

М. А. Михайлова

Биологические особенности видов рода *Corydalis* DC. (*Fumariaceae*) и их использование

М. А. Mikhailova

Biological features of *Corydalis* DC. (*Fumariaceae*) and their economic use

Ботанический институт им. В. Л. Комарова РАН, Санкт-Петербург
mem_spb@mail.ru

Приведены сведения об изучении изохинолиновых алкалоидов у некоторых видов хохлаток и применении их в фармакологии. Обсуждаются трофические связи хохлаток и бабочек аполлонов, а также явление полихромности у отдельных видов и введение в культуру новых форм.

Ключевые слова: *Corydalis*, алкалоиды, трофические связи, бабочки *Parnassius*, полихромность, садоводство.

Сведения о биологической активности веществ, синтезируемых растениями, продолжают оставаться важными как для фундаментальных, так и для прикладных исследований. Они могут быть вовлечены в обсуждение таксономических, эволюционных, фитохимических, ресурсоведческих, фармакологических вопросов.

Хохлатки (*Corydalis* DC.) представляют значительный интерес как растения, богатые изохинолиновыми алкалоидами. Характерной хемотаксономической особенностью рода является значительное качественное разнообразие протобербериновых, фталидизохинолиновых и спиробензилизохинолиновых алкалоидов.

Эти природные соединения свойственны далеко не всем цветковым растениям. Алкалоиды принято относить к веществам вторичного белкового метаболизма. Эта особая группа азотистых органических соединений основного характера, довольно сложного состава встречается в растительных, реже в животных организмах и, как правило, обладает сильным фармакологическим действием. Специфическое физиологическое действие алкалоидов на организм человека и животных позволяет использовать их в медицине и ветеринарии. Вторичные соединения свойственны не всем растениям, они могут встречаться у видов одного семейства или даже одного вида. Синтезируются они, как правило, в меньших количествах, чем вещества основного метаболизма, и необходимы не столько для клеток, в которых синтезируются, сколько для всего организма. В настоящее время известно более 45 000 веществ вторичного метаболизма (Медведев, 2004, 2013). Выяснено, что 15–25 % генов растительных организмов отвечают за вторичный метаболизм растения, который рассматривается как один из основных элементов взаимодействия растения со средой. Важнейшей функцией веществ вторичного происхождения является защи-

та растений от травоядных животных и фитопатогенов (Медведев, 2004, 2013).

Хохлатки давно известны в народной медицине разных народов. Около 60 видов применяли в тибетской медицине, мексиканские индейцы использовали *C. aurea* subsp. *occidentalis* (Lidén, Zetterlund, 1997). Особенно активно изучение алкалоидов хохлаток ведется в Южной Корее и в Китае, на территории которого встречается более 350 видов (Cheng et al., 2006; Wang et al., 2006; Ding et al., 2007; Kim et al., 2011; Huang et al., 2012; Niu et al., 2013; Liao et al., 2014).

Современные российские справочники приводят около 40 видов хохлаток, исследованных по группам химических соединений, структурной формуле и биологической активности (Головкин и др., 2001–2002; Буданцев, 2008).

Биологическая активность алкалоидов изохинолиновой группы позволяет использовать их как успокаивающее (седативное), анестезирующее, кардиопатическое (антифибрилляционное), противоаритмическое (кардиоритмическое), болеутоляющее (*C. caucasica*, *C. intermedia*, *C. ledebouriana*, *C. marschalliana*, *C. remota*, *C. sewerzowii*, *C. solida*, *C. stricta* и др.); гипотензивное, кардиостимулирующее, противовоспалительное (*C. glaucescens*, *C. gortschakovii*, *C. incisa*, *C. ochotensis*, *C. paczoskii*, *C. persica*, *C. pseudoadunca*); противокашлевое (*C. intermedia*, *C. marschalliana*, *C. sewerzowii*, *C. speciosa*); депрессант центральной нервной системы, противораковое (*C. cava*, *C. gortschakovii*, *C. nobilis*, *C. yanhusuo*); вызывающее брадикардию (*C. cava*, *C. incisa*, *C. marschalliana*); кровоостанавливающее, желчегонное, противодизентерийное, сосудосуживающее (*C. ambigua*, *C. bracteata*, *C. cheilanthifolia*, *C. govaniiana*, *C. lunea*, *C. meifolia*); подавляющее действие холинэстеразы, ранозаживляющее, стимулирующее слюноотделение, снижающее адреналин, при хроническом гайморите и гнойном отите (*C. cheilanthifolia*, *C. fimbriifera*, *C. gigantea* и др.); противоядие, жаропонижающее (*C. ambigua*, *C. cava*, *C. stricta*); аналептическое (*C. cava*, *C. gortschakovii*, *C. nobilis*).

