

三倍体芒草自然杂交后代数量性状遗传多样性研究

潘志军¹, 易自力^{1,2}, 杨 塞¹, 肖 亮²

(¹湖南农业大学生物科学技术学院, 长沙 410128; ²湖南农业大学芒属植物生态应用技术湖南省工程实验室, 长沙 410128)

摘要:以三倍体芒草奇岗的自然杂交后代为研究对象, 对后代群体的 16 个数量性状分别进行变异分析、主成分分析和聚类分析。研究结果表明: (1) 该杂交群体的变异系数在 14.41% ~ 151.85% 之间, 平均变异系数为 51.22%, 说明杂交后代变异广泛。 (2) 主成分分析结果表明, 前 4 个主成分反映原变量的 80.206% 的信息。第 1 主成分贡献率为 48.74%, 较大载荷性状有分蘖数、丛径、基部周长、单株鲜重和单株干重; 第 2 主成分贡献率为 16.313%, 较大载荷性状有外径、内径、单茎干重、单茎鲜重和含水量; 第 3 主成分贡献率为 7.775%, 仅有腋芽数一个较大载荷性状; 第 4 主成分贡献率为 7.378%, 仅叶片数一个较大载荷。 (3) 聚类分析结果表明, 将 66 份奇岗自然杂交后代和 6 份母本奇岗种质分为 4 大类。第 I 类材料因本身各性状不足, 产量很低, 不适合筛选高产种质; 第 II 类材料各性状变异系数普遍较小, 性状稳定, 适合作为育种的备选类群; 第 III 类材料因枯黄较少, 更适合做发酵类能源草或青贮牧草; 第 IV 类材料生物产量因子及其产量构成因子都明显优于母本, 是较好的育种材料。以上研究结果对筛选芒属植物优良种质、创新芒属植物种质资源有积极意义, 并为芒属植物多倍体育种提供理论依据和材料基础。

关键词: 奇岗; 主成分分析; 聚类分析; 遗传多样性; 多倍体育种

Study on Genetic Diversity of Quantitative Traits in the Natural Hybrid Progeny of Triploid *Miscanthus*

PAN Zhi-jun¹, YI Zi-li^{1,2}, YANG Sai¹, XIAO Liang²

(¹ College of Bioscience and Biotechnology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128;

² Hunan Engineering Laboratory for Ecological Applications of *Miscanthus* Resource, Changsha 410128)

Abstract: In the present work, 16 quantitative traits of natural triploid hybrid *Miscanthus* × *giganteus* J. M. Greef & Deuter were analyzed using the method of variation analysis, principal component analysis and cluster analysis. The results showed that: (1) Their variation coefficients ranged from 14.41% to 151.85% with the means of 51.22%, which indicated that the variation of crossbreed was wide. (2) The principal component analysis results showed that the first four principal components could reflect 80.206% of the original variable information. The contribution rate of the first principal component was 48.74%, which was mainly contributed by the traits of tiller number per plant, cluster diameter, transect circumference, fresh weight per plant, and dry weight per plant; the second principal component contribution rate was 16.313%, which was mainly contributed by the traits of outside diameter, inside diameter, dry weight per stem, fresh weight per stem and moisture content; the third and fourth principal component contribution rate was 7.775% and 7.378%, which was mainly composed by the trait of nodal bud number per stem, and the leaf number per stem respectively. (3) The cluster analysis results showed that 66 natural hy-

收稿日期: 2017-01-03 修回日期: 2017-03-23 网络出版日期: 2017-04-18

URL: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.4996.S.20170418.0913.002.html>

基金项目: 湖南农业大学作物种质创新与利用重点实验室开放课题(15KFXM02); 湖南省教育厅一般项目(15C0667)

第一作者研究方向为遗传育种。E-mail: 674588437@qq.com

通信作者: 肖亮, 研究方向为能源植物资源开发。E-mail: xiaoliang@hunau.edu.cn

brid progeny and 6 female parent of *Miscanthus × giganteus* J. M. Greef & Deuter germplasm were divided into 4 groups. The first group was composed by the material with low biomass yield. The materials in the second group were suitable for breeding because the variation coefficient of all their traits was generally small and stable. The materials in the third group were characterized to keep evergreen and then were identified to be suitable for biogas fermentation or silage grass. The traits of yield and yield components of the materials belonged to the fourth group were obviously superior to the female parent, indicating that they were good breeding materials. These above provided theoretical and material basis for screening and evaluating miscanthus germplasm and miscanthus breeding.

