

新疆阿勒泰地区 5 个大赖草种群的表型多样性分析

薛晓东^a, 吾买尔夏提·塔汗^a, 代培红^b, 周桂玲^{a,①}

(新疆农业大学: a. 草业与环境科学学院, b. 农学院, 新疆 乌鲁木齐 830052)

摘要: 为了解大赖草种群 [*Leymus racemosus* (Lam.) Tzvel.] 的表型变异规律及多样性特征, 对分布于新疆阿勒泰地区的 5 个大赖草种群 (分别位于阿勒泰市、福海县、布尔津县和哈巴河县) 的 16 个表型性状进行了测定; 在此基础上, 对各表型性状进行了 Shannon-Weaver 指数 (H') 分析和主成分分析。结果表明: 各种群间的 16 个表型性状均存在较大差异, 其中分布于哈巴河县的 2 个种群各表型性状的平均值均较高。种群内各表型性状的变异系数为 5.97% ~ 40.05%, 差异较大; 其中, 穗下第一节间长度的变异系数在各种群内均较大 (17.16% ~ 40.05%); 总体上看, 种群内与营养生长有关的性状 (如穗下第一节间长度、剑叶长度和宽度等) 变异较大, 而与繁殖有关的性状变异较小。在种群间, 穗下第一节间长度、剑叶长度和宽度的变异系数均较大, 分别为 31.85%、26.87% 和 27.85%; 而小穗和外颖长度以及穗节数的变异系数均较小, 分别为 15.21%、16.53% 和 16.91%。5 个种群间 16 个表型性状的 H' 值均有较大差异, 并且, 种群内各表型性状的 H' 平均值 (1.660) 明显高于种群间 (0.239)。主成分分析结果显示: 前 5 个主成分的累计贡献率为 80.210%, 其中, 第 1 主成分中与营养器官相关的性状 (如株高、穗下第一节间长度、剑叶长度和宽度、茎节数) 载荷较大, 第 2 至第 4 主成分中与繁殖器官相关的性状 (如穗长度和宽度、外颖和内颖长度、小穗长度和宽度以及外稃长度) 载荷较大, 表明这 12 个性状为大赖草种群表型性状变异的主要因子。研究结果显示: 大赖草种群间的表型多样性低于种群内, 且营养器官的表型变异是导致大赖草种群表型多样性的主要因子。

关键词: 大赖草种群; 表型性状; 变异系数; 多样性分析; 主成分分析

中图分类号: Q949.71⁺4.2; Q944 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2016)02-0085-07

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2016.02.11

Analysis on phenotypic diversity of five populations of *Leymus racemosus* in Altai Region of Xinjiang XUE Xiaodong^a, WUMAIERXIATI Tahan^a, DAI Peihong^b, ZHOU Guiling^{a,①} (Xinjiang Agricultural University; a. College of Grassland and Environment Sciences, b. College of Agriculture, Urumqi 830052, China), *J. Plant Resour. & Environ.*, 2016, 25(2): 85-91

Abstract: In order to understand phenotypic variation law and diversity characteristics of *Leymus racemosus* (Lam.) Tzvel. populations, sixteen phenotypic characters of five populations of *L. racemosus* distributed in Altai Region of Xinjiang (which were located in Altai City, Fuhai County, Buerjin County and Habahe County, respectively) were detected. On this basis, Shannon-Weaver index (H') analysis and principal component analysis of these phenotypic characters were carried out. The results show that there is large difference in sixteen phenotypic characters among the populations, in which, averages of phenotypic characters of two populations distributed in Habahe County are higher. Coefficient of variation of phenotypic characters within populations is 5.97% - 40.05% with large difference. In which, coefficient of variation of length of the first internode under ear within populations is large with a value of 17.16% - 40.05%. On the whole, variations of some characters related to vegetative growth (such as length of the first internode under ear, length and width of flag leaf, etc) within populations are large, while those related to reproduction are small. Among populations, coefficients of variation of length of the first internode under ear, length and width of flag leaf all are large with a value of 31.85%, 26.87%

收稿日期: 2015-01-12

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(31160134)

