

云南芸香草种质资源的表型多样性分析和评价

庞静^{1,4,5}, 常恩福^{2*}, 周云², 李品荣², 师春娟¹, 王黎颖³, 普文富³, 丁玉雄³, 张梅^{3**}

(1. 云南林业职业技术学院, 云南 昆明 650224; 2. 云南省林业和草原科学院, 云南 昆明 650201; 3. 建水县林业和草原科技推广站, 云南 建水 654300; 4. 高黎贡山森林生态系统云南省野外科学观测研究站, 云南 保山 678000; 5. 云南省高黎贡山生物多样性重点实验室, 云南 昆明 650201)

摘要:【目的】研究云南不同种源芸香草的表型多样性特征, 筛选优良种源。【方法】收集云南省7个州(市)的26份芸香草野生种质资源, 在云南省永仁国有林场小尖山试验基地开展种质资源评价, 在植株成熟期进行株高、叶长、分蘖数等表型鉴定, 采用主成分分析法将云南芸香草种质资源的表型数据中的重要特征予以保留并筛选优良种质资源。【结果】在相同栽培条件下, 26份不同种源的野生芸香草的10项表型遗传性状变异系数介于9.26%~27.99%, 存在较大差异。构建芸香草种质资源质量综合评价模型: $F=0.441F_1+0.248F_2+0.161F_3+0.150F_4$, 筛选出植株扩张能力、种子质量、长度和综合性方面具有优势的优良芸香草种质6份。【结论】优良芸香草种质来源于云南省红河哈尼族彝族自治州、楚雄彝族自治州、大理白族自治州和曲靖市等地区, 说明芸香草优秀的遗传资源广泛分布于云南省, 地理来源并不是造成芸香草种质资源遗传多样性的唯一因素。

关键词: 芸香草; 种质资源; 主成分分析; 评价

中图分类号: S573 **文献标志码:** A **文章编号:** 1009-5500(2025)01-0001-07

DOI: 10.13817/j.cnki.cyycp.2025.01.001



草种质资源构成了推动草种业创新发展的根基, 堪称我国草种业发展进步的“核心芯片”, 同时代表了对生态文明建设和草原生物多样性保护至关重要的

策略性储备, 也是实施环境保护和生态体系构建的关键支撑材料。自1950年以来, 我国着手开展了草原野生植物的引种试验, 经过选育, 诞生了一批能够适应严寒、干旱、贫瘠和盐碱环境的新品种^[1-3]。然而, 受限于我国草种业起步晚、产业发展不均衡, 牧草种质资源精准鉴定和基因规模化深度发掘不够, 目前仅对30%的库存资源开展过农艺性状评价, 只有16%的样本完成了部分抗性检测评价, 不足2%的资源进行过遗传学评价。资源评价工作整体上不够系统和深入, 资源遗传背景不清, 缺乏可利用的基因, 创新能力不足^[4]。

来自西南方向的暖湿气流被横断山脉阻挡, 造成金沙江、怒江、澜沧江等干流及其直流河谷形成大面积的干热河谷, 该区域光热资源丰富, 具有水分匮乏、土壤贫瘠、植被稀少等典型特征^[5]。干热河谷区域多年平均降水量仅为690 mm, 平均蒸发量则高达3 750 mm, 年均气温超过20℃, 水热条件存在显著的垂直梯度差异, 焚风效应长期主导该区域^[6]。由于基

收稿日期: 2024-02-27; **修回日期:** 2024-03-18

基金项目: 2025年中央财政林草科技推广示范项目(4种禾本科优良草种繁育及应用示范); 2021年度省级低碳发展引导专项资金(云南退化草地生态系统对气候变化的响应研究); 云南省教育厅科技创新团队建设计划项目(生态修复草种资源开发应用); 云南省科技人才与平台计划项目(202205AG070006); 云南省林和草原局科技创新补助项目(2023KJCX010)

