

# 15 份多花黑麦草优良引进种质的表型变异分析

孙 铭<sup>1</sup>, 符开欣<sup>1</sup>, 范 彦<sup>2</sup>, 张新全<sup>1</sup>, 张成林<sup>1</sup>, 郭志慧<sup>1</sup>, 汪 霞<sup>1</sup>, 马 啸<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>四川农业大学动物科技学院, 成都 611130; <sup>2</sup>重庆市畜牧科学院, 重庆 400080)

**摘要:** 多花黑麦草 (*Lolium multiflorum* Lam.) 是世界栽培牧草中的优良禾本科牧草。为更好地利用多花黑麦草种质资源, 本研究对引自国外的 15 份多花黑麦草种质的 15 个形态性状和农艺性状进行了变异系数、相关性分析、主成分分析和聚类分析。结果表明: 15 份材料间存在较大变异, 除单株干重外, 其余性状在供试材料间均表现出显著性差异, 变异系数范围为 10.28% ~ 39.15%, 变异系数平均值为 19.49%, 从小到大依次为小穗数 < 小穗长 < 株高 < 分蘖数 < 千粒重 < 花序长 < 倒二叶长 < 小花数 < 茎粗 < 第一节间长 < 倒二叶宽 < 旗叶宽 < 旗叶长 < 单株干重 < 单株鲜重。主成分结果表明, 前 5 个主成分累积贡献率达到 84.51%, 第 1 主成分以株高为主要特征; 第 2 主成分以旗叶和倒二叶长、宽为主要特征; 第 3 主成分以花序长和小花数为主要特征; 第 4 主成分以千粒重为主要特征; 第 5 主成分以产草量为主要特征。15 份种质材料经基于欧氏距离的 UPGMA 聚类分析被划分为 3 大类, 类别间存在较显著的差异, 其中第 2 类因其植株高大、叶片宽大的特点, 具备选育高产种质的潜力。

**关键词:** 多花黑麦草; 形态性状; 变异分析; 主成分分析; 聚类分析

## Analysis of Phenotypic Variations in 15 Introduced Elite Germplasm of *Lolium multiflorum* Lam.

SUN Ming<sup>1</sup>, FU Kai-xin<sup>1</sup>, FAN Yan<sup>2</sup>, ZHANG Xin-quan<sup>1</sup>, ZHANG Cheng-lin<sup>1</sup>,  
GUO Zhi-hui<sup>1</sup>, WANG Xia<sup>1</sup>, MA Xiao<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>Animal Science and Technology College, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130;

<sup>2</sup>Chongqing Animal Husbandry Sciences Academy, Chongqing 400080)

**Abstract:** *Lolium multiflorum* Lam. is a widely cultivated temperate forage grass in the world. In order to screen elite ryegrass germplasm resources, variation coefficient, correlation analysis, principal component analysis and cluster analysis were conducted to analyze the 15 phenotypic traits for 15 introduced *L. multiflorum* accessions. The results showed high phenotypic variability among the 15 studied accessions, and significant difference was seen in most of characters except dry matter yield. The variant coefficient varied from 10.28% to 39.15% with an average of 19.49%, in descending order, by spikelets, length of spikelets, plant height, tiller number, 1000-kernel weight, panicle length, length of penultimate leaf, number of florets per spikelet, stem diameter, length of first internode, width of penultimate leaf, width of flag leaf, length of flag leaf, dry matter yield and fresh matter yield. Principal components analysis of 15 traits showed that the cumulative proportion of top 5 principal components reached 84.51% with plant height as the first component, leaf traits as the second component, inflorescence characters as the third component, 1000-kernel weight as the fourth component, and forage yield as the fifth component. Cluster analysis based on Euclidean distance showed that the 15 annual ryegrass accessions could be divided into 3 groups, among which there

收稿日期: 2015-07-20 修回日期: 2015-08-23 网络出版日期: 2016-06-08

URL: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.4996.S.20160608.1440.038.html>

基金项目: 四川省科技支撑计划 (2013ZC1635)

第一作者研究方向为牧草种质资源与育种。E-mail: sunming4709@163.com

通信作者: 马啸, 研究方向为牧草遗传育种。E-mail: maroar@126.com

张新全, 研究方向为牧草遗传育种。E-mail: zhangxq@sicau.edu.cn

were significant differences for most traits. The second group had the high yield potential in elite germplasm screening.

**Key words:** *Lolium multiflorum* Lam. ; morphological traits; variation coefficient; PCA; cluster analysis

多花黑麦草 (*Lolium multiflorum* Lam. ), 别名意大利黑麦草或一年生黑麦草, 属于高度异交植物, 具有自交不亲和的特点<sup>[1]</sup>。它原产于南欧、北非及亚洲西南部, 现在世界温带地区广泛种植, 其生长速度快, 具有产量高、适应性强、适口性好和营养价值丰富等优点, 在我国南方地区粮草轮作、种草养畜、废水净化等方面发挥着极其重要的作用<sup>[2-4]</sup>。目前国内推广利用的多花黑麦草品种多为引进品种, 通过杂交育种或综合育种方法育成的品种偏少<sup>[5]</sup>, 因此应加强对其种质资源的评价和筛选, 加快品种选育进程, 为生产服务。

