

五节芒种质资源的表型多样性分析

肖亮, 蒋建雄, 易自力*, 艾辛, 邓念丹, 林聪

(湖南农业大学生物科学技术学院, 湖南 长沙 410128)

摘要: 为了解中国五节芒的形态多样性和分布特点, 为五节芒种质资源的开发和利用提供参考依据, 对采集自安徽、福建、广东、广西、贵州、湖北、湖南、江苏、江西、浙江等 10 个省份 117 份材料的 12 个与茎秆、叶片、花序相关的表型性状进行表型多样性分析。结果表明: (1) 五节芒群体的表型性状在群体间和群体内都存在丰富的变异, 各性状变异系数范围为 2.80% ~ 73.43%; (2) 主成分分析显示, 前 3 个主成分累积贡献率为 87.75%, 其中第 1 主成分反映叶片特征, 第 2 主成分反映茎秆特征, 第 3 主成分反映花序特征; (3) 聚类分析表明, 10 个群体可以分为 3 类, 第 1 类为湖南和江西 2 个群体, 第 2 类包括福建、广东、广西、湖北和贵州 5 个群体, 第 3 类包括安徽、江苏和浙江 3 个群体。

关键词: 五节芒; 表型性状; 变异系数; 主成分分析

中图分类号: S564^{+.4}

文献标志码: A

文章编号: 1007-1032(2013)02-0150-05

Study on phenotypic diversity of *Miscanthus floridulus*

XIAO Liang, JIANG Jian-xiong, YI Zi-li*, AI Xin, DENG Nian-dan, LIN Cong

(College of Bioscience and Biotechnology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China)

Abstract: To investigate the diversity and distribution characteristic, and to provide data for efficient utilization and conservation for *Miscanthus floridulus* (*M. floridulus*). One hundred and seventeen accessions of *M. floridulus*, collected from Anhui, Fujian, Guangdong, Guangxi, Guizhou, Hubei, Hunan, Jiangsu, Jiangxi and Zhejiang provinces, were evaluated for their diversity in phenotypic traits. The result of this paper were (1) there were abundant variation in phenotypic traits among populations and within populations, with variation coefficient ranging from 2.80% to 73.43%; (2) the first three principal components explained 87.75% variation and principal component 1 reflected the leaf traits, principal component 2 reflected the stem trait and principal component 3 reflected the inflorescence trait; (3) according to the UPGMA cluster analysis, the populations of *M. floridulus* in this study could be divided into three groups: group 1 includes Hunan and Jiangxi populations, group 2 includes Fujian, Guangdong, Guangxi, Hubei and Guizhou populations, and group 3 includes Anhui, Jiangsu and Zhejiang populations.

Key words: *Miscanthus floridulus*; phenotypic diversity; variation coefficient; principal component analysis

五节芒(*Miscanthus floridulus*)隶属于禾本科(Poaceae)、芒属(*Miscanthus*)^[1-2], 在中国天然分布于海南、福建、广东、广西、贵州、湖南、湖北、安徽、江西、浙江、江苏、台湾等地^[3]。五节芒是一种高光效 C₄ 植物, 其茎秆粗壮, 根系发达, 具有物质产量高和地上部分持绿的特性。由于分布广、抗逆性强、纤维素含量高以及重金属吸附能力

强, 五节芒被认为是目前具有开发潜力的能源牧草^[4]和生态修复植物^[5-6]。

前人对五节芒的研究多集中在营养体的热值和地上部分对重金属的吸附特性以及多倍体的诱导上^[7-10]。在遗传多样性方面, 刁英等^[11]利用 SRAP 和 ISSR 标记对武汉梁子岛上 4 个野生五节芒居群进行研究, 2 种标记的结果均表明, 五节芒遗传多

收稿日期: 2012-10-21

基金项目: 国家自然科学基金项目(30971832); 国家“863”计划项目(2011AA10020903)

作者简介: 肖亮(1979—), 男, 湖南津市人, 博士研究生, 主要从事芒属植物遗传育种研究, xiaoliang_1979@yahoo.cn; *通信作者, yizili889@163.com

