

УДК 58:632.5:550.47

**БИОКОМПЛЕКС *VISCUM COLORATUM* (КОМ.) NAKAI
И *BETULA PLATYPHYLLA* SUK.:
ОСОБЕННОСТИ МИНЕРАЛЬНОГО ОБМЕНА**

Леусова Н.Ю.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Институт геологии и природопользования ДВО РАН, Благовещенск, e-mail: leusova@ascnet.ru

Viscum coloratum (Ком.) Nakai – многолетнее вечнозеленое, полупаразитное растение. Оно обычно используется в медицине и фармакологии, например для лечения рака. В этом исследовании были использованы методы качественного и количественного анализа минеральных компонентов *Viscum coloratum* (Ком.) Nakai и соответствующего хозяина – *Betula platyphylla* Suk. В отношении минерального обмена паразитических и полупаразитических растений, в частности омеловых, – соответствующие данные в литературе чрезвычайно скудны. Паразитические растения получают минеральные вещества, избирательно поглощая их из растений-хозяев посредством специальных органов прикрепления – гаусторий. Транспирация, осмос, активный транспорт могут играть важную роль в растворении веществ и поглощении воды. Скорость поступления катионов и анионов определяется многими факторами, включая внешние (свет, влажность, температура и т.д.) и внутренние – такие как транспирация, корневое давление, фотосинтетические особенности, дыхательный обмен и др. Между тем для нормального роста необходимы не только различные минеральные вещества и их антагонистические соотношения, но и каждому виду растения требуется свой собственный набор элементов. Сделан вывод, что растение омела окрашенная, являясь ксилемным паразитом, избирательно поглощает отдельные элементы из растения хозяина – березы плосколистной, что отражает как генетическую специфику растений и геохимические особенности среды, так и приспособленность к паразитическому образу жизни. В процессе развития система: омела – береза неотделима от среды обитания, а взаимодействуя, вносит взаимный вклад в минеральный обмен друг друга.

Ключевые слова: омела, растения-паразиты, растение-хозяин, минеральный обмен, биоконплекс

**BIOCOMPLEX *VISCUM COLORATUM* (KOM.) NAKAI
AND *BETULA PLATYPHYLLA* SUK.: FEATURES OF MINERAL EXCHANGE**

Leusova N.Yu.

*Institute of Geology and Nature Management Far Eastern Branch Russian Academy of Science,
Blagoveshchensk, e-mail: leusova@ascnet.ru*

Viscum coloratum (Kom.) Nakai is a perennial evergreen, semi-parasitic plant. It is generally used in medicine and pharmacology for treating cancer, for example. In this study, methods were used for the qualitative and quantitative analysis of the mineral components of *Viscum coloratum* (Kom.) Nakai and the corresponding host – *Betula platyphylla* Suk. Regarding the mineral metabolism of parasitic and semi-parasitic plants, in particular, mistletoe, the corresponding data in the literature are extremely scarce. Parasitic plants receive mineral substances by selectively absorbing them from host plants through special attachment organs – the haustorium. Transpiration, osmosis, active transport can play an important role in the dissolution of substances and the absorption of water. The rate of arrival of cations and anions is determined by many factors, including external (light, humidity, temperature, etc.) and internal – such as transpiration, root pressure, photosynthetic characteristics, respiratory metabolism, etc. Meanwhile, not only are necessary for normal growth various mineral substances and their antagonistic relationships, but each type of plant requires its own set of elements. It is concluded that the *Viscum coloratum* (Kom.) Nakai, being a xylem parasite, selectively absorbs individual elements from the host plant – *Betula platyphylla* Suk., which reflects both the genetic specificity of plants and the geochemical characteristics of the environment, as well as fitness for a parasitic lifestyle. In the process of development, the system: mistletoe – birch is inseparable from the environment, and interacting, makes a mutual contribution to each other's mineral metabolism.

Keywords: mistletoe, parasite plants, host plant, mineral metabolism, biocomplex

Растения являются важнейшим звеном миграционной цепи химических элементов. Каждый из элементов минерального питания подвергается круговороту, но биохимические циклы отдельных элементов включают разные компартменты биосферы, разные пулы соединений и характеризуются разными циклами превращений. Данный факт особенно интересен в системе взаимодействия растение-паразит и растение-хозяин, которая организована в уникальный биоконплекс, существование

которого взаимообусловлено и подчинено пространственной организации.

