

ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ *LATHYRUS VERNUS* (FABACEAE)

И.Е. Лобанова¹, О.В. Чанкина²

¹Центральный сибирский ботанический сад СО РАН,
630090, Новосибирск, ул. Золотодолинская, 101, e-mail: irevlob@ngs.ru

²Институт химической кинетики и горения СО РАН,
630090, Новосибирск, ул. Институтская, 3, e-mail: chankina@kinetics.nsc.ru

Методом рентгенофлуоресцентного анализа с использованием синхротронного излучения определено содержание 19 химических элементов в вегетативных и генеративных органах *Lathyrus vernus* (L.) Bernh. (чина весенняя) и в почвах, на которых она произрастает. Показано изменение элементного состава этого вида в течение вегетационного периода. Вычислены коэффициенты биологического накопления микроэлементов, характеризующие степень их концентрации.

Ключевые слова: элементный состав растений, Fabaceae, *Lathyrus vernus*.

ELEMENT COMPOSITION OF *LATHYRUS VERNUS* (FABACEAE)

I.E. Lobanova¹, O.V. Chankina²

¹Central Siberian Botanical Garden, SB RAS,
630090, Novosibirsk, Zolotodolinskaya str., 101, e-mail: irevlob@ngs.ru

²Institute of Chemical Kinetics and Combustion, SB RAS,
630090, Novosibirsk, Institutskaya str., 3, e-mail: chankina@kinetics.nsc.ru

By method of X-ray fluorescence analysis using of synchrotron radiation (RFA SI) Content of 19 chemical elements in vegetative and generative organs *Lathyrus vernus* (L.) Bernh. and in soils, which he sprouts was studied. The change of element composition during a vegetation period is shown. The coefficients of biological accumulation of microelements (KBN) showing the degree of their concentration.

Key words: element composition of plants, Fabaceae, *Lathyrus vernus*.

ВВЕДЕНИЕ

Изучение химических элементов в растительном сырье актуально как с теоретической, так и с практической точки зрения. Химические составляющие нативных комплексов растений могут быть использованы в качестве лекарственных и профилактических средств в комплексной терапии различных заболеваний, а также в качестве маркеров и индикаторов в биогеохимических, экологических и фитохимических исследованиях. Накопление и аккумуляция отдельных элементов могут рассматриваться как проявление видоспецифичности растений. Кроме того, существуют корреляции между концентрациями определенных элементов в растительных организмах и накоплением биологически активных веществ различного физиологического действия (Почему растения лечат, 1990). Растения рода *Lathyrus* L. издавна используются в народной медицине как противовоспалительные, ранозаживляющие, диуретические, гемостатические и седативные средства. Их широкая фармакотерапевтическая активность обусловлена макро- и микроэлементным составом, наличием фла-

воноидов и комплекса незаменимых аминокислот (Растительные ресурсы..., 1987; Зайчикова, 2003).

В настоящее время предложено использовать чину луговую и чину посевную в качестве лекарственного сырья и продуктов их переработки (Зайчикова, 2003). Химический состав чины весенней *Lathyrus (Orobus) vernus* (L.) Bernh. изучен недостаточно полно. Для растений этого вида определено содержание следующих элементов: Ca, K, Na, Mg, P, Si, Al, Fe, Mn, S, Cl, Co, Cu, Zn, Ni, Pb и даны рекомендации по использованию растений вида в качестве источника сырья, богатого макро- и микроэлементами, особенно Fe, Cu, Zn, Mn (Зайчикова и др., 2001). Опубликованные данные касаются чины весенней европейского ареала, работ по изучению элементного состава чины весенней сибирского региона нам не встречалось.

Цель настоящей работы – изучить сезонную динамику элементного состава в вегетативных и генеративных органах чины весенней, произрастающей в Западной Сибири.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Таблица 1

Содержание элементов в почвенных образцах из мест произрастания чины весенней

Элемент	Содержание, мкг/г	Элемент	Содержание, мкг/г
K, мг/г	14.5 ± 0.6	Zn	37.0 ± 1.5
Ca, мг/г	12.6 ± 0.5	As	1.3 ± 0.8
Ti	35.5 ± 0.4	Br	2.0 ± 0.1
V	70.0 ± 11.9	Rb	5.0 ± 0.2
Cr	37.0 ± 22.2	Sr	183.0 ± 7.3
Mn	679.0 ± 20.4	Y	21.0 ± 1.5
Fe	19528.5 ± 1.0	Zr	315.0 ± 195.3
Co	9.8 ± 1.8	Nb	8.0 ± 2.2
Ni	24.0 ± 10.1	Mo	0.2 ± 0.01
Cu	14.0 ± 0.8	Pb	23.0 ± 2.5

