

УДК 543.062

СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ИЗ ТРАВЫ ВАСИЛЬКА СИНЕГО

© *Е.А. Подолина*^{1,2*}, *М.А. Ханина*², *О.Б. Рудаков*³, *А.Е. Небольсин*⁴

¹ *Электростальский институт (филиал Московского политехнического университета), ул. Первомайская, 7, Электросталь, 144000 (Россия), e-mail: podolina70@mail.ru*

² *Государственный гуманитарно-технологический университет, ул. Зеленая, 22, Орехово-Зуево, 1472611 (Россия)*

³ *Воронежский государственный технический университет, ул. 20-летие Октября, 84, Воронеж, 394006 (Россия)*

⁴ *ОАО «Партнер», Ленинский пр-т, 172, Воронеж, 394033 (Россия)*

Изучена трехкратная твердожидкостная экстракция фенольных соединений (ФС) (в пересчете на рутин и танин) из всей надземной части василька синего (*Centaurea cyanus* L.) на УЗ-установке. Определено оптимальное время твердожидкостной экстракции с учетом стадии смачивания и осмотического набухания растительного сырья. Количественное содержание ФС (в пересчете на рутин и танин) в процентах от общего содержания в сырье на первом этапе составляет около 60%, на втором – 25%, а третьем – 18%. Установлено, что при трехкратном извлечении выход ФС из лекарственного растительного сырья увеличивается в среднем на 8–10% по сравнению с однократным извлечением. Предложена усовершенствованная методика твердожидкостной экстракции на УЗ-установке и УФ-спектрофотометрического определения ФС из всей надземной части василька синего. Методика характеризуется отсутствием систематической погрешности, а относительная ошибка среднего результата при доверительной вероятности 0.95 не превышает 5%. Продолжительность анализа с учетом стадии смачивания и осмотического набухания, трехкратной экстракции на УЗ-установке и УФ-спектрофотометрического определения рутина и танина в водно-этанольных экстрактах составляет 40–45 мин.

Ключевые слова: василек синий, рутин, танин, ультразвуковая твердожидкостная экстракция, спектрофотометрия.

Введение

Краевые цветки василька синего (*Centaurea cyanus* L.) широко используются в традиционной и народной медицине и пищевой промышленности, например, входят в состав мочегонных сборов или биологически активных добавок [1–9].

Комплекс биологически активных веществ (БАВ), в том числе фенольные соединения (ФС), входящие в состав краевых цветков василька синего, проявляют противовоспалительное, антимикробное и мочегонное действие [10, 11]. В Общих фармакопейных статьях (ОФС) для аналитического контроля за содержанием ФС проводят спектрофотометрическое определение суммы дубильных веществ в пересчете на танин, а суммы флавоноидов в пересчете на рутин [12, 13].

Краевые цветки составляют лишь около 8% от массы растения, а оставшаяся надземная часть расте-

Подолина Елена Алексеевна – доктор химических наук, доцент, профессор кафедры безопасности и здоровья, e-mail: podolina70@mail.ru

Ханина Миниса Абдуллаевна – доктор фармацевтических наук, профессор, заведующая кафедрой химии, e-mail: khanina06@mail.ru

Рудаков Олег Борисович – доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой химии и химической технологии материалов, e-mail: robi57@mail.ru

Небольсин Александр Егорович – ведущий конструктор, e-mail: mks36@mail.ru

ния – отходы. Очевидно, имеет место нерациональное использование лекарственного растительного сырья (ЛРС). В [14] проведены исследования по количественному обнаружению ФС во всей надземной части василька синего с применением однократной ультразвуковой экстракции (УЗЭ). Однако образующийся после однократного извлечения шрот (сырье после экстракции), как показал химический анализ, содержит значительные количества

* Автор, с которым следует вести переписку.

ФС, которые можно извлечь, усовершенствовав метод УЗЭ, применяя, например, многократное извлечение [12, 13].

Цель данной работы – усовершенствование методики ультразвуковой твердожидкостной экстракции (ТЖЭ) фенольных соединений из травы василька синего с последующим спектрофотометрическим определением в экстрактах.

Экспериментальная часть

Реактивы и объекты исследования. Использовали: этанол, раствор для наружного применения и приготовления лекарственных форм с концентрацией 95 об. % (ПХФК ОАО «Медхимпром»), растворы стандартных образцов (ГСО) рутин – Фармакопейная статья 42-2508-87 и РСО танина (Sigma Aldrich CAS 1401-55-04). В качестве экстрагента применяли бинарную смесь вода – этанолсодержащую 0.47 об. долей этанола. Объектами исследования служило следующее ЛРС: трава василька синего (место произрастания – опытный участок ГГТУ г. Орехово-Зуево, Московской области); Василек цвет, фасованный в пакеты «ООО Беловодье», Василек синий (*Flores Centaureae Cyani*) «Хорст»; Василек синий чайный напиток «ООО Беловодье»; Цветки василька «ООО Мера-А».