作者简介: 庞静(1982-), 女, 四川绵阳人, 硕士, 副研究员, 研究方向主要为乡土草种选育。

E-mail: jingpang@126.com。

*通信作者, 研究方向为生态修复及资源培育。

E-mail: Cef6610@163.com

**通信作者, 研究方向为林草科技推广。

E-mail: 251637860@qq.com

岩以变质岩为主,岩性较软且极易风化,活跃的构造运动造成大量松散固体物质堆积在坡面,雨季常见的短期强降雨使得泥石流频繁发生,加之人类放牧等活动对生态环境的过度干扰,导致干热河谷地区成为典型的生态脆弱区^[7],有植被退化明显、地表水土流失严重和生境脆弱等特点,优势草本植物以扭黄茅(*Heteropogon contortus*)、拟金茅(*Eulaliopsis binata*)、芸香草(*Cymbopogon distans*)等为代表^[8]。

芸香草是禾本科香茅属植物,广泛分布在中国的西部地区,具体包括陕西、甘肃南部、四川、云南、西藏(墨脱)等地,多生于海拔2 000~3 500 m,常见于山地、丘陵、河谷及干旱开旷草坡^[9],被认为是云南和四川金沙江干热河谷植物区系标志种^[10]。芸香草能适应干旱环境,在干热河谷和石漠化地区广泛分布,可在土壤含水量低于8%的土壤中完成生长周期,其根系能提高土壤抗剪强度,在一定程度上起到了固结土壤、减少土壤侵蚀的作用^[11],是干热河谷地区和土壤贫瘠的石漠化、半石漠化地区生态恢复的优选草种之一^[12]。芸香草因其独有的香味而闻名,其茎叶所释放出的芳香可用来萃取高质量的芳香油^[13],同时具有较高的药用价值^[14]。植物表型性状是经过长期自然选

择逐渐形成稳定的外在表现,受遗传物质和环境的共同影响^[15],掌握种质资源特征特性是选择育种亲本的重要前提^[16]。

目前用于南方草地生态修复的乡土草种选育利用基本处于空白,对野生乡土草种质资源的开发研究进展缓慢,面临着混交选配难、遗传多样性受限及可选材料价值低等诸多挑战,开展芸香草种质资源的评价有助于推动乡土草种品种选育工作。本研究以干热河谷优势植物芸香草为研究对象,对云南省26份芸香草种质资源遗传多样性及相关关系进行深入分析评价,为优良种质资源的收集和保存提供理论依据。同时,通过本研究可阐明恶劣生境条件下植物生存的协同进化情况,从而掌握干热河谷优势草本植物的适应生存策略、揭示其遗传变异的推动因素,以植物适应机制为视角,科学构建有利于草原生态恢复的植物群落结构,为促进困难立地条件下的生态修复及可持续发展提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验材料

供试材料为收集于云南省7个州(市)的8个县(市、区)的26份芸香草野生种质资源(表1)。

表1 芸香草种质资源汇总表
Table 1 Summary table of *Cymbopogon distans* resources

编号	采集编号	采集地	编号	采集编号	采集地
1	2019DC011	昆明市东川区	14	2020BC026	大理白族自治州宾川县
2	2019DC042	昆明市东川区	15	2020JS022	红河哈尼族彝族自治州建水县
3	2019DC074	昆明市东川区	16	2020JS028	红河哈尼族彝族自治州建水县
4	2019DC082	昆明市东川区	17	2020JS039	红河哈尼族彝族自治州建水县
5	2019YM004	楚雄彝族自治州元谋县	18	2020JS041	红河哈尼族彝族自治州建水县
6	2019YM039	楚雄彝族自治州元谋县	19	2020QJ054	昭通市巧家县
7	2019YM077	楚雄彝族自治州元谋县	20	2020QJ058	昭通市巧家县
8	2019YR043	楚雄彝族自治州永仁县	21	2020QJ066	昭通市巧家县
9	2019YR046	楚雄彝族自治州永仁县	22	2019LJ011	保山市隆阳区
10	2019YR082	楚雄彝族自治州永仁县	23	2019LJ035	保山市隆阳区
11	2019YR097	楚雄彝族自治州永仁县	24	2019LJ039	保山市隆阳区
12	2019YR102	楚雄彝族自治州永仁县	25	2019HZ007	曲靖市会泽县
13	2020BC012	大理白族自治州宾川县	26	2019HZ026	曲靖市会泽县

