

Кристаллы в тканях семянков видов *Heliantheae* s.l. (Asteraceae)

Crystals in the tissues of cypsela of species *Heliantheae* s.l. (Asteraceae)

Бойко Э. В., Новожилова Е. В.

Boyko E. V., Novozhilova E. V.

Тихоокеанский институт биоорганической химии им. Г. Б. Елякова ДВО РАН, г. Владивосток, Россия

E-mail: boyachen@mail.ru, n.e.v.a.0@yandex.ru

G. B. Elyakov Pacific Institute of Bioorganic Chemistry, Far East Branch, Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russia

Реферат. В настоящей работе представлены результаты исследования кристаллов в тканях семянков 20 видов Союза *Heliantheae* s.l. (Asteraceae). Изучение строения семянков проводили методом сканирующей электронной микроскопии с помощью микроскопа EVO 40 (Carl Zeiss), оснащенного комплексом INCA x-act для проведения энергодисперсионного рентгеноспектрального анализа химического состава. Характерной особенностью представителей Союза *Heliantheae* s.l. является присутствие в семянках фитомеланина (фитомелана), твердого и химически инертного вещества, локализуемого в стенках плодов. Согласно литературным данным в семянках представителей Союза *Heliantheae* s.l. со слоем фитомеланина в перикарпии не встречаются кристаллы. Результаты исследования показали, что в различных тканях семянков видов Союза *Heliantheae* s.l. наряду с фитомеланом находятся кристаллы, преобладающим типом которых являются друзы, реже находятся стилоиды, расположенные группами или одиночно. Кристаллы обнаружены в различных тканях (экзокарпий, мезокарпий, эндокарпий, экзотеста, эндотеста). Таким образом, установлено, что наличие кристаллов оксалата кальция и фитомеланина в семянках представителей Союза *Heliantheae* s.l. не являются взаимоисключающими явлениями. Наличие, форма, размеры, особенности локализации кристаллов являются таксономическим признаком.

Ключевые слова. Кристаллы, семянка, сканирующая электронная микроскопия (СЭМ), Asteraceae, *Heliantheae* s.l.

Summary. This article presents the results of the study of crystals in the tissues of cypselas from 20 species of the *Heliantheae* s.l. alliance (Asteraceae). The structure of the cypselas was studied using scanning electron microscopy with an EVO 40 microscope (Carl Zeiss), equipped with an INCA x-act system for energy-dispersive X-ray spectroscopy analysis of chemical composition. A characteristic feature of the representatives of the alliance is the presence of phytomelanin (or phytomelan), a solid and chemically inert substance localized in the walls of the fruits. According to literature data, no crystals are found in the cypselas of representatives of the *Heliantheae* s.l. alliance with a layer of phytomelanin in the pericarp. The results of the study showed that in various tissues of the cypselas, alongside phytomelanin, there are crystals, with the predominant type being druses, while stylolites are found less frequently, either grouped or solitary. Crystals were detected in various tissues (exocarp, mesocarp, endocarp, exotesta, endotesta). Thus, the presence of calcium oxalate crystals and phytomelanin in the cypselas of representatives of the *Heliantheae* s.l. alliance are not mutually exclusive phenomena. The presence, shape, size, and localization features of the crystals serve as taxonomic characteristics.

Key words. Asteraceae, crystals, cypselas, *Heliantheae* s.l., scanning electronic microscopy (SEM).

Введение. Союз *Heliantheae* s.l. объединяет трибы, характерной особенностью которых является присутствие в семянках фитомеланина. Фитомеланин – неклеточный слой черного цвета, – твердое и химически инертное вещество, локализуемое в стенках плодов (Stuessy, Liu 1983). Наличие фитомеланина классически связано с перикарпием представителей Союза *Heliantheae* (Pullaiah, 1981; Stuessy, Liu, 1983; Basak, Mukherjee, 2001; Pandey, Dhakal, 2001; Marzinek, Oliveira, 2010; De-Paula et al., 2013; Tadesse Mesfin, Crawford, 2014; Mathur, Pandey, 2020).

