

СОДЕРЖАНИЕ ПИГМЕНТОВ И ФЛАВОНОИДОВ У РАСТЕНИЙ АРКТИЧЕСКОЙ ФРАКЦИИ ФЛОРЫ ЗАПАДНОГО ШПИЦБЕРГЕНА

Н.Ю. Шмакова¹, Е.Ф. Марковская²

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Кольского научного центра Российской академии наук «Полярно-альпийский ботанический сад-институт имени Н.А. Аврорина», Кировск, Россия, shmanatalya@yandex.ru

²Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Петрозаводский государственный университет», Петрозаводск, Россия, volev10@mail.ru

Аннотация. Исследовано содержание пигментов пластид у 98 видов сосудистых растений на о. Западный Шпицберген (78°02' с.ш., 14°12' в.д.). Преобладают виды арктической фракции (85%) с циркумполярным ареалом. Содержание хлорофиллов составляет 0.4–2.6 мг/г, каротиноидов – 0.09–0.86 мг/г сырой массы; a/b – 1.7–4.3, соотношение хлорофиллов к каротиноидам – 1.5–5.4, размеры ССК–42–82%. Суммарное содержание флавоноидов у видов арктической фракции составляет 0.9–10.9% абс. сух. веса. Установлено, что у 70% видов имеется положительная связь между содержанием хлорофиллов и флавоноидов.

Ключевые слова: пигменты пластид, флавоноиды, сосудистые растения, Западный Шпицберген

DOI: 10.31255/978-5-94797-319-8-831-834

Растительный мир и лишенобиота высоких широт представляет большой интерес в связи с резкой выраженностью экстремальности условий и зависимостью жизнедеятельности организмов от климатических факторов. Проблема формирования флоры видами с различными типами географического распространения связана с их биологическими возможностями и их адаптивным потенциалом, который определяется, прежде всего, их эколого-физиологическими особенностями. В качестве такой характеристики мы используем пигментный аппарат.

Нами исследовано 98 видов сосудистых растений (20 семейств и 49 родов) арктических тундр на о. Западный Шпицберген (78°02' с.ш., 14°12' в.д.), что составляет 60% флоры Шпицбергена. 85% исследованных видов приходится на арктическую фракцию, 8% - на виды гипоарктической и 7% – бореальной фракции. В арктическую фракцию входят арктические и преимущественно арктические, метаарктические и арктоальпийские группы видов.

Содержание хлорофиллов и каротиноидов определяли спектрофотометрическим методом (СФ-26, Россия) [Сапожников и др., 1978]. Долю Хл в светособирающем комплексе (ССК) рассчитывали, приняв, что практически весь Хл находится в ССК и соотношение хлорофиллов a/b равно 1.2. Определение содержания суммы флавоноидов в листьях сосудистых растений проводили спектрофотометрическим методом (при 410 нм) в пересчете на рутин и массу абсолютно сухого сырья (%) [Зайчикова и др., 1983].

Арктические и преимущественно арктические виды – в основном высокоарктические виды, часть видов прилегающих субарктических высокогорий. Это виды с наибольшей активностью у северного предела тундры, они наиболее характерны для подзоны арктических и северной части типичных тундр. Эта группа видов арктической фракции флоры Западного Шпицбергена составляет 59%. Наибольшее число видов приходится на семейства *Caryophyllaceae* и *Poaceae*, несколько меньше видов в семействах *Brassicaceae*, *Ranunculaceae*, *Cyperaceae*; другие семейства представлены единичными видами. Диапазон содержания хлорофиллов составляет 0.39–2.05 мг/г сырой массы, каротиноидов 0.15–0.59 мг/г сырой массы, сюда

вошли виды, как с низкими, так и с высокими значениями. Более 80% арктических видов имеют высокие и средние значения содержания пигментов. Соотношения хлорофиллов находятся в диапазоне – 1.7–4.3; хлорофиллов к каротиноидам – 1.5–4.9; содержание хлорофиллов в светособирающем комплексе (ССК) – 42–82%. В этой группе преобладают виды с циркумполярным типом распространения – 65%, представителей с амфиокеаническим типом распространения, куда относится и единственный однолетник *Euphrasia frigida* с минимальным содержанием хлорофиллов, меньше в 4 раза (16%). Равноценно представлены виды с преимущественно американскими, евразийскими и европейскими типами распространения. Единичный вид, *Deschampsia borealis*, имеет азиатско-американский тип распространения.