Key words: *Miscanthus × giganteus* J. M. Greef & Deuter; principal component analysis; cluster analysis; genetic diversity; polyploid breeding

奇岗 (*Miscanthus × giganteus* J. M. Greef & Deuter) 是芒属 (*Miscanthus* Anderss.) 的一个自然杂交种, 原产日本, 其来源为四倍体的荻 (*M. sacchariflorus* (Maxim.) Hackel) 和二倍体的芒 (*M. sinensis* Anderss.) 天然杂交形成的异源三倍体^[1-3], 具有自交不亲和特性。奇岗与其他芒属植物一样, 都是 C4 植物, 具有很强的光合效率, 对水分和养分利用效率高^[3]; 其干物质产量高 ($25 \sim 30 \text{ t/hm}^2$)^[3]、纤维品质好 (纤维素含量 $68\% \sim 70\%$)^[1]、灰分含量低 (约 3%)^[4], 而且耐盐碱、耐低温、生物入侵性低、易于根除、种植成本低、生态效益高, 定植后可以连续收获 $20 \sim 30$ 年^[5-6]。因此, 奇岗一直被欧美国家作为能源植物中的模式植物进行研究^[3,7]。

据报道, 英国、荷兰、德国、丹麦、波兰、俄罗斯、美国北部寒带地区、加拿大等国家均有规模化种植奇岗, 即使在 52°N , 其干物质产量也超过 20 t/hm^2 ^[7]。鉴于奇岗的知名度, 在形态学、作物栽培^[8]、抗逆性调节机制^[9]、生物质产量及成分分析^[6,10]、活性炭和可持续燃料^[11]、重金属吸附^[12]、环保板材、生态风险评价及细胞遗传学^[1,13] 等多个领域均有研究。

由于奇岗是天然三倍体, 对其进行种质资源的改良和再创制成了难题。体细胞变异和染色体加倍技术收效甚微。有性杂交是创制变异群体的传统方法, 本研究对 66 份奇岗自然杂交后代及占份亲本的 16 个主要农艺性状, 利用主成分分析和聚类分析的方法进行遗传多样性分析, 不仅在奇岗自然杂交后代中收集和挖掘优异种质资源具有重要意义, 也为芒属遗传育种提供理论依据和种质基础。

1 材料与方法

1.1 材料

供试材料是湖南农业大学芒属植物资源圃的三倍体芒草奇岗。2012 年 10 月在开放授粉条件

下收集其花穗若干, 晾干, 低温条件下储存。2013 年 4 月采用人工剥取种子的方法, 共收获子粒饱满的种子 121 粒, 2013 年 5 月播种于穴盘中, 获得 108 株生长良好的实生苗, 中间刈割一次, 12 月移至温室中越冬。2014 年 6 月将温室越冬存活的 97 株穴盘苗移栽至试验大田, 随机排列, 每株占地面积 4 m^2 ($2 \text{ m} \times 2 \text{ m}$), 定植大田的第 1 年适当施肥, 以后不再施肥。经统计, 2015 年和 2016 年存活奇岗的杂交后代 66 株, 以及母本 6 株, 材料编号 1 ~ 72 号。

1.2 试验方法

1.2.1 性状编号、测量及记录 本试验选取了 16 个具有代表性的性状 (数值型性状): (1) 叶片数 (LNPS, leaf number per stem): 记录收割时单秆叶片的总数量; (2) 腋芽数 (LBNPS, nodal bud number per stem): 记录单秆每个节间之间是否具有腋芽及腋芽个数; (3) 分蘖数 (TNPP, tiller number per plant): 记录离地面 10 cm 处所有的分枝数; (4) 花茎高 (FSH, flowering stems height): 从单株中选取较高的 3 根单秆测量地面至圆锥花序茎节的高度; (5) 花序长 (PL, panicle length): 从穗颈到顶端的长度; (6) 外径 (OD, outside diameter): 选取 3 根具有代表性单秆, 在离地面 5 cm 处用游标卡尺测量其外部最宽直径和最窄直径; (7) 内径 (ID, inside diameter): 在测量外径处, 用游标卡尺测量茎秆内部最宽直径和最窄直径; 若存在髓部, 记为“0”; (8) 叶长 (LL, leaf length): 沿着最大叶中央的叶脉测量叶舌至叶尖的长度; (9) 叶宽 (LW, leaf width): 垂直最大叶中央的叶脉测量叶长度一半处的宽度; (10) 丛径 (CD, cluster diameter): 用钢尺呈米字型通过同一个中心点测量 3 次, 求平均值; (11) 基部周长 (BC, transect circumference): 记录皮尺在离地面 5 cm 处, 水平环绕单株一周的数值; (12) 单秆鲜重 (FWPS, fresh weight per stem): 当年的 11 月份选取具有代表性的 3 根单