利用形态学或表型性状来检测遗传变异是长期以来进行植物种质资源的分类、评价、鉴定, 筛选育种材料和遗传多样性研究的最基本方法, 也是进行具有目标性状的杂交亲本鉴定、构建核心种质、揭示种质的变异水平、品种纯度检测等方面的重要方法<sup>[6-9]</sup>。目前美国农业部植物种质库 (USDA-ARS)、欧洲大陆植物种质库 (EURISCO) 和新西兰草地植物种质库 (Margot Forde) 等大型植物种质库已收集保存了大量的多花黑麦草种质资源, 但由于其利用广泛程度在欧美国家远远不如多年生黑麦草 (*L. perenne* L. ), 以及具有高度异交和一年生的特性阻碍了优良基因型的保存和纯化, 导致国内外对其种质资源挖掘利用的研究程度不够深入, 仅见少量采用分子标记手段探讨种质群体遗传多样性和遗传分化的报道, 而对于种质资源表型变异的评价很少报道。E. A. Viera 等<sup>[10]</sup>利用 RAPD 标记研究了 4 份来自南美洲的多花黑麦草自然群体的遗传结构, 发现群体内部存在广泛的遗传多样性, 而群体间的多样性则很小。M. I. Peter-Schmid 等<sup>[11-12]</sup>基于 SSR 标记和表型数据发现在不同的永久性草地生境下多花黑麦草生态型和品种的群体间差异很小。S. I. Alonso<sup>[1]</sup>在阿根廷潘帕斯草原两种不同土壤类型下, 评价了 20 个多花黑麦草自然群体的幼苗期形态性状, 以检测各性状的遗传决定度和种质的形态聚类。国内对多花黑麦草种质的形态学评价主要集中在对引进品种的生产性能的综合评价, 主要涉及产草量、分蘖数和茎叶比等少量农艺性状<sup>[2, 13-14]</sup>。

本试验通过运用简单相关分析、简单方差分析、主成分分析、聚类分析和隶属函数法对引种自美国

种质资源库 (NPGS) 的 15 份多花黑麦草种质的株高、旗叶长宽、茎粗、千粒重等 15 个表型性状进行考察, 为筛选多花黑麦草优异种质提供理论基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验地位于四川农业大学教学科研基地 (30°08'N, 103°14'E), 海拔 600 m, 属于北亚热带湿润季风气候区。年均气温 16.2 °C, 极端高温 37.7 °C, 极端低温 -3 °C, 年降水量 1774.3 mm, 年蒸发量 1011.2 mm, 相对湿度 79%, 年日照时数 1039.6 h, 年无霜期 304 d, ≥10 °C 年积温 5231 °C。紫色土, 土壤有机质含量 14.6178 g/kg, 全氮含量 1.9070 g/kg, 全磷含量 0.0554 g/kg, 全钾含量 11.5793 g/kg, 速效氮含量 100.6289 mg/kg, 速效磷含量 4.7286 mg/kg, 速效钾含量 338.2429 mg/kg, pH 为 5.46。

### 1.2 试验材料及小区设计

供试材料由美国农业部植物种质库提供, 2010-2011 年曾进行田间少量单株初步检测, 筛选出形态性状比较优良 (植株高大、叶片宽大等) 的 15 份种质 (表 1)。2013-2014 年对 15 份种质材料进

表 1 供试多花黑麦草材料

Table 1 Accessions of *L. multiflorum* used in the study

序号 No.	编号 ID	材料名/品种名 Accession name	来源地 Origin	育种状态 Improvement status
L1	PI600782	Maris Ledger	英国	品种
L2	PI202509	—	摩洛哥	未知
L3	PI600748	Deltop	英国	品种
L4	PI449302	Billion	荷兰	品种
L5	PI271119	Jasicki	波兰	品种
L6	PI283610	CPI 26066	瑞典	未知
L7	PI241586	—	西班牙	未知
L8	PI600794	ABY-BB 1705. 75	比利时	野生材料
L9	PI189389	—	新西兰	未知
L10	PI286467	Nasu NO. 5	日本	品种
L11	PI189152	—	荷兰	未知
L12	PI272118	Motycki	波兰	品种
L13	PI619471	Fastyl	法国	品种
L14	PI619468	Ansyl	法国	品种
L15	PI250023	Chaman	伊朗	栽培材料

—: 无数据信息

—: Unavailable information

行田间综合评价,每份材料取 50 粒种子在光照培养箱发芽,至 3 叶期后移栽至田间小区,穴播移栽。随机区组设计,每份材料种植 3 个小区,每小区 12 株,株行距为 40 cm × 30 cm,不施肥,适时排灌水和除杂。

### 1.3 测定指标及方法

主要观察记录了 15 个表型性状指标。各指标测定方法如下所述。株高:测量从地面至植株最高部位的拉伸长度;小穗长:测量穗轴中部小穗的自然长度;小穗数:观测花序主轴所含的小穗数;小花数:观测花序主轴中部的每枚小穗的小花数;旗叶长、宽:测量主茎轴自上而下第 1 叶的长度和宽度;倒二叶长、宽:测量主茎自上而下第 2 叶的长度和宽度;第一节间长:测量主茎上小穗下部第 1 节的长度;茎粗:测量每个分蘖小穗轴下部第 3 节的横截面宽度;分蘖数:观测每一株材料的分蘖数目;花序长:测量从花序主轴最基部至花序顶端的拉伸长度;千粒重:从新鲜、风干并经过清选的种子中随机数出 3 个 1000 粒种子,分别称重,求其平均值;单株鲜重:每小区随机选取 5 个单株,并分别测量其鲜重,取其平均值;单株干重:每株随机选取 3 个分蘖枝测其鲜重,烘干后再称重,计算其干鲜比,推算单株干草产量。

