

Финансирование: Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РФФИ 24-26-20028 и Новосибирской обл. (р-99).

Список литературы

- 1 Леонова И.Н. Влияние чужеродного генетического материала на проявление хозяйственно важных признаков мягкой пшеницы (*T. aestivum* L.). Вавиловский журнал генетики и селекции. 2018. 22(3):321-328.
- 2 Burešová, V., Kopecký, D., Bartoš, J., Martinek, P., Watanabe, N., Vyhnánek, T., Doležel, J. Variation in genome composition of blue-aleurone wheat. Theoretical and Applied Genetics. 2015. 128:273-282.
- 3 Efremova T.T., Maystrenko O.I., Arbuzova V.S., Laikova L.I., Panina G.M., Popova O.M., Berezova O.V. Effect of alien 5R(5A) chromosome substitution on ear-emergence time and winter hardiness in wheat-rye substitution lines. Euphytica. 2006. 151:145–153.

DOI 10.18699/GPB2024-34

ISSR-анализ генетической изменчивости в ценопопуляциях некоторых редких и уязвимых видов сибирской флоры

Жмудь Е.В. *, д.б.н., с.н.с., Дорогина О.В. *, д.б.н., проф., гл. н.с.; Кубан И.Н., м.н.с., Ачимова А.А., к.б.н., н.с., директор филиала.

ФГБУН Центральный сибирский ботанический сад СО РАН, Новосибирск; Горно-Алтайский ботанический сад, филиал Центрального сибирского ботанического сада СО РАН, Горно-Алтайск, Россия

*email: elenazhmi@gmail.com; *email: olga-dorogina@yandex.ru

В 2018–2023 гг. проведены сравнительные исследования генетической структуры в ценопопуляциях (ЦП) редких и уязвимых сибирских видов *Rhaponticum carthamoides* (5 ЦП), *Rhodiola rosea* (7 ЦП) и *Adonis villosa* (6 ЦП) в Республике Алтай методом ISSR – маркирования. Обнаружено, что минимальная генетическая гетерогенность (3 %) наблюдалась у *A. villosa*, более высокая – у представителей *R. carthamoides*. Основной фактор снижения этого показателя – пространственная изоляция популяций, итогом которой является гомогенизация их генетической структуры. Этот процесс может быть связан с географическим расположением ЦП (у *R. carthamoides*) и с фрагментацией ЦП в результате элиминации особей при антропогенном воздействии (у *R. rosea* и *A. villosa*).

Ключевые слова: Республика Алтай, *Rhaponticum carthamoides*, *Rhodiola rosea*, *Adonis villosa*, параметры генетического разнообразия.

ISSR-analysis of genetic variability in coenopopulations of some rare and vulnerable species of Siberian flora

Dorogina O.V. *, Kuban I.N., Achimova A.A., Zhmud E.V.

Central Siberian Botanical Garden SB RAS, Novosibirsk, Russia

Gorno-Altai Botanical Garden, Altai branch of the Central Siberian Botanical Garden
SB RAS, Kamlak, Russia

*email: olga-dorogina@yandex.ru

*In 2018–2023, comparative studies of the genetic structure using ISSR – markers in natural coenopopulations (CP) of rare and vulnerable siberian species *Rhaponticum carthamoides* (5 CP), *Rhodiola rosea* (7 CP), *Adonis villosa* (6 CP) in the Altai Republic. They showed that the lowest genetic heterogeneity (3%) in CP was observed in *A. villosa*, and higher genetic heterogeneity was observed in representatives of *R. carthamoides*. The main factor in reducing this indicator is the spatial isolation of populations, the result of which is the homogenization of their genetic structure. It may be associated with the geographical location of the CP (in *R. carthamoides*) and with fragmentation of the CPs as a result of the elimination of individuals under anthropogenic impact (in *R. rosea* and *A. villosa*).*

*Key words: Altai Republic, *Rhaponticum carthamoides*, *Rhodiola rosea*, *Adonis villosa*, genetic diversity parameters.*

Редкие и уязвимые растения, используемые как источники биологически активных веществ, нуждаются в особом подходе к охране в природе. Он заключается в поиске эффективных популяций – доноров для введения в культуру генетически гетерогенных особей, что можно определить при использовании, в частности, ISSR маркёров.