ЛРС измельчали методом истирания до размера частиц, проходящих через сито с диаметром отверстий: для листьев, краевых цветков и травы – 3–5 мм, стеблей и корзинок – 1–3 мм [15].

Аппаратура. УЗЭ проводили на экспериментальной установке, созданной на базе научно-исследовательской лаборатории конструкторского бюро МКС (фирмы ОАО «Партнер», г. Воронеж), частота УЗ-излучения – 22–23 кГц. Анализируемую пробу ЛРС помещают в стакан емкостью 500 мл, сверху помещают погружной излучатель «грибкового» типа на глубину 3 см. Образующаяся УЗ-волна равномерно направлена сверху вниз, время и температура проведения эксперимента задается с помощью автоматической системы управления.

Спектрофотометрические измерения ГСО рутин и РСО танина, а также водно-этанольных экстрактов проводили на спектрофотометре UNICO, модель 2800 (UNITED PRODUCTS & INSTRUMENTS (USA) в кварцевой кювете толщиной 10 мм.

Степень набухания (α , %) исследуемого ЛРС определяли по следующей методике: около 0.3 г (точная навеска) образца помещали в сухую пробирку и добавляли 10 мл бинарного экстракта, после истечения определенного промежутка времени жидкую фазу отделяли фильтрованием, оставшееся сырье подсушивали между слоями фильтровальной бумаги [16], а затем взвешивали на аналитических весах. Степень набухания ЛРС в определенные интервалы времени (t , мин) рассчитывали по формуле, приведенной в [17].

Для выбора оптимального времени экстрагирования ФС из травы василька синего изучали кинетическую зависимость: выход ФС (x , %) в зависимости от времени экстракции. Для количественного определения ФС в экстрактах пробы отбирали через 6, 12, 18 и 24 мин после начала эксперимента. Параллельно проводили экстракцию по методике, описанной в ФС, отбор проб экстрактов осуществляли в момент закипания экстрагента, а потом через 10, 30, 45 и 60 мин после этого.

Для расчетов содержания ФС использовали удельный показатель поглощения рутин = 216.54 и танина = 407.84, определенные в работе [14].

В экспериментальных исследованиях отношение (g) массы навески сырья (g) к объему бинарного экстрагента (мл) было 1 : 10.

Статистическую обработку экспериментальных данных спектрофотометрического определения ФС в водно-этанольных экстрактах проводили общепринятым статистическим методом с использованием пакета программ «Statistica for Windows 7.0» [18].

Результаты и их обсуждения

Выбор экстрагента. ФС гидрофильны (для рутин $\lg P = -2.3$, а для танина $\lg P = 2.75$). Очевидно, что они хорошо будут извлекаться гидрофильными водно-спиртовыми смесями, состав которых близок к эквиобъемному [19–23]. Именно водно-спиртовые смеси рекомендованы в перечне требований к экстрагентам [24] для ТЖЭ из ЛРС. Этанол, как известно, малотоксичен, сравнительно недорог и смешивается с водой в любых соотношениях. В [25] подробно изучены физико-химические свойства бинарных водно-спиртовых смесей. Для ТЖЭ рекомендованы оптимальные составы с

объемной долей этанола 0.45–0.55. Эти составы характеризуются не только высокими экстракционными показателями, но и хорошо совместимы со спектрофотометрическим детектированием (УФ-спектрофотометрия или ВЭЖХ с УФ-детектором).

Для расчета содержания (x , %) ФС в водно-этанольных экстрактах необходимы значения удельного показателя поглощения $E_{1\text{ см}}^{1\%}$ и аналитической длины волны, которые определяли по следующей методике. Записывали УФ-спектр полученных экстрактов василька синего (рис. 1), затем экстракты упаривали под вакуумом досуха, сухой остаток растворяли в этаноле или другом органическом растворителе и регистрировали УФ-спектр полученного раствора. Полученные спектральные характеристики идентичны, это позволяет предположить, что удельный показатель поглощения и аналитические длины волн ФС (в пересчете на рутин и танин) остаются постоянными и не зависят от природы и состава экстрагента.