作者简介: 薛晓东(1983—),男,山西大同人,硕士研究生,主要研究方向为植物资源学。

①通信作者 E-mail: 1820944856@qq.com

and 27.85%, respectively, while those of lengths of spikelet and outer glume and number of ear pitch all are small with a value of 15.21%, 16.53% and 16.91%, respectively. There is large difference in H' value of sixteen phenotypic characters among five populations, and H' average value of phenotypic characters within populations (1.660) is obviously higher than that among populations (0.239). The principal component analysis result shows that cumulative contribution rate of the first five principal components is 80.210%, in which, loads of characters related to vegetative organs (such as plant height, length of the first internode under ear, length and width of flag leaf, number of node) in the first principal component are large, those of characters related to reproductive organs (such as length and width of ear, length of outer and inner glumes, length and width of spikelet, length of lemma) in the second to the fourth principal components are large, indicating that the twelve characters are dominant factors of variation of phenotypic characters of *L. racemosus* population. It is suggested that phenotypic diversity among populations of *L. racemosus* is lower than that within populations, and phenotypic variation of vegetative organs is dominant factor leading to phenotypic diversity of *L. racemosus* population.

Key words: *Leymus racemosus* (Lam.) Tzvel. population; phenotypic character; coefficient of variation; diversity analysis; principal component analysis

大赖草 [*Leymus racemosus* (Lam.) Tzvel.] 又名巨大滨草、巨野麦, 为禾本科 (Poaceae) 多年生草本植物, 主要分布在中国新疆准噶尔盆地中古尔班通古特沙漠沿额尔齐斯河两岸的沙丘及俄罗斯东南部的一些沙漠中^[1-3]。大赖草具有较强的耐风蚀、耐高温、耐严寒、耐沙埋、抗旱等沙生适应特性; 因具有横走根茎, 大赖草还具有强烈的克隆生长能力以及密集的地表和地下构件等特征。因此, 该种具有较强的固沙和降沙能力, 尤其对沙丘固定具有重要作用, 是一种优良的固沙植物, 在增加荒漠地表粗糙度以及防风和固沙等方面均具有重要的生态价值^[4], 是保护干旱荒漠化土壤的重要生物屏障。此外, 由于大赖草穗大 (长 20.4 ~ 30.0 cm、宽 1.5 ~ 3.5 cm)、多花 (558 ~ 603 朵), 国内外许多学者已将其大量应用于普通小麦 (*Triticum aestivum* Linn.) 的育种和转基因工作^[5-8]。然而, 由于自然环境和人类活动的长期作用, 目前大赖草种群已经严重退化, 成为濒危物种^[9]。

目前, 对生物群体多样性研究大多集中在表型、染色体、等位酶、DNA 等方面^[10-11]。其中, 表型多样性是指特定群体在其分布区域内不同生长环境下的表型变异, 为遗传多样性和环境多样性综合作用的结果。由于表型多样性具有观测直观、测量简单等特点, 因而, 它是植物群体多样性研究的最基本方法和途径。表型多样性研究主要利用遗传上较为稳定且不易受环境影响的性状以及合理的统计方法揭示生物群体的遗传规律和变异情况^[10,12], 有助于深入了解物种对环境的适应机制, 可为制定适宜的生物群体保护措施提供理论支持。

近年来, 国内学者对禾本科植物尤其是小麦野生近缘种的表型性状多样性进行了相关研究^[13-15], 并得出“种群内变异高于种群间”的研究结果。为了解大赖草种群的表型多样性特征, 作者对新疆阿勒泰地区额尔齐斯河沿岸 5 个大赖草种群的 16 个表型性状及变异系数进行了比较, 并对 5 个大赖草种群的 16 个表型性状进行了 Shannon-Weaver 指数分析和主成分分析; 在此基础上, 依据研究结果提出大赖草种群表型多样性的保护策略, 以期为大赖草优良种质筛选以及大赖草种质资源的保存和利用提供基础数据。

1 材料和方法

1.1 材料

供试的 5 个大赖草种群均分布于新疆阿勒泰地区额尔齐斯河沿岸的沙丘上, 具体地点分别为阿勒泰市喀拉干德阔拉村、福海县加勒合孜胡德克村、布尔津县喀腊幸格勒村、哈巴河县阿克多尔拉克村和哈巴河县 185 团拜铁禄村, 种群编号依次为 P1、P2、P3、P4 和 P5。其中, P1 种群周边有农田和灌丛, 沙丘面积较小; P2 种群位于公路边, 为连绵起伏的多个沙丘, 沙丘隆起且面积较大; P3 种群位于公路边, 沙丘隆起; P4 种群周边有灌丛, 沙丘面积较大且平坦; P5 种群周边有农田和灌丛, 沙丘平坦且面积较小。各种群的详细情况见表 1。