### 1.4 数据统计

利用 DPS14.5 软件<sup>[15]</sup> 获取以下统计量并分析种质材料的变异水平。(1)描述性统计量:平均值 (Means)、最大值 (Max.)、最小值 (Min.) 和变异系数 (CV),  $CV = (S/\bar{X})$ , 其中  $S$  为标准差,  $\bar{X}$  为单个性状的平均值。(2)方差分析 (analysis of variance): 对各性状进行单因素方差分析以及基于聚类分析和主成分分析的结果,对主要的形态类群进行各形态性状的单因素方差分析,揭示不同组间的形态差异。(3)相关性分析 (correlation analysis): 利用 Pearson 相关系数检测各性状间的相关性大小及显著性。(4)主成分分析 (PCA, principal component analysis): 各性状的平均值经标准化 (减去平均值再除以标准差) 后用于创建相关系数矩阵,再用于计算和提取能够代表供试样本大部分变异的主成分 (特征向量)。(5)聚类分析 (clustering analysis): 各性状的平均值经标准化后计算样本间的欧氏距离,再基于 UPGMA (类平均法) 法进行聚类分析。基于聚类树矩阵计算其协表征矩阵 (cophenetic matrix),再利用 Mantel 检验,计算欧式距离矩阵与协表征矩阵间的相关系数,从而反映聚类结果与 GS 矩阵的符合度<sup>[16]</sup>。另外,计算各表型性状的隶属函数值综合评

价种质的生产性能,如果某一指标与牧草生产性能呈正相关,则隶属函数值公式为  $X(U) = (X - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$ ,如果某一指标与牧草生产性能呈负相关,则公式为  $X(U) = 1 - (X - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$ ,式中  $X$  为参试种质某性状的测定值,  $X_{\min}$  为对应该性状的最小测定值,  $X_{\max}$  为对应该性状的最大测定值<sup>[17-18]</sup>。通过各性状隶属函数值的加权平均值大小可对供试种质的综合性状进行评价排序,这里用各性状的归一化变异系数作为权重。

## 2 结果与分析

### 2.1 各性状描述性分析

对 15 份多花黑麦草种质材料各个性状指标的统计分析结果表明 (表 2), 各性状指标在材料间的变异系数范围在 10.28% ~ 39.15%, 其中单株鲜重和单株干重的变异幅度最大, 变异系数分别为 39.15%、36.59%, 株高、小穗长、小穗数变异幅度最小, 分别为 10.89%、10.74%、10.28%, 所有指标变异系数平均值为 19.49%。变异系数从小到大依次为小穗数 < 小穗长 < 株高 < 分蘖数 < 千粒重 < 花序长 < 倒二叶长 < 小花数 < 茎粗 < 节间长 < 倒二叶宽 < 旗叶宽 < 旗叶长 < 干重 < 鲜重, 说明不同的性状指标筛选潜力存在差异, 而单株鲜重和干重的变异系数最大表明在产草量性状上进行种质筛选的潜力很高。一般认为变异系数大于 10% 就表示样本间差异较大, 本研究中的 15 个性状指标的变异系数均大于 10%, 说明参试的 15 份多花黑麦草材料之间存在的差异较大, 资源类型丰富, 有利于种质材料的比较和筛选<sup>[19]</sup>。

### 2.2 各性状的单因素方差分析

对不同多花黑麦草材料各个性状进行单因素方差分析 (表 3),  $F$  检验表明, 不同材料间, 仅单株干重表现出差异不显著 ( $P > 0.05$ ), 单株鲜重表现出差异显著 ( $0.01 < P < 0.05$ ), 其他指标均达到极显著 ( $P < 0.01$ ) 水平。

### 2.3 性状间的简单相关分析

对 15 份多花黑麦草种质的表型性状进行 Pearson 相关分析 (表 4), 结果表明各性状间存在着复杂的相关性, 但相关系数均不高, 具体如下。株高与旗叶宽、花序长、小穗数呈极显著正相关, 与旗叶长呈极显著负相关; 旗叶长与倒二叶长 ( $r = 0.88$ ,  $P < 0.01$ )、倒二叶宽、花序长、第一节间长、千粒重呈显著或极显著正相关, 与茎粗呈显著负相关; 旗叶宽与倒二叶长、倒二叶宽、小穗长、花序长呈显著正相关,

表 2 多花黑麦草种质各性状的描述性统计量

Table 2 Descriptive statistics including mean values, minimum, maximum and significance of differences between germplasm studied