秆,收割离地面 5 cm 以上部分进行称量;(13)单秆干重(DWPS,dry weight per stem):将收割的 3 根单秆在 105 ℃杀青 30 min 后,在 80 ℃烘干至恒重;(14)单株鲜重(FWP,fresh weight per plant):收割整株离地面 5 cm 以上部分进行称量;(15)单株干重(DWP,dry weight per plant):根据单秆的平均含水量进行换算求得重量;(16)含水量(MC,moisture content):将材料置于 105 ℃杀青 30 min 后,在 80 ℃烘干至恒重计算其含水量。

1.2.2 统计分析 采用 Excel 软件计算各性状指标的最小值、最大值、极差、平均值、标准差和变异系数。数据初步处理之后利用 SPSS 19.0 软件进行聚类分析和主成分分析。

表 1 奇岗杂交后代性状的统计与分析

Table 1 The statistics and analysis for the traits of *Miscanthus* × *giganteus* J. M. Greef & Deuter natural hybrid progeny

性状 Trait	最小值 Min.	最大值 Max.	极差 Range	平均值 Mean	标准差 SD	变异系数(%) CV
花茎长(cm) FSH	42.97	252.47	209.50	161.98	55.24	34.11
花序长(cm) PL	4.83	42.40	37.57	27.70	7.47	26.97
叶片数(cm) LNPS	7.33	48.00	40.67	13.26	7.13	53.76
外径(mm) OD	2.34	7.38	5.03	4.95	1.09	21.96
内径(mm) ID	0.00	4.91	4.91	2.37	0.98	41.39
腋芽数 LBNPS	0.00	15.33	15.33	2.29	3.48	151.85
单秆鲜重(g) FWPS	6.30	90.80	84.50	33.34	17.56	52.65
单秆干重(g) DWPS	3.43	43.27	39.83	14.42	7.88	54.64
含水量(%) MC	26.95	79.49	52.54	55.90	8.05	14.41
叶长(cm) LL	28.30	102.30	74.00	65.45	18.42	28.14
叶宽(cm) LW	0.50	2.70	2.20	1.62	0.44	27.39
分蘖数 TNPP	10.00	329.00	319.00	107.82	73.31	68.00
丛径(cm) CD	7.53	57.03	49.50	32.68	10.88	33.28
基部周长(cm) BC	23.70	184.20	160.50	105.11	35.45	33.73
单株鲜重(kg) FWPP	0.13	8.17	8.04	1.85	1.65	89.45
单株干重(kg) DWPP	0.05	3.41	3.35	0.80	0.70	87.73

2.2 主成分分析

对供试材料的 16 个性状采用 SPSS 19 软件进行主成分分析^[14],结果表明(表 2),本研究前 4 个主成分累计贡献率达到 80.206%,符合累计贡献率不小于 75%^[15]的主成分分析基本原则。

第 1 主成分可以命名为产量性状,其独立贡献率最大,为 48.740%。第 1 主成分中,载荷较大的性状有 5 个:分蘖数(0.883)、丛径(0.826)、基部周长(0.744)、单株鲜重(0.880)和单株干重(0.877)。

2 结果与分析

2.1 数量性状变异分析

表 1 结果显示,本研究统计的 16 项指标的变异系数在 14.41% ~ 151.85% 之间,平均变异系数为 51.22%,其中含水量的变异系数最小为 14.41%,说明含水量相对稳定;腋芽数的变异系数最大,为 151.85%,说明腋芽性状差异性明显。有 7 个性状的变异系数超过 50%,分别是叶片数(53.76%)、腋芽数(151.85%)、分蘖数(68%)、单秆鲜重(52.65%)、单秆干重(54.64%)、单株鲜重(89.45%)、单株干重(87.73%),说明奇岗后代材料在上述性状上存在丰富的变异。