多样性较高。薛德等^[12]对 53 份五节芒种质进行遗传多样性研究,结果同样显示五节芒种群内遗传多样性比较丰富。表型性状的变异是环境差异与遗传差异共同作用的结果,对表型性状进行研究能了解种群遗传变异的大小,了解生物适应和进化的方式、机制及影响因素^[13]。鉴于中国五节芒种质资源和遗传多样性都比较丰富的特点,笔者从中国五节芒分布较为普遍的 10 个省份采集来的 201 份五节芒种质资源中筛选出 117 份进行表型性状的遗传多样性研究,试图阐明不同来源的五节芒种质资源的基本表型性状的差异和变异特征,以期为中国五节芒遗传资源的开发和利用提供参考数据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试材料来自湖南农业大学芒属能源植物种质资源圃。该资源圃自 2006 年起在全国范围内收集包括五节芒在内的野生芒属植物种质资源。收集方法为:将野外采集回的根状茎修剪到大小一致后在温室内盆栽、越冬,并于翌年 4 月初齐茬刈割后在指定栽培小区内定植,以后逐年刈割。笔者选择在该资源圃中栽培期不小于 2 年且生长状态稳定的野生五节芒种质 117 份作为试验材料。试验材料来源于 10 个省份(表 1),每 1 个省份的材料视为 1 个群体。

表 1 参试五节芒种源部分信息

省份	县(市)数/个	材料数/个	占总数的比率/%
安徽	4	4	3.42
福建	15	18	15.38
广东	12	14	11.97
广西	5	9	7.70
贵州	2	4	3.42
湖北	5	5	4.27
湖南	25	45	38.46
江苏	4	5	4.27
江西	10	10	8.55
浙江	3	3	2.56

1.2 表型性状的测量与记录

每株随机选择 3 个开花生殖枝进行形态性状测量。测定项目包括:株高,即地面到花序顶部的距离;主茎长,即地面至倒一节(从地面往上数)的长

度;花颈长,即花序基部至倒一节的长度;叶片数,即待测生殖枝上所有叶片数目;最大叶片长,即最大叶片叶基部至叶尖的距离;最大叶片宽,即最大叶片最宽处两侧的距离;旗叶长,即旗叶基部至叶尖的距离;旗叶宽,即旗叶最宽处两侧的距离;主茎基部直径,第一节(从地面往上数)中部窄边的直径和宽边直径,取平均值;主茎顶部直径,即倒一节(从地面往上数)中部窄边的直径和宽边直径,取平均值;花序长,即花序基部至顶部的距离(不包括芒长);花序主轴长,即花序基部至花序最上部分枝处的距离。

以上测量的性状中,除基茎直径和顶茎直径用精确度为 0.01 mm 的游标卡尺测量外,其余均由精确度为 0.1 cm 卷尺或直尺测量。重复测量 3 次,结果取平均值。

1.3 数据分析与处理

利用 SPSS11.0 软件计算各性状的平均值、标准差和变异系数;对各表型性状进行巢式方差分析;利用主成分分析导致五节芒种群表型多样性的主要因素;利用 DPS6.50 软件进行 UPGMA 聚类分析。

2 结果与分析

2.1 供试材料的表型性状

笔者以省为单位群体进行五节芒的表型性状方差分析。由表 2 可以看出,与五节芒的茎秆、叶片和花序相关的 12 个表型性状在群体间均存在极

表 2 五节芒群体间和群体内表型性状的方差分析结果

性状	均方			F	
	群体间	群体内	机误	群体间	群体内
株高	21 084.50	2 042.21	657.18	10.05**	20.53**
主茎长	9 475.72	6 461.20	384.79	7.96**	19.14**
花颈长	9 693.85	1 269.36	219.94	4.72**	6.58**
叶片数	15.45	1 221.01	201.34	6.59**	6.06**
最大叶长	1 971.69	1 181.62	126.85	10.48**	9.32**
最大叶宽	1 971.69	203.70	9.77	10.48**	20.85**
旗叶长	267.79	341.15	41.49	2.80**	8.22**
旗叶宽	84.73	79.67	11.08	4.05**	7.19**
主茎基部直径	23.08	14.46	0.74	7.15**	19.53**
主茎顶部直径	16.06	699.98	708.04	8.92**	0.99
花序长	237.05	228.57	23.71	4.92**	9.64**
花序主轴长	221.98	45 591.43	45 142.88	5.87**	1.01