По данным [3, 26], в водно-этанольных экстрактах травы василька синего могут присутствовать органические вещества, которые также поглощают свет в диапазоне от 250 до 400 нм. Для исключения влияния других веществ на результаты количественного определения ФС (в пересчете на рутин и танин) определена правильность спектрофотометрической методики методом «введено-найдено» (табл. 1).

Достоверность полученных результатов определения ФС в водно-этанольных экстрактах свидетельствует о незначительной величине систематической погрешности.

Изучение процесса набухания и кинетики ТЖЭ фенольных соединений из сырья водно-спиртовой смесью ($\varphi_2=0.47$). Согласно теоретическим основам [24], экстракция БАВ из ЛРС протекает в две фазы: смачивание и осмотическое набухание и лишь затем извлекаемые молекулы переходят через клеточные мембраны, поры или капилляры в объем экстрагента.

Испытуемые образцы ЛРС в работе измельчали методом истирания и поэтому процесс набухания занимает от 10 до 20 мин. Если же во время набухания на экстракционную систему воздействовать УЗ-волной, то процесс диффузии экстрагента в структуру сырья значительно ускорится, и эта операция сократится до 10 мин [27].

Результаты изучения кинетики экстракции ФС из растительного сырья водно-этанольным раствором на УЗ-установке и по методике, описанной в ОФС, приведены на рисунке 2.

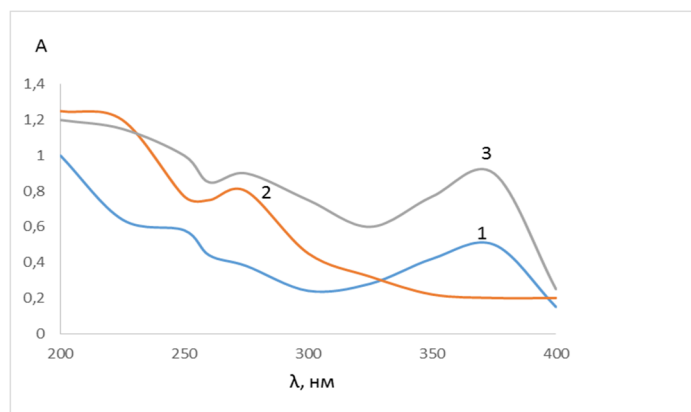


Рис. 1. УФ-спектры: 1 – раствора ГСО рутина, 2 – раствора РСО танина, 3 – водно-этанольного экстракта травы василька синего

Таблица 1. Определение правильности, методики УФ-спектрофотометрического определения ФС (в пересчете на рутин или танин и абсолютно сухое сырье) в водно-этанольных экстрактах из травы василька синего методом «введено-найдено»

Природное фенольное соединение	Содержание ПФС в аликвоте 1 мл, мг	Введено ГСО, мг	Теоретическое содержание ПФС, мг	Найдено ПФС, мг	Ошибка определения	
					абс, мг	отн., %
Рутин	0.510	0.20	0.710	0.725	0.015	2.11
	0.515	0.40	0.915	0.900	0.015	1.64
	0.520	0.60	1.120	1.20	0.008	0.71
Танин	0.270	0.20	0.470	0.458	0.012	2.55
	0.265	0.40	0.665	0.675	0.010	1.5
	0.268	0.60	0.868	0.885	0.017	1.96

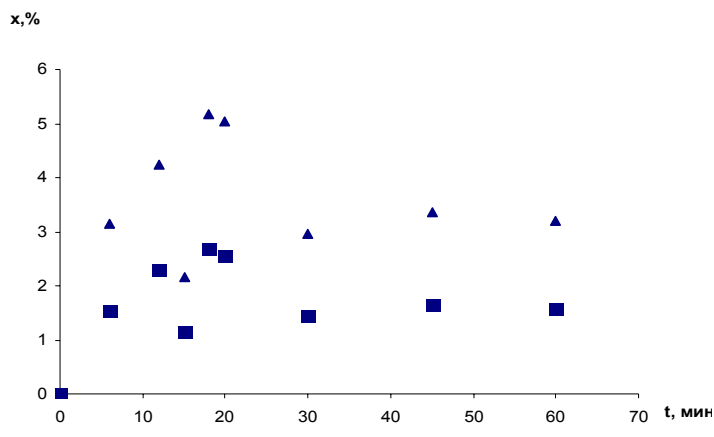


Рис. 2. Зависимость извлечения ФС из травы василька синего от времени ТЖЭ. 6, 12, 18 и 24 мин – время экстракции на УЗ-установке; 15, 30, 45 и 60 мин – время экстракции по методике в ОФС; ▲ – извлечение рутина, %; ■ – извлечение танина, %