Для многих представителей семейства Asteraceae характерно наличие в различных тканях семянков кристаллов (Solbrig, 1963; Singh, Pandey, 1984; Бойко, 2014). Согласно G. Scurfield et al. (1973), которые использовали инфракрасную спектроскопию, кристаллы обычно состоят из оксалата кальция, иногда карбоната кальция, редко хлорида кальция. Морфологически кристаллы подразделяются на пять основных групп: кристаллический песок, рафида, друза, игольчатая и призматическая форма. Ка-

ждающая группа кристаллов может иметь различные формы и размеры. С помощью инфракрасной спектроскопии установлено, что кристаллы обычно состоят из оксалата кальция (Mukherjee, Nordenstam, 2010). Наличие кристаллов и их форма зависят от вида растения и ткани, в которой они находятся, поэтому присутствие или отсутствие конкретного типа кристаллов может использоваться в качестве таксономического признака (Raman et al., 2014). S. K. Mukherjee, B. Nordenstam (2010) изучили кристаллы оксалата кальция в завязи и зрелых сеянках у 141 вида из 93 родов, принадлежащих 19 трибам и предположили, что формирование кристаллов и накопление фитомеланина являются антагонистическими процессами, поэтому исследованные таксоны, имеющие слой фитомеланина в перикарпии (представители Союза *Heliantheae* s.l.), не могут содержать кристаллы.

Материалы и методы. Материалом для карпологического исследования послужили сеянки, собранные авторами, полученные из Гербариев VLV, VLA, LE, ERE и по «*Delectus seminum*» из ботанических садов мира.

Наличие кристаллов в тканях семянок определяли путем изучения поверхности плодов, сколов и срезов семянок. Поверхность и сколы семянок после напыления хромом изучались с помощью сканирующего электронного микроскопа Sigma. С помощью трансмиссионного электронного микроско-