第 2 主成分可以命名为茎秆性状,其贡献率次之,为 16.313%。载荷较大的性状有 5 个:外径(0.901)、内径(0.790)、单茎干重(0.811)、单茎鲜重(0.801)和含水量(0.828)。第 3 主成分可以命名为腋芽性状,独立贡献率为 7.775%,仅有腋芽数(0.755)这一个性状的载荷较大。第 4 主成分可以命名为叶片性状,独立贡献率为 7.378%,仅叶片数(0.932)这一个性状的载荷较大。

表 2 16 个性状因子的载荷矩阵

Table 2 Matrix about the factor of 16 traits

性状 Trait	主成分 Main components			
	1	2	3	4
花茎长 FSH	0.552	0.633	-0.267	-0.251
花序长 PL	0.412	0.532	0.287	-0.503
叶片数 LNPSL	-0.132	0.057	0.055	0.932
外径 OD	0.109	0.901	0.077	-0.002
内径 ID	0.043	0.790	0.151	-0.123
腋芽数 LBNPS	-0.072	0.193	0.755	-0.347
单茎鲜重 FWPS	0.402	0.811	0.243	0.146
单茎干重 DWPS	0.377	0.801	0.326	-0.063
含水量 MC	0.101	0.828	-0.192	0.090
叶长 LL	0.516	0.664	-0.179	0.147
叶宽 LW	0.442	0.599	-0.131	0.221
分蘖数 TNPP	0.883	-0.176	-0.163	0.122
丛径 CD	0.826	0.362	-0.077	-0.032
基部周长 BC	0.744	0.392	-0.036	-0.084
单株鲜重 FWPP	0.880	0.335	-0.027	0.080
单株干重 DWPP	0.877	0.343	0.007	-0.020
特征值 Characteristic value	7.798	2.610	1.244	1.181
贡献率(%) Contribution	48.740	16.313	7.775	7.378
累计贡献率(%) Cumulative contribution	48.740	65.053	72.828	80.206

表 3 72 份材料聚类分析结果

Table 3 The cluster analysis results of 72 materials

性状 Trait	参数 Parameter	类群 Group			
		I	II	III	IV
花茎长 (cm) FSH	平均值 Mean	129.78	241.52	177.89	206.99
	变异系数(%) CV	36	3	18	16
	极差 Range	42.97 ~ 215.53	226.50 ~ 252.47	122.27 ~ 230.37	187.87 ~ 244.87
花序长 (cm) PL	平均值 Mean	24.45	35.59	29.26	32.53
	变异系数(%) CV	30	12	19	21
	极差 Range	4.83 ~ 32.80	29.30 ~ 40.73	21.37 ~ 42.40	26.63 ~ 39.90
叶片数 LNPS	平均值 Mean	15.32	12.77	10.27	10.00
	变异系数(%) CV	58	44	15	3
	极差 Range	8.00 ~ 48.00	9.33 ~ 28.67	7.33 ~ 13.33	9.67 ~ 10.33
外径 (mm) OD	平均值 Mean	4.79	6.08	4.69	5.60
	变异系数(%) CV	24	12	16	14
	极差 Range	2.34 ~ 6.73	5.04 ~ 7.38	3.23 ~ 5.90	4.69 ~ 6.20
内径 (mm) ID	平均值 Mean	2.08	3.40	2.39	2.25
	变异系数(%) CV	53	19	26	9
	极差 Range	0 ~ 4.55	2.67 ~ 4.91	1.27 ~ 3.83	2.10 ~ 2.48
叶芽数 LBNPS	平均值 Mean	2.93	3.73	0.73	0.44
	变异系数(%) CV	140	71	263	173
	极差 Range	0.00 ~ 15.33	0.00 ~ 8.00	0.00 ~ 8.67	0.00 ~ 1.33
单秆鲜重 (g) FWPS	平均值 Mean	28.87	51.09	31.89	49.29
	变异系数(%) CV	56	31	42	51
	极差 Range	6.30 ~ 64.71	35.56 ~ 90.80	14.40 ~ 64.23	24.63 ~ 74.80
单秆干重 (g) DWPS	平均值 Mean	12.61	23.03	13.08	21.39
	变异系数(%) CV	56	33	45	47
	极差 Range	3.43 ~ 32.77	16.43 ~ 43.27	5.20 ~ 27.35	10.97 ~ 31.00

2.3 聚类分析

对 72 份种质材料的 16 个性状进行聚类分析^[14,16-18],当遗传距离为 14 时,可以将 66 份奇岗自然杂交后代和 6 份母本奇岗种质分为 4 个类群(表 3、图 1)。

