

柱花草种质植物学特征比较分析

唐燕琼^{1,2} 李瑞梅¹ 符少萍¹ 郭建春^{1*}

(1. 中国热带农业科学院 热带生物技术研究所 海南 海口 571101; 2. 海南大学 农学院 海南 儋州 571737)

摘要:为利用植物形态学研究柱花草种质资源的遗传多样性,筛选优良柱花草种质,笔者对48份柱花草种质的植物学特征进行了观测比较并进行了聚类分析。结果表明48份种质(品种)中有3份是半灌木,2份种质属二年生草本,其余42份属多年生草本植物;绝大多数(35份)种质茎的生长习性是直立型或斜升型,只有5种是匍匐型;只有1份为白花,其它47份种质为深浅不同的黄色花。柱花草的植物学特征存在广泛变异,其变异系数由大到小依次为:自然株高(24.63%)、绝对株高(22.29%)、长/宽(16.00%)、叶宽(15.66%)、叶长(12.92%)、种子千粒重(12.22%)。对于48份种质从13个植物学特性指标进行聚类分析,将48份种质分为两大类:圭亚那种柱花草种和非圭亚那种柱花草种。

关键词:柱花草;种质;形态特征

中图分类号:S541+.9 文献标志码:A 文章编号:1000-2286(2011)04-0629-07

Variations of Botanical Morphological Characteristics of *Stylosanthes* Germplasms

TANG Yan-qiong^{1,2}, LI Rui-mei¹, FU Shao-ping¹, GUO Jian-chun^{1*}

(1. Institute of Tropical Biosciences and Biotechnology, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Haikou 571101, China; 2. College of Agriculture of Hainan University, Danzhou 571737, China)

Abstract: To study the genetic diversity of *Stylosanthes* germplasms by plant morphology and select fine germplasm, morphological characteristics of 48 *Stylosanthes* germplasms were observed and clustering analysis was conducted. The results indicated that, of all the 48 germplasms, 3 were subshrub, 2 were biennial herbs, and the others were perennial herbs. The types of stem growth of most germplasms (35) were erective or slanting, 5 were procumbent or spreading. Only 1 had white flowers, the other 47 had yellow flowers of different shades. Abundant morphological variation existed in *Stylosanthes*. Their coefficients of variation were ranked as follows: natural stem length (24.63%), absolute stem length (22.29%), length/width (16.00%), leaf width (15.66%), leaf length (12.92%), 1 000-seed weight (12.22%). Based on 13 morphological characteristics, the germplasms of *Stylosanthes* were clustered into two morphological types, *S. guianensis* and out of *S. guianensis*.

Key words: *Stylosanthes*; germplasm; morphological characteristics; Corresponding author

柱花草 (*Stylosanthes guianensis* (Aubl) Sw) 是豆科 (Leguminosae) 柱花草属 (*Stylosanthes* SW.) 植物, 也被称作笔花豆、巴西苜蓿, 或热带苜蓿, 其起源中心地位于巴西和哥伦比亚^[1]。柱花草具有适应性广、耐酸瘠土、抗病性强、耐旱、饲草产量及营养价值高等特点, 是优良的热带豆科牧草, 可用于生产动物