1.2 试验地概况

试验地位于云南省永仁国有林场小尖山试验基地,海拔1 740 m。试验区土壤为紫色砂岩发育而成的pH值介于6.2~6.7的酸性紫色土。年均温为

17.8℃,历史最高温37℃,最低温3.5℃,年均降水量为883 mm,其中5—10月降水量占全年总降水量的94.2%,全年蒸发量为2 794.4 mm。

1.3 试验方法

根据种质资源的收集时间,于次年春季开展试验,采取随机区组设计。每份种质资源种植 5 行 5 列,每穴播种 2 粒,行株间距 15 cm,试验小区周围设保护行。田间管理措施:出苗前后应根据土壤墒情适时浇水,在整个生长周期中耕除草 2 次,分别在苗高 5~10、15~20 cm 时。结合中耕追肥 2 次,第 1 次按 10 g/m² 施撒施尿素,第 2 次按 20 g/m² 施用。

成熟期进行表型鉴定,株高、叶长、分蘖数、生殖枝数、穗长、每枝小穗数、种子千粒重、种子发芽率、地上生物量、地下生物量,所有性状指标测试均进行 3 次重复,测量方法如下:

株高:用卷尺测量从芸香草基部至主茎顶部的高度;

叶长:沿主叶脉方向量出的最长部分的长度;

分蘖数:在地表附近所产生的分枝总数;

生殖枝数:指花芽萌发并形成花序的枝条总数;

穗长:穗颈节到穗顶部的长度;

每枝小穗数:每枝生殖植上的小穗数量;

种子千粒重:自然干燥的 1 000 粒芸香草种子的重量;

种子发芽率:所测样本中能成功萌发的种子与总测试种子数量的比例;

地上生物量:地上部分器官(茎、叶、花、果)的总

鲜重;

地下生物量:地下部分器官(根)的鲜重;

1.4 数据分析

使用 Excel 2016 软件对数据进行整理和统计,使用 SPSS 16.0 软件对数据进行分析^[17]。

1.5 评价模型

利用主成分 $F_1, F_2, \dots, F_m$ 做线性组合,并以每个主成分 F_i 的方差贡献率 α_i 作为权重系数来构造综合评价函数: $F = \alpha_1 F_1 + \alpha_2 F_2 + \dots + \alpha_m F_m$ 。

2 结果与分析

2.1 芸香草种质资源表型性状多样性分析

26 份中芸香草种质资源的农艺性状、种子质量以及生物量等性状变异都不相同,供试材料的变异系数介于 9.26%~27.99%,存在较大差异(表 2)。生殖枝数量的变异幅度最大,平均为 5.89 个,变幅为 2.2~8.5 个;其次是地上生物量,其变异系数为 23.69%,平均为 692.17 g,变异幅度为 409.53~1 007.17 g;分蘖数的变异系数为 22.51%,平均 78.95 个,变异幅度为 17.80~110.80 个;其他几项指标变异系数分别为:穗长 20.13%、种子发芽率 18.08%、地下生物量 17.99%、种子千粒重 11.79%、叶长 11.41%、株高 10.91% 和每枝小穗数 9.26%。从分析结果可知,不同种源的芸香草种质资源在生殖植数量、地上生物量、分蘖数和穗长等性状上遗传差异较大。

表 2 不同芸香草种质资源表型性状多样性分析

Table 2 Analysis of phenotypic trait diversity in different *Cymbopogon distans* resources

性状	株高/cm	叶长/cm	分蘖数/ 个	生殖枝 数/个	穗长/cm	每枝小 穗数/个	种子千 粒重/g	种子发芽 率/%	地上生物 量/g	地下生物 量/g
最大值	223.23	88.5	110.8	8.5	113.60	7.50	1.26	45.00	1 007.17	383.27
最小值	135.26	60.2	17.8	2.2	54.70	5.00	0.72	22.00	409.53	198.98
平均值	181.13	75.34	78.95	5.89	82.06	6.65	0.92	33.68	692.17	265.96
标准差	19.38	8.43	17.43	1.62	16.20	0.60	0.11	5.97	160.81	46.92
变异系数/%	10.91	11.41	22.51	27.99	20.13	9.26	11.79	18.08	23.69	17.99

2.2 芸香草种质资源表型性状相关性分析

不同种源芸香草种质表型性状之间存在不同程度的相关性(表 3)。分蘖数和生殖枝数、地上生物量、地下生物量呈显著正相关;生殖枝数与地上生物量、地下生物量呈显著正相关;种子千粒重和种子发芽率呈显著正相关;地上生物量和地下生物量呈显著正相