显著差异；在 12 个表型性状中除主茎顶部直径和花序主轴长在群体内差异不显著外，其余 10 个性状在群体内均表现差异极显著。由表 3 可知，株高、花颈长、主茎基部直径和主茎顶部直径等 4 个性状变化趋势大致相似，最小值均出现在浙江群体。株高最大值出现在广东群体，花颈长最大值出现在贵州群体，主茎基部直径和主茎顶部直径最大值均出现在江西群体。主茎长最大值出现在贵州群体，最小值出现在安徽群体。叶片数、最大叶长和最大叶

宽变化趋势大致相似，最大值均出现在安徽群体，最大叶宽的最小值出现在贵州群体，叶片数、最大叶长的最小值同时出现在福建群体。旗叶长和旗叶宽两个性状的变化趋势相同，最大值均出现在贵州群体，最小值均出现在浙江群体。花序长和花序主轴长的最小值均出现在江苏群体，花序长的最大值出现在贵州群体，花序主轴长的最大值出现在江西群体。

表 3 五节芒 10 个群体表型性状的平均值及标准差

Table 3 The mean value and standard deviation of phenotypic traits of 10 populations in *M. floridulus*

群体省份	株高/cm	主茎长/cm	花颈长/cm	叶片数/片	最大叶长/cm	最大叶宽/cm
安徽	(197.12±5.51)d	(73.80±7.03)c	(79.46±5.05)bcd	(8.17±1.54)d	(60.60±7.52)e	(15.35±1.65)e
福建	(309.13±41.16)a	(164.72±27.59)a	(93.46±17.85)ab	(12.93±1.80)a	(109.23±11.03)a	(29.86±5.96)abc
广东	(318.46±41.72)a	(168.72±29.22)a	(98.18±11.65)ab	(13.36±1.79)a	(103.68±14.99)a	(32.05±7.47)ab
广西	(278.54±36.88)ab	(151.24±28.93)ab	(88.01±18.58)abc	(11.93±1.55)ab	(93.67±12.25)abc	(32.70±5.35)ab
贵州	(311.92±29.10)a	(171.79±20.78)a	(101.71±3.66)a	(12.00±0.53)ab	(109.21±8.32)a	(36.99±6.96)a
湖北	(251.19±52.63)bc	(120.32±45.62)b	(85.85±10.67)abc	(10.83±2.01)bc	(87.16±24.40)bc	(23.16±6.77)cd
湖南	(290.95±40.05)ab	(167.64±32.60)a	(82.93±14.59)abcd	(12.19±1.00)ab	(100.78±11.41)ab	(30.72±4.74)abc
江苏	(216.47±69.50)cd	(114.39±55.53)b	(72.80±18.95)cd	(12.33±1.16)ab	(78.78±15.16)cd	(23.34±7.54)cd
江西	(290.33±39.20)ab	(160.60±31.72)a	(82.33±7.62)bcd	(11.53±1.09)abc	(105.63±13.11)a	(27.91±3.60)bc
浙江	(174.07±32.00)d	(75.58±21.73)c	(66.88±8.67)d	(10.00±2.88)c	(66.94±15.64)de	(19.75±5.32)de