В Республике Алтай (РА) генетическая структура впервые исследована в ценопопуляциях (ЦП) редких видов регионального значения – Маральего корня (*Rhaponticum carthamoides* (Willd.) Iljin (Asteraceae), 5 ЦП) и Стародубки пушистой (*Adonis villosa* Ledeb. (Ranunculaceae), 6 ЦП), а также уязвимого вида федерального значения – Золотого корня (*Rhodiola rosea* (Crassulaceae), 7 ЦП). ДНК выделена из высушенных листьев у 1–10 особей этих видов на основе СТАВ-метода; апробированы от 8 до 17 праймеров.

По данным ANOVA, у *R. carthamoides* доля внутривидовой изменчивости составила 37% от общей генетической изменчивости. Наиболее высокое сходство по распределению фрагментов ДНК обнаружено в ЦП1, ЦП2, ЦП4, ЦП5 (табл. 1, рис. 1). Их многочисленные особи росли на прогреваемых южных склонах с достаточным зимним влагозапасом в почве, имеющим решающее значение при росте и развитии [1]. Особи из ЦП2, ЦП4 и ЦП5 характеризовались более высокой генетической гетерогенностью и географически более близким расположением между собой: (ЦП2) – в труднодоступном месте, а ЦП4 и ЦП5 – в охраняемых условиях Катунского заповедника (табл. 1, рис. 1). В малочисленной географически изолированной ЦП3 (заказник ООПТ «Шавлинский», Онгудайский район, окр. с. Белый Бом) выявлено низкое сходство с особями из других ЦП,

обусловленное произрастанием между горным перевалом (2300 м н. у. м.) с одной стороны, и рекой Шавла – с другой.

Таблица 1 – Генетическое сходство и географические дистанции (км) между ЦП *Rhaponticum carthamoides* в Республике Алтай

№ ЦП	ЦП 1	ЦП 2	ЦП 3	ЦП 4	ЦП 5
ЦП 1	–	122*	210	215	162
ЦП 2	0,978**	–	165	89	72
ЦП 3	0,478	0,517	–	177	100
ЦП 4	0,642	0,692	0,596	–	87
ЦП 5	0,682	0,716	0,343	0,913	–

Обозначения: * – географические расстояния; ** – генетическое сходство

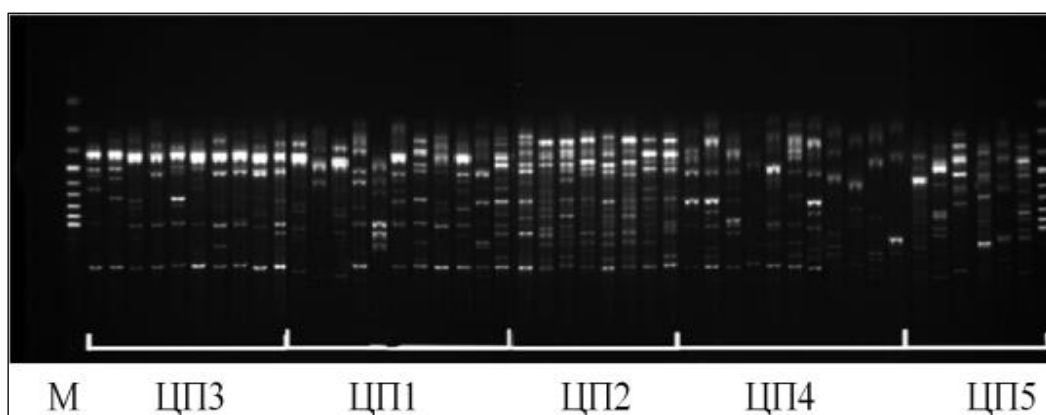


Рис. 1. Электрофореграмма продуктов амплификации с праймером UBS-857 в популяциях *Rhaponticum carthamoides* (Willd.) Iljin в Республике Алтай; М – маркер

У краснокнижного вида *R. rosea*, по литературным данным, гендерно- или популяционно-специфичных праймеров не обнаружено [2]. Доля полиморфных локусов в популяциях этого вида составила от 0 до 88% (в среднем, 43%). Более высокий полиморфизм и высокое сходство найдено у особей в Катунском заповеднике (ЦП1, ЦП2) и в труднодоступном месте Усть-Коксинского района у подножия горы Красная (ЦП4) на абсолютных высотах не более 2000 м и не подвергавшихся антропогенному воздействию (табл. 1, рис. 2). Минимальный генетический полиморфизм обнаружен у представителей из высокогорных популяций (ЦП3, ЦП6) на абсолютных высотах 2400–2500 м в Сайлюгемском нацпарке, где разрешена хозяйственная деятельность человека. Несмотря на сравнительно небольшую удалённость друг от друга, особи в каждой из них характеризовались отсутствием полиморфизма по распределению ISSR-маркёров и высокой генетической дифференциацией (табл. 2). Вероятная причина – малочисленность (10–15 зрелых генеративных) особей в этих популяциях и их пространственная изоляция, вызванная антропогенным воздействием (выпас, заготовка корневищ) [3].