第 I 类群聚集有 38 份材料。该类群材料的特点是花序短小、茎秆细而轻,而且分蘖数、基盘、丛径等产量因子都小于其他 3 类,单株的重量也明显小于其他类别。尽管该类群材料的多个性状的变异系数较大,但由于其性状本身的不足,因此,就育种的角度讲,该类群材料不适合作为筛选高产种质对象。

第 II 类群聚集了 10 份材料,其中包含 6 份母本奇岗。该类群材料的特点是茎秆粗壮、基盘大、含水量较低、单株生物量大,而且该类群变异系数普遍较小,各性状表现较为稳定,是作为育种材料的备选类群。

第 III 类群聚集了 21 份材料。该类群突出表现是含水量的平均值和变异系数在 4 类中最大。由于该类材料收割时,部分材料还未完全枯黄,特别是 24 号、47 号、61 号材料基本不枯黄,因此,该类材料更适合做发酵类能源草或者青贮牧草。

表 3(续)

性状 Trait	参数 Parameter	类群 Group			
		I	II	III	IV
含水量(%)	平均值 Mean	54.80	54.87	58.39	56.00
MC	变异系数(%) CV	17	6	13	4
	极差 Range	26.95 ~ 79.49	49.38 ~ 59.01	47.65 ~ 73.23	53.97 ~ 58.33
叶长(cm)	平均值 Mean	57.66	80.04	69.80	95.70
LL	变异系数(%) CV	28	12	23	9
	极差 Range	28.30 ~ 97.50	68.50 ~ 94.50	42.50 ~ 91.50	86.40 ~ 102.30
叶宽(cm)	平均值 Mean	1.47	1.94	1.72	1.80
LW	变异系数(%) CV	28	20	22	33
	极差 Range	0.50 ~ 2.40	1.20 ~ 2.60	0.90 ~ 2.70	1.20 ~ 2.40
分蘖数	平均值 Mean	60.24	88.90	176.48	305.67
TNPP	变异系数(%) CV	51	27	23	7
	极差 Range	10.00 ~ 127.00	58.00 ~ 142.00	126.00 ~ 254.00	284.00 ~ 329.00
丛径(cm)	平均值 Mean	25.76	43.12	38.96	45.08
CD	变异系数(%) CV	30	18	19	12
	极差 Range	7.53 ~ 38.23	33.07 ~ 55.50	27.27 ~ 57.03	39.27 ~ 49.27
基部周长(cm)	平均值 Mean	82.99	146.27	121.82	140.03
BC	变异系数(%) CV	31	16	20	18
	极差 Range	23.70 ~ 139.70	104.20 ~ 180.90	77.80 ~ 184.20	111.90 ~ 156.80
单株鲜重(kg)	平均值 Mean	0.82	3.04	2.68	5.46
FWPP	变异系数(%) CV	67	37	56	52
	极差 Range	0.13 ~ 2.33	1.67 ~ 4.97	0.59 ~ 6.37	2.52 ~ 8.17
单株干重(kg)	平均值 Mean	0.37	1.35	1.12	2.38
DWPP	变异系数(%) CV	68	33	56	49
	极差 Range	0.05 ~ 1.13	0.82 ~ 2.10	0.21 ~ 2.37	1.12 ~ 3.41

第IV类群聚集了2号、6号和17号3份材料。其特点是干物质产量、分蘖数和丛径等重要农艺性状指标在4个类群中都是最大的。因此,这一类群的3份材料属于奇岗后代群体中具有明显优势的材料,而且其生物量和其他产量构成因子都明显优于母本。

3 讨论

自然界中多倍体是普遍存在的现象,禾本科植物中有3/4属于多倍体^[19]。多倍体具有代谢活动加强、生命力增强、器官加大的优点,如:花、果实、气孔增大和茎秆变粗等;多倍体增加变异性,使机体可塑性增强,更易于适应环境的变化;奇岗作为典型的异源三倍体材料,就具有上述特点。奇岗虽然起源于日本东京附近,但由于其优良的生物学特性,随后被引种到世界各地。就目前来说欧洲中南部、东亚和北美都有奇岗的种植,适应性十分广泛,跨度有20°~52°N、0°~45°E和90°~150°E、0°~105°W,奇岗的可适种植范围目前还没有统一的定论。奇岗继承了双亲优势,抗性增强,但作为异源三倍体,染色体配对随机,可以产生多种基因型,因此后代的基因型和倍性理论上是不确定性的。