Объект нашего исследования – *Lathyrus vernus* (L.) Bernh. – евразийский вид, встречающийся в европейской части России (за исключением крайнего юго-востока), в Сибири, на Дальнем Востоке, за пределами России – в Европе, на Кавказе и в Малой Азии: в лесах, основных борах, на лесных лугах (Флора Сибири..., 1994).

Образцы вегетативных и генеративных органов чины весенней (вегетационный период 2009 г.) были собраны в дикорастущей популяции (смешанный лес) в окрестностях г. Новосибирска по фазам развития: начало вегетации (отрастание), цветение, начало и конец плодоношения. Для определения содержания химических элементов среднюю пробу для анализа брали с 25 особей (Методы..., 1987). Растения не промывали, разделяли на органы, освобождая от посторонних примесей, затем высушивали в тени до воздушно-сухого состояния.

Элементный состав в образцах определяли методом рентгенофлуоресцентного анализа с использованием синхротронного излучения (РФА СИ) на станции элементного анализа (накопитель ВЭПП-3) в Сибирском центре синхротронного излучения Института ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН (Барышев и др., 1986). Пробоподготовка для анализа РФА СИ состояла в следующем. Навеску сухого сырья (1 г) размельчали и перетирали в агатовой ступке до однородного состояния (5–10 мин). Одновременно с отбором образцов растений брали пробы почв, на которых произрастали анализируемые растения. Почву отбирали из прикорневой зоны (исключив попадание листового опада), с почвенного горизонта А0–А1 на глубине до 15–20 см методом “конверта” (Доспехов, 1968). Почву также перетирали в агатовой ступке до порошкообразного состояния. Из подготовленной к анализу пробы брали навеску 30 мг, из которой в специально сконструированной пресс-форме прессовали таблетку диаметром 1 см. Образец в виде таблетки

упаковывали во фторопластовые кольца между двумя химически чистыми пленками толщиной 5 мкм.

Метод РФА СИ, благодаря высокой интенсивности возбуждающего излучения, позволяет проводить элементный анализ образцов с чувствительностью обнаружения 10^{-7} г/г и воспроизводимостью по концентрациям элементов 5–20 %, а также Nb (28 %), Ni (42 %), Cr (60 %), Zr и As (по 62 %) Анализ проводили при энергии возбуждения – 22 кэВ. Для определения концентрации элементов (мкг/г) применяли метод внешнего стандарта. В качестве внешнего стандарта как наиболее близкого по составу к определяемым образцам использован российский стандарт растительного материала СО РМ 1 ГСО 8242-2003 для растительных тканей и БИЛ-1 ГСО 7126-94 для почвенных образцов.

По результатам анализа вычислены коэффициенты биологического накопления микроэлементов (КБН). КБН – отношение содержания элементов в растении к их содержанию в почве (Почему растения лечат, 1990). Результаты исследования представлены в табл. 1–3.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В вегетативных и генеративных органах чины весенней в течение вегетационного периода 2009 г. обнаружены 19 химических элементов: макроэлементы K и Ca и микроэлементы Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Br, Y, Zr, Cu, Mo, Pb, Zn, Nb, Sr, Rb.

Содержание калия изменялось в течение периода вегетации от 3.9 до 28.0 мкг/г в разные фазы развития и в разных органах. Максимальное его количество накапливалось в начале плодоношения (в стеблях), а минимальное – в начале вегетации (в корнях). Валовое содержание калия (в листьях, стеблях и корнях) увеличивалось от начала вегетации к концу плодоношения. Содержание этого элемента в стеблях на протяжении всего периода вегетации находилось на уровне и выше, чем в листьях и цветках. Возможно,

это свидетельствует о специфике вида, так как виды бобовых являются концентраторами калия (Протасова и др., 2001). Содержание кальция варьировало в течение вегетационного периода от 2.2 до 25.8 мкг/г. Максимум установлен в конце плодоношения (в листьях), а минимум количества приходился на начало плодоношения (в зеленых семенах). Валовое содержание кальция, как и калия, также увеличивалось от начала вегетации к концу плодоношения. Соотношение максимальных и минимальных количеств для калия различалось приблизительно в 7 и для кальция в 12 раз.