На оси ординат отложено содержание x , % ФС в траве василька синего в пересчете на рутин или танин и абсолютно сухое сырье, рассчитанное по формуле, приведенной в [14]; по оси абсцисс отложено время экстракции. Наибольшее количество ФС переходит в бинарный экстрагент при УЗ-извлечении за первые 6 мин, далее в течение 12–18 мин выход ФС растет, достигая максимального значения, и сохраняет его до конца эксперимента. Дальнейшая обработка экстракционной системы УЗ-излучением нецелесообразна, так как общее содержание ФС в экстракте снижается. Проведение ТЖЭ на УЗ-установке существенно сокращает время достижения максимального выхода целевого продукта и повышает в среднем в 1.5–2 раза выход ФС по сравнению с результатами, полученными по методикам ОФС, описанной [12, 13].

Многократная экстракция. Одну и ту же навеску сырья экстрагировали три раза при фиксированном соотношении сырье/экстрагент (1 : 10) в течение 6 мин на УЗ-установке. Результаты представлены на рисунке 3, четвертый столбец соответствует сумме значений x , % полученных в результате трехкратной экстракции (суммарное извлечение).

Анализируя выход ФС при дробной трехкратной ТЖЭ из различных морфологических частей василька синего на УЗ-установке, установили, что количественное содержание рутина и танина (x , %) от общего содержания в абсолютно сухом сырье на первом этапе составляет около 60%, на втором – 25%, а третьем – 18%.

Общая эффективность дробной трехкратной ТЖЭ на УЗ-установке в отличие от однократной ТЖЭ по содержанию ФС составляет 8–10% (при пересчете на рутин или танин и абсолютно сухое сырье).

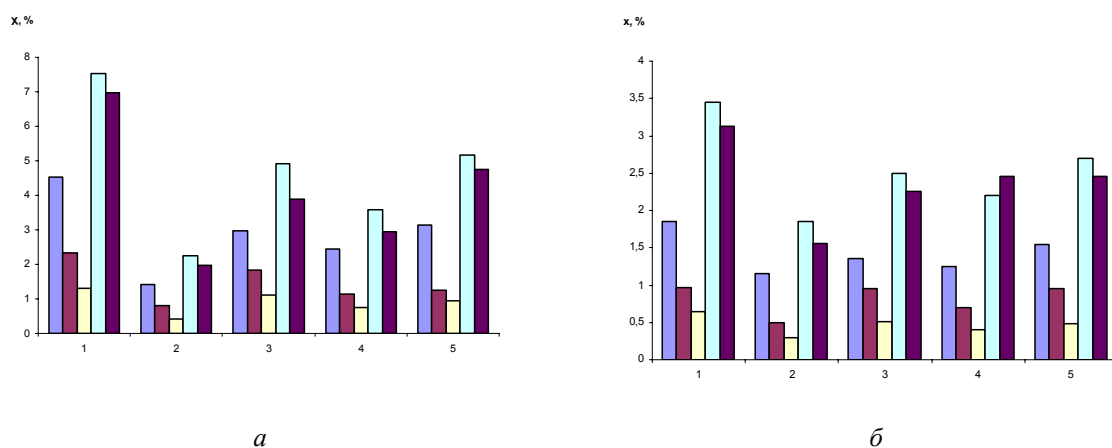


Рис. 3. Зависимость содержания (x , %) рутина (а) и танина (б) в водно-этанольных экстрактах, извлеченных трехкратной экстракцией из различных морфологических частей василька синего: 1 – листья, 2 – стебли, 3 – корзинки, 4 – краевые цветки, 5 – трава. Первые, вторые и третьи столбцы – результаты первой, второй и третьей ТЖЭ соответственно; четвертый – сумма извлечений за три последовательные экстракции; пятый – результаты однократной экстракции

Методика количественного определения суммы ФС в различных морфологических частях василька синего. Пробу ЛРС измельчают до частиц, проходящих сквозь сито с отверстиями диаметром 3–5 мм. Около 3 г (точная навеска) помещают в стакан УЗ-установки, заливают 30.0 мл бинарной смеси (вода–этанол), выдерживают до полного набухания образца, а затем подвергают УЗ-излучению 6 мин. Полученный водно-этанольный экстракт фильтруют через бумажный фильтр в мерный цилиндр емкостью 50.0 мл и измеряют точный объем. УЗЭ повторяют еще два раза в том же режиме. Полученные экстракты объединяют, измеряют суммарный объем извлечения и спектрофотометрируют в кварцевой кювете с толщиной поглощающего слоя 10 мм при 361 нм и 275 нм, используя в качестве раствора сравнения бинарную смесь.