关。因此,在芸香草品种选育过程中根据育种目标充分考虑不同表型性状之间的相关性是必要的。

2.3 主成分分析

对 26 份芸香草种质资源的 10 个表型性状指标进行抽样适合性检验(KMO)和巴特利特检验(Bartlett)(表 4),其 KMO 统计值为 0.621,适合对原有变量做主

表3 芸香草种质资源表型性状相关性分析

Table 3 Correlation analysis of phenotypic characters in different *Cymbopogon distans* resources

相关系数	株高	叶长	分蘖数	生殖枝数	穗长	每枝小穗数	种子千粒重	种子发芽率	地上生物量	地下生物量
株高	1	−0.06	−0.14	−0.16	−0.2	−0.03	0.1	0.12	−0.13	−0.23
叶长	−0.06	1	0.08	0.13	−0.27	−0.12	−0.01	−0.01	0.21	0.04
分蘖数	−0.14	0.08	1	0.89**	−0.13	0.16	0.1	0.07	0.74**	0.76**
生殖枝数	−0.16	0.13	0.89**	1	−0.15	0.29	0.1	0.12	0.70**	0.79**
穗长	−0.2	−0.27	−0.13	−0.15	1	−0.23	−0.11	−0.12	−0.07	−0.23
每枝小穗数	−0.03	−0.12	0.16	0.29	−0.23	1	0.05	0.16	−0.1	0.17
种子千粒重	0.1	−0.01	0.1	0.1	−0.11	0.05	1	0.88**	0	0.16
种子发芽率	0.12	−0.01	0.07	0.12	−0.12	0.16	0.88**	1	0.03	0.18
地上生物量	−0.13	0.21	0.74**	0.70**	−0.07	−0.1	0	0.03	1	0.64**
地下生物量	−0.23	0.04	0.76**	0.79**	−0.23	0.17	0.16	0.18	0.64**	1

注:*表示在 0.05 水平上相关性显著,**表示在 0.01 水平上相关性显著。

成分分析,Bartlett球度检验统计量为126.267,显著性为0.000,说明相关系数矩阵与单位阵之间存在显著性差异。综上,可以用主成分分析法对不同芸香草种质资源表性特征进行品质分析和综合评价。

表4 KMO和Bartlett检验

Table 4 The test of KMO and Bartlett

检验方法		结果
度量		0.621
Bartlett的球形度检验	近似卡方	126.267
	自由度	45
	显著性	0.000

将数据进行标准化处理后进行主成分分析,提取了特征值大于1的4个主成分,累计方差贡献率为78.48%,基本能包含芸香草种质资源表型特征的大多数性状指标信息,得到芸香草种质资源表型指标的主成分特征值、方差贡献率和累积方差贡献率(表5)。

提取的每一成分各表性特征指标的载荷大小体现了其贡献率,主成分1受分蘖数、生殖枝数、地上生物量和地下生物量的影响显著,反映了原始性状指标信息的34.619%,对综合评价起正向作用,可视为植株扩张能力因子;主成分2受种子千粒重和种子发芽率等代表性指标的影响,反映原始指标信息的19.50%,视为种子质量因子;穗长、株高和叶长等代表性指标对主成分3影响较大,其中株高和叶长为负向载荷,穗长为正向载荷,反映原始性状指标信息的12.613%,称为长度因子;第4主成分中包含每枝小穗

表5 不同种源芸香草农艺性状主成分分析

Table 5 Principal component analysis of agronomic traits of different *Cymbopogon distans* resources

指标	F_1	F_2	F_3	F_4
株高/cm	−0.202	0.350	−0.407	−0.056
叶长/cm	0.180	−0.077	−0.634	0.509
分蘖数/个	0.919	−0.147	0.071	−0.026
生殖枝数/个	0.935	−0.104	0.028	−0.111
穗长/cm	−0.260	−0.265	0.776	0.198
每枝小穗数/个	0.241	0.225	−0.093	−0.830
种子千粒重/g	0.228	0.888	0.200	0.241
种子发芽率/%	0.247	0.903	0.178	0.156
地上生物量/g	0.800	−0.252	0.010	0.292
地下生物量/g	0.888	−0.034	0.076	−0.058
特征值	3.462	1.950	1.261	1.175
方差贡献率/%	34.619	19.500	12.613	11.749
累积方差贡献率/%	34.619	54.118	66.731	78.480