收稿日期:2011-04-20 修回日期:2011-06-10

基金项目:国家“973”计划项目(2007CB108903) 和国家牧草产业技术体系建设专项资金

作者简介:唐燕琼(1968—),女,副教授,博士,主要从事植物种质资源评价与创新研究,E-mail:tyq68@126.com;*

通讯作者:郭建春,研究员,博士,E-mail:jianchunguo@163.com。

青饲料、草粉、放牧;可作水土保持、果园覆盖和绿肥作物等^[2]。全世界柱花草约有50种,在热带豆科牧草生产中占有重要地位,绝大部分分布在南美洲,极少部分在北美洲、非洲及东南亚和印度等地区。柱花草适于生长在30°N至30°S之间的干旱和低肥力区域,平均生长期为63~190 d^[3]。柱花草种主要有:头状柱花草(*Stylosanthes capitata*)、西卡柱花草(*Stylosanthes scabra*)、大头柱花草(*Stylosanthes macrocephala*)、有钩柱花草(*Stylosanthes hamata*)、矮柱花草(*Stylosanthes humilis*)、色不拉柱花草(*Stylosanthes seabrana*)及圭亚那柱花草(*Stylosanthes guianensis*)等^[4-5]。各种因其特性用途不一,栽培状况不同,栽培面积最大的种是圭亚那柱花草^[5],同时,圭亚那种也是柱花草属中是分支最多、起源最早、分布最广、遗传多样性最丰富的一个种^[6-9]。

世界气候复杂,地形、土壤条件多样,柱花草在长期的生态适应过程中形成了不同的生态类型和丰富的基因资源。人们对柱花草的利用越来越广泛,因此对柱花草种质资源的开发和利用也越来越重视。遗传多样性研究是种质资源研究的一个重要内容,而植物的形态多样性研究是最传统和常用的方法。对于柱花草的遗传多样性研究主要有利用RAPD^[10-11]、AFLP^[12-13]、STS^[8,14]、微卫星标记^[15-16]、核糖体DNA转录间隔区^[17-18]、ISSR^[19]等分子标记技术进行的,而关于柱花草种质植物学形态特征的研究却鲜有报道。种质资源的植物学变异特性,对于柱花草的种质鉴定、筛选优良基因,培育新品种及正确合理的利用提供理论基础支持。本文对收集的国内外48份柱花草种质进行了植物学特征变异性的研究,并加以聚类分析,旨在为筛选优良柱花草种质,培育优良新品种提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验种质

48份参试柱花草种质由中国热带农业科学院热带作物品种资源研究所提供(表1)。这些柱花草种质为该所从哥伦比亚的国际热带农业中心(CIAT)、澳大利亚的联邦科学与工业研究组织(CSIRO)、广西引进的种质,以及该所在育种过程中选育的种质及其变异种质(包括航空诱变经6年筛选生物特性较稳定的品系)。

1.2 试验地

试验在中国热带农业科学院热带作物品种资源研究所基地进行,该地位于北纬19°30′~19°31′,东经109°30′~109°31′,海拔149 m。试验地为花岗岩形成的砖红壤,土壤质地为沙壤,经测定,全氮0.085%,有机质1.22%、有效磷2.169 mg/kg、有效钾40.99 mg/kg,土壤肥力一般,试验地无灌溉条件,定期进行人工除草。

1.3 植物学特征测定指标及测定方法

在田间对每份种质进行各项指标的测定。以下柱花草的植物学特征,参照《热带牧草种质资源数据质量控制规范》(2007)的标准观测。

自然株高:地表至植株自然顶部(不需人为拉直)的垂直高度;绝对株高:地表至植株顶部(需人为拉直)的垂直高度;叶片长:取植株枝条倒数第3~4片(稳定叶)的三小叶之中间小叶长度。随机抽10株,每株测5片叶的叶长、叶宽;叶片宽:植株同一高度,同一部位上的三小叶之中间小叶中部最宽处的距离;叶片长宽比:叶片长与叶片宽之比;主茎长度:植株地上部至第一花序的长度,三重随机测定15株的均值;主枝侧枝数:每个小区随机测定10株植株主枝侧枝数;茎节数:测定完主茎长度后,测定主茎长度内的茎节数目;茎节长度:主茎长度除以茎节数;茎的生长习性:在充分生长的现蕾期至盛花期观测,测定标度分为5级,即1级直立(茎垂直于地面生长),2级斜升(最初偏斜,后变为直立的茎),3级斜倚(基部斜倚地上的茎),4级平卧(平卧地上的茎),5级匍匐(平卧地上但节上生不定根的茎);茎毛况:1.稀,2.密;叶色、茎色、花色、荚果色:1.白,2.灰色,3.红色,4.橙黄色,5.浅黄,6.黄色,7.深黄,8.浅绿色,9.绿色,10.深绿色,11.棕,12.红褐色,13.褐色,14.深褐,15.黑;中央小叶叶形:在充分生长的现蕾期至初花期观测,1.披针形(长度为宽度的3~4倍,中部以下最宽,渐上渐狭),2.倒披针形(长度为宽度的3~4倍,中部以上最宽,渐下渐狭),3.椭圆形(长度约为宽度的2~3倍,中部较宽,两端较狭,且为等圆),4.倒卵圆形(倒转的卵形,长度约为宽度的约2倍,中部以上最宽,以下渐狭);叶复毛类型:5.短柔毛(毛短且柔软),6.绵毛(毛长而柔软,卷曲缠结),7.疏柔毛(柔软的长而稍直的、直立而不