Содержание (x , %) ФС в различных морфологических частях василька синего в пересчете на рутин или танин и абсолютно сухое сырье рассчитывают по формуле:

$$x = \frac{A \cdot V \cdot 100}{E_{1\text{см}}^{1\%} \cdot m \cdot (100 - W)},$$

где A – оптическая плотность анализируемого экстракта; V – суммарный объем экстракта, мл; $E_{1\text{см}}^{1\%}$ – удельный показатель поглощения рутина при 362 нм 216.54 или танина при 275 нм 407.84; m – масса навески морфологической части василька синего, г; W – потеря массы при высушивании сырья, %.

Продолжительность анализа с учетом стадии смачивания и осмотического набухания, трехкратной ТЖЭ на УЗ-установке и УФ-спектрофотометрического определения фенольных соединений в экстрактах составляет 40–45 мин.

Ниже представлены метрологические характеристики разработанной методики количественного определения фенольных соединений в траве василька синего (табл. 2).

Полученные результаты укладываются в норму допустимых отклонений для спектрофотометрического метода.

С использованием усовершенствованной методики спектрофотометрического определения ФС проанализировали ряд образцов краевых цветков василька синего (табл. 3).

Содержание ФС в различных образцах сырья ЛРС василька синего варьирует от 2.58 до 4.92 в пересчете на рутин и от 1.87 до 2.5 в пересчете на танин и абсолютно сухое сырье.

Таблица 2. Метрологические характеристики спектрофотометрической методики количественного определения ФС (в пересчете на рутин и танин, и абсолютно сухое сырье) в экстрактах травы василька синего

Природные фенольное соединение	x_{cp}	S^2	S	P	t	Δx	ε , %
рутин	5.18	0.000625	0.025	0.95	2.57	0.25	4.83
танин	2.70	0.000375	0.019	0.95	2.57	0.13	4.81

Примечание: x_{cp} – среднее выборки; S^2 – дисперсия; S – стандартное отклонение; P – доверительная вероятность; t – критерий Стьюдента; Δx – полуширина доверительного интервала величины; ε , % – относительная ошибка среднего результата.

Таблица 3. Результаты определения ФС (в пересчете на рутин и танин, и абсолютно сухое сырье) в экстрактах из различных образцов краевых цветков василька синего ($n=5$; $P=0.95$)

Образец	Содержание, %	
	рутин	танин
Опытный участок ГГТУ 2016	4.92±0.45	2.50±0.25
Опытный участок ГГТУ 2017	4.57±0.25	2.25±0.10
Василек цвет лепестки («ООО Беловодье»)	2.76±0.15	2.10±0.09
Василек синий (Flores Centaureae Cyani) «Хорст»	2.65±0.10	1.95±0.08
Василек синий чайный напиток «ООО Беловодье»	2.58±0.10	1.87±0.09
Цветки василька «ООО Мера-А»	2.60±0.10	1.92±0.08

Выводы

Определены условия ТЖЭ ФС бинарным экстрагентом (вода–этанол) из травы василька синего на УЗ-установке. Установлено, что:

- состав экстрагента не влияет на величину значения удельного показателя поглощения и аналитической волны ФС (в пересчете на рутин и танин);
- методом «введено-найдено» исключено влияние других веществ, присутствующих в водно-этанольных экстрактах на количественное определение ФС (в пересчете на рутин и танин);
- УЗ-воздействие на экстракционную систему сырье-экстрагент уменьшает время смачивания, осмотического набухания и экстракционного извлечения практически в 2 раза;
- применение дробной трехкратной ТЖЭ на УЗ-установке позволяет увеличить выход ФС в среднем на 8–10 % (в пересчете на рутин и танин);
- разработанная усовершенствованная методика ультразвуковой ТЖЭ ФС из травы василька синего с последующим спектрофотометрическим определением в экстрактах характеризуется незначительной систематической погрешностью, а относительная ошибка среднего результата при доверительной вероятности 0.95 не превышает 5%.