В ряде случаев некоторые алкалоиды можно рассматривать как таксонспецифичные: так, бульбокапнин пока известен только у растений семейства дымчковых. Это соединение довольно широкого спектра действия: стимулирующее центральную нервную систему, седативное, вызывающее кататоническую ригидность

скелетной мускулатуры, наркотическое, тонизирующее сердце; используется в терапии при параличе и треморе (*C. ambigua*, *C. caucasica*, *C. cava*, *C. decumbens*, *C. gortschakovii*, *C. marschalliana*, *C. paczoskii*, *C. popovii*, *C. remota*, *C. solida*, *C. yanhusuo* и другие представители семейства).

Изокоридалин, кроме *Nandina domestica* (*Berberidaceae*), найден только у *C. ambigua*, тогда как протопин у 30 видов хохлаток, сангвинарин у 13 видов.

Зафиксирована биологическая активность азотсодержащих веществ, выделенных из хохлаток, стимулирующая образование гистамина (*C. govaniana*).

Следует отметить, что клубневые виды чаще упоминаются в фитохимической и фармацевтической литературе, чем не клубневые.

Высокое содержание алкалоидов в хохлатках не мешает гусеницам видов подсемейства *Parnassiinae* семейства парусников (*Papilionidae*) использовать их в качестве кормовых растений (Крейцберг, 1984; Kreuzberg, 1987). В 1960-х годах уже предполагали, что вторичные соединения, не являющиеся продуктами основного метаболизма растений, определяют пищевое поведение насекомых (Fraenkel, 1959; Ehrlich, Raven, 1965). Вторичные вещества, первично выполняющие функцию репеллентов, при питании на растениях, которые их синтезируют, становятся для фитофагов пищевыми аттрактантами и детергентами. В ряде случаев зависимость настолько велика, что насекомое не может существовать на корме, лишенном этих соединений. Возможно, именно таким образом формируется олигофагия у многих насекомых (Крейцберг, Дьяконов, 1993).

Некоторые вторичные вещества накапливаются насекомыми и становятся для них средствами защиты. Другие вторичные соединения используются насекомыми как основа для синтеза феромонов или являются аттрактантами при яйцекладке (Харборн, 1985; Dussourd et al., 1989).

Трофические связи хохлаток и дневных бабочек аполлонов отмечены практически по всей внетропической Евразии и Северной Америке (Weiss, 1991; Sakai et al., 2002; Косман, 2009). Для отдельных территорий проводились более подробные исследования (Михайлова, Сочивко, 2011). На территории Горного Бадахшана произрастает 10 видов хохлаток из 4 секций¹ и обитает 10 видов аполлонов (Крейцберг, 1985; Сочивко, Каабак, 1997, 2005; Tuzov et al., 1997; Tshikolovets, 1997, 2004). Два из них, аполлон Чарльтона и автократор, используют в качестве кормовых растений только хохлатки, причем имеющие достаточную биомассу: *C. stricta*, *C. fimbriifera*, *C. bucharica* и *C. onobrychis*.

¹ Секция *Strictae* (Fedde) Wendelbo: *C. stricta* Stepf. *C. murgabica* Mikhailova, *C. fimbriifera* Korsh., *C. bucharica* M. Pop., *C. rarissima* Mikhailova, *C. hindukushensis* Wendelbo et Grey-Wilson. Секция *Chrysocarpnos* Wendelbo: *C. gortschakovii* Schrenk, *C. onobrychis* Fedde. Секция *Oreocarpnos* M. Pop. ex Mikhailova: *C. tenella* Kar. et Kir. Секция *Leonticoides* DC.: *C. ledebouriana* Regel.

Перечисленные хохлатки образуют крупные дернины с многочисленными цветоносами. Остается неясной ситуация на Юго-Западном Памире, где произрастает несколько видов хохлаток, но сведения о бабочках крайне скудны. Есть одно упоминание аполлона мнемозины (*Parnassius mnemosyne* L.) из этого района, который развивается на хохлатке Ледебурра (Крейцберг, 1985).

Высокое содержание алкалоидов в хохлатках заставляет насекомых выбирать наименее токсичные части растения — цветки, поэтому основная фаза развития гусениц бабочек соответствует стадии цветения хохлаток.