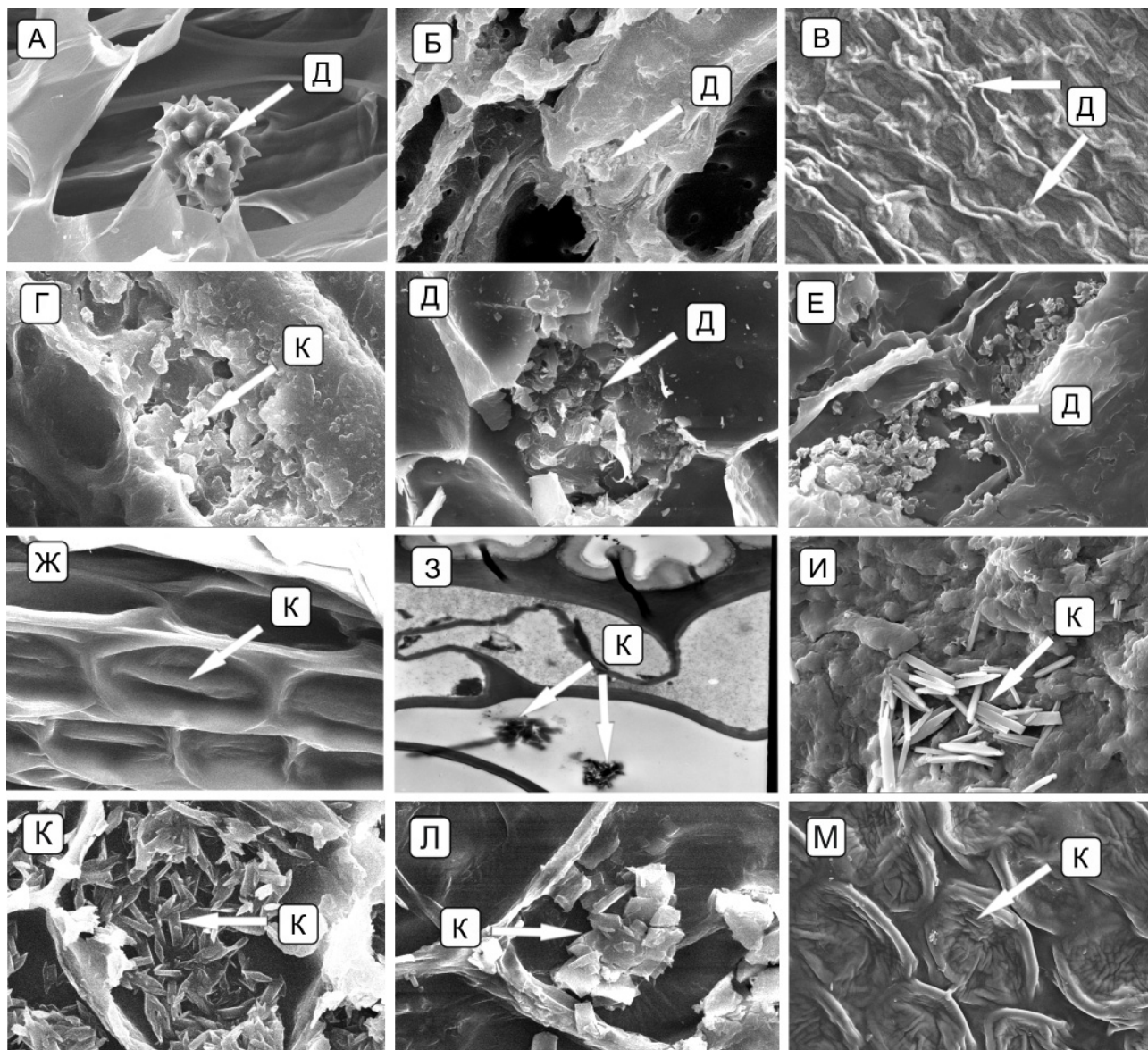


Рис. 1. Микрофотографии семянок представителей Союза *Heliantheae* s.l. (Asteraceae): А – *Parthenium integrifolium*; Б – *Synedrella nodiflora*; В – *Wyethia scabra*; Г – *Balsamorhiza deltoidea*; Д – *Blainwilllea romboidea*; Е – *Sanvitalia procumbens*; Ж – *Coreopsis tinctoria*; З – *Bidens frondosa*; И – *Blainvillea dichotoma*; К, Л – *Silphium integrifolium*; М – *Wedelia biflora*. Условные обозначения: Д – друз; К – кристаллы.

па исследовали строение перикарпия и семенной кожуры *Bidens frondosa*. Сканирующий электронный микроскоп EVO 40 (Carl Zeiss), оснащенный комплексом INCA x-act для проведения энергодисперсионного рентгеноспектрального анализа химического состава, позволил установить состав кристаллов.

Результаты. При изучении строения перикарпия и тесты видов триб, входящих в состав Heliantheae s.l., нами выявлено наличие кристаллов оксалата кальция у 20 видов. В различных тканях (экзокарпий, мезокарпий, эндокарпий, экзотеста, эндотеста) обнаружено несколько типов кристаллов (друзы, одиночные кристаллы ромбоэдрической, удлиненной формы; стилоиды), которые находятся в неспециализированных кристаллоносных клетках или межклеточном пространстве.

Обнаруженные типы кристаллов были проанализированы на предмет их элементного состава методом энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии. Все типы кристаллов давали аналогичные спектры, показывающие заметные пики для кальция (Ca), углерода (C) и кислорода (O).

В семянках исследованных нами видов триб преобладающим типом кристаллов являются друзы – шаровидные образования, состоящие из многих мелких сросшихся кристаллов. Они располагаются одиночно (*Aspilia bussei* O. Hoffm. et Muschl., *Balsamorhiza deltoidea* Nutt., *Blainvillea acmella* (L.) Philipson., *Borrchia frutescens* DC., *Chrysogonum virginianum* L., *Delilia biflora* (L.) Kuntze, *Parthenium integrifolium* L. (рис. 1А), *Synedrella nodiflora* (L.) Gaertn. (рис. 1Б), *Wyethia scabra* (Hook.) W. A. Weber (рис. 1В), так и группами (*Balsamorhiza deltoidea* Nutt. (рис. 1Г), *Blainvillea romboidea* Cass. (рис. 1Д), *Balsamorhiza hookeri* (Hook.) Nutt., *Sanvitalia procumbens* Lam. (рис. 1Е), *Synedrellopsis grisebachii* Hieron. et Kuntze.) в клетках экзо- и эндокарпия, в мезокарпии крыла, в экзо- и эндотесте. Реже находятся стилоиды, располагаясь в клетках по-одному (*Coreopsis tinctoria* Nutt, рис. 1Ж) или группами (*Bidens frondosa* L. (рис. 1З), *Blainvillea dichotoma* (Murray) Stewart (рис. 1И), *Cosmos sulphureus* Cav., *Ratibida pinnata* (Vent.) Barnh., *Silphium integrifolium* Michx. (рис. 1К, Л). Одиночные кристаллы ромбоэдрической формы находятся в тесте *Wedelia biflora* (L.) DC. (рис. 1М).