表1 48份柱花草属种质的编号、名称和来源

Tab.1 Numbers and origins of 48 *Stylosanthes germplasms* used in the study

编号 No.	种质名称 Germplasms	种名或亚种名 Species and subspecies	来源地 Origin
1	维拉诺有钩	<i>S. hamata</i> cv. Verano	澳大利亚
2	西卡	<i>S. scabra</i> cv. Seca	澳大利亚
3	TPRC90139	<i>S. guianensis</i> TPRC90139	三亚
4	澳克雷①	<i>S. guianensis</i> cv-Oxley	澳大利亚
5	CIAT11369	<i>S. guianensis</i> CIAT11369	CIAT
6	格拉姆	<i>S. guianensis</i> cv. Graham	澳大利亚
7	USF873015(黄种)	<i>S. guianensis</i> USF873015(yellow seed)	美国
8	CIAT11362	<i>S. guianensis</i> CIAT11362	CIAT
9	爱德华①	<i>S. guianensis</i> cv. Endeavour	澳大利亚
10	热研5号	<i>S. guianensis</i> cv. Reyan No. 5	热农院
11	USF873016(黑种)	<i>S. guianensis</i> USF873016(black seed)	美国
12	USF873015(黑种)	<i>S. guianensis</i> USF873015(black seed)	美国
13	TPRC90089	<i>S. guianensis</i> TPRC90089	三亚
14	TPRC R291	<i>S. guianensis</i> TPRC R291	三亚
15	USF873016	<i>S. guianensis</i> USF873016	美国
16	热研10号	<i>S. guianensis</i> cv. Reyan No. 10	海南东方
17	COOK	<i>S. guianensis</i> cv. COOK	澳大利亚
18	TPRC90028	<i>S. guianensis</i> TPRC90028	三亚
19	TPRC90037③	<i>S. guianensis</i> TPRC90037③	三亚
20	TPRCR273	<i>S. guianensis</i> TPRCR273	三亚
21	热研7号	<i>S. guianensis</i> cv. Reyan No. 7	三亚
22	热研13号	<i>S. guianensis</i> cv. Reyan No. 13	CIAT
23	Tardio 柱花草	<i>S. guianensis</i> Tardio CIAT1283	CIAT
24	250 西卡柱花草	<i>S. scabra</i> CIAT 250	澳大利亚
25	87830 柱花草	<i>S. guianensis</i> 87830	菲律宾
26	CIAT11368(L8)	<i>S. guianensis</i> CIAT11368 (L8)	海南东方
27	TPRC Y3(E9)	<i>S. guianensis</i> TPRC Y3(E9)	三亚
28	TPRC R93	<i>S. guianensis</i> TPRC R93	三亚
29	GC1480	<i>S. guianensis</i> GC1480	菲律宾
30	GC1463	<i>S. guianensis</i> GC1463	菲律宾
31	GC1579	<i>S. guianensis</i> GC1579	巴西
32	热研2号	<i>S. guianensis</i> cv. Reyan No. 2	CIAT
33	Mineirao	<i>S. guianensis</i> Mineirao	澳大利亚
34	GC1581	<i>S. guianensis</i> GC1581	菲律宾
35	斯柯非	<i>S. guianensis</i> cv. Schofield	澳大利亚
36	格拉姆②	<i>S. guianensis</i> cv. Graham	澳大利亚
37	爱德华②	<i>S. guianensis</i> cv. Endeavour	澳大利亚
38	澳克雷②	<i>S. guianensis</i> cv. Oxley	澳大利亚
39	2323 柱花草	<i>S. seabrana</i> CISRO 2323	澳大利亚
40	907	<i>S. guianensis</i> cv. 907	广西
41	TPRC2000 - 71	<i>S. guianensis</i> TPRC2000 - 71	热农院
42	TPRC2001 - 24	<i>S. guianensis</i> TPRC2001 - 24	热农院
43	TPRC2001 - 81	<i>S. guianensis</i> TPRC2001 - 81	热农院
44	CPI18750A	<i>S. guianensis</i> cv. CPI18750A	澳大利亚
45	TPRC90037②	<i>S. guianensis</i> TPRC90037②	三亚
46	灌木	<i>S. seabrana</i>	菲律宾
47	头状柱花草	<i>S. capitata</i>	菲律宾
48	CATAS109	<i>S. guianensis</i> CATAS109	热农院