群体省份	旗叶长/cm	旗叶宽/cm	主茎基部直径/mm	主茎顶部直径/mm	花序长/cm	花序轴长/cm
安徽	(19.42±1.70)ab	(6.75±1.48)bcd	(4.66±1.02)cd	(3.14±1.06)cd	(40.33±2.48)bc	(30.29±3.23)bc
福建	(27.65±10.61)ab	(10.12±4.56)abc	(7.93±2.10)ab	(5.47±1.20)ab	(50.02±6.04)a	(39.78±5.64)a
广东	(23.84±6.858)ab	(8.17±3.44)bcd	(8.50±1.69)a	(5.53±1.17)ab	(47.60±8.19)ab	(36.88±6.03)ab
广西	(22.94±9.15)ab	(8.49±2.92)abcd	(8.57±1.31)a	(5.81±1.14)ab	(48.31±8.16)ab	(39.30±5.96)a
贵州	(30.52±4.50)a	(15.11±1.27)a	(7.80±1.84)ab	(5.45±1.52)ab	(51.50±4.04)a	(41.33±2.80)a
湖北	(24.18±8.08)ab	(10.31±5.84)abc	(6.01±2.29)bc	(4.26±1.23)bc	(43.57±6.87)abc	(35.82±6.03)ab
湖南	(26.20±10.70)ab	(12.84±5.40)ab	(7.84±1.48)ab	(4.75±1.43)ab	(48.53±6.43)ab	(39.43±6.39)a
江苏	(15.43±10.87)bc	(6.51±4.88)cd	(4.82±2.02)d	(2.20±1.22)ab	(36.73±7.17)c	(27.60±6.88)c
江西	(25.50±11.34)ab	(11.51±3.05)abc	(8.58±0.81)a	(6.02±0.83)a	(50.71±2.96)a	(41.84±3.20)a
浙江	(7.10±0.51)c	(3.67±1.08)d	(3.33±1.64)d	(1.24±0.61)e	(37.33±4.77)c	(28.66±4.93)c

2.2 表型性状的变异分析

由表 4 可以看出，五节芒的 12 个表型性状在不同群体内个体之间存在一定的变异幅度，并且群体内各指标的变异幅度并不一致。在茎杆的表型性状中，花颈长在群体内的分化最小，平均变异系数为 14.03%，其次为株高和主茎长，其平均变异系数分别为 15.05% 和 22.92%，主茎基部直径和主茎顶部直径的变异最大，其变异系数分别为 28.45% 和 29.97%；在叶片的表型性状中，叶片数的变异程度

最小，其变异系数为 13.80%，旗叶长和旗叶宽的变异程度较大，其变异系数分别为 32.68% 和 38.73%；在花序的表型性状中，花序长的变异程度最小，其变异系数为 12.64%，花序主轴长的变异系数稍大，为 14.48%。

进一步比较可知，花序的变异程度小于叶片和茎杆的变异程度，这说明五节芒生殖器官性状比营养器官性状的变异程度小，即营养器官性状较生殖器官性状更易受环境的影响。

表4 五节芒10个群体表型性状的变异系数

Table 4 Variation coefficient of phenotypic traits of 10 populations in *M. floridulus*

群体 省份	变异系数/%											
	株高	主茎长	花颈长	叶片数	最大叶长	最大叶宽	旗叶长	旗叶宽	主茎基部直径	主茎顶部直径	花序长	花序主轴长
安徽	2.80	9.52	6.35	18.80	12.40	10.75	8.76	22.76	22.75	33.91	6.15	10.68
福建	13.32	16.75	19.09	13.92	10.10	19.95	38.36	47.40	27.87	22.03	12.07	14.17
广东	13.10	17.32	11.87	13.42	14.15	23.30	28.73	42.13	19.89	21.22	17.21	16.34
广西	13.24	19.13	21.11	12.98	13.07	16.34	39.90	35.61	15.79	19.55	16.90	15.16
贵州	9.33	12.10	3.60	4.39	7.62	18.82	14.73	9.19	25.78	27.84	7.85	6.78
湖北	20.95	37.92	12.43	18.57	27.99	29.24	33.41	56.60	38.15	28.97	15.76	16.84
湖南	13.77	19.45	17.59	8.24	11.32	15.43	40.84	44.25	19.94	30.09	13.24	16.20
江苏	32.11	48.54	26.03	9.43	19.25	32.33	70.41	73.43	55.43	53.02	18.61	23.78
江西	13.50	19.75	9.26	9.43	12.41	12.91	44.47	26.52	9.44	13.82	5.84	7.65
浙江	18.38	28.76	12.96	28.80	23.37	26.96	7.18	29.44	49.44	49.20	12.77	17.20
平均	15.05	22.92	14.03	13.80	15.17	20.60	32.68	38.73	28.45	29.97	12.64	14.48