Метаарктические виды кроме Арктики встречаются в горах, непосредственно прилегающих к границе тундровой зоны, и являются частью одной крупной «метаарктической флоры», объединяющей флоры разных частей Арктики и субарктических высокогорий. На исследуемой нами территории это самая немногочисленная группа представлена по 1 виду из 7 семейств (*Salix polaris*, *Minuartia rubella*, *Saxifraga revularis*, *Cassiope tetragona*, *Polemonium boreale*, *Erigeron humulis*, *Carex misandra*). Диапазон содержания хлорофиллов у видов этой группы составляет 0.76–2.23 мг/г сырой массы, каротиноидов 0.21–0.57 мг/г сырой массы. Соотношения хлорофиллов находятся в диапазоне 2.8–3.7; хлорофиллов к каротиноидам – 3.6–4.6; хлорофиллов в светособирающем комплексе (ССК) 46–58%. Большинство видов – с циркумполярным типом распространения, по одному виду с амфиатлантическим, преимущественно американским и евразийским типами распространения.

Арктоальпийские виды по происхождению могут быть как арктическими, так и альпийскими. Они наиболее широко представлены в растительном покрове Шпицбергена, среди них много доминантов растительного покрова.

Исследовано 27 видов из 8 семейств, большинство составляют почти все виды семейства *Saxifragaceae* (10 из 14), *Caryophyllaceae*, *Brassicaceae*, *Polygonaceae*. Диапазон содержания хлорофиллов у видов составляет 0.39–2.57, каротиноидов – 0.09–0.86 мг/г сырой массы. Соотношения хлорофиллов находятся в диапазоне – 2.1–3.9; хлорофиллов к каротиноидам – 2.9–5.4; хлорофиллов в светособирающем комплексе (ССК) – 44–72%. Около 90% – циркумполярные виды, два вида – амфиатлантические. К этой группе относится единственный адвентивный североамериканский вид *Silene acaulis* с низким содержанием хлорофиллов (0.44 мг/г сырой массы), который характерен для европейского сектора Арктики. В эту группу входит еще один вид однолетников из флоры Шпицбергена – *Koenigia islandica* семейства *Polygonaceae*.

Флора Арктики представлена видами высших сосудистых растений с различными широтными и долготными географическими элементами и с различным диапазоном содержания хлорофиллов. Наибольший спектр широтных и долготных элементов отмечен в группе видов со средними величинами содержания хлорофиллов. Это означает, что содержание хлорофиллов, которое является генетически детерминированным [Любименко, 1916], может рассматриваться как фактор географического распространения растений. Среди арктических видов арктической фракции флоры большинство составляют виды со средними значениями содержания хлорофиллов, далее идет группа с высоким содержанием, участие видов с низкими значениями минимально. Метаарктическая группа этой же фракции отличается отсутствием видов с низкими значениями, два других диапазона содержания хлорофиллов представлены примерно равноценно. Арктоальпийская группа отличается от всех элементов арктической фракции, наоборот, высокой долей видов с низким содержанием хлорофиллов при доминировании среднего диапазона содержания

хлорофиллов. При этом доминирующую роль в растительном покрове Арктики имеют виды цветковых растений арктической фракции со средними значениями содержания хлорофиллов.

Флавоноиды – одна из наиболее широко распространенных антиоксидантных систем в мире растений. Флавоноиды как полифункциональные соединения имеют большое значение при адаптации автотрофных организмов в высоких широтах. Это связано с такими особенностями флавоноидов, как сочетание полифункциональности и видоспецифичности химического состава не только на уровне вида, но и популяций.

Диапазон содержания суммы флавоноидов у 54 видов сосудистых растений арктической фракции на Западном Шпицбергене оказался довольно широким: от 0.9 до 10.9% абс. сух. веса, причем в 2–3 раза выше, чем у растений Субарктики. Анализ содержания флавоноидов показал, что их количество не связано с таксономией, географическим ареалом и распространением, а определяется в большей степени биологическими особенностями вида, где ведущая роль отводится их метаболической составляющей. Поскольку большая часть изученных видов входит в арктическую фракцию, то они являются хорошо адаптированными к условиям Арктики.

Выявлено, что в таких семействах, как *Salicaceae*, *Betulaceae*, *Papaveraceae*, *Polemoniaceae*, *Boraginaceae*, *Scrophulariaceae* отмечены виды только с высоким содержанием флавоноидов; в шести семействах: *Equisetaceae*, *Lycopodiaceae*, *Ranunculaceae*, *Rosaceae*, *Empetraceae*, *Cyperaceae* не встречено видов с высоким содержанием флавоноидов.

Среди всех исследованных представителей многовидовых семейств имеются виды с разным уровнем содержания флавоноидов. Так, в сем. *Saxifragaceae* есть виды как с очень высоким содержанием – *Saxifraga hirculus* (9.1%), так и с самым низким – *Saxifraga foliolosa* (0.9); в сем. *Caryophyllaceae* с высоким содержанием – *Silene acaulis* и *Honkenya peploides* (7.8), с низким – *Arenaria pseudofrigida* (2.8) и *Stellaria humifusa* (3.0%).