Таким образом, результаты нашего исследования показали, что наличие кристаллов оксалата кальция и фитомеланина в семянках представителей Союза Heliantheae s.l. не являются взаимоисключающими явлениями. Наличие, форма, размеры, особенности локализации кристаллов являются таксономическим признаком.

ЛИТЕРАТУРА

- Бойко Э. В.** Кристаллы в тканях семян видов Asteraceae // Turczaninowia, 2014. – Т. 17, вып. 3. – С. 60–71. <https://doi.org/10.14258/turczaninowia.17.3.7>
- Basak N., Mukherjee S. K.** The morphology and anatomy of the cypselas of some species of *Helianthus* L. (Asteraceae-Heliantheae) and its taxonomic significance // Nat. Bot. Soc., 2001. – Vol. 55. – P. 111–124.
- De-Paula O. C., Marzinek J., Oliveira D. M. T., Machado S. R.** The role of fibres and the hypodermis in Compositae melanin secretion // Micron, 2013. – Vol. 44. – P. 312–316.
- Marzinek J., Oliveira D. M. T.** Structure and ontogeny of the pericarp of six Eupatorieae (Asteraceae) with ecological and taxonomic considerations // An. Acad. Bras. Ciênc., 2010. – Vol. 82 N 2. – P. 279–291. <https://doi.org/10.1590/S0001-37652010000200004>
- Mathur R. R., Pandey A. K.** Development and structure of phytomelanin in Coreopsieae (Asteraceae) // Int. J. Plt. Repro. Biol., 2020. – Vol. 12. – P. 84–94. <https://doi.org/10.1002/fedr.202400028>
- Mukherjee S. K., Nordenstam B.** Distribution of calcium oxalate crystals in the cypselar walls in some members of the Compositae and their taxonomic significance // Compositae Newsletter, 2010. – N 48. – P. 63–88.
- Pandey A. K., Dhakal M. R.** Phytomelanin in Compositae // Curr. Sci., 2001. – Vol. 80, N 8. – P. 933–940.
- Pullaiah T.** Studies in the Embryology of Heliantheae (Compositae) // Pl. Syst. Evol., 1981. – Vol. N 137. – P. 203–214.
- Raman V., Horner H. T., Khan I. A.** New and unusual forms of calcium oxalate raphide crystals in the plant kingdom // J. Plant Res., 2014. – Vol. 127, N 6. – P. 721–730. <https://doi.org/10.1007/s10265-014-0654-y>
- Scurfield G., Michell A. J., Silva S. R.** Crystals in woody stems // Botanical Journal of the Linnean Society, 1973. – Vol. 66. – P. 277–289. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.1973.tb02175>
- Singh R. P., Pandey A. K.** Development and structure of seeds and fruits in Compositae–Cynareae // Phytomorphology, 1984. – Vol. 34. – P. 1–10.
- Solbrig O. T.** Subfamilial nomenclature of Compositae // Taxon, 1963. – Vol. 12. – P. 229–235.
- Stuessy T. F., Liu H. Y.** Anatomy of the pericarp of *Clibadium*, *Desmanthodium*, and *Ichthyothere* (Compositae, Heliantheae) and systematic implications // Rhodora, 1983. – Vol. 85. N 842. – P. 213–227.
- Tadesse Mesfin, Crawford D. J.** The phytomelanin layer in traditional members of *Bidens* L. and *Coreopsis* L. and phylogeny of the Coreopsieae (Compositae) // Nordic Jour. Bot., 2014. – Vol. 32. – P. 80–91.