2.3 表型性状的主成分分析

由表5和表6可以看出,前3个主成分的累积贡献率为87.75%,可以代表原始因子所代表的大部分信息。第1主成分贡献率为59.95%,作用力最大的性状是旗叶长,其次为旗叶宽、最大叶宽和最大叶长;第2主成分贡献率为18.46%,作用力最大的

性状是花颈长,其次为株高和主茎长;第3主成分的贡献率为9.34%,作用力最大的性状是花序主轴长和花序长。从各主成分所代表的形态特征来看,第1主成分主要反映了叶片的特征,第2主成分主要反映了茎杆的特征,第3主成分则主要反映了花序的特征。旗叶长、旗叶宽、最大叶长和最大叶宽是对主成分分析影响较大的因素,即叶片性状是造成五节芒表型多样性的主要因素,茎杆特征次之,花序特征对主成分分析影响最小。

表5 前3个主成分因子的载荷量

Table 5 Loadint value of the first three principal components

性状	载荷量		
	主成分1	主成分2	主成分3
株高	0.763	0.749	0.343
主茎长	0.843	-0.639	0.015
花颈长	0.148	0.856	0.341
叶片数	0.689	-0.237	-0.280
最大叶长	0.880	-0.012	0.408
最大叶宽	0.892	-0.397	0.325
旗叶长	0.949	0.141	0.081
旗叶宽	0.922	0.305	-0.336
主茎基部直径	0.599	-0.281	-0.142
主茎顶部直径	0.570	-0.291	0.234
花序长	0.853	0.136	-0.409
花序主轴长	0.822	0.074	-0.418

表6 前3个主成分因子的特征值和贡献率

Table 6 The eigenvalue and contribution rate of the first three principal components

主成分	特征值	贡献率/%	累积贡献率/%
1	7.194	59.95	59.95
2	2.216	18.46	78.41
3	1.121	9.34	87.75

2.4 不同群体的聚类分析

采用UPGMA方法对五节芒各群体进行聚类分析,结果见图1。10个群体大致可以分为3类,第1类包括湖南和江西2个群体,这一类群五节芒具有主茎粗壮、花序主轴长的特点,其主茎基部直径最大为8.58 mm,主茎顶部直径为6.02 mm,花序主轴长41.84 mm;第2类包括福建、广东、广西、湖北和贵州5个群体,这一类群五节芒具有株型高大、叶片宽大、花序长和叶片数较多的特点,其株高最大值达到318.46 cm,叶长最大值为109.23 mm,叶宽最大值为36.99 mm,花序最长值达51.50 mm,叶片数最大值为13.36片;第3类包括安徽、江苏和浙江3个群体,这一类群五节芒具有株型较为矮小,主茎较细,叶片数较少的特点,其株高最小值为174.07 cm,明显矮于其他群体,主茎基部直径最小值为3.33 mm,主茎顶部直径最小值为1.24 mm,叶片数的最小值为8.17片。

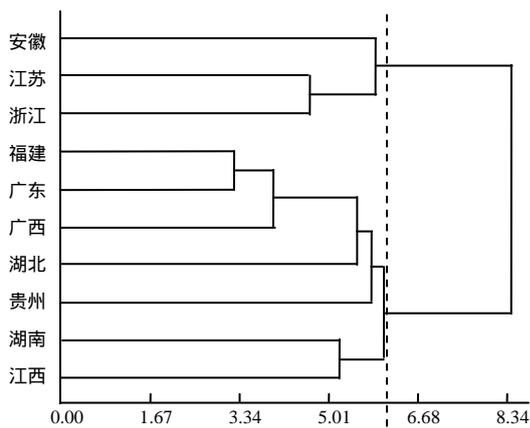


图1 10个五节芒群体的表型特征的UPGMA聚类结果

Fig.1 UPGMA cluster based on phenotypic traits of 10 *M. floridulus* populations

3 讨论

笔者对10个省份五节芒群体表型性状的研究发现,五节芒表型性状在群体间和群体内均存在丰富的变异。10个五节芒群体的茎秆、叶片和花序等12个表型性状的变异系数范围较大,为12.64%~38.73%,平均变异系数为21.54%,而且各性状除主茎顶部直径和花序主轴长在群体内差异不显著外,其他性状在群体间和群体内差异均达到极显著水平,表明五节芒种质资源遗传差异较大,遗传多样性较丰富,有利于育种材料的选择和种质资源改良。