序号 No.	株高 PH	旗叶长 LFL	旗叶宽 WFL	倒二 叶长 LPL	倒二 叶宽 WPL	小穗长 SL	小穗数 SN	花序长 PL	小花数 FN	节间长 LFI	茎粗 SD	分蘖数 TN	单株 鲜重 FMY	单株 干重 DMY	千粒重 1000-KW
平均 Means	136.63 ± 8.03	34.93 ± 1.88	10.24 ± 0.8	41 ± 1.88	12.31 ± 0.89	11.39 ± 0.72	36.76 ± 1.65	40.48 ± 1.83	10.55 ± 0.85	17.87 ± 0.96	4.93 ± 0.23	107.17 ± 9.72	677 ± 143.7	64.88 ± 14.4	14.71 ± 1.09
最大值 Max.	158.0	51.4	16.2	53.1	16.4	13.4	44.4	48.6	14.2	22.4	6.00	127.2	1088	97.0	17.13
最小值 Min.	103.0	20.0	5.4	28.0	8.8	9.6	29.0	29.6	9.2	13.7	3.00	84.0	519	48.2	12.5
变异系数 C. V.	10.89	26.78	25.22	15.93	20.83	10.74	10.28	0.15	15.15	16.81	19.65	19.35	12.25	39.15	36.59

PH: Plant height, LFL: Length of flag leaf, WFL: Width of flag leaf, LPL: Length of penultimate leaf, WPL: Width of penultimate leaf, LFI: Length of first internode, SD: Stem diameter, TN: Tiller number, PL: Panicle length, SL: Length of spikelets, SN: Number of spikelets, FN: Number of florets per spikelet, DMY: Fresh matter yield, DMY: Dry matter yield, 1000-KW: 1000-kernel weight. The same as below

表 3 不同多花黑麦草材料各性状的单因素方差分析

Table 3 One-way analysis of variance for 15 phenotypic traits of differences between studied *L. multiflorum* accessions

性状 Characters	均方 Mean squares	
	种质间 Between accessions	种质内 Within accessions
株高 PH	817.14 **	82.39
旗叶长 LFL	447.50 **	3.52
旗叶宽 WFL	32.29 **	0.69
倒二叶长 LPL	207.97 **	4.06
倒二叶宽 WPL	30.85 **	0.91
小穗长 SL	5.18 **	0.64
小穗数 SN	63.69 **	2.77
花序长 PL	183.30 **	3.64
小花数 FN	10.04 **	1.53
节间长 LFI	60.92 **	0.98
茎粗 SD	4.56 **	0.06
分蘖数 TN	559.90 **	81.81
单株鲜重 FMY	119367.86 *	58802.50
单株干重 DMY	822.34 ns.	503.35
千粒重 1000-KW	12.28 **	1.42

ns.: 差异不显著; \*: 差异达 5% 显著水平; \*\*: 差异达 1% 显著水平, 下同

ns.: Not significant, \*: Significant at 0.05 probability level, \*\*: Significant at 0.01 probability level. The same as blow

与节间长呈极显著负相关;倒二叶长与倒二叶宽、花序长、节间长、千粒重呈显著或极显著正相关,与茎

粗呈极显著负相关;倒二叶宽与花序长、分蘖数呈极显著正相关,与茎粗呈极显著负相关;小穗长与茎粗、单株鲜重和单株干重呈极显著正相关,与分蘖数呈极显著负相关;小穗数与节间长、分蘖数呈显著或极显著正相关,与茎粗呈显著负相关;花序长与小花数、分蘖数呈显著正相关;第一节间长与茎粗呈极显著负相关;茎粗与单株干重呈显著正相关,与分蘖数( $r = -0.60, P < 0.01$ )呈极显著负相关,与千粒重呈显著负相关。数据表明:株型高,茎秆粗,且叶片宽又长的多花黑麦草植株其花序也长,反之亦然。总体看来,草产量与株高、旗叶长、宽、倒二叶长、宽、分蘖数均未达到显著相关性,仅与小穗长和茎粗达到显著正相关性。

## 2.4 主成分分析

在 15 份材料 15 个性状指标中,以特征值大于 1 来提取主成分,则前 5 个主成分累计贡献率达 84.50%,代表着这 5 个主成分足以反映原数据的大部分信息。其中,第 1 主成分特征值为 4.61,贡献率为 30.76%,株高对它作用很大,反映了多花黑麦草植株大小形状特征;第 2 主成分特征值为 2.95,贡献率 19.67%,旗叶长宽和倒二叶长宽对其作用较大,反映了植株叶的大小特征;第 3 主成分特征值为 2.45,贡献率 16.34%,其中花序长和 小花数在特征向量中载荷较高,反映了植株花序以及小花的结构和数量特征;第 4 主成分特征值为 1.51,贡献率 10.09%,千粒重最大,其次为花序长、小花数,反映了植株种子的质量和有性繁殖能力的特征;第 5 主成分特征值为 1.15,贡献率 7.64%,鲜重和干重对其作用较大,反映了植株的产草量特征。