Валовое содержание микроэлементов (МЭ) было наибольшим, причем в течение всей вегетации – в корнях: в фазу цветения (1545.5 мкг/г) – в фазу конца

Содержание элементов (мкг/г) в вегетативных и генеративных органах чины весенней по фазам развития

Элемент	Орган чины							
	листья				стебли			
	Начало вегетации	Цветение	Начало плодоношения	Конец плодоношения	Начало вегетации	Цветение	Начало плодоношения	Конец плодоношения
K, мг/г	22.4 ± 0.9	21.5 ± 0.9	20.4 ± 0.8	24.0 ± 1.0	22.0 ± 0.9	23.1 ± 0.9	28.0 ± 1.1	27.7 ± 1.1
Ca, мг/г	3.6 ± 0.1	7.0 ± 0.3	17.6 ± 0.7	25.8 ± 1.0	3.2 ± 0.1	3.4 ± 0.1	4.6 ± 0.2	3.8 ± 0.2
Ti	37.0 ± 4.1	12.0 ± 0.3	9.0 ± 1.0	12.0 ± 1.3	26.0 ± 2.9	3.0 ± 0.3	7.0 ± 0.8	6.0 ± 0.7
V	0.3 ± 0.1	0.1 ± 0.02	0.2 ± 0.03	0.2 ± 0.03	0.33 ± 0.1	0.03 ± 0.01	0.2 ± 0.03	0.2 ± 0.03
Cr	1.9 ± 1.1	3.1 ± 1.9	0.9 ± 0.5	Н.о.*	5.4 ± 3.2	0.8 ± 0.5	0.3 ± 0.2	0.6 ± 0.4
Mn	46.0 ± 1.4	75.0 ± 2.3	38.0 ± 1.1	55.0 ± 1.6	48.0 ± 1.4	23.0 ± 0.7	18.0 ± 0.5	11.0 ± 0.3
Fe	269.0 ± 13.5	271.0 ± 13.6	169.0 ± 8.5	398.0 ± 9.9	528.0 ± 26.9	107.0 ± 5.4	70.0 ± 3.5	56.0 ± 2.8
Co	0.1 ± 0.02	0.1 ± 0.02	0.04 ± 0.01	0.2 ± 0.03	0.2 ± 0.04	0.03 ± 0.01	0.01 ± 0.002	0.03 ± 0.01
Ni	9.1 ± 3.8	6.4 ± 2.7	1.7 ± 0.7	0.7 ± 0.3	8.0 ± 3.4	4.3 ± 1.8	1.5 ± 0.6	1.0 ± 0.4
Cu	7.0 ± 0.4	6.0 ± 0.4	4.1 ± 0.3	4.2 ± 0.3	6.6 ± 0.4	4.9 ± 0.3	2.9 ± 0.2	2.5 ± 0.2
Zn	77.0 ± 3.1	49.0 ± 2.0	20.0 ± 0.8	18.0 ± 0.7	52.0 ± 2.1	23.0 ± 0.9	8.0 ± 0.3	8.0 ± 0.3
Br	0.4 ± 0.02	0.9 ± 0.1	1.0 ± 0.1	1.6 ± 0.1	1.7 ± 0.1	2.0 ± 0.1	1.0 ± 0.1	1.0 ± 0.1
Rb	11.0 ± 0.4	11.0 ± 0.4	8.0 ± 0.3	7.0 ± 0.3	13.0 ± 0.5	9.0 ± 0.4	6.0 ± 0.2	8.0 ± 0.3
Sr	8.0 ± 0.3	10.0 ± 0.4	55.0 ± 2.2	90.0 ± 3.6	22.0 ± 0.9	18.0 ± 0.7	3.0 ± 1.2	37.0 ± 1.5
Y	0.7 ± 0.1	0.4 ± 0.03	0.5 ± 0.04	0.2 ± 0.01	2.1 ± 0.2	0.3 ± 0.02	0.2 ± 0.01	Н.о.
Zr	3.0 ± 1.9	3.9 ± 2.4	2.6 ± 1.6	16.4 ± 10.2	**	0.9 ± 0.6	0.7 ± 0.4	1.0 ± 0.6
Nb	12.1 ± 3.4	1.5 ± 0.4	0.8 ± 0.2	0.2 ± 0.1	Н.о	0.8 ± 0.2	Н.о.	0.7 ± 0.2
Mo	0.5 ± 0.02	0.1 ± 0.04	0.1 ± 0.004	Н.о	0.5 ± 0.02	1.4 ± 0.1	1.1 ± 0.04	1.3 ± 0.1
Pb	0.7 ± 0.1	0.8 ± 0.1	2.6 ± 0.3	4.6 ± 0.5	4.2 ± 0.5	2.0 ± 0.2	1.2 ± 0.1	1.9 ± 0.2
Сумма МЭ	483.8	451.3	313.6	608.3	718.0	200.5	148.2	136.3