Растения паразиты и полупаразиты могут представлять достаточно большую опасность и приносить огромный вред ряду сельскохозяйственных, лесных, декоративных растений, однако их биология все еще исследована недостаточно. Полупаразитное семейство омеловые состоит из 8 родов и насчитывает около 500 видов. Для Дальневосточного региона характерен один вид *Viscum coloratum* (Ком.) Nakai –

омела окрашенная [1], сведения о котором зачастую определяются по омеле белой [2]. Омела паразитирует на лиственных деревьях – осине, тополе, иве, чозении, березе, липе, клене, яблоне, груше и др., она может также поселяться и на голосеменных растениях. Пораженные деревья ослабевают и отстают в росте. Однако с точки зрения медицины и фармакологии паразит представляет значительный интерес, что обусловлено содержанием целого ряда химически сложных веществ, разнообразных по химическому действию, так, например, в литературе для *V. coloratum* приводится 41 компонент [3]. Особенно широко за рубежом используются экстракты омелы в терапии злокачественных новообразований. В качестве лекарственного сырья в основном используются листья данного растения.

В отношении минерального обмена паразитических и полупаразитических растений, в частности омеловых, – соответствующие данные в литературе чрезвычайно скудны. Паразитические растения получают минеральные вещества, избирательно поглощая их из растений-хозяев посредством специальных органов прикрепления – гаусторий. Транспирация, осмос, активный транспорт могут играть важную роль в растворении веществ и поглощении воды. Скорость поступления катионов и анионов определяется многими факторами, включая внешние (свет, влажность, температура и т.д.) и внутренние – такие как транспирация, корневое давление, фотосинтетические особенности, дыхательный обмен и др. Между тем для нормального роста необходимы не только различные минеральные вещества и их антагонистические соотношения, но и каждому виду растения требуется свой собственный набор элементов. Например, у растения-паразита *Cuscuta japonica* Choisy по сравнению со своим хозяином *Artemisia vulgaris* L. преобладают концентрации Cs (в 4,6 раза), Fe (в 2 раза), Li (в 1,6 раза), Ni (в 30,2 раза) и Ru (в 2,5 раза) при меньшем содержании Ca (в 2 раза), Cd (в 20 раз), Co (в 4,8 раза), Mg (в 2,3 раза), Mn (в 10,9 раза) и Zn (в 2,8 раза) [4]. Очевидно, для существования *Cuscuta* в конкретных экологических условиях требуется именно такой набор и содержание элементов, поэтому она поддерживает их уровень за счет хозяина.

Большинство гемипаразитов, к которым относятся и омелы, активно поглощают питательные вещества в основном за счет большой скорости транспирации, чем у соответствующих растений-хозяев [5]. В сравнении с последними отмечено [5], что омела имеет больший водный потенциал и соотношение $N/Ca > 1$, что указывает на активное

поглощение веществ из флоэмы пораженного растения. Сделан вывод, что омелы используют одновременно как активный транспорт, так и пассивный транспорт, что позволяет обладать преимуществом в среде с бедными питательными ресурсами и паразитировать на хозяине с недостатком питательных веществ.

Цель исследования: изучить валовое содержание минеральных элементов листьев и плодов растения – полупаразита омелы окрашенной (*Viscum coloratum* (Kom.) Nakai), и минеральный состав древесных побегов растения-хозяина березы плосколистной (*Betula platyphylla* Suk.).

Материалы и методы исследований

Материалом для исследований служили плоды, листья омелы окрашенной (*Viscum coloratum* (Kom.) Nakai) и побеги растения – хозяина березы плосколистной (*Betula platyphylla* Suk.), собранные в урочище «Мухинка», расположенное в 40 км к северу от г. Благовещенска.

Выбор растения-хозяина березы плосколистной обусловлен тем, что данное растение имеет более мягкую древесину и, как следствие более чаще поражается, чем другие виды потенциальных хозяев.

Состав золы растений определяли рентгенофлуоресцентным методом на спектрометре XRF-1800 Shimadzu (Япония) в Аналитическом центре минералого-геохимических исследований ИГиП ДВО РАН.