1.2 方法

于 2014 年 6 月中旬待大赖草抽穗完成后, 在每个种群内随机抽取 20 株独立单株, 5 个种群共 100

株。为了避免采集到克隆植株, 采样时每个单株之间至少相距 10 m, 采集的独立单株分别为分布在沙丘不同方向中部和下部、沙丘之间以及灌丛中的植株。采样后测量并统计每个单株的株高、茎粗、穗下第一节间长度、剑叶长度、剑叶宽度、茎节数、穗长度、穗宽度、穗节数、小穗数、小穗长度、小穗宽度、外颖长度、

内颖长度、外稃长度及内稃长度。其中, 株高为地上部分的高度; 茎粗为整株茎部上、中、下 3 个位置直径的平均值; 所有宽度指标均选取相应部位中部进行测量; 穗部性状均为花序中部及最底部小穗的测量结果。株高、穗下第一节间长度、剑叶长度和穗长度均用卷尺测量, 其余长度指标均用游标卡尺测量。

表 1 新疆阿勒泰地区供试 5 个大赖草种群的基本概况

Table 1 Basic status of five populations tested of *Leymus racemosus* (Lam.) Tzvel. in Altai Region of Xinjiang

种群编号 No. of population	产地 ¹⁾ Location ¹⁾	经度 Longitude	纬度 Latitude	海拔/m Altitude	年均温/°C Annual mean temperature	年均降水量/mm Annual mean precipitation
P1	ALT	E87°51'32"	N47°24'03"	508	4.4	189.1
P2	FH	E87°33'48"	N47°09'07"	502	4.7	131.0
P3	BEJ	E86°47'49"	N47°45'06"	469	4.1	118.7
P4	HBH1	E86°25'01"	N47°57'19"	472	5.3	205.6
P5	HBH2	E85°37'35"	N48°06'37"	442	4.0	178.2

¹⁾ ALT: 阿勒泰市喀拉干德阔拉村 Kalagandekuola Village of Altai City; FH: 福海县加勒合孜胡德克村 Jialehezihudeke Village of Fuhai County; BEJ: 布尔津县喀腊幸格勒村 Kalaxinggele Village of Buerjin County; HBH1: 哈巴河县阿克多尔拉克村 Akeduogalake Village of Habahe County; HBH2: 哈巴河县 185 团拜铁禄村 Baitielu Village of 185 Tuan in Habahe County.

1.3 数据处理和统计分析

对大赖草 5 个种群共 100 株独立单株的 16 个表型性状的平均值 (\bar{X}) 和标准差 (δ) 进行计算, 并计算每个性状的变异系数及总变异系数, 计算公式均为 $CV = (\delta/\bar{X}) \times 100\%$ 。并且, 根据 5 个种群 100 个独立单株各表型性状的原始数据计算 Shannon-Weaver 指数 (H'), 计算公式为 $H' = -\sum P_i \ln P_i$ [13, 16], 式中, P_i 为某性状第 i 级别内样本数占总样本数的百分比。根据所有样本各表型性状的 \bar{X} 和 δ , 将各表型性状数值均划分为 10 级, 从第 1 级 [$X_i < (\bar{X} - 2\delta)$] 到第 10 级 [$X_i \geq (\bar{X} + 2\delta)$], 以 0.5 δ 为级差, 用每一级的相对频率计算 Shannon-Weaver 指数。

采用主成分分析法对 5 个种群的 16 个表型性状进行分析。数据统计和分析均使用 EXCEL 2003 和 SPSS 11.5 软件完成。

2 结果和分析

2.1 大赖草种群的表型性状分析

新疆阿勒泰地区 5 个大赖草种群 16 个表型性状的平均值见表 2。结果表明: 总体上看, 位于哈巴河县的阿克多尔拉克村和 185 团拜铁禄村的 2 个种群各表型性状的平均值均较高, 而位于福海县加勒合孜胡德克村和布尔津县喀腊幸格勒村的 2 个种群各表型性状的平均值均较低, 位于阿勒泰市喀拉干德阔拉村

