ЭЛЕМЕНТНЫЙ ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ РАСТЕНИЙ ГОРНОГО АЛТАЯ И ФАКТОРЫ, ЕГО ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ

Рождественская Т.А., Ельчининова О.А., Пузанов А.В.

В работе рассматривается элементный химический состав растений Горного Алтая как с точки зрения необходимости микроэлементов для нормального функционирования живых организмов, так и с позиции негативного влияния на них тяжелых металлов в повышенных количествах. Выявлено, что важным фактором, обусловливающим различия элементного состава, является систематическая принадлежность растений.

ВВЕДЕНИЕ

Загрязнение окружающей среды тяжелыми металлами является одной из важнейших экологических проблем современности. В условиях техногенеза токсиканты включаются в биогеохимические круговороты, поступают через почву, гидросферу и атмосферу в растения, корма, продукты питания, в организмы животных и человека. Изучение биогеохимического поведения приоритетных элементов-токсикантов в компонентах биосферы — одна из актуальных задач современной экологии, так как биогеохимическая ситуация в регионах является существенным фактором их устойчивого развития и функционирования. Загрязнение атмосферы, почвы и воды в ландшафтах вызывает тревогу не только потому, что оно может заметно снизить продуктивность растений, нарушить естественно сложившиеся фитоценозы, привести к нарушению нормальных процессов органогенеза, но и потому, что оно неизбежно ухудшает гигиеническое качество среды обитания человека. Однако многие химические элементы являются неотъемлемой частью физиологически необходимых живым организмам соединений, поэтому немаловажно располагать информацией об естественных концентрациях элементов в растениях.

Большая часть изучаемой территории удалена от крупных промышленных центров, являющихся источниками техногенного загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами, и может служить полигоном для определения фоновых концентраций приоритетных элементовтоксикантов в компонентах экосистем, в частности, в растениях.

Цель работы — оценка содержания тяжелых металлов (Cd, Cu, Zn, Pb, Mn) в наиболее распространенных дикорастущих растениях Горного Алтая, используемых в качестве пищевых и лекарственных для человека и кормовых для животных, с экологических позиций. Задачи исследования: рассмотреть уровень концентрации элементов как с точки зрения экотоксикологии, так и их важности для физиологических процессов человека и животных (медь, цинк и марганец в небольших количествах являются незаменимыми для живых организмов); выявить факторы, влияющие на накопление элементов в растениях.

Исследовано более 170 растительных образцов. Определение химических элементов выполнено методом атомной абсорбции на спектрофотометре фирмы Perkin Elmer. Содержание элементов в растениях приводится в мг/кг сухого вещества.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Марганец относится к числу элементов, находящихся во всех без исключения живых организмах. Мп способствует ускорению процессов роста и развития растений, накоплению и передвижению ассимилятов, повышению активности ферментативных систем. Элемент играет важную роль в дыхательном процессе и в азотистом обмене, необходим для осуществления фотосинтетических реакций, связанных с выделение кислорода [1-3]. Марганец активизирует процессы синтеза аскорбиновой кислоты и других витаминов, улучшает условия питания. Нижняя пороговая концентрация элемента в кормах, по В.В. Ковальскому [4], составляет 20 мг/кг, избыточная – 60-70 и выше. Отсутствие марганца резко снижает фотосинтез у растений. У многих растений при недостатке марганца снижается усвояемость йода. Большинство растений при дефиците марганца накапливает железо. Избыток марганца в кислых почвах приводит к уменьшению в растениях железа и вызывает у них хлороз.

У животных и человека при недостатке марганца наблюдается задержка в формировании костной системы и замедление общего роста [5]. Недостаток йода при избытке марганца вызывает эндемический зоб [12].