表 4 多花黑麦草种质表型性状间的相关性分析

Table 4 Bivariate correlations among 15 traits of *L. multiflorum* germplasm

	株高 PH	旗叶长 LFL	旗叶宽 WFL	倒二 叶长 LPL	倒二 叶宽 WPL	小穗长 SL	小穗数 SN	花序长 PL	小花数 FN	节间长 LFI	茎粗 SD	分蘖数 TN	单株 鲜重 FMY	单株 干重 DMY
株高 PH	1.00													
旗叶长 LFL	-0.30 **	1.00												
旗叶宽 WFL	0.33 **	0.16	1.00											
倒二叶长 LPL	-0.20	0.88 **	0.31 **	1.00										
倒二叶宽 WPL	0.20	0.28 *	0.65 **	0.55 **	1.00									
小穗长 SL	0.16	0.10	0.23 *	0.16	0.02	1.00								
小穗数 SN	0.42 **	0.07	-0.16	-0.03	-0.18	-0.08	1.00							
花序长 PL	0.41 **	0.52 **	0.50 **	0.54 **	0.44 **	0.14	0.15	1.00						
小花数 FN	0.21	0.24	0.19	0.21	0.12	0.02	0.18	0.29 *	1.00					
节间长 LFI	0.07	0.40 **	-0.32 **	0.30 **	-0.08	0.01	0.59 **	0.13	-0.06	1.00				
茎粗 SD	0.10	-0.37 **	-0.04	-0.35 **	-0.32 **	0.54 **	-0.23 *	-0.13	-0.18	-0.35 **	1.00			
分蘖数 TN	0.12	0.22	0.21	0.19	0.37 **	-0.37 **	0.26 *	0.25 *	0.18	0.21	-0.60 **	1.00		
单株鲜重 FMY	-0.09	0.02	0.03	0.13	0.02	0.43 **	-0.17	-0.21	-0.08	0.01	0.21	0.14	1.00	
单株干重 DMY	-0.01	-0.01	-0.01	0.08	-0.06	0.48 **	-0.10	-0.17	-0.03	0.00	0.23 *	0.14	0.97 **	1.00
千粒重 1000-KW	-0.19	0.29 *	-0.09	0.29 *	-0.04	-0.05	0.22	0.17	0.19	0.10	-0.25 *	0.08	0.03	0.12

表 5 多花黑麦草种质材料 15 个性状的前 5 个主成份的特征向量、特征值及变异贡献率

Table 5 Eigenvectors, eigenvalues, and percent variance explained by the first five principal components (PCs) for 15 different traits in 15 *L. multiflorum* accessions

性状 Characters	特征向量 Eigenvectors					累计值 Communalities
	Comp. 1	Comp. 2	Comp. 3	Comp. 4	Comp. 5	
株高 PH	0.6125	-0.7073	0.3093	0.2529	0.1001	0.8394
旗叶长 LFL	0.4871	0.7352	-0.2070	0.2139	0.1668	0.8942
旗叶宽 WFL	0.3169	0.5413	0.2868	-0.0081	-0.0078	0.7778
倒二叶长 LPL	0.4439	0.8457	-0.0208	0.0734	0.1434	0.9385
倒二叶宽 WPL	0.4977	0.7683	0.1511	-0.3967	0.0934	0.8531
小穗长 SL	-0.3579	0.3324	0.2733	0.4152	0.2670	0.8331
小穗数 SN	0.4349	-0.4383	-0.5496	0.3078	0.0734	0.7834
花序长 PL	0.3598	0.2069	0.5657	0.4537	0.2027	0.8589
小花数 FN	0.4559	0.0376	0.6131	0.4438	-0.5637	0.7368
节间长 LFI	0.3216	0.0273	-0.6926	0.0907	0.2620	0.9079
茎粗 SD	-0.5439	-0.1642	0.3137	0.4046	0.1412	0.8624
分蘖数 TN	0.2215	-0.0142	-0.0945	-0.3890	-0.0741	0.8408
单株鲜重 FMY	-0.4504	0.5268	-0.0928	-0.2117	0.5185	0.8944
单株干重 DMY	-0.4994	0.4549	-0.1517	0.0129	0.5472	0.8909
千粒重 1000-KW	0.2385	0.3767	-0.4195	0.6313	-0.5295	0.7649
特征值 Eigenvalue	4.61	2.95	2.45	1.51	1.15	
贡献率(%) PCT. of variance	30.76	19.67	16.34	10.09	7.64	
累计贡献率(%) CUM. PCT.	30.76	50.43	66.77	76.86	84.50	

2.5 聚类分析

对 15 份多花黑麦草种质材料的 15 个形态性状指标进行了 UPGMA 聚类分析,大致可以把供试种质材料划分为 3 大类(图 1),协表征系数(cophenetic coefficient)为 0.957,说明聚类结果较为可靠。同时,对该 3 个类组进行单因素方差分析(表 6),表明大多数性状在 3 个类组间存在显著差异。第 I 类包含 2 份材料,分别为 PI619471 (L13) 和 PI619468 (L14),占 13.33%。其主要特点可以归纳为植株较矮小,茎秆粗壮,叶片短而窄,分蘖数少,小穗数和小穗长中等,但具有较高的产草量和千粒重。第 II 类包含 6 份材料,分别为 PI449302 (L4)、PI283610 (L6)、PI189152 (L11)、PI241586 (L7)、PI189389 (L9)、PI272118 (L12),占 40%。其特点可归纳为植株高大,叶片宽大,千粒重最低,其余性状均处于中等。第 III 类包含 7 份材料,分别为 PI202509 (L2)、PI271119 (L5)、PI600794 (L8)、PI600748 (L3)、PI286467 (L10)、PI250023 (L15)、PI600782 (L1),占

