER-SOLUBLE VITAMINS IN MILK THISTLE FRUITS GROWING NATURALLY IN THE REPUBLIC OF DAGESTAN

<sup>1</sup> Dagestan State University, ul. M. Gadzhievya, 43a, Makhachkala, 367000 (Russia)

<sup>2</sup> Institute of Geothermal and Renewable Energy Problems (branch of the Joint Institute of High Temperatures of the Russian Academy of Sciences), pr. I. Shamilya, 39a Makhachkala, 367030 (Russia), e-mail: a\_ramazanov\_@mail.ru

The work is devoted to the determination of water-soluble vitamins in the fruits of milk thistle, which grows naturally in some areas of the Republic of Dagestan, differing from each other by natural and climatic conditions: Suleiman Stalsky, Kaitag-sky, Magaramkent, Levashinsky and Kulinsky districts. Phenotypic factors (altitude above sea level, soil composition, number of sunny days, precipitation volume, humidity, average daytime temperature, etc.) affected the vitamin composition of milk thistle fruits growing in natural conditions. High-performance liquid chromatography in gradient elution mode was used to determine water-soluble vitamins in milk thistle fruit samples. Nine water-soluble vitamins in milk thistle fruits (ascorbic acid, vitamins B and PP) have been identified and quantified. The variability of the content of water-soluble vitamins in the fruits of wild milk thistle, depending on the growing conditions, has been established. Statistical analysis of the data array on vitamin composition showed the presence of not only significant symbate and asymmetric correlations of the type  $Y=aX+b$  (pair correlation coefficient  $|R|\geq 0.55$ ), but also close natural correlations ( $|R|\geq 0.80$ ) between the content of certain vitamins and individual phenotypic factors.

**Keywords:** milk thistle, fruits, water-soluble vitamins, phenotypic variability, high-performance liquid chromatography.