笔者对五节芒表型性状的主成分和变异系数分析的结果都比较一致地反映了五节芒的营养体性状变异程度要明显大于其生殖性状的变异程度,推测可能是由于五节芒分布范围广、分布地的生态类型和局部气候条件比较复杂所造成,而为了适应不同的生态条件,在环境外压的长期选择下,五节芒个体逐渐发生了遗传上的变异,从而造成了种群内部丰富的遗传多样性。与营养体相比,五节芒的花序等生殖体的形态则相对稳定,不易发生变化,这一特性很好地保障了五节芒在系统分类上种属的稳定性。总之,五节芒在遗传上的多样性和资源上的丰富程度以及种属上的相对稳定性,为中国五节芒的良种选育及资源改良提供了良好的基础。

主成分分析结果表明,叶片性状是五节芒表型

性状主要差异的来源。五节芒的旗叶和最大叶片的变异系数和主成分因子载荷在所有研究的12个性状中都是最大或者居前列,说明五节芒是通过改变叶片性状来适应环境的。鉴于此,笔者认为,有关五节芒叶片的生理生化指标,尤其它的光合特性值得进一步研究。

参考文献:

- [1] Chen S L, Renvoize S A. Flora of China[M]. 北京: 科学出版社, 2006: 581-583.
- [2] 陈守良. 禾本科. 中国植物志[M]. 北京: 科学出版社, 1997: 4-26.
- [3] 傅晓平. 禾本科. 中国高等植物[M]. 青岛: 青岛出版社, 2009: 1085-1092.
- [4] 易自力. 芒属植物资源的开发与利用[J]. 湖南农业大学学报: 自然科学版, 2012, 38(5): 455-463.
- [5] 秦建桥, 夏北成, 赵鹏, 等. 五节芒(*Miscanthus floridulus*)不同种群对镉积累与转运的差异研究[J]. 农业环境科学学报, 2011, 30(1): 21-28.
- [6] 秦建桥, 夏北成, 赵鹏, 等. 镉在五节芒(*Miscanthus floridulus*)不同种群细胞中的分布及化学形态[J]. 生态环境学报, 2009, 18(3): 817-823.
- [7] 陈慧娟, 张卓文, 宁祖林, 等. 施肥对五节芒热值和表型性状的影响[J]. 草业科学, 2009, 28(6): 63-67.
- [8] 张崇邦, 王江, 王美丽. 尾矿砂堆积地五节芒自然定居对土壤微生物生物量、呼吸速率及酶活性的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15(2): 386-394.
- [9] 杨静丹, 陈友静, 张崇邦, 等. 五节芒定居对尾矿砂重金属形态与微生物的影响[J]. 生态学杂志, 2009, 28(5): 907-914.
- [10] 周玥玥, 陈智勇, 黄丽芳, 等. 五节芒离体再生与多倍体诱导技术体系的建立[J]. 湖南农业大学学报: 自然科学版, 2012, 38(5): 487-490.
- [11] 刁英, 胡小胡, 郑兴飞, 等. 利用SRAP和ISSR标记分析五节芒(*Miscanthus floridulus*)的遗传多样性[J]. 武汉大学学报, 2010, 56(5): 578-583.
- [12] 薛德, 肖亮, 艾辛, 等. 五节芒表型性状和SSR标记遗传多样性[J]. 草业学报, 2012, 21(5): 96-106.
- [13] 彭燕, 张新全, 曾兵. 野生鸭茅植物学形态特征变异研究[J]. 草业学报, 2007, 16(2): 69-75.

责任编辑: 罗 维

英文编辑: 罗 维