

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 fluorescent 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 К и Са 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.