У исследованных растений максимальные содержания отмечены в полукустарничках (брусничник, багульник), относящихся к группе манганофилов – растений, способных поглощать и концентрировать марганец в своих тканях в больших количествах. Так, содержание марганца в Vaccinium vitis-idaea L. (брусника) сем. Vacciniaceae находится в пределах 163-1587 мг/кг сухого вещества, Ledum palustre L. (багульник болотный) сем. Егісасеае – 590-2083 мг/кг. Наблюдаемое накопление растениями марганца является наследственно закрепленным [6]. Довольно много

элемента накапливает и Empetrum subholarcticum – шикша двуполая (сем. Empetraceae) – 56-611 мг/кг (среднее 288 мг/кг). В растениях других семейств средние содержания элемента колеблются от 22,7 мг/кг (сем. Paeoniaceae) до 148 мг/кг (сем. Poligonaceae). В целом следует отметить, что многие растения из сем. Poligonaceae, Laminaceae и Rosaceae накапливают марганца в количествах, относящихся к верхней пороговой концентрации в кормах [4].

Цинк является химическим элементом, играющим важную роль в жизни растительных и животных организмов. Основные функции микроэлемента в растениях связаны с метаболизмом углеводов, протеинов и фосфатов, а также с образованием ДНК и рибосом. Цинк играет важную роль в формировании генеративных органов и плодоношении. Недостаток цинка задерживает рост растений [2].

Цинк обладает слабой фитотоксичностью, которая обнаруживается только при существенном увеличении его содержания в почве. Среднее содержание цинка в растительности на незагрязненных почвах – 53,3 мг/кг, в травах средние концентрации находятся в пределах 12-47 мг/кг сухой массы [8]. По данным [9], диапазон нормальных концентраций элемента – 15-150 мг/кг. Оптимальное содержание в кормах составляет 20-60 мг/кг и выше, избыточное – 60-100 мг/кг и выше [4]. По другим данным, появление признаков токсичности растений наступает при концентрации цинка в тканях 300-500 мг/кг сухого вещества [10]. Высокие концентрации цинка в растениях представляют реальную опасность для растений (нарушение синтеза хлорофилла) и здоровья людей [2, 11]. В организме человека Zn регулирует процесс кроветворения, способствует обмену нуклеиновой кислоты, углеводов и белка; биологический антагонист Fe и Cu [12].

В растениях большинства семейств средние содержания цинка находятся в пределах 22-30 мг/кг. Низкие концентрации элемента свойственны растениям семейства Boraginaceae — бурачниковые — 1,4-18 мг/кг. Из растений, у которых исследовалась подземная часть, максимальные содержания элемента свойственны корневищам Bergenia crassifolia (L.) — бадана толстолистного из сем. Saxifragaceae — до 76 мг/кг при концентрации в надземной массе 16-20 мг/кг. Корни Rhodiola rosea — родиолы розовой (сем. Grassulaceae) — содержат элемента в количестве 11-21 мг/кг. Таким образом, на накопление цинка в растениях влияет, в первую очередь, систематическая принадлежность растения.

Медь. Биохимические функции меди очень многообразны. Она присутствует в составе многих ферментов, комплексных соединений, играет важную роль в процессах фотосинтеза, дыхания, влияет на проницаемость сосудов ксилемы, контролирует образование ДНК и РНК. Дефицит элемента тормозит репродуцирование растений. Медь оказывает влияние на механизмы, определяющие устойчивость растений к заболеваниям. В то же время, элемент может быть токсикантом: высокие концентрации его вызывают повреждение тканей, нарушение процессов фотосинтеза, хлороз [1, 3]. Оптимальное содержание меди в растениях важно как для самих растений, так и для использования их в питании животных и человека: избыток элемента вызывает анемию, гемолитическую желтуху, поражение печени [12].