表型性状是植物基因型和所处生态环境条件共

同作用的结果^[20],表型性状变异往往具有适应和进化上的意义^[21],其变异通常是遗传变异的重要线索,也是遗传多样性研究的重要内容,特别是当研究的种质资源数量较大时,从形态学或表型性状来检测植物遗传变异是最简便和直接的,因此在很多作物上得到利用^[22-24]。本研究选取16个农艺性状,对66份奇岗自然杂交后代和6份母本种质进行统计分析,结果表明,杂交后代存在显著差异性和不同程度的变异性,其变异系数范围为14.41%~151.85%,说明该群体材料为芒草的倍性育种提供了参考。奇岗后代变异广泛与异源多倍体染色体随机分离的规律相吻合^[20]。

奇岗育种方面在国内外还未见报道,普遍认为奇数倍的异源多倍体中部分染色体成单存在,减数分裂时无同源染色体与之配对,这些染色体只能随机分配到子细胞中去,配子中这些染色体的数目和组成成分不均衡,从而导致配子不育^[20]。目前对奇岗的研究都集中于其生理生化和抗逆性方面,但是奇数倍的异源染色体的育性与单价体的数量呈负相关性,并非绝对不育^[20]。多倍体育种在其他植物中已经得到应用,如异源三倍体百合可产生可育的非整倍体和整倍体(X,2X,3X)配子^[25],可产生大量倍