Окончание табл. 2

Элемент	Орган чины							
	цветки	корни			семена		створки семян	
	Цветение	Начало вегетации	Цветение	Конец плодоношения	Начало плодоношения	Конец плодоношения	Начало плодоношения	Конец плодоношения
K, мг/г	23.7 ± 1.0	3.9 ± 0.2	5.3 ± 0.2	4.7 ± 0.2	7.2 ± 0.3	6.9 ± 0.3	13.1 ± 0.5	7.9 ± 0.3
Ca, мг/г	3.5 ± 0.1	5.2 ± 0.2	8.4 ± 0.3	10.4 ± 0.4	2.2 ± 0.1	3.0 ± 0.1	7.6 ± 0.3	7.2 ± 0.3
Ti	6.0 ± 0.7	40.0 ± 4.4	63.0 ± 6.9	27.0 ± 3.0	5.0 ± 0.6	3.0 ± 0.3	3.0 ± 0.3	4.0 ± 0.4
V	0.1 ± 0.02	0.6 ± 0.1	1.1 ± 0.2	0.7 ± 0.1	0.2 ± 0.03	0.1 ± 0.02	0.2 ± 0.03	0.1 ± 0.02
Cr	5.2 ± 3.1	21.0 ± 12.6	29.1 ± 17.5	19.3 ± 11.6	2.6 ± 1.6	0.6 ± 0.4	2.2 ± 1.3	0.7 ± 0.4
Mn	41.0 ± 1.2	93.0 ± 2.8	272.0 ± 8.2	142.0 ± 4.3	24.0 ± 0.7	25.0 ± 0.8	29.0 ± 0.9	16.0 ± 0.5
Fe	152 ± 7.6	536.0 ± 26.8	967.0 ± 48.4	456.0 ± 22.8	137.0 ± 6.9	83.0 ± 4.2	66.0 ± 3.3	59.0 ± 3.0
Co	0.1 ± 0.02	0.1 ± 0.02	0.2 ± 0.04	0.1 ± 0.02	0.04 ± 0.01	0.01 ± 0.002	0.02 ± 0.004	0.01 ± 0.002
Ni	8.4 ± 3.5	9.6 ± 4.0	10.4 ± 4.4	10.3 ± 4.3	77.0 ± 32.3	6.0 ± 2.5	6.6 ± 2.8	1.3 ± 0.6
Cu	5.9 ± 0.4	6.5 ± 0.4	24.5 ± 1.5	9.1 ± 0.6	4.1 ± 0.3	3.8 ± 0.2	3.8 ± 0.2	2.6 ± 0.2
Zn	44.0 ± 1.8	32.0 ± 1.3	40.0 ± 1.6	30.0 ± 1.2	25.0 ± 1.0	26.0 ± 1.0	14.0 ± 0.6	6.0 ± 0.2
Br	2.4 ± 0.1	1.1 ± 0.1	2.8 ± 0.1	1.2 ± 0.1	0.6 ± 0.03	0.3 ± 0.02	1.8 ± 0.1	0.3 ± 0.02
Rb	14.0 ± 0.6	2.0 ± 0.1	4.0 ± 0.2	3.0 ± 0.1	5.0 ± 0.2	4.0 ± 0.2	5.0 ± 0.2	3.0 ± 0.1
Sr	5.0 ± 0.2	44.0 ± 1.8	84.0 ± 3.4	63.0 ± 2.5	7.0 ± 0.3	11.0 ± 0.4	30.0 ± 1.2	31.0 ± 1.2
Y	0.1 ± 0.01	0.8 ± 0.1	6.6 ± 0.5	1.3 ± 0.1	0.04 ± 0.003	0.2 ± 0.01	0.1 ± 0.01	0.1 ± 0.01
Zr	1.8 ± 1.1	6.2 ± 3.8	36.2 ± 22.4	7.1 ± 4.4	1.0 ± 0.6	0.5 ± 0.3	0.4 ± 0.3	0.5 ± 0.3
Nb	0.4 ± 0.1	3.1 ± 0.9	Н.о	3.0 ± 0.8	1.0 ± 0.3	0.4 ± 0.1	0.8 ± 0.2	0.2 ± 0.06
Mo	0.4 ± 0.02	2.3 ± 0.1	4.6 ± 0.2	21.4 ± 0.9	3.9 ± 0.2	2.6 ± 0.1	0.4 ± 0.02	0.1 ± 0.004
Pb	0.6 ± 0.1	4.5 ± 0.5	**	16.0 ± 1.8	3.1 ± 0.3	1.6 ± 0.2	0.7 ± 0.1	0.4 ± 0.04
Сумма МЭ	287.3	802.8	1545.5	810.5	236.5	168.1	164.0	125.3