Некоторые виды растений имеют большую устойчивость к повышенным содержаниям меди и могут аккумулировать экстремально высокие количества этого элемента в тканях, особенно в тканях корней [1, 2, 4, 7, 10, 13]. Концентрация Си в растениях из незагрязненных регионов разных стран колеблется от 1 до 10 мг/кг сухой массы [10]. По данным М.Я. Школьника [2], в зависимости от природных условий среднее содержание меди в растениях находится в пределах 6,3-8,7 мг/кг сухого вещества. По мнению [10], у растений, произрастающих в широком диапазоне природных условий, концентрация металла в побегах редко превышает 20 мг/кг сухой массы, и такую величину можно рассматривать как границу, отделяющую область избыточных содержаний. Нижняя пороговая концентрация элемента в кормах – до 3-5 мг/кг, верхняя – 20-40 мг/кг [4].

Содержание меди в большинстве исследованных проб не превышает 10 мг/кг. Среднее содержание Си во всей совокупности растений составляет 5,6±0,3 мг/кг. В 25% выборки растений из сем. Laminaceae, произрастающих в различных экологических условиях, содержание меди выше 10 мг/кг (Mentha arvensis накапливает до 16,5 мг/кг); такая большая доля свидетельствует, вероятно, о биологической способности растений этого семейства накапливать медь в надземной части. Также повышенные концентрации элемента (до 16,7 мг/кг) свойственны почти всем растениям рода Artemisia

Накопления элемента в подземной части растений не наблюдается. Так, корневища Bergenia crassifolia (L.) содержат Cu 2,9-3,6 мг/кг, корни Paeonia anomala L. (пиона уклоняющегося) – 1,5-9,4 (среднее 3,8) мг/кг. Несколько выше концентрация металла в корнях Glycerrhiza uralensis (солодки уральской) сем. Fabaceae – 12,3 мг/кг; относительно высокое содержание элемента и в надземной части этого растения – 9,8 мг/кг. Количество меди в растениях находится в пределах, когда у организмов не должно быть отклонений в процессах жизнедеятельности.

Свинец. Высокие содержания свинца в питательной среде вызывают нарушения метаболизма у растений. Основным симптомом токсического действия Рb является торможение роста и угнетение

накопления биомассы [14]. Естественные уровни содержаний свинца в растениях из незагрязненных и безрудных областей находятся в пределах 0,1-10,0 мг/кг сухой массы при средней концентрации 2 мг/кг [8], по данным В.Б. Ильина [7], — 4,1 мг/кг. Широкое варьирование содержаний свинца в растениях связано с их способностью накапливать этот элемент, а также с воздействием различных факторов среды. С помощью меченых атомов выявлено, что большая часть свинца отлагается в корнях и лишь только в условиях высоких концентраций поступает в листья [10]. По данным [9], содержание элемента в растении возрастает непропорционально увеличению его концентрации в почве.

При длительном поступлении Pb в организм человека в высоких концентрациях может развиваться токсический авитаминоз. Свинцовая интоксикация нарушает процессы обмена в железах внутренней секреции, поражает желудочно-кишечный тракт [15].

В 80% выборки надземной массы содержание свинца не превышает 2 мг/кг. Максимальное количество элемента — 5,6 мг/кг обнаружено в одном из образцов корней Paeonia anomala L. По семействам накопление свинца слабо дифференцировано. В целом концентрация Рb вписывается в диапазон нормальных содержаний, при которых нет нарушений метаболических функций у растений.

Кадмий — элемент чрезвычайно высокой токсичности. Ионы кадмия обладают большой подвижностью в почвах, легко транслоцируются в растения и по пищевым цепям поступают в организм человека и животных. Кадмий не является физиологически важным элементом для растений, которые, однако, легко его поглощают. В растениях кадмий подавляет образование антоциана и хлорофилловых пигментов, может тормозить фотосинтез, нарушать транспирацию, изменять проницаемость клеточных мембран. Видимые симптомы, вызванные повышенным содержанием кадмия в растениях — это задержка роста, повреждение корневой системы, хлороз листьев [8, 16]. Соли кадмия обладают мутагенными свойствами и представляют потенциальную генетическую опасность; в питании человека кадмий является кумулятивным ядом [8, 10, 16]. Канцерогенность Сd доказана на экспериментальных животных [17]. При недостатке в продуктах питания цинка токсичность кадмия возрастает, так как место цинка в биологических системах занимает кадмий, как элемент, близкий по химической природе, в результате чего возникают функциональные расстройства этих систем. Допустимое ФАО/ВОЗ поступление в организм для кадмия примерно равно содержанию этого элемента в обычном суточном рационе [18].