数和叶长等代表性指标,反映了原始性状指标信息的11.749%,命名为其他因子(表5)。

2.4 芸香草种质资源综合评价

以4个主成分相对方差贡献率为权重,综合考虑各主成分对芸香草种质资源质量的影响,构建芸香草种质资源质量综合评价模型: $F=0.441F_1+0.248F_2+0.161F_3+0.150F_4$,计算不同种源芸香草的综合评价分值(表6)。编号为2020JS039、2019HZ007、2020JS041、2020BC012、2020QJ058和2019YM039等6份种质资源综合得分较高,位于排名前6名,说明

芸香草优秀的遗传资源广泛分布于云南省红河哈尼族彝族自治州、楚雄彝族自治州、大理白族自治州和曲靖市等地区。主成分分析可以清晰地区分出不同芸香草种源的质量差异,以主成分分析方法综合评价芸香草种质资源品质可行性较强。

表 6 不同种源芸香草综合评价

Table 6 Comprehensive evaluation of the same provenance of *Cymbopogon distans*

采集编号	综合得分	排名	采集编号	综合得分	排名
2019DC011	-0.022	11	2020BC026	-0.119	14
2019DC042	0.566	8	2020JS022	-0.508	18
2019DC074	-0.609	20	2020JS028	0.623	7
2019DC082	-0.228	15	2020JS039	2.266	1
2019YM004	-0.586	19	2020JS041	1.062	3
2019YM039	0.734	6	2020QJ054	-0.382	17
2019YM077	0.033	9	2020QJ058	0.805	5
2019YR043	-0.807	23	2020QJ066	-0.623	21
2019YR046	-1.111	25	2019LJ011	-0.086	13
2019YR082	-0.345	16	2019LJ035	-1.835	26
2019YR097	-0.749	22	2019LJ039	0.028	10
2019YR102	-0.086	12	2019HZ007	2.037	2
2020BC012	0.839	4	2019HZ026	-0.898	24

3 讨论

随着草业产业化进程的快速推进,市场对草品种数量和品质有了更加迫切的要求,这对草品种的种质改良任务提出了更高的挑战,使草品种选育工作迈向了标准化、多元化、本地化和系列开发的道路^[18]。对种质资源的现状进行充分的调查和评价是草品种选育的基础。农艺性状是遗传物质的外在体现,其遗传多样性分析已被广泛应用于各类作物种质资源研究与评价^[19],草种质资源在形态学方面的遗传变异分析方法是最传统、直接、简便易行的方法,在乡土草育种利用和生产中也发挥了重要作用,是常用重要的标记手段^[20-21]。

变异系数是反映表型性状变量离散程度的客观指标,该系数越高,性状的变异程度就越大。供试 26 个芸香草种源在表型性状的表现上具有较为广泛的变异区间,供试材料具有多样性,生殖植数、地上生物量、分蘖数和穗长的变异系数均超过了 20%,可以为

芸香草种质资源收集和育种工作提供丰富的亲本材料。这也体现了芸香草未来育种工作的方向和重心,要着眼于生物量大、种子生产能力强的特性特征进行品种选育,以满足草原生态修复工程中生态修复效率和种子需求量的要求。

主成分分析法可消除评价指标之间的相互影响,已广泛应用于作物遗传多样性分析和优质种质筛选和评价^[22-23]。系统性地收集与鉴定种质资源是育种研究不可或缺的基本工作^[24],在种质资源收集和保存的基础上,利用主成分分析法对芸香草种质资源农艺性状进行综合评价,选取供试芸香草前 4 个主成分,累计贡献率为 78.48%,将芸香草种质资源表型指标简化为 4 个主要因素:植株扩张能力因子、种子质量因子、长度因子以及其他因子,以此提取出具有分类价值的关键特性,作为芸香草种质资源表型综合鉴定评价指标。这套评价指标不仅简单直观,还便于实施,能够迅速地对种质资源的特性进行判定。将收集到的 26 份芸香草种质资源材料种植于相同的生长环境,统一管理措施,消除环境对植株的影响,基本上反映了种质材料自身的遗传多样性。通过构建芸香草种质资源质量综合评价模型,初步筛选出 6 份优秀种质资源。这些种质资源与地理来源并非完全对应关系,揭示出芸香草在环境适应过程中可能产生了遗传特征与环境条件之间的协同进化。此外,这一现象也表明,导致种质资源遗传差异的因素并不是仅仅是由地理分布所决定的,这与燕麦种质资源生物学性状的遗传多样性的研究结果一致^[25]。由于乡土草多具有抗寒、抗旱、耐盐碱、耐贫瘠、抗病虫、适应性强等优良特性,可以将野生种驯化选育为优良品种,也可在明确其重要性状形成的遗传特征上利用其优异基因创制和改良现有的草品种^[26-27]。

