БИОЛОГИЯ

УДК 581.41:575.2 (470.67)

DOI: 10.21779/2542-0321-2018-33-4-114-120

А.Д. Хабибов¹, М.И. Гаджиев², Р.М. Османов¹

К вопросу о влиянии высотного фактора на структуру изменчивости размерных признаков *Trigonella foenum-graecum* L. (Fabaceae) при интродукции в условиях Дагестана

¹ Горный ботанический сад ДНЦ РАН; Россия, 367000, г. Махачкала, ул. М. Ярагского, 75; Gakvari05@mail.ru;

² Дагестанский государственный университет; Россия, 367001, г. Махачкала, ул. М. Гаджиева, 43а; elmu@mail.ru

Впервые в условиях экспериментальных баз (50, 1100 и 1780 м над ур. м.) Горного ботанического сада ДНЦ РАН выяснена роль высотного фактора в структуре изменчивости шести размерных (ростовых) признаков пажитника сеного – *Trigonella foenum-graecum* L. (Fabaceae) при интродукции в условиях Дагестана. В результате применения статистических методов получены средние показатели размерных признаков, значения корреляционной связи, величины компоненты дисперсии и коэффициента детерминации, в том числе и силы влияния высотного градиента на изменчивость исследуемых признаков. При сравнительном анализе выяснилось, что максимальные средние показатели большинства рассматриваемых размерных признаков характерны для растений с высоты 1100 м над ур. м. (ЦЭБ), минимальные – для растений, выращенных в г. Махачкала (50 м над ур. м.). Установлено, что между учтёнными признаками растений в условиях ГЭБ среднего горного пояса (1780 м над ур. м.) и объединённой выборки отмечено максимальное число существенных значений корреляционных связей. Однако между длиной корня и относительным признаком – соотношением надземной (генеративного побега) и подземной (корня) частей всех выборок – отмечены достоверные значения отрицательных корреляционных связей. Результаты однофакторного дисперсионного анализа показали, что комплексный фактор – высота над ур. м. – достоверно, на максимальном уровне (99,9 %) существенно влияет на изменчивость всех рассматриваемых признаков. Однако результаты регрессионного анализа показали, что не вся изменчивость, обусловленная условиями разновысотных уровней, определяется высотным градиентом ($\Delta h = 1730$ м), а только часть её. Между высотным градиентом и размерными признаками отмечены существенные значения положительной корреляционной связи, а между высотной разницей и вышеотмеченным относительным признаком (L_2/L_1) – отрицательная корреляция ($r_{xy} = -0,674$).

Ключевые слова: *Trigonella foenum-graecum* L., высотный градиент, вариабельность размерных признаков, интродукция, экспериментальные базы.

Введение

Основной вопрос, возникающий при обнаружении изменчивости признаков внутри или между популяциями, чем вызвана изменчивость – генотипическими или средовыми факторами? Без ответа на него трудно оценить и роль других эволюционных факторов [1]. С ним же связано раскрытие механизма приспособления вида в процессе

расширения его ареала, ибо «вид приспособляется двумя способами: биотипическим составом популяции, пластичностью (толерантностью) самых биотипов». Методы, используемые для разграничения форм изменчивости, вызванных различными факторами, достаточно разнообразны, но в принципе могут быть сведены к двум группам: во-первых, это собственно генетические методы, предполагающие изучение характера наследования признаков и выявление их генетической архитектуры; во-вторых – фенотипические методы, основанные на изучении характера развития признаков, на сравнительной оценке норм их реакций в заданном пределе колебаний экологических условий. Наряду с числовыми показателями размерные признаки являются главным объектом селекционных и агрономических работ и в конечном итоге связаны с продуктивностью. Эти же признаки становятся важнейшими и в процессе эволюционных и популяционных исследований, в существенной мере определяющие процессы дифференциации и интеграции надорганизменных систем [2].

Из 70 видов *Trigonella* L. (*Fabaceae*) в естественных условиях Кавказа произрастает 22 [3], в Дагестане – 9 видов, большинство из которых являются посредственными кормовыми травами, часто развивающимися на перелогах, залежах и других сорных местах [4].