Нормальное содержание кадмия в растениях 0.05-0.2 мг/кг воздушно-сухой массы, предположительно максимальное -3 мг/кг [9], по данным С.В. Баденковой, О.П. Добродеева [19] -0.25 мг/кг. Средняя концентрация Сd в травах составляет 0.007-0.27 мг/кг [8].

Высокие концентрации элемента обнаружены в единичных представителях Astragalus frigidus (L.) (астрагал холодный) сем. Fabaceae — 0,7 мг/кг, Glycerrhiza uralensis (корни) (солодка уральская) сем. Fabaceae — 1,15, Phlomis tuberosa L. (зопник клубненосный) сем. Laminaceae — 1,6, Salix phylicifolia (ива филиколистная) сем. Salicaceae — 1,0, Inula helenium (девясил высокий) сем. Asteraceae — 1,6 мг/кг. Так как растения других видов этих же местообитаний и этих же видов на других территориях содержат фоновые количества кадмия, вероятно, вышеперечисленные растения обладают способностью к накоплению элемента уровне отдельного организма. Большинство остальных проб содержит сотые доли мг Cd на кг. По-нашему мнению, при использовании растений человеком необходим обязательный контроль над содержанием кадмия.

Как известно, одним из факторов, которые определяют величину перехода химического элемента в растение, является исходное валовое содержание химического элемента в почве. Влияние этого параметра нами исследовано на примере Pentaphylloides fruticosa (L.) – курильского чая (сем. Rosaceae), растения, довольно широко распространенного на территории Горного Алтая и встречающегося в условиях разных ландшафтно-геохимических обстановок [20] (таблица).

Таблица Содержание химических элементов в Pentaphylloides fruticosa (L.) и почвах, мг/кг

Разрез Объект Cd Pb Cu Zn Mn Э1/91. Кош-Агачский район, правый почва 0,06 6,0 19,2 46,2 780 берег р. Жумалы выше устья р. Сарытас 0,101 1,4 4,0 43 94 растение ЭЗ/91. Кош-Агачский район, верховья р. 0,33 7,2 89,6 1545 6,6 почва Жумалы 1,2 4,3 83 342 0,363 растение Э4/91. Кош-Агачский район, левый берег 8,8 915 0,05 3,6 33,6 почва 0.107 4.8 41 288 ручья Теплый растение 1.4 Э5/91. Кош-Агачский район, верховья р. 1020 80.0 8.1 9.6 53.0 почва Сарытас 0,053 1,4 3,7 38 229 растение 0,05 21,6 39,2 Э7/91. Кош-Агачский район, долина 4,3 465 0,014 Тархатинских озер 2,7 6,3 42 114 растение Э13/91. Кош-Агачский район, Чуйская 0,14 37 76 816 6,5 почва 4,8 растение 0,04 1,2 27 123 степь

Тесная связь между содержанием элемента в растениях и его валовым количеством в почве из исследованных элементов характерна только для кадмия (коэффициент корреляции составляет 0,88±0,09). Для этого элемента характерен и самый высокий коэффициент накопления (отношение содержания элемента в растении к концентрации его в почве) — часто больше 1. В фоновом диапазоне содержания в почве остальных элементов увеличение этого параметра практически не приводит к возрастанию концентрации металлов в растении (см. таблицу), что свидетельствует о превалировании генетического фактора в накоплении тяжелых металлов растениями, то есть растения способны регулировать химический состав независимо от уровня содержания элемента в почве. С другой стороны, возможно, коэффициенты накопления, рассчитанные на валовое содержание элемента в почве, не всегда отражают реальную подвижность его в звене почва—растение.