的种群各表型性状的平均值居中。

2.2 大赖草种群表型性状的变异系数分析

新疆阿勒泰地区 5 个大赖草种群 16 个表型性状的种群内和种群间的变异系数统计结果见表 3。

2.2.1 种群内变异系数分析 结果(表 3)显示: 5 个种群各表型性状的种群内变异系数差异较大。其中, 在阿勒泰市喀拉干德阔拉村种群的 16 个表型性状中, 变异系数较大的有剑叶长度 (34.20%)、穗宽度 (24.83%) 和茎节数 (24.28%), 变异系数较小的有小穗长度 (6.02%)、穗节数 (12.22%) 和内颖长度 (13.28%); 在福海县加勒合孜胡德克村种群的 16 个表型性状中, 变异系数较大的有剑叶宽度 (36.48%)、穗下第一节间长度 (26.94%) 和穗宽度 (25.86%), 变异系数较小的有穗节数 (11.60%)、外颖长度 (13.53%) 和小穗数 (14.39%); 在布尔津县喀腊幸格勒村种群的 16 个表型性状中, 变异系数较大的有穗下第一节间长度 (40.05%)、株高 (28.30%) 及剑叶宽度 (27.66%), 变异系数较小的有穗节数 (11.74%)、外颖长度 (16.56%) 和茎粗 (17.80%); 在哈巴河县阿克多尔拉克村种群的 16 个表型性状中, 变异系数较大的有穗下第一节间长度 (36.07%)、小穗数 (27.30%) 和茎粗 (23.40%), 变异系数较小的有小穗长度 (9.38%)、外稃长度 (12.56%) 和穗长度 (14.11%); 在哈巴河县 185 团拜铁禄村种群的 16 个表型性状中, 变异系数较大的有穗下第一节间长

表2 新疆阿勒泰地区5个大赖草种群16个表型性状的平均值

Table 2 Average of sixteen phenotypic characters of five populations of *Leymus racemosus* (Lam.) Tzvel. in Altai Region of Xinjiang

种群编号 ¹⁾ No. of population ¹⁾	株高/cm Plant height	茎粗/mm Stem diameter	穗下第一节间长度/cm Length of the first internode under ear	剑叶 Flag leaf		茎节数 Number of node	穗 Ear	
				长度/cm Length	宽度/mm Width		长度/cm Length	宽度/mm Width
P1	86.24	6.26	27.77	44.43	29.81	3.3	24.38	16.83
P2	72.00	6.12	24.15	47.55	24.48	2.7	24.40	17.96
P3	78.63	6.24	21.45	42.32	26.64	3.3	23.86	17.02
P4	91.44	8.69	27.59	51.43	37.08	3.8	25.62	17.71
P5	91.57	7.26	25.23	53.67	30.88	3.7	26.98	15.42

种群编号 ¹⁾ No. of population ¹⁾	穗节数 Number of ear pitch	小穗 Spikelet		长度/mm Length				
		数量 Number	长度/mm Length	宽度/mm Width	外颖 Outer glume	内颖 Inner glume	外稃 Lemma	内稃 Palea
P1	50.2	168.6	15.78	4.43	16.22	14.34	11.84	8.83
P2	40.9	136.0	13.91	3.84	16.02	15.18	11.08	9.01
P3	44.2	156.9	13.91	3.81	15.52	13.94	12.60	11.78
P4	48.6	193.6	14.84	4.20	18.79	16.75	13.63	11.85
P5	43.5	161.1	15.20	4.26	15.70	14.46	14.26	12.16

¹⁾ P1: 阿勒泰市喀拉干德阔拉村种群 Population at Kalagandekuola Village of Altai City; P2: 福海县加勒合孜胡德克村种群 Population at Jialehezihudeke Village of Fuhai County; P3: 布尔津县喀腊幸格勒村种群 Population at Kalaxinggele Village of Buerjin County; P4: 哈巴河县阿克多尔拉克村种群 Population at Akeduogalake Village of Habahe County; P5: 哈巴河县185团拜铁禄村种群 Population at Baitielu Village of 185 Tuan in Habahe County.

表3 新疆阿勒泰地区5个大赖草种群16个表型性状变异系数的比较

Table 3 Comparison on coefficient of variation of sixteen phenotypic characters of five populations of *Leymus racemosus* (Lam.) Tzvel. in Altai Region of Xinjiang