* Н.о – ниже предела обнаружения.

** Нет данных анализа.

плодоношения (810.5), далее – в фазу начала вегетации (802.8 мкг/г). В стеблях в начале вегетации накапливалось суммарно 718 мкг/г МЭ, а в листьях в конце плодоношения – 608.3 мкг/г (см. табл. 2).

Максимальные количества Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co (три пика максимума), Br, Y, Zr, Cu, а также Rb накапливались в фазу цветения. Первые 10 из 17 определенных МЭ – в корнях, а Rb – в цветках. Максимум Zn и Nb накапливался в начале вегетации, а Sr и Co (для Co второй максимум из трех обнаруженных) в конце плодоношения – в листьях (третий максимум Co был определен в начале вегетации в стеблях). Также в конце плодоношения было установлено максимальное содержание Mo и Pb, но в корнях. В целом содержание Pb – одного из главных компонентов химических загрязнений окружающей среды (Кабатта-Пендиас, Пендиас, 1989) в чине весенней составляет 0.4–16.0 мкг/г. При этом количество этого опасного элемента – токсиканта для растений и человека в корнях (16.0 мкг/г) превышает уровень ПДК для чая на 60 % (СанПиН, 2005). Но в вегетативных и генеративных органах надземной части этого вида свинца содержится до 4.6 мкг/г, что находится в диапазоне нормальных содержаний (0.1–10.0 мг/кг сухой массы) при средней концентрации 2 мг/кг (Кабатта-Пендиас, Пендиас, 1989) и не превышает уровня ПДК для чая, взятого за стандарт (СанПиН, 2005).

Минимальные значения накоплений 15 микроэлементов из 17 определенных характерны в основном для второй половины вегетации и локализованы они в разных органах (см. табл. 2). При этом ниже предела обнаружения отмечены: ниобий в начале вегетации и плодоношения (в стеблях), в фазе цветения (в корнях). Кроме этого, в период цветения ниже предела обнаружения находился ванадий (в стеблях), а в конце плодоношения – молибден и хром (в листьях), а Y – в стеблях. Содержание мышьяка в вегетативных и генеративных органах чины весенней в течение всего периода вегетации также было ниже предела обнаружения, несмотря на наличие мышьяка в почвенных пробах из мест произрастания исследуемого вида (см. табл. 1, 2). Подобные факты отсутствия некоторых химических элементов в растениях, даже если они определены в почвенных образцах в повышенных дозах, описаны в научной литературе, но достаточного объяснения им не дано (Кабатта-Пендиас, Пендиас, 1989).

Соотношения максимальных и минимальных значений содержания МЭ, независимо от их химической природы и физиологической значимости, варьировали в довольно широком интервале значений – от 3.6 до 214.0. Для Cu, Br, Rb это соотношение находилось в пределах до 10 раз, для Zn, Ti, V, Fe, Ni, Sr – в пределах 20, для Mn, Cr, Co, Pb, Nb – 20–50 раз, а для Y, Zr, Mo – 115–214. Эти соотношения, по мнению О.А. Ельчиновой (2009), могут быть в широких пределах, автор также считает, что в большей степени данный факт обусловлен систематической принадлеж-

ностью вида и исследованным органом растения, чем местом произрастания.