Результаты исследования и их обсуждение

Содержание отдельных элементов в паразите зависит в первую очередь от особенностей минерального питания самого растения-хозяина (табл. 1, 2), что подтверждается, например, следующими полученными данными: как в растении-паразите, так и в растении-хозяине значительно выше так называемой эталонной нормы накапливается Ca, Mg, Fe, P, Mn, K. Однако по сравнению с березой листья омелы накапливают в 2 раза больше K (табл. 1), а плоды в 1,4 раза. Данный факт, вероятно, обуславливает достаточно высокую сосущую силу паразита, что связано в том числе и с присутствием K в пасоке, который влияет также и на передвижение сахарозы по растению, – недостаток замедляет ток углеводов. Для вечнозеленого растения омелы накопление сахаров еще важно и по другой причине, – известно [6], что способность переносить низкие температуры напрямую связана с количеством связанных углеводов. Аналогичную роль для омелы играет концентрирование Na, оказывая осморегулирующую функцию,

как и калий. Антагонистически с накоплением одновалентных ионов происходит захват двухвалентного кальция (табл. 1). Однако данный элемент растение-хозяин аккумулирует в 3 раза больше, по сравнению с листьями омелы, и в 20 раз больше, чем плоды омелы, на фоне достаточно высокого его концентрирования в системе растение-хозяин. Скорость передвижения ассимилятов ускоряется и под влиянием фосфора, имеющего в целом поливалентную функцию. Содержание его в 3 раза выше, чем в растении-хозяине – березе плосколистной. Возможно, это характеризует достаточно высокую скорость обменных процессов омелы, поскольку фосфор передвигается, прежде всего, к молодым и наиболее активным центрам метаболизма. Кроме того, фосфор способствует более экономному расходованию влаги, что имеет значение для растений в засушливые периоды, или для растения-паразита, получающего влагу из растения-хозяина. Данные согласуются с показателями, полученными украинскими исследователями для омелы белой [7]. Накопление магния сопоставимо с растением-хозяином, точнее с его бесхлорофилльной частью (древесина), что может быть связано с наличием фотосинтетических процессов в организме паразита.

Отмечено более высокое содержание (в 2 раза) кремния в листьях омелы при сопоставлении с плодами паразита и с древесиной растения-хозяина. Данный факт может свидетельствовать в пользу укреп-

ления клеточной стенки клеток листа омелы за счет связывания с полифенольными соединениями.

Интересные сведения получены нами по содержанию марганца – его количество меньше, чем в растении-хозяине, что вероятно, обусловлено паразитическим образом жизни омелы, – и может свидетельствовать о снижении нормального хода работы фотосистемы II, и его участия в фотолизе воды. Существует взаимосвязь между накоплением в растении биологически активных веществ, например алкалоидов, и аккумулярованием Zn, Mn, Co, что представляет интерес для фармакологии. В работе О.Е. Самсоновой [8] омела белая определена как основной концентратор Mn в сравнении с 34 высшими «лекарственными» растениями Ставрополя. Показано, что олиственные побеги омелы более чем в 10 раз превосходили по содержанию Mn в траве сухоцвета однолетнего, горца почечуйного, лаванды узколистной, молочая степного. Однако ничего не сказано о растении-хозяине омелы белой – основном поставщике данного минерального элемента. В нашем эксперименте содержание марганца в побегах омелы в процентном соотношении отличалось на несколько порядков (0,002% по сравнению с 1,49% для омелы белой). Возможно данный факт свидетельствует о видовых особенностях омелы белой и омелы окрашенной. А также нельзя исключать и индивидуальные особенности взаимодействия паразита и пораженного растения.

Таблица 1

Среднее содержание макро- и некоторых микроэлементов (в %) паразитического растения *Viscum coloratum* (Kom.) Nakai и растения-хозяина *Betula platyphylla* Suk.

Объект исследования	Na ₂ O	MgO	K ₂ O	CaO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	Zn
Плоды <i>V. coloratum</i>	2,904	2,581	25,36	2,794	2,359	5,899	15,141	0,211	0,014	0,673	0,00016
Листья <i>V. coloratum</i>	2,051	5,35	37,75	13,36	2,352	12,508	15,896	0,199	0,002	0,624	0,00144
побеги <i>B. platyphylla</i>	1,831	4,65	18,26	43,88	2,44	6,293	5,433	0,203	0,026	0,634	0,0029

Таблица 2

Среднее содержание микро- и ультрамикроэлементов (в ppm) паразитического растения *Viscum coloratum* (Kom.) Nakai и растения-хозяина *Betula platyphylla* Suk.

Объект исследования	V	Cr	Co	Ni	As	Rb	Sr	Zr	Ba	Cu	Y	Pb
Плоды <i>V. coloratum</i>	0	29	13	102	10	81	71	126	236	89	9	16
Листья <i>V. coloratum</i>	0	13	12	42	4	85	504	0	205	111	9	15
Побеги <i>B. platyphylla</i>	49	13	29	28	2	73	1637	0	803	205	4	14

Биогенный элемент – железо, необходимый как для процессов дыхания, так и для процессов фотосинтеза, аккумулируется интересующими нас растениями практически в одинаковом количестве (табл. 1). Что еще раз определяет его ведущую роль среди всех содержащихся в растениях (паразитных и непаразитных) тяжелых металлов.