4 结论

云南省芸香草优良种质资源不受仅仅地理来源限制,分布在云南省红河哈尼族彝族自治州等 4 个州市。对 26 份种质资源鉴定评价后,初步筛选明确了 6 份种质资源,编号分别为 2020JS039、2019HZ007、2020JS041、2020BC012、2020QJ058 和 2019YM039。本研究为芸香草种质资源调查和收集提供了基础资料,为选育和开发芸香草新品种选育、推广应用和产

业化发展提供参考。在今后的工作中还应结合不同种源芸香草物候期,考虑耐旱性、种子结实率和脱落性等特性,进一步充实和完善评价体系,并对初步选定的芸香草优异新种质开展第二代评价和驯化选育。

参考文献:

- [1] 李昊,季顶宇,吉子宜,等. 基于叶面温度和抗旱性评价等级的耐干旱萱草品种筛选方法的建立[J]. 分子植物育种,2021,19(11):3744—3755.
- [2] 南志标,王彦荣,贺金生,等. 我国草种业的成就、挑战与展望[J]. 草业学报,2022,31(6):1—10.
- [3] 中国草学会. 中国草地科学进展:第四届第二次年会暨学术讨论会文集[C]. 中国草学会 1996:227—228.
- [4] 洪军,陈志宏,李新一,等. 我国牧草种质资源收集保存现状与对策建议[J],中国草地学报,2017,39(6):99—104.
- [5] 秦纪洪. 干热河谷几种常见植物光合生理生态及其环境的适应性研究[D]. 成都:四川大学,2006.
- [6] 余杭,孙凡,李松阳,刘颖,等. 不同区段金沙江下游山地失稳性坡面土壤有机碳含量特征[J]. 应用与环境生物学报,2020,26(5):1192—1199.
- [7] 刘颖,贺静雯,余杭,等. 干热河谷优势灌木细根、粗根与叶片养分(C、N、P)含量及化学计量比[J]. 山地学报,2020,38(5):668—678.
- [8] 余杭,高若允,杨文嘉,等. 干热河谷优势草本植物叶片、根系及与土壤碳氮磷含量及其关系[J]. 应用与环境生物学报,2022,28(3):727—735.
- [9] 陈守良. 中国植物志(第十卷第二分册)[M]. 北京:科学出版社,1997.
- [10] 金振洲. 滇川干热河谷与干暖河谷植物区系特征[M]. 昆明:云南科技出版社,2002.
- [11] 段青松,何丙辉,余建新,等. 金沙江干热河谷乡土草本植物根系固土能力原位测定[J]. 云南大学学报(自然科学版),2015,37(5):779—785.
- [12] 刘爱林,伏春美,罗中阳,等. 干旱胁迫下云南干热河谷区6个乡土草种生理生化特性的比较分析[J]. 西部林业科学,2023,52(6):47—54.
- [13] Diana K M. 芸香草及其易混品的形态学以及ITS2分子、HPLC化学指纹分析与鉴定[D]. 成都:西南交通大学,2018.
- [14] 石小翠,曹冬花,李佳,等. 三种香茅精油的化学成分及体外抗氧化和抗炎活性评价[J]. 食品工业科技,2021,42(21):83—90.
- [15] 陈守一,王红林,罗昌国,等. 贵州晚熟李表型性状分析及优良种质筛选[J]. 经济林研究,2022,40(2):100—111.
- [16] 何中虎,夏先春,陈新民,等. 中国小麦育种进展与展望[J]. 作物学报,2011,37(2):202—215.
- [17] 薛薇. SPSS统计分析方法及应用[M]. 第4版. 北京:电子工业出版社,2017.
- [18] 云锦凤. 我国草品种育种的发展方略[J],草地学报,2008,16(3):211—214.
- [19] 王红林,左艳春,严旭,等. 20份野豌豆种质的农艺性状、产量和品质. 草业科学,2022,39(11):2403—2413.
- [20] 田骏. 种质资源遗传多样性研究进展[J]. 草业与畜牧,2012(10):53—58.
- [21] 白乌云,侯向阳. 基于性状的野生羊草优良种质筛选[J]. 草地学报,2023,31(10):3067—3074.
- [22] 林俊彬,严俊杰,韩星,等. 基于全基因组重测序的杏鲍菇菌株遗传多样性与性状分析[J]. 西南农业学报,2023,36(11):231—2318.
- [23] 张鹏,鲍根生,刘文辉,等. 高寒区41份春蚕豆种质资源农艺性状的遗传多样性分析[J]. 草业科学,2023,40(7):1844—1855.
- [24] 覃初贤,覃欣广,邢钊浩,等. 广西荞麦种质资源主要农艺性状鉴定与评价[J]. 广东农业科学,2020,47(10):11—17.
- [25] 齐冰洁,刘景辉,张智勇,等. 燕麦种质资源生物学性状的遗传多样性[J]. 麦类作物学报,2008,28(4):594—599.
- [26] 谢文刚,刘志鹏,刘公社,等. 我国乡土草选育的现状、关键科学问题及发展方向[J],中国科学基金,2023,37(4):552—559.
- [27] 田浩琦,汪辉,陈有军,等. 高寒地区15份早熟禾属野生牧草种质材料评价[J],草原与草坪,2021,41(2):92—99.