表型性状 Phenotypic character	种群内变异系数 ¹⁾ / % Coefficient of variation within populations ¹⁾					种群间变异系数/ Coefficient of variation among populations
	P1	P2	P3	P4	P5	
株高 Plant height	21.73	16.56	28.30	17.76	15.83	21.94
茎粗 Stem diameter	20.42	24.97	17.80	23.40	18.60	24.39
穗下第一节间长度 Length of the first internode under ear	17.16	26.94	40.05	36.07	33.69	31.85
剑叶长度 Length of flag leaf	34.20	22.60	22.06	22.62	23.92	26.87
剑叶宽度 Width of flag leaf	17.70	36.48	27.66	15.00	24.90	27.85
茎节数 Number of node	24.28	21.16	19.65	21.93	17.76	23.77
穗长度 Length of ear	16.05	20.17	25.83	14.11	15.51	18.74
穗宽度 Width of ear	24.83	25.86	23.19	19.34	19.37	23.13
穗节数 Number of ear pitch	12.22	11.60	11.74	18.12	20.80	16.91
小穗数 Number of spikelet	19.39	14.39	24.58	27.30	22.14	25.22
小穗长度 Length of spikelet	6.02	24.75	19.38	9.38	7.66	15.21
小穗宽度 Width of spikelet	15.77	23.27	21.05	16.84	17.51	19.37
外颖长度 Length of outer glume	16.90	13.53	16.56	18.47	5.97	16.53
内颖长度 Length of inner glume	13.28	14.49	22.72	22.17	6.48	18.16
外稃长度 Length of lemma	18.51	18.64	23.50	12.56	8.44	18.81
内稃长度 Length of palea	20.51	18.76	21.93	14.55	12.38	21.82

¹⁾ P1: 阿勒泰市喀拉干德阔拉村种群 Population at Kalagandekuola Village of Altai City; P2: 福海县加勒合孜胡德克村种群 Population at Jialehezihudeke Village of Fuhai County; P3: 布尔津县喀腊幸格勒村种群 Population at Kalaxinggele Village of Buerjin County; P4: 哈巴河县阿克多尔拉克村种群 Population at Akeduogalake Village of Habahe County; P5: 哈巴河县185团拜铁禄村种群 Population at Baitielu Village of 185 Tuan in Habahe County.

度(33.69%)、剑叶宽度(27.85%)和剑叶长度(23.92%),变异系数较小的有外颖长度(5.97%)、内颖长度(6.48%)和小穗长度(7.66%)。总体上

看,种群内与营养生长有关的性状(如剑叶和茎的部分性状)变异较大,而与繁殖有关的性状(如穗、稃和颖的部分性状)变异较小。

2.2.2 种群间变异系数分析 从5个种群间各表型性状的变异系数(表3)来看,穗下第一节间长度、剑叶宽度、剑叶长度、小穗数和茎粗的种群间变异系数较大,分别为31.85%、27.85%、26.87%、25.22%和24.39%;而小穗长度、外颖长度、穗节数及内颖长度的种群间变异系数均较小,分别为15.21%、16.53%、16.91%和18.16%,即供试大赖草的种群间变异幅度较大的表型性状多为与营养器官相关的性状,而变异幅度较小的则多为与繁殖器官相关的性状,与种群内各表型性状的变异规律基本一致。

2.3 大赖草种群表型性状的 Shannon-Weaver 指数分析

新疆阿勒泰地区5个大赖草种群16个表型性状的种群内和种群间 Shannon-Weaver 指数(H')的计算结果见表4。

由表4可以看出:5个大赖草种群各表型性状的 H' 值有较大差异,株高的 H' 值为1.609~2.013、茎粗的 H' 值为0.673~1.822、穗下第一节间长度的 H' 值为1.678~1.888、剑叶长度的 H' 值为1.760~1.917、剑叶宽度的 H' 值为1.557~1.943、茎节数的 H' 值为0.721~1.161、穗长度的 H' 值为1.609~1.987、穗宽

度的 H' 值为0.673~1.878、穗节数的 H' 值为1.489~1.930、小穗数的 H' 值为1.624~1.878、小穗长度的 H' 值为1.654~1.987、外颖长度的 H' 值为1.624~1.917、内颖长度的 H' 值为1.483~1.973、外稃长度的 H' 值为1.609~1.792、内稃长度的 H' 值为1.287~1.803,其中,穗宽度和茎粗的 H' 值变幅明显高于其他表型性状,而外稃长度和剑叶长度的 H' 值变幅则明显低于其他表型性状。总体来看,16个表型性状的总的 H' 值的平均值为1.899,种群内 H' 值的平均值为1.660,种群间 H' 值的平均值为前两者之差,即0.239,可见,供试5个大赖草种群的表型性状多样性主要集中在种群内。