Накопление стронция зависит не только от вида растения, но и от соотношения в окружающей среде данного элемента. Нами отмечена положительная корреляция стронция с кальцием (табл. 1, 2). Его соотношение меняется аналогично кальцию в системе паразит – растение-хозяин. Аналогичная взаимозависимость доказана для Cu и Zn, Mn для омелы белой [8], что подтверждено и в нашем эксперименте. Медь активизирует окислительно-восстановительные процессы и нормализует обмен веществ.

В отношении такого минерального вещества, как ванадий (табл. 2), являющегося элементом очень низкой интенсивности поглощения, следует обозначить следующее: омела, при наличии его в растении-хозяине (береза), совершенно не всасывает данный элемент. Возможно, в клетках паразита имеются специфические барьеры, – препятствующие поступлению ванадия.

Из наиболее токсичных элементов, относящихся к I классу опасности, в небольших количествах концентрируются As, Pb, Zn, содержание которых также регулируется генетическими особенностями растений. Так, в отношении цинка, аккумулируемого всеми растениями, береза сосредотачивает его в пределах так называемой эталонной «нормы» (0,002%), тогда как листья омелы – в 2 раза, а плоды – на целый порядок меньше (табл. 1). Свинец является приоритетным загрязнителем атмосферного воздуха, почвы и других компонентов окружающей среды, и его накопление в среде идет наиболее высокими темпами [9, 10]. Однако в изучаемых растениях отношение средней концентрации свинца (табл. 2) к среднемировому значению (0,00125%) [10] меньше на два порядка, что может указывать на слабое загрязнение почвы (урочище «Мушкинка») данным тяжелым металлом, – место сбора растительного материала. Аналогичные данные получены по мышьяку, содержание которого ниже его концентрации в растениях на незагрязненных почвах, представленных А. Кабата-Пендиас и Х. Пендиас (0,009–1,5 мг/кг) [10].

Роль никеля для высших растений была доказана относительно недавно [10]. Показано, что в растениях, обеспеченных никелем, активность уреазы, – фермента,

осуществляющего разложение мочевины, выше. В нашем эксперименте содержание никеля у паразитического растения, как в листьях, так и в семенах, больше в 1,5 и 3,6 раза (табл. 2), что может косвенно свидетельствовать об активном преобразовании мочевины в тканях омелы и возможном снижении катаболических процессов у растения-хозяина. Показатели Ni наиболее были высоки в плодах омелы, что нужно учитывать при фармакологическом использовании сырья данного растения.

Интересен факт накопления в плодах омелы еще одного, мало изученного элемента – циркония, вероятно поступающего в растения в составе галогенидов, что тоже может отражать геохимические особенности среды обитания.

Несмотря на то, что Rb, как и другие одновалентные катионы легко поглощаются растениями, замещая позиции K в соединениях, паразитное растение омела и береза плосколистная содержат его в очень малых количествах (табл. 2) по сравнению с большинством проанализированных видов растений (0,02–0,07%) [10], что доказывает, вероятно, низкую концентрацию данного элемента в почве.

Необходимо отметить еще один факт – из анионных элементов в омеле и в березе плосколистной содержится йод (табл. 2), что определяется нахождением его в почве и видом самого растения. Поглощая данный элемент из березы, омела концентрирует его в 2 раза больше. Известен факт антагонизма Cl и Y [11, 12], количество хлора под действием йода снижается, и это имеет значение для солеустойчивых форм растений, к которым можно отнести и омелу. Кроме того, омела, помимо большого спектра биологических веществ, содержащихся в ней, может быть использована в комплексной терапии заболеваний щитовидной железы, а также в качестве источника йода в йододефицитных районах. В работе Р.Г. Фархутдинова с соавторами (2013) [12] приводятся сведения по количественному содержанию йода в йодсодержащих растениях Башкортостана, топ рейтинга среди которых занимают вахта трехлистная (*Menyanthes trifoliata* L.) и дурнишник обыкновенный (*Xanthium strumarium* L.). В сравнении с ламинарией сахаристой (*Laminaria saccharina* (L.) Lamour) уровень йода был ниже в 2,7–5,4 раза. В нашем случае омела содержит йод в 2,1 раза меньше по сравнению с таковым в ламинарии (0,26 мг% и 0,53 мг% соответственно).