46.67%。该类别主要特点是植株高度中等,叶片窄而长,茎秆细长,具较多分蘖数、小穗数和小花数,产草量以及千粒重均中等。

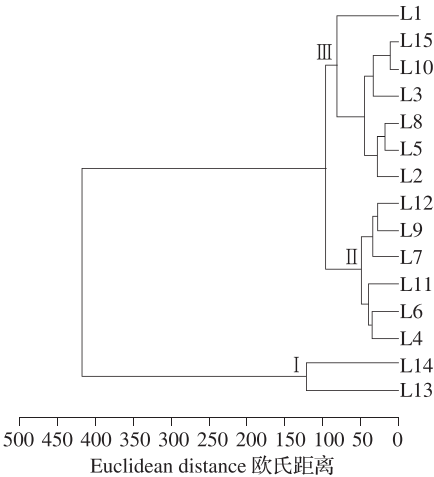


图 1 基于表型性状的多花黑麦草种质的聚类分析  
Fig. 1 UPGMA dendrogram of the 15 *L. multiflorum* accessions based on phenotypic data

表 6 多花黑麦草 3 个类组各表型性状平均值的方差分析

Table 6 Multiple comparison of means of the selected traits for three major clusters of *L. multiflorum* accessions

性状 Traits	类组 Groups			F 值 F value	概率值 P
	I	II	III		
株高 PH	116.90Ce	140.43Aa	139.00Bb	13.73	**
旗叶长 LFL	28.75Ce	30.27Bb	36.98Aa	5.61	**
旗叶宽 WFL	9.10Aa	11.00Aa	8.91Aa	2.67	ns.
倒二叶长 LPL	42.66Bb	40.46Cc	43.99Aa	6.42	**
倒二叶宽 WPL	11.50Aa	13.03Aa	10.91Aa	2.18	ns.
小穗长 SL	12.08Aa	11.49Aa	11.11Aa	2.72	ns.
小穗数 SN	33.10Cc	36.97Bb	37.63Aa	6.49	**
花序长 PL	33.18Cc	39.27Bb	43.61Aa	17.74	**
小花数 FN	9.70Cc	9.83Bb	11.40Aa	9.34	**
节间长 LFI	16.49Aa	17.74Aa	18.37Aa	1.16	ns.
茎粗 SD	5.50Aa	5.08Aa	4.75Aa	2.75	ns.
分蘖数 TN	96.90Aa	107.20Aa	110.03Bb	4.23	*
单株鲜重 FMY	803.77Aa	670.83Bb	580.57Cc	9.92	**
单株干重 DMY	67.88Aa	64.17Bb	57.74Cc	5.12	**
千粒重 1000-KW	15.47Aa	13.88Cc	15.21Bb	5.67	**

2.6 基于隶属函数值的种质综合评价

多花黑麦草各种质的 15 个性状的隶属函数值见表 7,PI619468 (L14) 的综合性状隶属函数值最高,为 0.597,主要表现为叶片宽大、茎秆粗壮、单株产草量很高的特点,归属于聚类分析的第 1 类。

PI283610 (L6) 的综合隶属函数值为 0.594,排第 2,主要表现为植株较高,分蘖极多,叶片宽大等特点,归属于聚类分析的第 2 类。PI271119 (L5) 的综合隶属函数值为 0.503,排第 3,主要表现为植株较高,叶片宽大,千粒重较高等特点,归属于聚

类分析的第 3 类。而 PI600748(L3)的综合隶属函数值为 0.249,排名第 4,主要表现为叶片很小、分蘖数较少和产草量很低等特点。从上述结果可以

看出,聚类分析的结果只能将参试材料进行大体划分,每一类中都可能蕴含综合性状优良的种质资源。

表 7 多花黑麦草种质材料 15 个观测指标的隶属函数值

Table 7 The subordinate function analysis of 15 traits in 15 *L. multiflorum* germplasm accessions

材料 Materials	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14	R15	S1
PI600782(L1)	0.44	0.85	0.30	0.89	0.95	0.00	0.66	0.94	0.28	0.78	0.00	1.00	0.00	0.00	0.84	0.455
PI202509(L2)	0.75	0.67	0.67	0.63	0.74	0.53	0.51	0.76	0.64	0.79	0.33	0.84	0.14	0.12	0.18	0.499
PI600748(L3)	0.79	0.03	0.28	0.00	0.05	0.21	0.64	0.31	0.48	0.11	1.00	0.27	0.08	0.09	0.19	0.249
PI449302(L4)	0.38	0.41	0.67	0.36	0.74	0.29	0.26	0.20	0.00	0.15	0.33	0.81	0.27	0.27	0.28	0.361
PI271119(L5)	0.71	0.61	0.30	0.55	0.37	0.61	0.55	0.83	0.24	0.96	0.67	0.41	0.16	0.39	1.00	0.503
PI283610(L6)	0.53	1.00	0.63	1.00	0.76	0.44	0.69	0.72	0.44	0.86	0.67	0.63	0.31	0.21	0.48	0.594
PI241586(L7)	1.00	0.13	1.00	0.46	1.00	0.87	0.38	1.00	0.08	0.00	1.00	0.44	0.26	0.31	0.15	0.498
PI600794(L8)	0.59	0.54	0.33	0.48	0.11	0.37	0.51	0.79	0.00	0.96	0.67	0.53	0.18	0.13	0.14	0.383
PI189389(L9)	0.68	0.50	0.35	0.43	0.00	0.48	1.00	0.42	0.12	1.00	0.33	0.55	0.24	0.43	0.69	0.435
PI286467(L10)	0.70	0.54	0.57	0.64	0.50	0.40	0.45	0.69	1.00	0.10	0.33	0.55	0.10	0.28	0.80	0.454
PI189152(L11)	0.64	0.15	0.00	0.22	0.21	0.74	0.56	0.07	0.04	0.73	1.00	0.31	0.31	0.45	0.00	0.344
PI272118(L12)	0.85	0.34	0.46	0.50	0.63	0.19	0.22	0.64	0.08	0.03	0.67	0.48	0.21	0.29	0.20	0.367
PI619471(L13)	0.51	0.00	0.30	0.35	0.39	0.32	0.53	0.00	0.08	0.48	0.67	0.60	0.81	0.80	0.76	0.468
PI619468(L14)	0.00	0.81	0.39	0.82	0.32	1.00	0.00	0.37	0.12	0.16	1.00	0.00	1.00	1.00	0.53	0.597
PI250023(L15)	0.60	0.54	0.48	0.43	0.16	0.69	0.61	0.84	0.44	0.04	1.00	0.63	0.10	0.36	0.95	0.458