Около 85% исследованных видов имеют высокие и средние значения величины содержания флавоноидов, что свидетельствует о важности участия этой группы вторичных метаболитов в процессе адаптации к условиям Крайнего Севера. Сравнение данных по содержанию флавоноидов у одних и тех же видов в разных условиях обитания подтверждает идею об увеличении концентрации этих соединений в более экстремальных условиях среды.

Одновременный анализ содержания фотосинтезирующих пигментов и флавоноидов у видов растений арктической фракции позволил выделить четыре основные группы видов.

В первую группу входят виды *Cassiope tetragona*, *Salix polaris*, *S. reticulata*, *Pedicularis dasyantha* с высоким содержанием зеленых пигментов и высоким содержанием флавоноидов. К этой же группе примыкают виды *Erigeron humilis*, *Potentilla hyparctica*, *Dryas octopetala* также с высоким содержанием хлорофиллов, но с несколько более низким содержанием флавоноидов.

Во вторую группу вошли виды *Arenaria pseudofrigida*, *Huperzia arctica*, у которых низкие содержания пигментов сочетаются с низким содержанием флавоноидов. Сюда же входят близкие к ним виды *Oxyria digyna*, *Braya purpurascens*, *Saxifraga cernua*, *S. cespitosa*, *Ranunculus pygmaeus*, у которых содержание флавоноидов несколько выше.

В третью группу вошли виды *Poa alpigena*, *Luzula wahlenbergii*, *Taraxacum arcticum*, *Saxifraga hieracifolia*, *Ranunculus sulphureus*, у которых высокие содержания хлорофиллов сочетаются с низким содержанием флавоноидов.

В четвертую группу вошли виды *Saxifraga oppositifolia*, *S. aizoides*, *Cochlearia groenlandica*, у которых низкое содержание хлорофиллов сочетается с высоким содержанием флавоноидов.

Выявлено, что у 70% видов увеличение содержания пигментов сопровождается увеличением содержания флавоноидов, что дает основание предполагать, что соединения группы флавоноидов активно участвуют в защите фотосинтетического аппарата большой группы арктических растений. Однако роль флавоноидов значительно шире и в отношении функциональной активности растений Арктики.

Известно, что одним из путей адаптации пигментного аппарата к условиям арктических широт является снижение содержания зеленых пигментов, которое, как предполагают, связано с понижением риска окислительного стресса. Для ряда видов так и оказалось: больше хлорофиллов – больше флавоноидов (группа 1), меньше хлорофиллов – меньше флавоноидов (группа 2). Поскольку хлоропласты являются основным источником внутриклеточных форм активного кислорода, то гликолизированные флавоноиды, присутствующие в хлоропластах, выполняют антиоксидантную функцию. Выявленная нами у ряда видов связь между содержанием пигментов и содержанием флавоноидов поддерживает представление об их участии в антиоксидантной защите растений Арктики. Высокое содержание флавоноидов у растений Западного Шпицбергена может быть связано с возрастанием экстремальности условий произрастания видов.

Литература

Зайчикова С.Г., Кривуш Б.А., Барабанов Е.А. Спектрометрический метод количественного определения суммы флавоноидов в траве зверобоя шероховатого // Современные методы исследований лекарственных растений. – М., 1983. – С. 103–109.

Любименко В.Н. О превращениях пигментов пластид в живой ткани растения // Зап. Имп. АН. – Петроград, 1916. – Т. 33, № 12. – С. 1–274.

Сапожников Д.И., Маслова Т.Г., Попова О.Ф., Попова И.А., Королева О.Я. Метод фиксации и хранения листьев для количественного определения пигментов пластид // Ботанический журнал. – 1978. – Т. 63, № 11. – С. 1586–1592.

THE CONTENT OF PIGMENTS AND FLAVONOIDS IN PLANTS ARCTIC FRACTION ON WEST SPITSBERGEN

N. Shmakova¹, E. Markovskaya²

¹Polar Alpine Botanical Garden and Institute, Kirovsk, Russia, shmanatalya@yandex.ru

²Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Petrozavodsk State University», Petrozavodsk, Russia, volev10@mail.ru

Abstract. The content of pigment plastids was studied in 98 species of vascular plants on the island of Western Spitsbergen (78° 02'N, 14° 12'E). It has been established that species of the Arctic fraction (85%) with a circumpolar areal prevail. The range of chlorophyll content in this group is 0.4–2.6 mg/g wet weight, carotenoids – 0.09–0.86; the ratio of chlorophylls is 1.7–4.3, the ratio of chlorophylls to carotenoids is 1.5–5.4, the size of LHC-II is 42–82%. The range of the content of the sum of flavonoids in 54 species of vascular plants of the Arctic fraction was from 0.9 to 10.9% of abs. dry weights. It is found that 70% of species have a positive relationship between the content of chlorophylls and flavonoids.

Keywords: *plastid pigments, flavonoids, vascular plants, West Spitsbergen*