Очевидно, что аккумуляция, соотношение элементов, способность к их избирательности поглощения зависит от видовых

особенностей и способа жизнеобитания паразита и хозяина, что заметно и по распределению элементов в рядах накопления, которые выглядят следующим образом: плоды *V. coloratum*: $K > P > Si > Na > Ca > Mg > Al > Fe > Ti > Mn > Ba > Zn > Zr > Ni > Cu > Rb > Sr > Cr > Pb > Co > As > I$; листья *V. coloratum*: $K > P > Ca > Si > Mg > Al > Na > Fe > Ti > Mn > Zn > Sr > Ba > Cu > Rb > Ni > Pb > Cr > Co > I > As$; древесина *Betula platyphylla*: $Ca > K > Si > P > Mg > Al > Na > Fe > Ti > Mn > Zn > Sr > Ba > Cu > Rb > V > Co > Ni > Pb > Cr > I > As$.

Заключение

Таким образом, растение омела окрашенная, являясь ксилемным паразитом, избирательно поглощает отдельные элементы из растения хозяина – березы плосколистной, что отражает как генетическую специфику растений и геохимические особенности среды, так и приспособленность к паразитическому образу жизни. Использование как пассивного, так и активного транспорта может быть селективным преимуществом в среде с низким содержанием или недостаточным содержанием питательных веществ. Концентрирование омелой минеральных элементов скорее всего ослабляет растение-хозяина, на котором она произрастает. В процессе развития система омела – береза неотделима от среды обитания и, взаимодействуя, вносит обоюдный вклад в минеральный обмен друг друга.

Исследование влияния паразитического растения омелы на растение-хозяина является актуальным, поскольку действие, которое оказывает паразит на растение, определяет вред, причиняемый ею ряду сельскохозяйственных, лесных и декоративных растений. Изучение механизмов взаимодействия омелы с растением-хозяином необходимо для изыскания средств защиты от него. Селективность накопления

минеральных элементов омелой окрашенной нужно также учитывать при фармакологическом использовании сырья данного растения, поскольку растение представляет значительный интерес для медицины.

Список литературы

1. Христофорова Н.К. Основы экологии М.: Магистр: ИНФРА, 2014. 640 с.
2. Горовой П.Г., Бальшев М.Е., Крылов А.В., Щеклина В.В., Низкий С.Е. Омела окрашенная (*Viscum coloratum* (Kom.) Nakai) в Восточной Азии (таксономия, ареал, возможности использования) // Acta Biologica Sibirica. 2018. Т. 4. № 4. С. 103–107.
3. Леусова Н.Ю., Катола В.М., Крылов А.В. Фитохимия растений омелы (*Viscum L.*) и их лечебные свойства // Бул. физиол. и патол. дыхания. 2008. № 2008. С. 69–73.
4. Леусова Н.Ю., Катола В.М., Радомская В.И., Радомский С.М. Содержание минеральных элементов растения паразита *Cuscuta japonica* // Проблемы региональной экологии. 2008. № 3. С. 67–71.
5. Okubamichael D.Y., Griffiths M.E., Ward D. Host specificity, nutrient and water dynamics of the mistletoe *Viscum rotundifolium* and its potential host species in the Kalahari of South Africa. Journal of Arid Environments. 2011. vol. 75. no. 10. P. 898–902.
6. Марковская Е.Ф., Шерудило Е.Г., Галибина Н.А., Сысоева М.И. Роль углеводов в реакции теплолюбивых растений на кратковременные и длительные низкотемпературные воздействия // Физиология растений. 2010. Т. 57. № 5. С. 687–694.
7. Ельпителифов Е.Н., Иваницкая Б.А., Малашук Е.В. Сравнительная оценка содержания химических элементов *Viscum album L.* и *Viscum album subsp. austriacum* (Wiesb.) Vollmann // Научный вестник НЛТУ Украины. 2017. Т. 27. № 5. С. 93–97.
8. Самсонова О.Е. Биоэлементы Mn, Cu, Zn в некоторых полезных и ядовитых растениях Ставрополя // Вестник ОГУ. 2006. № 12. С. 215–217.
9. Водяницкий Ю.Н. Нормативы содержания тяжелых металлов и металлоидов в почвах // Почвоведение. 2012. С. 368–375.
10. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. Пер. с англ. М.: Мир, 1989. 439 с.
11. Абдыев В.Б. Поглощательная активность ионов (по хлору) одно- и двудольных растений // Вестник МГУ. Сер.: Естественные науки. 2010. № 2. С. 22–27.
12. Фархутдинов Р.Г., Кудашкина Н.В., Хасанова С.Р., Трофимова С.В. Определение содержания иода в растениях республики Башкортостан // Растительные ресурсы. 2013. Т. 49. № 1. С. 139–146.