Наши исследования посвящены сравнительному анализу структуры изменчивости шести размерных признаков *Trigonella foenum-graecum* L. при интродукции в разновысотных условиях Низменного и Внутреннегорного Дагестана. Предварительные результаты интродукционного испытания этого вида в условиях Дагестана [5] и изменчивости линейных признаков ранее были изложены [6].

Материал и методика

В условиях экспериментальных баз Горного ботанического сада ДНЦ РАН: Цудухарской (ЦЭБ) – 1100 м над ур. м., Гунибской (ГЭБ) – 1780 м над ур. м. и в окрестностях г. Махачкала – 50 м над ур. м., на метровых делянках террасированных участков проведен посев по 100 шт. семян *T. foenum-graecum*. После завершения вегетационного цикла было собрано по 10 максимально развитых растений, у которых учитывалось более 25 признаков. Признаки условно подразделены на 5 групп: размерные (ростовые), числовые, весовые, индексные, признаки максимально развитого плода в пределах особи. В результате применения суммарной статистики, корреляционного, дисперсионного и регрессионного анализов были получены как средние показатели, так и значения корреляционной связи, величины силы влияния и коэффициента детерминации учтённого фактора на изменчивость этих признаков [7]. При проведении расчетов использовался пакет данных программ Statgraf version 3.0 (Shareware) и Statistica 5.5. Работа выполнена на популяционном уровне исследования, подходы которого находят широкое применение [8] как в исследованиях процессов морфогенеза [9], так и оценке продуктивности зернобобовых культур [10].

Результаты и обсуждение

При сравнительном анализе структуры изменчивости размерных признаков интродуцированных растений *T. foenum-graecum* выяснилось, что максимальные показатели средних величин (длины растения в целом (L), корня (L_1), генеративного побега (L_2), толщины стебля (D_1) и корня (D_2)) характерны для особей, выращенных в условиях ЦЭБ (1100 м над ур. м.) (рис. 1). При этом для средних величин изучаемых призна-

ков отмечено в большей или меньшей степени превосходство у растений, интродуцированных в условиях 1780 м над ур. м. Однако для индексного признака (L_2/L_1) – отношения длины генеративного побега к таковой корня – характерна иная тенденция – уменьшение средних показателей (в 1,826 раза) по мере возрастания высоты над уровнем моря. Средняя доля длины подземной части по отношению к таковой генеративного побега в условиях ГЭБ за вегетационный сезон характеризуется относительно высокими показателями: превышение почти в два раза ($2,117/1,107 = 1,912$), чем аналогичное соотношение растений из окрестностей г. Махачкала (рис. 1).

Рис. 1. А: L – длина растения; L_1 – корня и L_2 – генеративного побега; В: D_1 – толщина стебля; D_2 – толщина корня и L_2/L_1 – отношение длины генеративного побега к корню

На основе вышеизложенного доля (%) длины генеративного побега растения в целом, хотя и незначительно (8,1 %), понижается по мере поднятия высотного уровня (рис. 2). Хотя для средних показателей всех учтённых размерных признаков, характерно преобладание в условиях 1100 м над ур. м. (ЦЭБ), все же соотношению ростовых признаков генеративного побега и корня присущи иные тенденции.

Рис. 2. Разновысотные выборки *T. foenum-graecum*: А – доля (%) длины корня (L_1) и генеративного побега (L_2) в общей длине растения (L); В – тенденции соотношений признаков роста: корня (L_1/D_2) и генеративного побега (L_2/D_1)

Общеизвестно, что рост – это количественное увеличение биомассы организма за счет увеличения геометрических размеров и массы отдельных его клеток или увеличения числа клеток благодаря их делению. Обычно длину и ширину (или толщину) считают признаками роста. По мере увеличения высотного градиента для отношения этих признаков (длины к ширине) отмечены противоположные тенденции: показатели подземного органа, хотя и медленно, увеличиваются, а надземного – уменьшаются (рис. 2 В).