2.4 大赖草种群表型性状的主成分分析

对供试5个大赖草种群的16个表型性状进行主成分分析,由于各种群的主成分分析结果相似,因此,仅以种群较大且表型性状总体居中的阿勒泰市喀拉干德阔拉村种群的主成分分析结果为例,详见表5。

由表5可见:前5个主成分的累计贡献率达到80.210%,说明这5个主成分足以反映16个表型性状的大部分信息。第1主成分中,穗长度、剑叶长度、剑叶宽度、穗下第一节间长度、株高及茎节数的载荷

表4 新疆阿勒泰地区5个大赖草种群16个表型性状的 Shannon-Weaver 指数(H')的比较

Table 4 Comparison on Shannon-Weaver index (H') of sixteen phenotypic characters of five populations of *Leymus racemosus* (Lam.) Tzvel. in Altai Region of Xinjiang

表型性状 Phenotypic character	种群内的 H' 值 ¹⁾ H' value within populations ¹⁾					总 H' 值 Total H' value
	P1	P2	P3	P4	P5	
株高 Plant height	1.947	1.609	1.822	1.887	2.013	2.011
茎粗 Stem diameter	1.822	1.749	1.601	0.673	0.688	1.972
穗下第一节间长度 Length of the first internode under ear	1.678	1.888	1.878	1.834	1.679	1.990
剑叶长度 Length of flag leaf	1.805	1.760	1.823	1.878	1.917	2.033
剑叶宽度 Width of flag leaf	1.873	1.557	1.799	1.848	1.943	2.023
茎节数 Number of node	1.161	0.824	0.721	0.943	1.106	1.135
穗长度 Length of ear	1.987	1.848	1.609	1.895	1.970	1.943
穗宽度 Width of ear	1.878	1.709	1.752	0.688	0.673	1.965
穗节数 Number of ear pitch	1.751	1.861	1.489	1.848	1.930	2.029
小穗数 Number of spikelet	1.624	1.709	1.767	1.792	1.878	1.981
小穗长度 Length of spikelet	1.752	1.834	1.654	1.825	1.987	1.967
小穗宽度 Width of spikelet	1.235	1.723	1.333	1.792	1.543	1.702
外颖长度 Length of outer glume	1.917	1.916	1.624	1.639	1.865	1.933
内颖长度 Length of inner glume	1.805	1.973	1.960	1.483	1.848	2.003
外稃长度 Length of lemma	1.635	1.609	1.726	1.670	1.792	1.964
内稃长度 Length of palea	1.803	1.739	1.287	1.706	1.792	1.725

¹⁾ P1: 阿勒泰市喀拉干德阔拉村种群 Population at Kalagandekuola Village of Altai City; P2: 福海县加勒合孜胡德克村种群 Population at Jialehezihudeke Village of Fuhai County; P3: 布尔津县喀腊幸福勒村种群 Population at Kalaxinggele Village of Buerjin County; P4: 哈巴河县阿克多尔拉克村种群 Population at Akeduoalake Village of Habahe County; P5: 哈巴河县185团拜铁禄村种群 Population at Baitielu Village of 185 Tuan in Habahe County.

表5 新疆阿勒泰市喀拉干德阔拉村大赖草种群16个表型性状的主成分分析

Table 5 Principal component analysis on sixteen phenotypic characters of *Leymus racemosus* (Lam.) Tzvel. population at Kalagandekuola Village in Altai City of Xinjiang

主成分 Principal component	各表型性状的载荷 ¹⁾ Load of different phenotypic characters ¹⁾									
	PH	SD	L _{F1UE}	L _{FL}	W _{FL}	N _N	L _E	W _E	N _{EP}	N _S
1	0.740	0.683	0.772	0.778	0.776	0.718	0.855	0.419	0.389	0.444
2	0.154	-0.317	-0.195	-0.044	-0.156	0.090	-0.159	0.334	-0.659	-0.554
3	0.552	-0.245	-0.261	-0.228	-0.037	0.094	0.225	0.715	-0.030	-0.288
4	-0.195	0.108	0.096	-0.248	-0.014	-0.155	-0.172	-0.294	0.277	0.330
5	0.087	-0.359	-0.456	-0.307	0.087	0.184	0.194	0.138	0.395	0.353