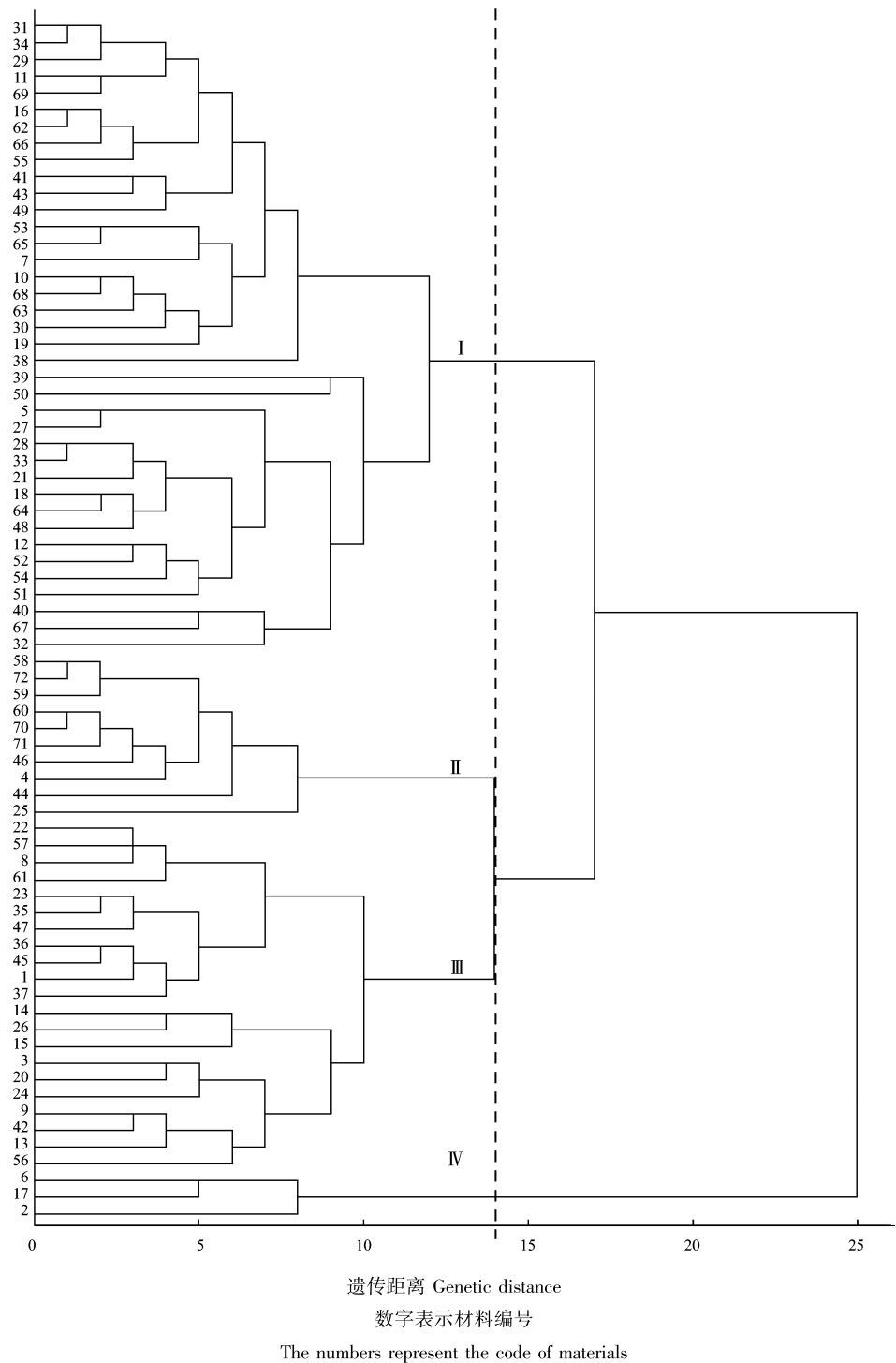


图1 奇岗自然杂交后代种质资源的聚类树状图

Fig.1 Cluster tree of germplasm resources of *Miscanthus × giganteus* J. M. Greef & Deuter natural hybrid progeny

性不一的后代个体;将异源三倍体作为百合理想的育种材料可用于杂交育种。异源三倍体玉米与二倍体正反交也有结实现象^[26],异源三倍体育种在结球甘蓝、香蕉、落花生属、小麦属和大麦属^[26]中也有应用并成功获得后代。奇岗作为异源三倍体材料,理论上同样是因染色体严格配对和染色体减数不均衡分裂使得高度不育,但是奇数倍异源染色体的育性

与单价体数量有关系,并不是所有异源三倍体不育,在减数分裂时依旧有概率产生可育的花粉和花粉母细胞。本研究中,就表型性状而言,三倍体奇岗的后代出现了大量的变异,并从中筛选出了农艺性状优异的奇岗的单株,这在芒草育种领域具有积极的意义。

4 结论

奇岗是天然三倍体,奇岗自然结实的现象在国际上尚属首次报道。本文对奇岗后代数量性状进行了遗传多样性分析,发现后代群体出现广泛变异,说明奇岗具有潜在的育种价值。从奇岗后代中筛选出的 3 份材料,其生物量和产量构成因子都明显优于亲本,这进一步证明了以上推断。