Таблица 1. Сравнительная характеристика корреляционных связей размерных признаков (мм) *T. foenum-graecum* в условиях интродукции в Дагестане (df = n – 2 = 8)

Выборки	r _{xy} между признаками														
	L и L ₁	L и L ₂	L и D ₁	L и D ₂	L и L ₂ /L ₁	L ₁ и L ₂	L ₁ и D ₁	L ₁ и D ₂	L ₁ и L ₂ /L ₁	L ₂ и D ₁	L ₂ и D ₂	L ₂ и L ₂ /L ₁	D ₁ и D ₂	D ₁ и L ₂ /L ₁	D ₂ и L ₂ /L ₁
50	-	75*	-	-	64*	-	-	-	-86**	-	80**	66*	-	-	-
1100	66*	95***	-	-	-	-	-	-	-81**	-	-	-	68*	62*	-
1780	63*	96***	83**	75*	-	-	-	-	-81**	88**	79*	-	91***	-	-
Σ df= 28	73***	96***	80***	85***	-	56**	59**	66***	-78***	77***	81***	-	94***	-	-

Примечание. Коэффициент корреляции (r_{xy}) приведён в виде первых двух знаков после запятой. Прочерк означает отсутствие существенной связи. * – P < 0,05; ** – P < 0,01; *** – P < 0,001.

Между учтёнными признаками растений в условиях (ГЭБ) среднего горного пояса (1780 м над ур. м.) и объединённой выборки (Σ) этого объекта отмечено максимальное число существенных значений корреляционных связей (табл. 1). Подобное ожидаемо, поскольку изучаемый культивар *T. foenum-graecum* из относительно тёплых местообитаний, а условия ГЭБ (1780 м над ур. м.) характеризуются сравнительно суровыми климатическими особенностями. Также в объединённой выборке с увеличением числа наблюдений или степеней свободы (df) возрастает число достоверных корреляций. Кроме того, между длиной растений в целом и её составляющими у преобладающего большинства выборок наблюдаются существенные значения положительной корреляционной связи. Однако между длиной корня и относительным признаком – соотношением надземной (генеративного побега) и подземной (корня) частями всех выборок на достаточно высоком уровне значимости (99,0 %) – отмечены достоверные значения отрицательной корреляционной связи. Между толщиной генеративного побега и корня преимущественно выявлены также положительные значимые корреляции при редких, единичных случаях достоверных связей остальных учтённых признаков.

Таблица 2. Результаты однофакторного (высота над ур. м.) дисперсионного анализа размерных признаков растений *T. foenum-graecum* в условиях Дагестана

№ п/п	Признаки	SS	mS	F(2)	h ² , %
1	L	261666,60	130833,30	35,339***	72,4
2	L ₁	11672,267	5836,1333	16,019***	54,3
3	L ₂	169021,80	84510,900	28,993***	68,2
4	D ₁	14,050687	7,0253433	28,633***	68,0
5	D ₂	19,514047	9,7570233	32,112***	70,4

6	L_2/L_1	75,263127	37,631563	11,265***	45,5
---	-----------	-----------	-----------	-----------	------

Примечание. SS – среднее квадратичное отклонение; mS – дисперсия; F – критерий Фишера. В скобках (df) указано число степеней свободы, h^2 – сила влияния фактора в процентах (%). *** – $P < 0,001$. Условные обозначения этих морфологических признаков приведены в тексте и в табл. 3.

Результаты проведённого однофакторного дисперсионного анализа показали, что комплексный фактор – высота над ур. м. – существенно, на максимальном (99,9 %) уровне достоверности, влияет на изменчивость всех рассматриваемых здесь размерных признаков (табл. 2). Однако доля влияния данного фактора на вариабельность этих признаков неодинакова. Максимальное значение (72,4 %) компоненты дисперсии характерно для длины растения в целом, а минимальное (54,3 %) – для индексного признака (отношения длины надземной части к подземной доле). Показатели силы влияния данного фактора на изменчивость остальных учтённых признаков сосредоточены между этими двумя крайними вариантами. Однако результаты регрессионного анализа показали, что не вся изменчивость, обусловленная условиями разновысотных уровней, определяется высотным градиентом, равным 1730 м над ур. м., а только её определённая часть (табл. 3).