主成分 Principal component	各表型性状的载荷 ¹⁾ Load of different phenotypic characters ¹⁾						特征值 Eigenvalue	贡献率/% Contribution rate	累计贡献率/% Cumulative contribution rate
	L _S	W _S	L _{OG}	L _{IG}	L _L	L _P			
1	-0.137	0.054	0.314	0.371	0.185	0.389	5.034	31.460	31.460
2	-0.194	-0.312	0.762	0.726	0.579	0.556	2.962	18.511	49.971
3	0.583	0.500	0.031	-0.007	-0.229	-0.426	1.967	12.291	62.262
4	0.655	0.568	0.253	0.355	0.397	0.260	1.613	10.082	72.343
5	-0.154	-0.249	-0.343	0.056	0.479	0.077	1.259	7.867	80.210

¹⁾ PH: 株高 Plant height; SD: 茎粗 Stem diameter; L_{F1UE}: 穗下第一节间长度 Length of the first internode under ear; L_{FL}: 剑叶长度 Length of flag leaf; W_{FL}: 剑叶宽度 Width of flag leaf; N_N: 茎节数 Number of node; L_E: 穗长度 Length of ear; W_E: 穗宽度 Width of ear; N_{EP}: 穗节数 Number of ear pitch; N_S: 小穗数 Number of spikelet; L_S: 小穗长度 Length of spikelet; W_S: 小穗宽度 Width of spikelet; L_{OG}: 外颖长度 Length of outer glume; L_{IG}: 内颖长度 Length of inner glume; L_L: 外稃长度 Length of lemma; L_P: 内稃长度 Length of palea.

较大,分别为0.855、0.778、0.776、0.772、0.740和0.718;第2主成分中,外颖长度和内颖长度的载荷较大,分别为0.762和0.726;第3主成分中,穗宽度和小穗长度的载荷较大,分别为0.715和0.583;第4主成分中,小穗长度和小穗宽度的载荷较大,分别为0.655和0.568;第5主成分中,穗下第一节间长度和外稃长度的载荷较大,分别为-0.456和0.479。因此,可以确定第1主成分的主导因子以与营养器官相关的性状为主,包括株高、穗下第一节间长度、剑叶长度、剑叶宽度、茎节数、穗长度等;第2至第5主成分的主导因子均以与繁殖器官相关的性状为主,包括穗宽度、外颖长度、内颖长度、小穗长度、小穗宽度及外稃长度等,这12个指标是决定大赖草种群表型性状变异的主要因子。

3 讨论和结论

表型变异是遗传变异的重要组成部分,形态变异越大说明遗传变异的可能性越大。植物种群间的表型差异是遗传和环境共同作用的结果^[16-17],能够反映植物在不同生境下的适应能力,种群内的变异也可真实地反映植物对不同环境的适应程度。

上述研究表明:新疆阿勒泰地区供试5个大赖草种群的16个表型性状在种群内及种群间均存在

较大差异,其中,阿勒泰市喀拉干德阔拉村种群、福海县加勒合孜胡德克村种群、布尔津县喀腊幸格勒村种群、哈巴河县阿克多尔拉克村种群和哈巴河县185团拜铁禄村种群各表型性状变异系数的变幅分别为6.02%~34.20%、11.60%~36.48%、11.74%~40.05%、9.38%~36.07%和5.97%~33.69%,而种群间的变异系数变幅为15.21%~31.85%。可见,种群内各表型性状的变异程度大于种群间,与其他学者^[13,16]的研究结果相似。总体来看,穗下第一节间长度、剑叶宽度、剑叶长度、小穗数和茎粗的种群间变异系数均较大,而小穗长度、外稃长度、穗节数和内颖长度的种群间变异系数较小,说明大赖草营养器官的表型性状对生境可能更加敏感,而繁殖器官的表型性状则能够稳定遗传。

供试的5个大赖草种群内表型性状的Shannon-Weaver指数(1.660)远高于种群间(0.239)。虽然大赖草为兼性克隆植物,但存在自交不亲和性^[18],因此,其大量变异可能被保存在杂合子的隐性基因中,并通过种群内的基因重组释放出来,从而造成种群内个体间的表型多样性较丰富^[19]。

主成分分析结果表明:前5个主成分的累计贡献率为80.210%,并且株高、穗下第一节间长度、剑叶长度、剑叶宽度、茎节数、穗长度、穗宽度、内颖长度、外颖长度、小穗长度、小穗宽度及外稃长度12个指标是

大赖草种群内表型性状变异的主要因子。根据种群间各表型性状的变异系数可知,株高、茎粗、剑叶宽度、剑叶长度、茎节数、小穗数、穗下第一节间长度及穗宽度的变异系数均较大。总体来看,大赖草的种群内和种群间均存在丰富的表型变异,其中株高、剑叶宽度、剑叶长度、茎节数、穗下第一节间长度和穗宽度为共有变异指标,对其种群内和种群间表型变异的贡献均较大。