Таким образом, содержание исследованных тяжелых металлов, часть из которых является и микроэлементами, в растениях Горного Алтая находится на уровне, характерном для незагрязненных регионов. Важным фактором, определяющим элементный химический состав растений, является их систематическая принадлежность.

Литература

- 1. Власюк $\Pi.A.$ Биологические элементы в жизнедеятельности растений. Киев: Наукова думка, 1969. 516 с.
- 2. Школьник М.Я. Микроэлементы в жизни растений. Л., 1974. 342 с.
- 3. Физиология растительных организмов и роль металлов // Под ред. Н.М. Чернавской. М.: Изд-во МГУ, $1988.\ 157\ c.$
- 4. *Ковальский В.В., Раецкая Ю.И., Грачева Т.И.* Микроэлементы в растениях и кормах. М.: Колос, 1971. 235 с.
- 5. Дробков А.А. Микроэлементы и естественные радиоактивные элементы в жизни растений и животных. М.: Изд-во АН СССР, 1958. 208 с.
- 6. Мальгин М.А. Биогеохимия микроэлементов в Горном Алтае. Новосибирск: Наука, 1978. 272 с.
- 7. Ильин В.Б. Тяжелые металлы в системе почва-растение. Новосибирск: Наука, 1991. 151 с.
- 8. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир, 1989. 439 с.
- 9. *Ильин В.Б., Юданова Л.А.* Тяжелые металлы в почвах и растениях // Поведение ртути и других тяжелых металлов в экосистемах. Часть II. Процессы биоаккумуляции и экотоксикология. Новосибирск, 1989. С. 6-47.
- 10. Алексеев Ю.В. Тяжелые металлы в почвах и растениях. Л.: Агропромиздат, 1987. 142 с.
- 11. Бессонова В.А., Лыженко И.И., Михайлов О.Ф. и ∂p . Влияние кинетина на рост проростков гороха и содержание пигментов при избытке цинка в питательном растворе // Физиологические растворы, 1985. Т. 32. Вып. 1. С. 109-120.
- 12. Иванов В.В. Экологическая геохимия элементов. Кн. 4. М.: Недра, 1996. 416 с.
- 13. Dieter H.H. Biochemische Essentialitat und Toxikologie von Kupfer // Off. Gesundh. Wes. 51 (1989). S. 222-227.
- 14. Алексеева-Попова Н.В. Накопление цинка, марганца и железа при разном уровне меди в среде // Растения в экстремальных условиях минерального питания. Л., 1983. С. 54-64.
- 15. Wemmer U. Zur Belastung von Kindern mit Schwermetallen // Sozialpadiatrie 12. Jg. (1990) №8. S. 566-570.
- 16. Цинк и кадмий в окружающей среде. М.: Наука, 1992. 199 с.
- 17. Sunderman F.W. // Fed. Pros. 1978. Vol. 37, №1. P. 40-46
- 18. *Зимаков И.Е.* К вопросу о естественном уровне кадмия в продуктах питания // Вопросы питания. 1980. №2. С. 57-61.
- 19. *Баденкова С.В., Добродеев О.П.* Кадмий в торфе и растениях верховых болот // Вестник МГУ. Серия 5. География. 1988. №3. С. 79-83.
- 20. Ревушкин А.С. Высокогорная флора Алтая. Томск: Изд-во Том. ун-та, 1988. 320 с.

ELEMENTAL CHEMICAL COMPOSITION AND ITS DETERMINING FACTORS IN PLANTS OF MOUNTAIN ALTAI

Puzanov A.V., Elchininova O.A, Rozhdestvenskava T.A.

The elemental chemical composition of the plants growing in Mountain Altai is considered as in terms of microelements needed for normal functioning of living organisms, as in the aspect of negative effect of increased concentrations of heavy metals on living organisms. It was found that systematic attachment of plants is an important factor that calls forth the difference in elemental composition.