Analysis and evaluation of phenotypic diversity of *Cymbopogon distans* germplasm resources in Yunnan

PANG Jing^{1,4,5}, CHANG En-fu^{2*}, ZHOU Yun², LI Ping-rong², SHI Chun-juan¹,

WANG Li-ying³, PU Wen-fu³, DING Yu-xiong³, ZHANG Mei^{3**}

(1. Yunnan forestry Technological College, Kunming 650225, China; 2. Yunnan Academy of forestry and Grassland, Kunming 650201, China; 3. Jianshui Technology Extension Station of forestry and Grassland, Jianshui 654300, China; 4. Gaoligong Mountain forest Ecosystem Observation and Research Station of Yunnan Province, Baoshan 678000, China; 5. Yunnan Key Laboratory of Biodiversity of Gaoligong Mountain, Kunming 650201, China)

Abstract: [Objective] The objective of this study is to study the phenotypic diversity characteristics of *Cymbopogon distans* from different provenances in Yunnan Province and to screen high-quality provenances. [Method] Twenty-six wild germplasm resources of *C. distans* were collected from 7 prefectures and cities in Yunnan Province, and the germplasm resources were evaluated at the Xiaojianshan Experimental Base of Yongren State-owned forest arm in Yunnan Province. The phenotypic identification of plant height, leaf length and tiller number was carried out at the plant maturity stage, and the important characteristics in the phenotypic data of *C. distans* germplasm resources in Yunnan Province were retained by principal component analysis and excellent germplasm resources were screened. [Result] The results showed that under the same cultivation conditions, the variation coefficient of 10 phenotypic genetic traits of 26 wild *C. distans* germplasm ranged between 9.26% and 27.99%, and there were great differences. A comprehensive evaluation model for the quality of *C. distans* germplasm resources was constructed: $F = 0.441F_1 + 0.248F_2 + 0.161F_3 + 0.150F_4$. Six excellent kidney *C. distans* with advantages in plant expansion ability, seed quality, length and comprehensive performance were selected. [Conclusion] The excellent *C. distans* germplasm comes from Honghe Hani and Yi Autonomous Prefecture, Chuxiong Yi Autonomous Prefecture, Dali Bai Autonomous Prefecture and Qujing City of Yunnan Province, indicating that the excellent genetic resources are widely distributed in Yunnan Province, and the geographical source is not the only factor causing the phenotypic diversity of the *C. distans* germplasm resources. This study provides basic data for the investigation and collection of germplasm resources, and supplies reference for the breeding and development of new varieties, popularization and application, and industrialization development.

Key words: *Cymbopogon distans*; germplasm resources; principal component analysis; evaluation

(责任编辑:刘建荣)