新疆位于欧亚大陆的中心,夏季干旱、炎热,降雨稀少,土壤沙化状况日益加剧,生态环境极其脆弱,并且土壤盐渍化程度也较高。为了适应这种恶劣的生存条件,植物必须不断进化,并发生较多的遗传变异^[20]。而大赖草种群内的表型变异较高,种群间的表型变异却相对较低。因此,应根据大赖草的这一特点制定有效的保护策略和措施,保持大赖草种群规模及数量,增强大赖草种群间的基因交流。

参考文献:

- [1] 刘嫒心. 中国沙漠植物志: 第一卷[M]. 北京: 科学出版社, 1985: 105.
- [2] 王 丽, 邹明谦, 李沿宁, 等. 大赖草的组织培养及植株再生的研究[J]. 草业学报, 1995, 12(6): 42-44.
- [3] 崔乃然, 崔大方, 刘国钧, 等. 新疆植物志: 第六卷[M]. 乌鲁木齐: 新疆科技卫生出版社, 1996: 214.
- [4] 董玉琛, 孙雨珍, 钟干远, 等. 新疆阿勒泰地区大赖草的考察和初步研究[J]. 中国农业科学, 1985(2): 54-56.
- [5] MUJEEB-KAJI A, RODRIGUEZ R. An intergenetic hybrid of *Triticum aestivum* × *Elymus giganteus* [J]. Heredity, 1981, 72: 217-252.
- [6] 张茂银, 刘云英, 杨克锐, 等. 大赖草 DNA 导入小麦获得大穗品系的农艺性状和贮藏蛋白研究[J]. 麦类作物学报, 2000, 20(3): 6-10.
- [7] ELLNESKOG-STAAM P, MERKER A. Genome composition, stability and fertility of hexaploid allopolyploids between *Triticum turgidum* var. *carthlicum* and *Leymus racemosus* [J]. Hereditas, 2001, 134: 79-84.
- [8] 杨瑞武, 周永红, 郑有良, 等. 赖草属三个八倍体和两个十二倍体物种的核型研究[J]. 草业学报, 2004, 13(2): 99-105.
- [9] 傅立国. 中国珍稀濒危物种[M]. 上海: 上海教育出版社, 1989: 106.
- [10] 金 燕, 卢宝荣. 遗传多样性的取样策略[J]. 生物多样性, 2003, 11(2): 155-161.
- [11] 顾万春, 李文英. 我国林木种质资源共享现状及建议[J]. 世界林业研究, 2007, 20(1): 66-69.
- [12] 李萍萍, 孟衡玲, 陈军文, 等. 云南岩陀及其近缘种质资源群体表型多样性[J]. 生态学报, 2012, 32(24): 7747-7756.
- [13] 德 英, 赵来喜, 刘新亮, 等. 垂穗披碱草居群穗部形态多样性研究[J]. 湖北农业科学, 2012, 51(4): 791-796.
- [14] 张建波, 白史且, 张新全, 等. 川西北高原野生垂穗披碱草醇溶蛋白遗传特性研究[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(10): 4036-4039.
- [15] 顾晓燕, 郭志慧, 张新全, 等. 短芒披碱草异位保护群体的表型多样性研究[J]. 草业学报, 2015, 24(5): 141-152.
- [16] 鄢家俊, 白史且, 马 啸, 等. 川西北高原野生老芒麦居群穗部形态多样性研究[J]. 草业学报, 2007, 16(6): 99-106.
- [17] 冯立娟, 苑兆和, 尹燕雷, 等. 大丽花花型群体表型性状遗传多样性研究[J]. 山东农业科学, 2010(7): 12-16.
- [18] 刘 宇. 大赖草的生殖生态学研究[D]. 新疆: 新疆农业大学草业与环境科学学院, 2008: 5.
- [19] 车永和, 杨欣明, 杨燕萍, 等. 新疆杂草黑麦居群遗传多样性研究[J]. 麦类作物学报, 2008, 28(5): 755-758.
- [20] WILLIAMS J G K, KUBELIK A R, LIVAK K J, et al. DNA polymorphisms amplified by arbitrary primers are useful as genetic markers[J]. Nucleic Acids Research, 1990, 18: 6531-6535.

(责任编辑: 佟金凤)