Таблица 2 – Генетическое сходство и географические расстояния (км) между ЦП *Rhodiola rosea* в Республике Алтай

№ ЦП	ЦП 1	ЦП 2	ЦП 3	ЦП 4	ЦП 5	ЦП 6	ЦП 7
ЦП 1	–	2,6*	171,1	50,8	150,5	175,3	237,3
ЦП 2	0,999**	–	173,7	48,2	149,2	177,9	239,6
ЦП 3	0,582	0,201	–	221,7	280,2	12,5	112,9
ЦП 4	0,999	0,819	0,813	–	128,6	225,8	282,5
ЦП 5	0,897	0,683	0,552	0,999	–	278,4	291,6
ЦП 6	0,776	0,569	0,307	0,619	0,735	–	100,4
ЦП 7	0,827	0,601	0,418	0,999	0,999	0,706	–

*Обозначения: как в таблице 1.

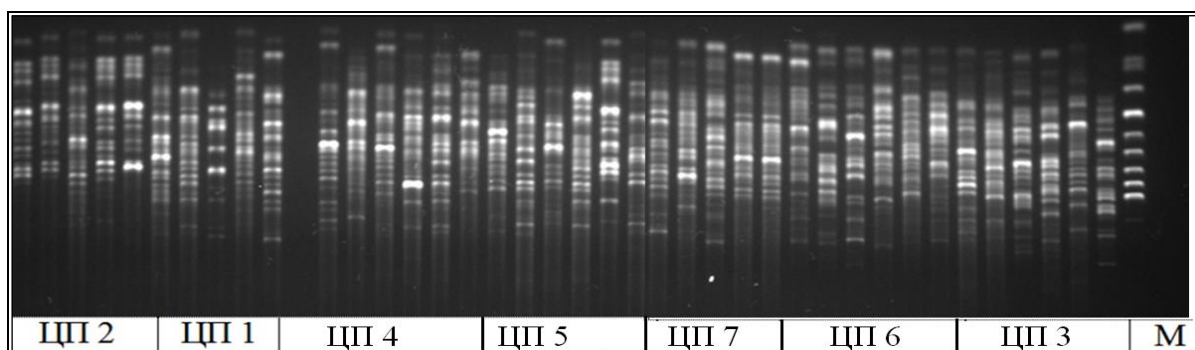


Рис. 2. Электрофореграмма распределения ISSR-спектров в ценопопуляциях *Rhodiola rosea*, полученная с праймером HB-12; М – маркер

У особей *A. villosa* обнаружено наиболее высокое межпопуляционное (88–99 %) и внутривидовое (97 %) сходство по распределению ISSR-маркёров (табл. 3, рис. 3). Высокая генетическая меж- и внутривидовая гомогенность по распределению ISSR-маркёров в популяциях может быть обусловлена географической изоляцией ЦП *A. villosa*, произрастающих в северной части РА, вдали от основного ареала видовой разнообразия, расположенного в горных районах Средней Азии [4]. По литературным данным, при исследовании генетической структуры популяций *A. villosa* с помощью AFLP-маркеров, несмотря на сильную фрагментацию, в ЦП в Кулундинской степи (Южная Сибирь) наблюдалось умеренное генетическое разнообразие и слабая дифференциация [5]. По данным авторов, такая умеренная гетерогенность может быть связана с большой продолжительностью жизни особей в популяциях, составляющей десятки лет. В Северном Алтае *A. villosa* живёт недолго, так как растения элиминируются для пересадки на садовые участки и при прокладке коммуникаций.

Таким образом, использование метода ISSR-маркирования позволило оценить параметры генетической структуры у данных дикорастущих видов и установить, что для размножения и введения в культуру у *R. carthamoides* и *R. rosea* семенной материал целесообразно отбирать из ненарушенных условий. Гомогенность генетической структуры ЦП у *A. villosa* свидетельствует об уязвимости и может оказать негативное влияние на его интродукционный потенциал.