参考文献

- [1] 席庆国,洪浩. 外来植物奇岗的生物学特征[J]. 草业科学, 2008,25(2):26-28
- [2] Greef J, Deuter M. Syntaxonomy of *Miscanthus × giganteus* Greef et Deu[J]. Angew Bot, 1993,67(3-4):87-90
- [3] Heaton E, Long P, Voigt B, et al. *Miscanthus* for renewable energy generation: European union experience and projections for illinois [J]. Mit Adap Strat Glob Chan, 2004,9(4):433-451
- [4] Xi Q. Investigation on the distribution and potential of giant grasses in China: *Triarrhena*, *Miscanthus*, *Arundo*, *Phragmites* and *Neyraudia* [M]. Gottingen: Cuvil Verlag, 2000:143-144
- [5] Kolodziej B, Antonkiewicz J, Sugier D. *Miscanthus × giganteus* as a biomass feedstock grown on municipal sewage sludge[J]. Indust Crop Prod, 2016,81:72-82
- [6] Christian D, Riche B, Yates N E. Growth, yield and mineral content of *Miscanthus × giganteus* grown as a biofuel for 14 successive harvests[J]. Indust Crop Prod, 2008,28(3):320-327
- [7] Chung J, Kim S. *Miscanthus* as a potential bioenergy crop in East Asia[J]. J Crop Sci Biotechnol, 2012,15(2):65-77
- [8] Richard J. Effects of rhizome size, depth of planting and cold storage on *Miscanthus × giganteus* establishment in the Midwestern USA[J]. Biomass Bioenerg, 2010,34(10):1466-1470
- [9] Naidu S. Potential mechanisms of low-temperature tolerance of C4 photosynthesis in *Miscanthus × giganteus*: an *in vivo* analysis[J]. Planta, 2004,220(1):145-155
- [10] Parveen I, Threadgill M, Hauck B, et al. Isolation, identification and quantitation of hydroxycinnamic acid conjugates, potential platform chemicals, in the leaves and stems of *Miscanthus × giganteus* using LC-ESI-MSn [J]. Phytochemistry, 2011, 72(18):2376-2384
- [11] Michel R, Mischler N, Azambre B, et al. *Miscanthus × giganteus* straw and pellets as sustainable fuels and raw material for activated carbon[J]. Envir on Chem Lett, 2006,4(4):185-189
- [12] Ollivier J, Wanat N, Austruy A, et al. Abundance and diversity of ammonia-oxidizing prokaryotes in the root-rhizosphere complex of *Miscanthus × giganteus* grown in heavy metal-contaminated soils [J]. Microb Ecol, 2012,64(4):1038-1046
- [13] Linde-Laursen I. Cytogenetic analysis of *Miscanthus ‘Giganteus’*, an interspecific hybrid[J]. Hereditas, 1993,119(3):297-300
- [14] 公丽艳, 孟宪军, 刘乃侨, 等. 基于主成分与聚类分析的苹果加工品质评价[J]. 农业工程学报, 2014,30(13):276-285
- [15] 曹荷艳, 管洁, 徐顺超, 等. 不同种系百合品种表型性状分类研究[C]// 中国观赏园艺研究进展 2013. 北京: 中国园艺学会, 2013:66-73
- [16] 惠璇. 应用多元统计分析[M]. 北京: 北京大学出版社, 2005:228-237
- [17] 郁永明, 李鲁峰, 俞信英, 等. 浙江省沿海地区南瓜地方品种的表型遗传多样性[J]. 植物遗传资源学报, 2014,15(4):906-911
- [18] 范李萍, 吴鹏昊, 王莉萍, 等. 基于遗传和表型特征的海岛棉遗传多样性分析[J]. 植物遗传资源学报, 2016,17(2):197-208
- [19] 李国珍. 染色体及其研究方法[M], 1 版. 北京: 科学出版社, 1985:108-129
- [20] 杨业华. 普通遗传学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000:178-180
- [21] Bacilieri R, Ducousso A, Kremer A. Genetic, morphological, ecological and phenological differentiation between *Quercus petraea* (Matt.) Liebl. and *Quercus robur* L. in a mixed stand of north-west of France[J]. Silvae Genetica, 1995,44(1):1-9
- [22] 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
- [23] 蒋会兵, 宋维希, 矣兵, 等. 云南茶树种质资源的表型遗传多样性[J]. 作物学报, 2013,39(11):2000-2008
- [24] 尚建立, 王吉明, 郭琳琳, 等. 西瓜种质资源主要植物学性状的遗传多样性及相关性分析[J]. 植物遗传资源学报, 2012,13(1):11-15
- [25] 房磊, 杨斌, 张伟娜, 等. 异源三倍体为父本的百合杂交后代倍性调查及 FISH 分析[J]. 分子植物育种, 2014,12(1):138-143
- [26] 吕桂华, 唐祈林, 郭国锦, 等. 玉米 (*Zea mays*) × 四倍体多年生玉米 (*Zea perennis*) 可育三倍体形态学和细胞遗传学研究[J]. 植物遗传资源学报, 2015,16(6):1152-1156

欢迎订阅 2018 年《上海农业学报》

《上海农业学报》由上海市农业委员会主管、上海市农业科学院和上海市农学会主办, 目前被万方知网、万方、维普等数据库全文收录, 为 CSCD 来源期刊、“2008 版、2011 版全国中文核心期刊”、“中国科技核心期刊”和“中国农业核心期刊”。

本刊主要刊载农业各学科偏重应用或与应用联系较紧密的未曾发表过的研究论文、简报和综述, 内容涉及遗传育种与分子生物学、作物栽培与生理生化、植物保护与资源环境、畜牧与兽医、园林与园艺、质量安全、农业经济管理与农业信息技术等。读者对象为相关专业的研究人员、技术人员和农业院校师生。

月刊, 每期定价 10 元, 全年 60 元。全国各地邮局均可订阅, 邮发代号: 4-523, 国内统一刊号: CN 31-1405/S, 国际标准刊号: ISSN 1000-3924, 也可直接向编辑部订购。

地址: 上海市奉贤区金齐路 1000 号, 上海市农业科学院信息所(3 号楼 314 室)

邮编: 201403

电话: 021-52235461; 021-62202980

传真: 021-62206698

网址: www.nyx.sh.cn

E-mail: xx6@saas.sh.cn