Ряд накопления микроэлементов по максимальным концентрациям (КБН в порядке убывания) для чины весенней выглядит следующим образом: Mo > Ni > Zn > Cu > Nb > Br > Cr > Pb > Sr > Mn > Y > Rb > Zr > Fe > Co > Ti > V.

Сравнивая коэффициенты биологического накопления, можно говорить о том, что чина весенняя является концентратором пяти микроэлементов (при КБН > 1): Ni (3.2), Zn (2.08), Cu (1.7), Nb (1.51), Br (1.33) и сверхконцентратором одного – Mo (КБН – 107). Значительно меньше накапливается Fe (КБН – 0.050), Co (0.024), Ti (0.018) и V (0.015) (см. табл. 3). Элементы-концентраторы в органах чины весенней в течение вегетационного периода накапливаются неравномерно, что отражено в табл. 3. Так, например, Ni (КБН – 3.2), необходимость которого для живых организмов доказана сравнительно недавно и который по механизму биологического действия сходен с Fe и Co (Ильин и др., 2001), накапливается в значительных количествах только в зеленых семенах (в начале плодоношения). В других органах и периодах развития чины КБН этого элемента не превышает 0.5. По литературным данным, виды семейства бобовых способны аккумулировать Ni в больших количествах (Кабатта-Пендиас, Пендиас, 1989).

Цинк – один из важнейших эссенциальных элементов, участвующий в метаболизме углеводов, протеинов и фосфатов, а также входящий в состав разнообразных ферментов (Кабатта-Пендиас, Пендиас, 1989), накапливался (при КБН > 1) в листьях (2.08) и стеблях (1.41) в начале вегетации, а также в листьях (1.32), цветках (1.19) и корнях (1.08) – в фазу цветения. Он также присутствует как приоритетный МЭ, но с КБН < 1, в ряду накопления для отдельных органов в определенные фазы развития (см. табл. 3). Медь (1.7) и ниобий (1.51) обнаружены, соответственно, только в корнях (цветение) и листьях (в начале вегетации). При этом Cu является одним из важнейших, как и Zn, элементов в физиологии растений, а Nb – химически и физиологически инертен. Бром как МЭ-накопитель (представитель галогенов, физиологическое действие которого пока точно не установлено) концентрировался в цветках (1.14), стеблях (0.95) и корнях (1.33) в фазу цветения. Что касается молибдена, то он может присутствовать в количествах сверхнакопления и накопления (в корнях, семенах и стеблях, цветках) – в течение всей вегетации, но в листьях Mo концентрируется только в начале вегетации. В периоды цветения и начала плодоношения КБН этого МЭ = 0.50, а в конце плодоношения он находится ниже предела обнаружения.

В растениях чины весенней было обнаружено совместное присутствие некоторых МЭ. В данном случае говорить о конкурентных или синергичных взаимодействиях элементов, необходимых для нормального