Оба вида бабочек, аполлоны Чарльтона и автократор, трофически связанные с хохлатками, являются олигофагами, склонными к расширению кормовой базы, но только в пределах рода *Corydalis*. Таким образом, сведения о распространении хохлаток оказываются исключительно полезными для энтомологов, а также расширяют наши представления о коэволюционных процессах.

Среди биологических особенностей хохлаток следует отметить полихромность цветков у значительного числа клубневых видов. Эту особенность широко используют в садоводстве. Предпочтение отдается клубневым эфемероидам, которые весной образуют яркие красочные аспекты. Здесь можно встретить основные цвета: белый, желтый, красный, синий, лиловый — и десятки оттенков.

Европейские каталоги предлагают от 20 до 100 наименований садовых форм и сортов, полученных на базе клубневых видов (Rukšāns, 1999, 2006; Nijssen, 2012). Только на основе *C. solida* приведено 55 форм и сортов, на основе *C. turtchaninovii* — 6: 'Amur', 'Ash-wood beauty', 'Blue gem', 'Eiric the red', 'Ussuridawn', 'Vladivostok'; *C. glaucescens* — 3: 'Early beauty', 'Medeo', 'Innatchsai'. Включены в каталоги и редкие эндемичные виды, например *C. maracandica* Mikhailova, описанная нами с перевала Тахта-Караचा в Узбекистане (Rukšāns, 2006).

Широко культивируются в ботанических садах и частных владениях не клубневые хохлатки *C. nobilis* (L.) Pers., *C. caseana* Gray, *C. saxicola* Bunting, *C. wilsonii* Brown, *C. cheilanthifolia* Hemsley, *C. ophiocarpa* Hook. et Thoms., *C. flexuosa* Franch. и другие. С каждым годом все большее число видов хохлаток вводится в культуру и в России.

Список литературы

- Буданцев А. Л. (ред.). Растительные ресурсы России. Т. 1. СПб.; М., 2008. 421 с.
- Головкин Б. Н., Руденская Р. Н., Трофимова И. А., Шреттер А. И. Биологически активные вещества растительного происхождения. М., 2001–2002. Т. 1: А–К. 2001. 349 с.; Т. 2: Л–Я. 2001. 763 с.; Т. 3: Указатели. 2002. 216 с.
- Крейцберг А. В.-А. Кормовые растения гусениц парусников (*Lepidoptera*, *Papilionidae*) Средней Азии // Бюл. Моск. о-ва испытателей природы. Отд. биол. 1984. Т. 89, вып. 6. С. 27–34.