Таблица 3 – Генетическое сходство и географические расстояния (км) между ЦП *Adonis villosa* в Республике Алтай

№ ЦП	ЦП 1	ЦП 2	ЦП 3	ЦП 4	ЦП 5	ЦП 6
ЦП 1	–	36,4*	30,9	23,0	10,9	6,9
ЦП 2	0,992928**	–	63,6	57,2	47,2	30,2
ЦП 3	0,999044	0,997098	–	8,4	25,4	37,4
ЦП 4	0,991608	0,988324	0,992614	–	16,9	27,5
ЦП 5	0,995612	0,993561	0,996279	0,993747	–	17,7
ЦП 6	0,918385	0,884179	0,90974	0,929987	0,895944	–

*Обозначения: как в таблицах 1–2.

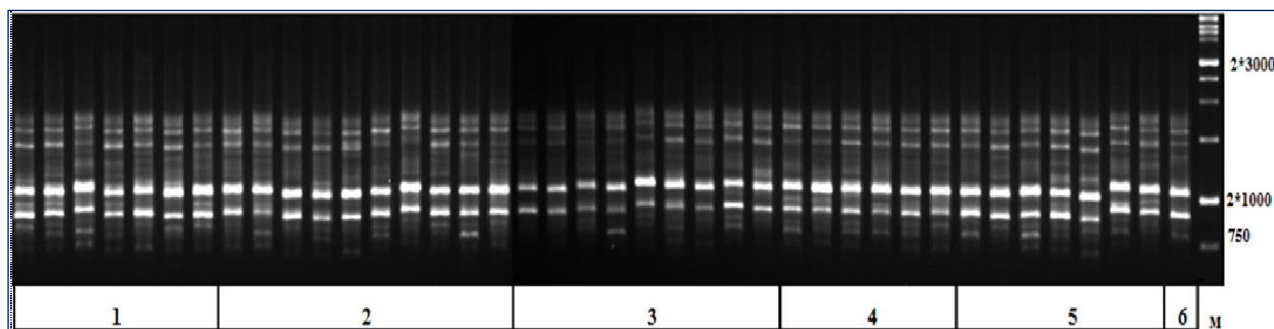


Рис. 3. ISSR – профиль фрагментов *Adonis villosa*, амплифицированных с праймером UBC-857

Финансирование: Исследование выполнено в рамках государственного задания ЦСБС СО РАН № АААА-А21-121011290025-2.

Список литературы

- 1 Кубан И.Н., Дорогина О.В., Жмудь Е.В. Состояние ценопопуляций редкого вида *Rhaponticum carthamoides* (Asteraceae) в Республике Алтай // Растительный мир Азиатской России. 2018. № 3(31). С. 66–76.
- 2 Kylin M. Genetic diversity of Roseroot (*Rhodiola rosea* L.) from Sweden, Greenland and Faroe Islands Swedish University of Agricultural Sciences The Faculty of landscape Planning, Horticulture and Agriculture Science Plant Breeding and Biotechnology Collaboration with the Nordic Genetic Resource Center (NordGen) Master's thesis in Biology 30 HEC Advanced E MSc in Horticulture programme Självständigt arbete vid LTJ-fakulteten, SLU Alnarp. 2010. 58 p.
- 3 Кубан И.Н., Жмудь Е.В., Ачимов А.А., Дорогина О.В. Генетическая дифференциация *Rhodiola rosea* (Crassulaceae) в Республике Алтай по ISSR-маркёрам // Экологические системы и приборы. 2023. № 4. С. 3–10.
- 4 Seidl A., Tremetsberger K., Pfanzelt S., Lindhuber L., Kropf M., Neuffer B., Blattner F.R., Király G., Smirnov S.V., Friesen N., Shmakov A.I., Plenk K., Batlai O., Hurka H., Bernhardt K.-G. Genotyping-by-sequencing reveals range expansion of *Adonis vernalis* (Ranunculaceae) from Southeastern Europe into the zonal Euro-Siberian steppe // Sci. Rep. 2022. Vol. 12. 19074.
- 5 Rosche C., Heinicke S., Hensen I., Silantyeva M.M., Stolz J., Gröning S., Karsten W. Spatio-environmental determinants of the genetic structure of three steppe species in a highly fragmented landscape // Basic and Applied Ecology. 2018. 28. P. 48–59.