**Накопление микроэлементов в вегетативных и генеративных органах чины весенней
в течение периода вегетации**

Фаза	Общий ряд накопления МЭ чины по максимальным значениям																
	Mo	Ni	Zn	Cu	Nb	Br	Cr	Pb	Sr	Mn	Y	Rb	Zr	Fe	Co	Ti	V
<i>Листья</i>																	
Н. вег.	Mo	Zn	Nb	Cu	Ni	Rb	Br	Mn	Cr	Sr	Y	Pb	Fe	Zr	Ti	Co	V
КБН	2.5	2.1	1.5	0.5	0.4	0.2	0.2	0.1	0.1	0.04	0.03	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.004
Цвет.	Zn	Mo	Br	Cu	Ni	Rb	Nb	Mn	Cr	Sr	Pb	Y	Fe	Zr	Co	Ti	V
КБН	1.3	0.5	0.4	0.4	0.3	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.003	0.002
Н. пл.	Zn	Mo	Br	Sr	Cu	Rb	Pb	Nb	Ni	Mn	Y	Cr	Fe	Zr	Co	Ti	V
КБН	0.5	0.5	0.5	0.3	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.03	0.02	0.01	0.01	0.004	0.003	0.003
К. пл.	Br	Zn	Sr	Cu	Pb	Rb	Mn	Zr	Nb	Ni	Fe	Co	Y	Ti	V	Cr	Mo
КБН	0.8	0.5	0.5	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1	0.03	0.03	0.02	0.02	0.01	0.003	0.003	Н.о.	Н.о.
<i>Цветки</i>																	
Цвет.	Mo	Zn	Br	Cu	Ni	Rb	Cr	Mn	Nb	Sr	Pb	Fe	Co	Y	Zr	Ti	V
КБН	2.0	1.2	1.1	0.4	0.4	0.3	0.1	0.1	0.1	0.03	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.002	0.001
<i>Стебли</i>																	
Н. вег.	Mo	Zn	Br	Cu	Ni	Rb	Pb	Cr	Sr	Y	Mn	Fe	Co	Ti	V	Zr	Nb
КБН	2.5	1.4	0.8	0.5	0.3	0.3	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.03	0.02	0.01	0.01	*	Н.о.
Цвет.	Mo	Br	Zn	Cu	Ni	Rb	Sr	Nb	Pb	Mn	Cr	Y	Fe	Co	Zr	Ti	V
КБН	7.0	1.0	0.6	0.4	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.03	0.02	0.01	0.01	0.003	0.003	0.001	Н.о.
Н. пл.	Mo	Br	Zn	Cu	Sr	Rb	Ni	Pb	Mn	Y	Cr	Fe	V	Ti	Zr	Co	Nb
КБН	5.5	0.5	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.03	0.01	0.01	0.004	0.003	0.002	0.002	0.001	Н.о.
К. пл.	Mo	Br	Zn	Sr	Cu	Rb	Nb	Pb	Ni	Cr	Mn	Zr	Fe	V	Co	Ti	Y
КБН	6.5	0.5	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.04	0.02	0.02	0.003	0.003	0.003	0.003	0.002	Н.о.
<i>Корни</i>																	
Н. вег.	Mo	Zn	Cr	Br	Cu	Ni	Nb	Sr	Pb	Mn	Rb	Y	Fe	Zr	Co	Ti	V
КБН	11.5	0.9	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4	0.2	0.2	0.1	0.04	0.04	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01
Цвет.	Mo	Cu	Br	Zn	Cr	Pb	Sr	Ni	Mn	Y	Zr	Rb	Fe	Co	Ti	V	Nb
КБН	22.5	1.7	1.3	1.1	0.8	0.7	0.5	0.4	0.4	0.3	0.1	0.1	0.1	0.02	0.02	0.02	Н.о.
К. пл.	Mo	Zn	Pb	Cu	Br	Cr	Ni	Nb	Sr	Mn	Y	Rb	Fe	Zr	Co	V	Ti
КБН	107	0.8	0.7	0.7	0.6	0.5	0.4	0.4	0.3	0.2	0.1	0.1	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01
<i>Семена</i>																	
Н. пл.	Mo	Ni	Zn	Br	Cu	Pb	Nb	Rb	Cr	Sr	Mn	Fe	Co	Zr	Y	V	Ti
КБН	19.5	3.2	0.7	0.3	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.04	0.04	0.01	0.004	0.003	0.002	0.002	0.001
К. пл.	Mo	Zn	Cu	Ni	Br	Rb	Pb	Sr	Nb	Mn	Cr	Y	Fe	V	Zr	Ti	Co
КБН	13.0	0.7	0.3	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.04	0.02	0.01	0.004	0.002	0.002	0.001	0.001
<i>Створки бобов</i>																	
Н. пл.	Mo	Br	Zn	Ni	Cu	Sr	Nb	Rb	Cr	Mn	Pb	Y	Fe	V	Co	Zr	Ti
КБН	2.0	0.9	0.4	0.3	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1	0.04	0.03	0.004	0.003	0.003	0.002	0.001	0.001
К. пл.	Mo	Cu	Sr	Zn	Br	Rb	Ni	Mn	Nb	Pb	Cr	Y	Fe	Zr	Co	Ti	V
КБН	0,5	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,02	0,02	0,02	0,02	0,005	0,003	0,002	0,001	0,001	0,001

Примечание. Н. вег. – фаза начала вегетации; Цвет. – фаза цветения; Н. пл. – фаза начала плодоношения; К. пл. – фаза конца плодоношения. КБН – коэффициент биологического накопления. Н.о. – ниже предела обнаружения.

* Нет данных.