- Крейцберг А. В.-А. Парусники групп *delphius*, *charltonius*, *simo* (Lepidoptera, Papilionidae) фауны СССР // Исследования флоры и фауны Средней Азии: Материалы науч. конф. «Региональные аспекты флоры и фауны Средней Азии и Казахстана». Ташкент, 1985. С. 25–68.
- Крейцберг А. В.-А. Трофические связи видов *Parnassius* (Lepidoptera, Papilionidae) и система рода // Булавоусые чешуекрылые СССР: Тез. докл. к семинару «Систематика, фаунистика, экология, охрана булавоусых чешуекрылых». Новосибирск, 1987. С. 60–62.
- Крейцберг А. В.-А. Новые сведения о биологии парусников рода *Parnassius* (Lepidoptera, Papilionidae) // Вопросы биологии, экологии и регулирования численности популяций животных в антропогенных условиях: Тез. Ташкент, 1989. С. 63–68.
- Крейцберг А. В.-А., Дьяконов А. Л. Химизм трофических связей парусников подсемейства *Parnassiinae* (Lepidoptera, Papilionidae) // Бюл. Моск. о-ва испытателей природы. Отд. биол. 1993. Т. 98, вып. 2. С. 3–14.
- Медведев С. С. Физиология растений. СПб., 2004. 336 с.
- Медведев С. С. Физиология растений. СПб., 2013. 512 с.
- Михайлова М. А., Сочивко А. В. Обзор рода *Corydalis* (Fumariaceae) Горного Бадахшана: систематика, биохимия, трофические связи с насекомыми. // Ботан. журн. 2011. Т. 96, № 5. С. 561–581.
- Сочивко А. В., Каабак Л. В. Высокогорные памирские аполлоны // Природа. 1997. № 2. С. 115–116.
- Сочивко А. В., Каабак Л. В. К фауне бабочек семейств *Hesperiidae*, *Papilionidae* и *Pieridae* (Lepidoptera, Rhopalocera) Восточного Памира // Бюл. Моск. о-ва испытателей природы. Отд. биол. 2005. Т. 110, вып. 1. С. 28–37.
- Харборн Д. Введение в экологическую биохимию. М., 1985. 311 с.
- Cheng Z. H., Guo Y. I., Wang H. Y., Chen G. Q. Qualitative and quantitative analysis of quaternary ammonium alkaloids from *Rhizoma Corydalis* by matrix-assisted laser desorption/ionization Fourier transform mass spectrometry coupled with a selective precipitation reaction using Reinecke salt // *Anal. Chim. Acta*. 2006. Vol. 555. P. 269–277.
- Ding B., Zhou T., Fan G., Hong Z., Wu Y. Qualitative and quantitative determination of ten alkaloids in traditional Chinese medicine *Corydalis yanhusuo* W. T. Wang by LC-MS/MS and LC-DAD // *J. Pharm. Biomed. Anal.* 2007. 45: 219–226.
- Dussourd D. E., Harris C. A., Meinwald J., Eisner T. Paternal allocation of sequestered plant pyrrolizidine alkaloid to eggs in the danaine butterfly *Danaus gilippus* // *Experientia*. 1989. Vol. 45. P. 896–898.
- Ehrlich P. R., Raven P. H. Butterflies and plants: a study in co-evolution // *Evolution*. 1965. Vol. 18. P. 586–608.
- Fraenkel G. The raison d'être of secondary plant substances // *Science*. 1959. Vol. 129. P. 1466–1470.
- Huang Q. Q., Bi J. L., Sun Q. Y., Yang F. M., Wang Y. H., Tang G. H., Zhao F. W., Wang H., Xu J. J., Kennelly E. J., Long C. L., Yin G. F. Bioactive isoquinoline alkaloids from *Corydalis saxicola* // *Pl. Med.* 2012. Vol. 78. P. 65–70.
- Kim K. H., Lee I. K., Choi S. U., Lee J. H., Moon E., Kim S. Y., Lee K. R. New triterpenoids from the tubers of *Corydalis ternata*: structural elucidation and bioactivity evaluation // *Pl. Med.* 2011. Vol. 77. P. 1555–1558.
- Kocman S. *Parnassius* of Tibet and the adjacent areas. Pardubice, 2009. 225 p.
- Lidén M., Zetterlund H. *Corydalis*: A gardener's guide and a monograph of the tuberous species. Woking, 1997. 144 p.
- Liao C., Chang S., Yin S., Wang Z., Meng Y. A. HPLC-MS/MS method for the simultaneous quantitation of six alkaloids of *Rhizoma Corydalis decumbentis* in rat plasma and its application to a pharmacokinetic study // *J. Chromatogr. B*. 2014. Vol. 944. P. 101–106.
- Niu X., Li W., Xu H., Liu X., Qi L. Simultaneous quantification of 11 isoquinoline alkaloids in *Corydalis impatiens* (Pall.) Fisch by HPLC // *J. Sep. Sci.* 2013. Vol. 36. P. 2090–2095.
- Nijssen P. C. *Bijzondere bol-en knolgewassen: Catalogus 2012*. Heemstede, 2012. 248 p.
- Rukšāans J. *Bulb Nursery: Late summer/autumn 1999*. Rozula, 1999. 55 p.
- Rukšāans J. *Bulb Nursery: Late summer/autumn 2006*. Rozula, 2006. 64 p.
- Sakai S., Inaoka S., Toshiaki A., Yamaguchi S., Watanabe Y. *The parnassiology. The Parnassius butterflies, a study in evolution*. Kodansha, 2002. 470 p.
- Tshikolovets V. V. *The butterflies of Pamir*. Bratislava, 1997. 283 p.
- Tshikolovets V. V. *The butterflies of Tadjikistan*. Kyiv; Brno, 2004. 500 p.
- Tuzov V. K., Bogdanov P. V., Devyatkin A. L. et al. *Guide to the butterflies of Russia and adjacent territories (Lepidoptera, Rhopalocera)*. Sofia; Moscow, 1997. Vol. 1. 480 p.
- Wang D., Jiang L., Yang D. Simultaneous determination of eight bioactive alkaloids in *Corydalis saxicola* by high-performance liquid chromatography coupled with diode array detection // *Phytochem. Anal.* 2008. Vol. 19. P. 420–428.
- Weiss J.-C. *The Parnassiinae of the World. Pt 1: simo-, tenedius-, charltonius- and imperator-groups*. Venette, 1991. P. 1–48.