R1~R15 分别代表株高、旗叶长、旗叶宽、倒二叶长、倒二叶宽、第一节间长、茎粗、分蘖数、花序长、小穗长、小穗数、小花数、单株鲜重、单株干重、种子千粒重的隶属函数值,S1 代表材料各指标的隶属函数平均值

R1-R15 represent respectively the subordinative function value of plant height ,length of flag leaf ,width of flag leaf ,length of penultimate leaf ,width of penultimate leaf ,length of first internode ,stem diameter,tiller number ,panicle length ,length of spikelets ,number of spikelets ,number of florets per spikelet ,fresh matter yield ,dry matter yield ,1000-kernel weight ;S1 represents the mean subordinative function value of every trait

3 讨论

牧草种质资源是选育饲草新品种的重要物质基础,同时也是遗传、生理、栽培等研究的基础材料。本研究表明供试 15 份多花黑麦草种质的绝大多数性状指标在不同材料间达到显著差异( $P < 0.05$ );各性状指标的变异系数范围为 10.28%~39.15%,平均值为 19.49%,单株鲜重和干重的变异系数最高,表明供试种质的产草量变异最大,有利于进行高产种质的筛选。Pearson 相关分析表明,仅鲜重和干重相关性最高( $r = 0.96, P < 0.01$ ),其次为旗叶长和倒二叶长( $r = 0.88, P < 0.01$ ),茎粗和分蘖数相关性最低( $r = -0.60, P < 0.05$ )。一般认为,株高,旗叶长、宽,倒二叶长、宽,分蘖数等性状对产草量有贡献,但本研究表明单株鲜干重与这些表型性状之间均未达到显著相关性,而仅与小穗长和茎粗达到

显著正相关性,可能是供试材料相对较少,或者产草量的体现与表型性状的整体关系较大,因此在优良多花黑麦草种质资源筛选过程中可能需要综合各项性状指标进行考察。主成分分析可以将这 15 个性状综合成为 5 个主成分,这 5 个主成分分别反映了多花黑麦草植株高矮的特征,叶片大小的特征,花序结构的特征、种子质量与繁殖能力的特征以及产草量特征,代表了这 15 个原始因子 84.50% 的信息量,是造成多花黑麦草形态变异的主要因素。聚类分析将 15 份多花黑麦草种质划分为 3 个类组,各组之间虽然在各性状上差异明显,但根据隶属函数值综合评价结果来看,每一聚类组内均有综合性状表现优异和较差的种质。因此,在进行种质综合评价时应尽量采取多种分析方法才能保证结果的准确性<sup>[18-20]</sup>。

本研究以 15 份国外多花黑麦草种质材料为基

础,从形态性状和农艺性状对其进行了初步的评价,为今后优良多花黑麦草种质资源提供了基础数据,但通过表型检测遗传变异受环境条件影响较大,仅从形态学的角度评价种质资源多样性具有一定的局限性。因此要加大评价种质的数量,并对其进行多年多点的评价,还需要结合分子生物学、生理生化等方面的研究,才能获得更精确的评价结果。