роста и развития растений (Кабатта-Пендиас, Пендиас, 1989), достаточно сложно, но возможно проследить некоторые совпадения их присутствия в органах чины в течение вегетации. Так, в листьях обнаружено максимальное количество Zn и Nb (в начале вегетации), а также максимум Ca, Sr и Co, но ниже предела обнаружения находились Cr и Mo (в конце плодоношения). В стеблях при максимальном содержании Co (начало вегетации) и K (начало плодоношения) было обнару-

жено минимальное, ниже предела обнаружения, количество Nb. В цветках максимуму Rb соответствовал минимум V. В корнях было зафиксировано максимальное содержание Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Cu, Br, Y, Zr (период цветения), минимальное, ниже предела обнаружения, – Nb. В корнях же установлены максимумы Mo и Pb (в конце плодоношения). В зеленых семенах максимальному накоплению Ni (начало плодоношения) соответствовало минимальное содержание Ca.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В растениях *Lathyrus vernus* методом РФА СИ были определены 19 химических элементов, 2 из которых являются макроэлементами. Распределение исследованных элементов по органам и фазам развития в течение вегетационного периода неравнозначно. Надземная часть чины весенней богата калием (листья, стебли и цветки в течение всей вегетации) и кальцием (листья в конце плодоношения), может служить источником этих макроэлементов. Максимум суммарного содержания МЭ (Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Br, Y, Zr, Cu, Mo, Pb, Zn, Nb, Sr, Rb) накапливался в фазу цветения в корнях, причем валовое содержание МЭ в корнях в течение всей вегетации было выше, чем в других органах чины. Коэффициенты биологического накопления, вычисленные по максимальным значениям, показали, что *Lathyrus vernus* L. является концентратором: Ni (3.2), Zn (2.08), Cu (1.7), Br (1.33),

Nb (1.51) и сверхконцентратором – Mo (107). При этом элементы-концентраторы присутствуют в разных фазах развития и в разных органах чины и имеют, кроме Ni, Cu и Nb, несколько пиков накопления. Меньше всего Fe (КБН – 0.050), Co (0.024), Ti (0.018) и V (0.015). Ниже предела обнаружения методом РФА СИ определяли: As – во всех вегетативных и генеративных органах *Lathyrus vernus* в течение всего периода вегетации, а также Mo, Nb, V, Cr, Y в отдельных органах чины в разные периоды вегетации. Содержание Pb в надземной части *Lathyrus vernus* находится в диапазоне общепринятых норм и не превышает уровень ПДК для чая.

Работа выполнена при использовании оборудования ЦКП СЦСТИ и финансовой поддержке Минобрнауки России.

ЛИТЕРАТУРА

- Барышев В.Б., Колмогоров Ю.П., Кулипанов Г.Н., Скринский А.Н. Рентгенофлуоресцентный элементный анализ с использованием синхротронного излучения // Журн. аналит. химии. 1986. Т. 41, вып. 3. С. 389–401.
- Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М., 1968. 336 с.
- Ельчинова О.А. Микроэлементы в наземных экосистемах Алтайской горной области: Автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. Барнаул, 2009. 32 с.
- Зайчикова С.Г. Ботанико-фармацевтическое изучение некоторых представителей рода чина семейства бобовые и оценка их биологической активности: Автореф. дис. ... д-ра фармац. наук. М., 2003. 48 с.
- Зайчикова С.Г., Самылина И.А., Бурляева М.О. Белковый, аминокислотный и минеральный состав отдельных представителей рода чина // Хим.-фармацевт. журн. 2001. Т. 35, № 6. С. 51–53.
- Ильин В.Б., Сысо А.И. Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах и растениях Новосибирской области. Новосибирск, 2001. 229 с.
- Кабатта-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. М., 1989. 439 с.
- Методы биохимического исследования растений. Л., 1987. 430 с.
- Почему растения лечат / М.Я. Ловкова, А.М. Рабинович, С.М. Пономарева, Г.Н. Бузук, С.М. Соколова. М., 1990. 256 с.
- Протасова Н.А., Беляев А.Б. Химические элементы в жизни растений // Соревский образоват. журн. 2001. Т. 7, № 3. С. 25–32.
- Растительные ресурсы СССР: Цветковые растения, их химический состав, использование; Семейства *Nyctaginaceae*–*Haloragaceae*. Л., 1987. 326 с.
- СанПиН 2.3.2.1078-01. Санитарные правила и нормы. Продовольственное сырье и пищевые продукты. М., 2005. 176 с.
- Флора Сибири: в 14 томах. Т. 9. *Fabaceae* (*Leguminosae*). Новосибирск, 1994. 280 с.