Список литературы

1. Соколов С.Я., Замотаев И.П. Справочник по лекарственным растениям (Фитотерапия). М., 1990. 428 с.
2. Школьников М.Н., Аверьянова Е.В. Практические аспекты использования растительного сырья Алтайского края в производстве многокомпонентных напитков // Ползуновский вестник. 2013. №4–4. С. 168–172.
3. Федорова А.А. Растительные ресурсы СССР. Цветковые растения, их химический состав, использование. Семейства Asteraceae. СПб., 1993. 326 с.
4. Компендиум 2006 – лекарственные препараты: в 2 томах / под ред. В.Н. Коваленко, А.П. Викторова. Киев, 2006. 2270 с.
5. Кюсев П.А. Полный справочник лекарственных растений. М., 2001. 992 с.
6. Машковский М.Д. Лекарственные средства. М., 2005. 1200 с.
7. Регистр лекарственных средств России. Энциклопедия лекарств. М., 2003. 1440 с.
8. Справочник Видаль 2015. Лекарственные препараты в России. М., 2015. 1480 с.
9. Imanshahidi M., Hosseinzadeh H. The Pharmacological Effects of Salvia Species on the Central Nervous System // Phytotherapy Research. 2006. Vol. 20. Pp.427–437.
10. Jimenez-Zamora A., Delgado-Andrade C., Rufian-Henares J.A. Antioxidant capacity, total phenols and color profile during the storage of selected plants used for infusion // Food Chemistry. 2016. Vol. 199. Pp. 339–346.
11. Lizzo M.R., Abouali M., Salehi P., Sonbolic A., Kananicnd M., Menichinia F., Tundisa R. In vitro antioxidant and antiproliferative activities of nine Salvia species // Natural Product Research. 2014. Vol. 28. №24. Pp. 2278–2285.
12. Государственная фармакопея. Российская Федерация. XIV издание. М., 2018. Т. 2. С. 367–369.
13. Государственная фармакопея. Российская Федерация. XIV издание. М., 2018. Т. 4. 1833 с.
14. Подолина Е.А., Ханина М.А., Рудаков О.Б., Небольсин А.Е. Ультразвуковая экстракция и УФ-спектрофотометрическое определение суммы флавоноидов и дубильных веществ в надземной части василька синего // Вестник ВГУ. Серия: Биология, Химия, Фармация. 2018. №2. С. 28–35.
15. Кузнецов М.Г., Хусаенов Р.И. Измельчение растительного сырья. Казань, 2012. 80 с.
16. Пономарев В.Д. Экстрагирование растительного сырья. М., 1979. 204 с.
17. Грибова Н.Ю., Филиппенко Т.А., Николаевский А.Н., Белая Н.И., Цыбуленко А.А. Оптимизация условий экстракции антиоксидантов из твердых частей лекарственных растений // Журнал аналитической химии. 2008. Т. 63. №11. С. 1137–1140.
18. Государственная фармакопея Российской Федерации. XIV издание. М., 2018. Т. 1. С. 289–318.
19. Phukan A., Chetia B., Handique J.G., Kardong D. Antimicrobial, Antioxidant Activities and RP-HPLC Analysis of Three Edible Medicinal Plants *Oxalis acuminata*, *Gnetum gnemon* and *Rhaphidophora hongkongensis* // National Academy Science Letters-India. 2016. Vol.39. N2. Pp. 99–102.
20. Podolina E.A., Rudakov O.B., Khorokhordina E.A., Kharitonova L.A. Use of acetonitrile for the extraction of dihydric phenols from salt aqueous solutions followed BY HPLC determination // Journal of Analytical Chemistry. 2008. Vol. 63. N5. Pp. 468–471.
21. Подолина Е.А., Рудакова Л.В., Рудаков О.Б. Рейтинг растворителей для экстракционно-инструментальных методик определения фенолов // Сорбционные и хроматографические процессы. 2009. Т.9, вып. 2. С. 177–190.
22. Podolina E.A., Rudakov O.B., Thin F.V., Rudakova L.V. Low-temperature liquid extraction as method of the pretreatment of phenol samples for reversed-phase hpls // Journal of Analytical Chemistry. 2010. Vol. 65. N2. Pp. 117–119.
23. Rudakov O.B., Khorokhrdina E.A., Podolina E.A., Kharitonova L.A. Effect of binary solvent composition on phenol extraction from aqueous solutions // Russian Journal of Physical Chemistry. 2007. Vol. 81. N12. Pp. 2053–2058.
24. Минина С.А., Каухова И.Е. Химия и технология фитопрепаратов. М., 2004. 560 с.
25. Рудаков О.Б., Востриков И.А., Федоров С.В., Филиппов А.А., Селеменов В.Ф., Приданцева А.А. Спутник хроматографиста. Методы жидкостной хроматографии. Воронеж, 2004. 528 с.