Таблица 3. Результаты регрессионного анализа размерных признаков растений *T. foenum-graecum* в условиях Дагестана

№ п/п	Признаки	$SS = mS$	$F(1)$	$r^2, \%$	r_{xy}	r^2 от $h^2, \%$
1	L	54133,442	4,93*	15,0	0,387	20,7
2	L_1	8904,7335	19,782***	41,4	0,643	76,2
3	L_2	-	-	-	-	-
4	D_1	7,519167	16,003***	36,4	0,603	53,5
5	D_2	10,854305	18,022***	39,2	0,626	55,7
6	L_2/L_1	75,247390	23,355***	45,5	-0,674	100,0

Примечание: r^2 – коэффициент детерминации, в %. r_{xy} – коэффициент корреляции между фактором и признаком. Прочерк означает отсутствие существенного влияния фактора или достоверной связи. * – $P < 0,05$; ** – $P < 0,01$; *** – $P < 0,001$.

Из 72,4 % компоненты дисперсии длины растения в целом коэффициент детерминации составляет только 15,0 %. Иначе говоря, из вариабельности, обусловленной разнообразными условиями высотных уровней, высотная разница берёт на себя только определённую часть изменчивости (20,7 %), остальная доля изменчивости связана с другими, не учтёнными нами факторами. С увеличением высотной разницы уменьшаются показатели отношения длины генеративного побега к таковой корня, что подтверждает и вышеприведённая гистограмма (рис. 1 В).

Заключение

Таким образом, в научном плане впервые в разновысотных условиях экспериментальных баз (50, 1100 и 1780 м над ур. м.) Горного ботанического сада ДНЦ РАН и в окрестностях г. Махачкала экспериментально получены определённые сведения о высотном факторе, влияющем на структуру изменчивости размерных признаков *Trigonella foenum-graecum* L. (Fabaceae) при интродукции в условиях Дагестана.

При сравнительном анализе выяснилось, что максимальные средние показатели большинства рассматриваемых размерных признаков характерны для растений с высоты 1100 м над ур. м. Минимальные средние величины этих признаков присущи растениям, выращенным в г. Махачкала. Промежуточное положение средних размеров у особей с верхнего горного пояса – 1780 м над ур. м.

Результаты проведённого однофакторного дисперсионного анализа показали, что комплексный фактор – высота над ур. м. – существенно, на максимальном (99,9 %) уровне достоверности, влияет на изменчивость всех рассматриваемых признаков. Однако доля влияния данного фактора на вариабельность этих признаков неодинакова. Максимальное значение (72,4 %) компоненты дисперсии характерно для длины растения в целом, а минимальное (54,3 %) – отношения длины надземной части к подземной доле. Между высотным градиентом и преобладающим большинством рассматриваемых признаков отмечены существенные значения положительной корреляционной связи. Однако между высотной разницей и вышеотмеченным относительным признаком (L_2/L_1) наблюдается отрицательная корреляция ($r_{xy} = -0,674$).

В любом случае, характер изменчивости признаков *Trigonella foenum-graecum* L. (*Fabaceae*) достоверно позволяет судить о существенной роли высотности над уровнем моря и пластичности культивируемого вида к этому комплексному средовому фактору.

Работа выполнена с использованием уникальной научной установки «Система экспериментальных баз, расположенных вдоль высотного градиента» (УНУ СЭБ ГорБС ДНЦ РАН).