## 参考文献

- [1] Alonso S I. Evaluation of Italian ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.) populations naturalized in the flooding pampa of Argentina: I - Morphological and physiological characters at the juvenile stage [J]. Genet Resour Crop Ev, 2004, 51(7): 747-758
- [2] 王绍飞, 罗永聪, 张新全, 等. 14 个多花黑麦草品种(系)在川西南地区生产性能综合评价 [J]. 草业学报, 2014, 23(6): 87-94
- [3] 彭齐, 顾洪如, 沈益新. 多花黑麦草对猪场污水铵氮净化效果研究 [J]. 江苏农业科学, 2008(6): 269-270
- [4] 李元华, 张新跃, 宿正伟, 等. 多花黑麦草饲养肉兔效果研究 [J]. 草业科学, 2007, 24(11): 70-72
- [5] 张新跃, 李元华, 苟文龙, 等. 多花黑麦草研究进展 [J]. 草业科学, 2009, 26(1): 55-60
- [6] 富新年, 王赞, 高洪文, 等. 国外引进鸭茅种质形态变异研究 [J]. 草地学报, 2012, 20(2): 358-362
- [7] 德英, 穆怀彬, 刘新亮, 等. 披碱草属 8 种野生牧草居群穗部形态多样性 [J]. 草业科学, 2011, 28(9): 1623-1631
- [8] 王玉祥, 张博. 新疆野生白三叶表型性状变异研究 [J]. 草地学报, 2012, 20(6): 1163-1168
- [9] 钟声. 野生鸭茅杂交后代农艺性状的初步研究 [J]. 草业学报, 2007, 16(1): 69-74
- [10] Vieira E A, Castro C M, Oliveira A C D, et al. Genetic structure of annual ryegrass (*Lolium multiflorum*) populations estimated by RAPD [J]. Sci Agr, 2004, 61(4): 407-413
- [11] Peter-Schmid M I, Boller B, Kölliker R. Habitat and management affect genetic structure of *Festuca pratensis* but not *Lolium multiflorum* ecotype populations [J]. Plant Breeding, 2008, 127(5): 510-517
- [12] Peter-Schmid M I, Kölliker R, Boller B. Value of permanent grassland habitats as reservoirs of *Festuca pratensis* Huds. and *Lolium multiflorum* Lam. populations for breeding and conservation [J]. Euphytica, 2008, 164(1): 239-253
- [13] 刘大林, 马晶晶, 邱伟伟, 等. 不同品种多花黑麦草在扬州的适应性比较 [J]. 草业科学, 2011, 28(12): 2157-2161
- [14] 李三要, 朱晓花, 刘海洋, 等. 多花黑麦草在邵阳地区的引种适应性 [J]. 草业科学, 2011, 28(8): 1491-1494
- [15] Tang Q, Zhang C. Data Processing System (DPS) software with experimental design, statistical analysis and data mining developed for use in entomological research [J]. Insect Sci, 2013, 20(2): 254-260
- [16] Rohlf F J. NTSYS-pc: numerical taxonomy and multivariate analysis system version 2.2 [M]. New York: Applied Biostatistics, 2004
- [17] 姚庆群, 白昌军, 王文强, 等. 不同统计方法对豆科牧草种质资源适应性评价的比较 [J]. 亚热带植物科学, 2009, 38(1): 26-30
- [18] 解松峰, 欧行奇, 张百忍, 等. 大麦引进种质资源表型的多样性与模糊聚类分析 [J]. 干旱地区农业研究, 2010, 28(5): 5-14
- [19] 张加强, 骆霞虹, 陈常理, 等. 叶用芥菜种质表型性状的遗传多样性分析 [J]. 植物遗传资源学报, 2015, 16(3): 535-540
- [20] 王志勇, 刘建秀, 郭海林. 狗牙根种质资源营养生长特性差异的研究 [J]. 草业学报, 2009, 18(2): 25-32
- [9] Jian H Y, Zhang H, Tang K X, et al. Decaploidy in *Rosa praelucens* Byhouwer (Rosaceae) endemic to Zhongdian Plateau, Yunnan, China [J]. Caryologia, 2010, 63(2): 162-167
- [10] 曹亚玲, 何永华, 李朝奎. 蔷薇属 38 个野生种果实的维生素含量及其与分组的关系 [J]. 植物学报, 1996, 38(10): 822-827
- [11] 环境保护部, 中国科学院. 中国生物多样性红色名录 - 高等植物卷 [R]. 北京: 2013: 467
- [12] 关文灵, 李世峰, 宋杰, 等. 云南特有濒危植物中甸刺玫的分布特征研究 [J]. 西部林业科学, 2012, 41(1): 88-93
- [13] 李树发. 中甸刺玫引种驯化的关键技术 [D]. 北京: 中国农业科学院, 2012
- [14] Andreou M, Delipetrou P, Kadis C, et al. An integrated approach for the conservation of threatened plants: the case of *Arabis kennedyae* (Brassicaceae) [J]. Acta Oecol, 2011, 37(3): 239-248
- [15] Ayele T B, Oliver G O, Finkeldey R. Assessment and integration of genetic, morphological and demographic variation in *Hagenia abyssinica* (Bruce) J. F. Gmel to guide its conservation [J]. J Nat Conserv, 2011, 19(1): 8-17
- [16] McCarthy M A, Burgman M A, Ferson S. Sensitivity analysis of models population viability [J]. Biol Conserv, 1995, 73(2): 93-100
- [17] 申仕康, 马海英, 王跃华, 等. 濒危植物猪血木 (*Euryodendron excelsum* H. T. Chang) 自然种群结构及动态 [J]. 生态学报, 2008, 28(5): 2404-2412
- [18] 刘海洋, 金晓玲, 沈守云, 等. 湖南珍稀濒危植物—珙桐种群数量动态 [J]. 生态学报, 2012, 32(24): 7738-7746
- [19] 张志祥, 刘鹏, 蔡妙珍, 等. 九龙山珍稀濒危植物南方铁杉种群数量动态 [J]. 植物生态学报, 2008, 32(5): 1146-1156
- [20] 李蒙, 严邦祥, 赵昌高, 等. 大仰山高山湿地山樱花种群数量结构特征 [J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2013, 37(5): 40-44
- [21] 伍翔宇, 陈敏, 王其刚, 等. 中甸刺玫和川滇蔷薇的繁育系统比较研究 [J]. 园艺学报, 2014, 41(10): 2075-2084

(上接第 654 页)