26. Жукова О.Л., Абрамов А.А., Даргаева Т.Д., Маркарян А.А. Изучение фенольного состава подземных органов сабельника болотного // Вестник Московского университета. Серия 2. Химия. 2006. Т. 47. №5. С. 342–345.
27. Молчанов Г.И. Ультразвук в фармации. М., 1980. 176 с.

Поступила в редакцию 5 декабря 2018 г.

После переработки 18 января 2019 г.

Принята к публикации 3 февраля 2019 г.

Для цитирования: Подолина Е.А., Ханина М.А., Рудаков О.Б., Небольсин А.Е. Спектрофотометрическое определение фенольных соединений из травы василька синего // Химия растительного сырья. 2019. №3. С. 145–152. DOI: 10.14258/jcrpm.2019034675.

Podolina E.A.^{1,2}, Khanina M.A.², Rudakov O.B.³, Nebolsin A.E.⁴* SPECTROPHOTOMETRIC DETERMINATION OF PHENOL COMPOUNDS FROM HERBS OF CORNFLOWER BLUE

¹ *Electrostat Institute (branch of the Moscow Polytechnic University), ul. Pervomayskaya, 7, Elektrostal, 144000 (Russia), e-mail: podolina70@mail.ru*

² *State humanitarian-technological university, Faculty of Pharmacy, ul. Zelyonaya, 22, Orekhovo-Zuevo, 1472611 (Russia)*

³ *Voronezh State technological university, ul. 20-letiya Oktyabrya, 84, Voronezh, 394006 (Russia)*

⁴ *JSC "Partner" Leninsky Prospect, 172, Voronezh, 394033 (Russia)*

There was studied one- and three-fold solid-liquid extraction of natural phenolic compounds (NPC) (in terms of rutin and tannin) from various morphological parts of blue cornflower (*Centaurea cyanus* L.) on an ultrasonic device created in the research laboratory of the design bureau of the ISS (Voronezh). The optimal time of solid-liquid extraction at the ultrasonic unit has been determined, taking into account wetting and swelling of vegetable raw materials. The quantitative content of NPC (in terms of rutin and tannin) as a percentage of the total content in raw materials at the first stage is about 60%, at the second stage is 25%, and the third one is 18%. It was established that with threefold extraction, the yield of NPC from medicinal plant raw materials increases at the average of 8–10% compared with a one-time extraction. There is offered an improved technique of solid-liquid extraction on the ultrasound unit and UV spectrophotometric determination of NPC from different morphological parts of the blue cornflower. The technique is characterized by the absence of a systematic error, and the relative error at a confidence level of 0.95 does not exceed 5%. The duration of the analysis, taking into account the stage of wetting and osmotic swelling, triple extraction on the ultrasound unit and UV spectrophotometric determination of rutin and tannin in water-ethanol extracts is 40–45 minutes.

Keywords: blue cornflower, rutin, tannin, ultrasonic solid-liquid extraction, spectrophotometry.

* Corresponding author.