Литература

1. Магомедмирзаев М.М., Гусейнова З.А., Алибегова А.Н., Магомедова С.М. Проблема адаптивных стратегий растений. – Махачкала: Издательство «Наука» ДНЦ, 2013. – 300 с.
2. Семерилов Л.Ф. Популяционная структура дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) // Исследования форм внутривидовой изменчивости растений. – Свердловск: УНЦ АН СССР, 1981. – С. 25–49.
3. Гроссгейм А.А. Флора Кавказа. – М.–Л: Изд-во АН СССР, 1952. – Т. 5. – С. 177–178.
4. Муртазалиев Р.А. Род *Trigonella* L. во флоре Кавказа // Труды Дагестанского отделения Русского ботанического общества. – Махачкала: АЛЕФ, 2013. – Вып. 2. – С. 104–107.
5. Хабибов А.Д., Гаджиев М.И. Некоторые предварительные результаты интродукционного испытания пажитника сенной (*Trigonella-foenum graecum* L.) в условиях Дагестана // Материалы XVI Международной научной конференции «Биологическое разнообразие Кавказа и юга России», посвящённой 75-летию Точиева Тугана Юнусовича (Магас, Республика Ингушетия, 13–15 ноября 2014 г). – Назрань, 2014. – С. 338–343.
6. Хабибов А.Д., Гаджиев М.И., Османов Р.М. Оценка роли высотного градиента в структуре изменчивости размерных признаков *Trigonella foenum-graecum* L. (*Fabaceae*) при интродукции в условиях Дагестана // Известия Горского ГАУ. – 2018. – Т. 55, № 3. – С. 114–118.
7. Зайцев Г.Н. Методика биометрических расчётов. – М.: Наука, 1983. – 256 с.
8. McCormick K.M., Norton R.M., Eagles H.A. Phenotypic variation within a fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) germplasm collection. II. Cultivar selection based on traits asso-

ciated with seed yield // Genetic Resources Crop Evolution. – 2009. – V. 56, № 5. – P. 651–661.

9. Юсуфов А.Г. Связь агроэкологических исследований с задачами аутоэкологии // Вестник ДГУ. – 2014. – Вып. 1. – С. 117–125.

10. Шуйбова Н.Ш., Хабибов А.Д., Гамзатова Х.М., Магомедов А.М. О продуктивности бобовых растений в засушливых условиях природных зон Дагестана // Аридные экосистемы. – 2018. – Т. 24, № 2 (75). – С. 66–71.

Поступила в редакцию 27 ноября 2018 г.

UDC 581.41:575.2 (470.67)

DOI: 10.21779/2542-0321-2018-33-4-114-120

To the question of the influence of the altitude factor on the structure of variability of dimensional traits of *Trigonella foenum-graecum* L. (Fabaceae) during the introduction in Dagestan

A.D. Habibov¹, M.I. Gadzhiev², R.M. Osmanov¹

¹ Mountain Botanical Garden of DSC RAS; Russia, 367000, Makhachkala, M. Yaragsky st., 75; Gakvari05@mail.ru;

² Dagestan State University; Russia, 367001, Makhachkala, M. Gadzhiev st., 43a; elmu@mail.ru

For the first time, in the conditions of experimental bases (50, 1100 and 1780 m above sea level) of the Mountain Botanical Garden of the Dagestan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, the role of the altitude factor in the structure of variability of six dimensional (growth) traits of fenugreek hay – *Trigonella foenum-graecum* L. (Fabaceae) is clarified in the conditions of Dagestan. For the first time, the purpose of our research is to find out the role of the height factor in the variability structure of six dimensional (growth) traits of hay fenugreek – with the introduction in the conditions of Dagestan. As a result of the application of statistical methods, the average indicators of the dimensional traits, the values of the correlation connection, the values of the dispersion component and the coefficient of determination, including the strength of the effect of the height gradient on the variability of the studied characteristics, are obtained. A comparative analysis revealed that the maximum average indicators of most of the considered dimensional characteristics are characteristic of plants from a height of 1100 m above sea level. m. (CED), the minimum – for plants grown in the city of Makhachkala (50 m). It was established that between the recorded traits of plants in the GEB conditions of the middle mountain belt (1780 m) and the combined sample, the maximum number of significant values of correlations was noted. However, between the length of the root and the relative trait – the ratio of the above-ground (generative shoot) and the underground (root) parts of all samples showed reliable values of negative correlations. The results of single-factor analysis of variance showed that the complex factor is height above sea level at the maximum level (99.9 %) of materiality, influences the variability of all considered characteristics. However, the results of the regression analysis showed that not all the variability due to the conditions of different levels, determines the altitude gradient ($\Delta h = 1730$ m), but only part of it. The essential values of positive correlation are noted between height gradient and dimensional traits, and negative correlation between height difference and above-noted relative sign ($L2/L1$) ($r_{xy} = -0.674$).

Keywords: *Trigonella foenum-graecum* L., altitude gradient, traits variability, introduction, experimental bases.

Received 27 November, 2018