### References

1. Kurkin V.A. *Rastoropsha pyatnistaya: monografiya*. [Milk thistle: monograph]. Samara, 2010, 118 p. (in Russ.).
2. Tsaprilova S.V., Rodionova S.V. *Vestnik farmatsii*, 2008, no. 3 (41), pp. 92–104. (in Russ.).
3. Dontsova S.S., Moskvicheva Ye.V., Timoshenkova I.A. *Nedelya nauki SPbPU*. [Science Week SPbPU]. 2017, pp. 109–112. (in Russ.).
4. Temirayev R.B., Tembolatovna B.Z., Aleksandrovna V.L., Erikovna V.R. *Nauka, tekhnika i obrazovaniye*, 2014, no. 1 (1), pp. 27–29. (in Russ.).
5. Ramazanov A.Sh., Balayeva Sh.A., Rudakov O.B., Saranov I.A. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2021, no. 4, pp. 207–215. DOI 10.14258/jcprm.2021049668. (in Russ.).
6. Ramazanov A.Sh., Balayeva Sh.A., Rudakov O.B., Selemenov V.F. *Sorbtsionnyye i khromatograficheskiye protsessy*, 2021, vol. 21, no. 5, pp. 697–707. DOI: 10.17308/sorpchrom.2021.21/3776. (in Russ.).
7. Dolmatova I.A., Zaytseva T.N., Ryabova V.F., Gorelik O.V. *Aktual'nyye problemy sovremennoy nauki, tekhniki i obrazovaniya*, 2020, vol. 11, no. 1, pp. 116–119. (in Russ.).
8. Calderón-Ospina C.A., Nava-Mesa M.O. *CNS neuroscience & therapeutics*, 2020, vol. 26, pp. 5–13. DOI: 10.1111/cns.13207.
9. Kennedy D.O. *Nutrients*, 2016, vol. 8, p. 68. DOI: 10.3390/nu8020068.
10. Peterson C.T., Rodionov D.A., Osterman A.L., Peterson S.N. *Nutrients*, 2020, vol. 12, p. 3380. DOI: 10.3390/nu12113380.
11. Pavlenko O.A. *Novyye kontseptual'nyye podkhody k resheniyu global'noy problemy obespecheniya prodovol'stvennoy bezopasnosti v sovremennykh usloviyakh*. [New conceptual approaches to solving the global problem of ensuring food security in modern conditions]. 2021, pp. 338–341. (in Russ.).
12. Ogli Q.F.S., Hakimovich T.F. *Journa INX*, 2020, vol. 6, pp. 21–23.
13. Debnath B., Manna K. *Food Science and Engineering*, 2021, pp. 31–37. DOI: 10.37256/fse.212021580.
14. Assis R.C., Soares R.L.G., Siqueira A.C.P., Rosso V.V., Sousa P.H.M., Mendes A.E. *Heliyon*, 2020, vol. 6, pp. 1–10. DOI: 10.1016/j.heliyon.2020.e05307.
15. Oh Y.K., Kim J., Cao D.V., Kim C.S., Boo K.H. *International Food Research Journal*, 2021, vol. 28, no. 3, pp. 503–507.
16. Shakleina M.N., Alalykin A.A., Solov'yeva M.S. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2022, no. 2, pp. 165–171. DOI: 10.14258/jcprm.2022029988. (in Russ.).
17. Chernykh Ye.P., Mil'shina L.A., Gogoleva O.V. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2012, no. 11, pp. 128–131. (in Russ.).
18. Filippova A.V., Surovyatkina T.N., Gusev N.F. *Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya*, 2020, no. 60-1, pp. 14–18. DOI: 10.18411/lj-04-2020-04. (in Russ.).
19. Novruzov A.R. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2014, no. 3, pp. 221–226. DOI: 10.14258/jcprm.1403221. (in Russ.).
20. Reznichenko I.Yu., Frolova N.A. *Khraneniye i pererabotka sel'khoz syr'ya*, 2018, no. 4, pp. 92–100. (in Russ.).
21. Timofeyev S.M. *Vestnik Severo-Vostochnogo federal'nogo universiteta im. M.K. Ammosova*, 2020, no. 2 (76), pp. 23–31. DOI: 10.25587/SVFU.2020.76.61505. (in Russ.).
22. Bendryshev A.A., Pashkov Ye.B., Pirogov A.B., Shpigun O.A. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 2. Khimiya*, 2010, vol. 51, no. 4, pp. 315–324. (in Russ.).
23. *FS.2.5.0035.15 Rastoropshi pyatnistoy plody*. [FS.2.5.0035.15 Milk thistle fruits]. URL: <https://pharmacopoeia.ru/fs-2-5-0035-15-rastoropshi-pyatnistoy-plody>. (in Russ.).
24. *Atlas Respubliki Dagestan* [Atlas of the Republic of Dagestan], ed. Sh.I. Ismailova. Moscow, 1999, 65 p. (in Russ.).
25. Zalibekov Z.G. *Pochvy Dagestana*. [Soils of Dagestan]. Makhachkala, 2010, 241 p. (in Russ.).

\* Corresponding author.



26. *Gidromettsentr Rossii* [Hydrometeorological Center of Russia]. URL: <https://meteoinfo.ru/>. (in Russ.).
27. Yanchuk T.V., Makarkina M.A. *Sovremennoye sadovodstvo*, 2014, no. 2 (10), pp. 63–69. (in Russ.).
28. *Rekomenduyemye urovni potrebleniya pishchevykh i biologicheskii aktivnykh veshchestv: metodicheskiye rekomendatsii*. [Recommended levels of consumption of food and biologically active substances: methodological recommendations]. Moscow, 2004, 46 p. (in Russ.).
29. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2013, no. 6, pp. 29–32. (in Russ.).

*Received September 12, 2022*

*Revised November 4, 2022*

*Accepted August 28, 2023*

**For citing:** Balayeva Sh.A., Ramazanov A.Sh. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2023, no. 3, pp. 227–235. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.20230311868.