References

1. Sokolov S.Ya., Zamotayev I.P. *Spravochnik po lekarstvennyim rasteniyam (Fitoterapiya)*. [Handbook of Medicinal Plants (Herbal Medicine)]. Moscow, 1990, 428 p. (in Russ.).
2. Shkol'nikova M.N., Aver'yanova Ye.V. *Polzunovskiy vestnik*, 2013, no. 4–4, pp. 168–172. (in Russ.).
3. Fedorova A.A. *Rastitel'nyye resursy SSSR. Tsvetkovyye rasteniya, ikh khimicheskiy sostav, ispol'zovaniye. Semeystva Asteraceae*. [Plant resources of the USSR. Flowering plants, their chemical composition, use. Families Asteraceae]. St. Petersburg, 1993. 326 p. (in Russ.).
4. *Kompendium 2006 – lekarstvennyye preparaty. V 2 tomakh* [Compendium 2006 – drugs. In 2 volumes], ed. V.N. Kovalenko, A.P. Viktorov. Kiyev, 2006, 2270 p. (in Russ.).
5. K'osev P.A. *Polnyy spravochnik lekarstvennykh rasteniy*. [A complete directory of medicinal plants]. Moscow, 2001, 992 p. (in Russ.).
6. Mashkovskiy M.D. *Lekarstvennyye sredstva*. [Medicines]. Moscow, 2005, 1200 p. (in Russ.).
7. *Registr lekarstvennykh sredstv Rossii. Entsiklopediya lekarstv*. [Register of medicines of Russia. Encyclopedia of drugs]. Moscow, 2003, 1440 p. (in Russ.).
8. *Spravochnik Vidal' 2015. Lekarstvennyye preparaty v Rossii*. [Vidal Handbook 2015. Medicines in Russia]. Moscow, 2015, 1480 p. (in Russ.).
9. Imanshahidi M., Hosseinzadeh H. *Phytotherapy Research*, 2006, vol. 20, pp. 427–437.
10. Jimenez-Zamora A., Delgado-Andrade C., Rufian-Henares J.A. *Food Chemistry*, 2016, vol. 199, pp. 339–346.
11. Lizzo M.R., Abouali M., Salehi P., Sonbolci A., Kananicnd M., Menichinia F., Tundisa R. *Natural Product Research*, 2014, vol. 28, no. 24, pp. 2278–2285.
12. *Gosudarstvennaya farmakopeya. Rossiyskaya Federatsiya. XIV izdaniye*. [The State Pharmacopoeia. Russian Federation. XIV edition]. Moscow, 2018, vol. 2, pp. 367–369. (in Russ.).
13. *Gosudarstvennaya farmakopeya. Rossiyskaya Federatsiya. XIV izdaniye*. [The State Pharmacopoeia. Russian Federation. XIV edition]. Moscow, 2018, vol. 4, 1833 p. (in Russ.).
14. Podolina Ye.A., Khanina M.A., Rudakov O.B., Nebol'sin A.Ye. *Vestnik VGU. Seriya: Biologiya, Khimiya, Farmatsiya*, 2018, no. 2, pp. 28–35. (in Russ.).
15. Kuznetsov M.G., Khusayenov R.I. *Izmel'cheniye rastitel'nogo syr'ya*. [Grinding plant materials]. Kazan, 2012, 80 p. (in Russ.).
16. Ponomarev V.D. *Ekstragirovaniye rastitel'nogo syr'ya*. [Extraction of plant materials]. Moscow, 1979, 204 p. (in Russ.).
17. Gribova N.YU., Filippenko T.A., Nikolayevskiy A.N., Belaya N.I., Tsybulenko A.A. *Zhurnal analiticheskoy khimii*, 2008, vol. 63, no. 11, pp. 1137–1140. (in Russ.).
18. *Gosudarstvennaya farmakopeya. Rossiyskaya Federatsiya. XIV izdaniye*. [The State Pharmacopoeia. Russian Federation. XIV edition]. Moscow, 2018, vol. 1, pp. 289–318. (in Russ.).
19. Phukan A., Chetia B., Handique J.G., Kardong D. *National Academy Science Letters-India*, 2016, vol.39, no. 2, pp. 99–102.
20. Podolina E.A., Rudakov O.B., Khorokhordina E.A., Kharitonova L.A. *Journal of Analytical Chemistry*, 2008, vol. 63, no. 5, pp. 468–471.
21. Podolina Ye.A., Rudakova L.V., Rudakov O.B. *Sorbtsionnyye i khromatograficheskiye protsessy*, 2009, vol. 9, no. 2, pp. 177–190. (in Russ.).
22. Podolina E.A., Rudakov O.B., Thin F. V., Rudakova L.V. *Journal of Analytical Chemistry*, 2010, vol. 65, no. 2, pp. 117–119.
23. Rudakov O.B., Khorokhordina E.A., Podolina E.A., Kharitonova L.A. *Russian Journal of Physical Chemistry*, 2007, vol. 81, no. 12, pp. 2053–2058.
24. Minina S.A., Kaukhova I.Ye. *Khimiya i tekhnologiya fitopreparatov*. [Chemistry and technology of phytopreparations]. Moscow, 2004, 560 p. (in Russ.).
25. Rudakov O.B., Vostrikov I.A., Fedorov S.V., Filippov A.A., Selemenev V.F., Pridantseva A.A. *Sputnik khromatografista. Metody zhidkostnoy khromatografii*. [Chromatographer companion. Liquid chromatography methods]. Voronezh, 2004, 528 p. (in Russ.).
26. Zhukova O.L., Abramov A.A., Dargayeva T.D., Markaryan A.A. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 2. Khimiya*, 2006, vol. 47, no. 5, pp. 342–345. (in Russ.).
27. Molchanov G.I. *Ul'trazvuk v farmatsii*. [Ultrasound in the pharmacy]. Moscow, 1980, 176 p. (in Russ.).

Received December 5, 2018

Revised January 18, 2019

Accepted February 3, 2019

For citing: Podolina E.A., Khanina M.A., Rudakov O.B., Nebolsin A.E. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2019, no. 3, pp. 145–152. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.2019034675.