密的毛) ,14. 刚毛(基部膨大的硬毛); 荚果喙: 以该种质荚果群体中成熟的荚果为对象, 观察荚果喙并参照柱花草属荚果喙图, 确定喙的长短。0 无, 1 极短, 2 短, 3 长; 千粒重: 参照 GB/T 2930.9-2001 牧草种子检验规程重量测定, 从清选后的种子中随机取样, 8 次重复, 每个重复 100 粒种子, 用 1/1 000 的电子天平称取每 100 粒种子的质量, 单位为 g, 精确到 0.001 g, 计算平均值, 换算成千粒重。

1.4 聚类分析

对 48 份种质, 从植株生活型、茎的生长习性、茎的颜色、茎毛况、叶色、叶腹毛况、叶柄毛况、叶形、叶尖形、复叶毛类型、花序类型、花序枝形态、花色等 13 个植物学特性指标进行聚类分析。先将原数据规格化, 规格化转换(极差正规化)是从数据矩阵的每个变量中找出其最大和最小值, 两者之差称为极差, 然后从每一个原始数据中减去该变量中的最小值, 再除以极差, 即:

$$x'_{ij} = (x_{ij} - \min(x_{ij})) / (\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})) \quad (\text{其中 } 1 \leq i \leq n) \quad (1)$$

经转换后, 每列的最大数据变为 1, 最小数据变为 0, 其余数据取值在 0~1 之间。再计算欧式距离

$$\text{欧氏距离 } d_{ij} = \sqrt{\sum_{k=1}^m (x_{ik} - x_{jk})^2} \quad (2)$$

采用类平均法(UPGMA)聚类分析。

1.5 数据处理分析

试验数据采用 Microsoft Office Excel、统计软件 SAS (Statistical Analysis System) 9.0 和 DPS (Data Processing System) 进行数理和统计分析。

2 结果与分析

2.1 植物学特性比较

植物学特性是柱花草遗传变异研究的重要依据之一。不同来源的柱花草种质(种质)在当地自然条件的过程中, 必然发生遗传分化, 并表现出种质之间植物学特性上的差异。

表 2 可知, 48 份种质(品种)中有 3 份(西卡、250 西卡柱花草、头状柱花草)是半灌木型柱花草, 3 份种质(维拉诺有钩、灌木)属二年生草本柱花草, 其余 42 份属多年生草本植物; 绝大多数(35 份)柱花草种质的茎的生长习性是直立型或斜升型, 只有 5 种是平卧、匍匐型; 只有 TPRCR273 为白花, 其它 47 份种质为深浅不同的黄色花。

变异系数(*cv*)反映了变异大小占均值的百分比, 可以衡量不同变量的变异幅度。从表 3 可以看出, 自然株高、叶长、叶宽等 6 个植物学特性中变异最大的是自然株高(24.63%), 其次为绝对株高(22.29%), 最小的是种子千粒重(12.22%)。在同一生长时期内, 48 份柱花草种质平均自然株高为 40.19 cm, 平均绝对株高为 46.62 cm, 自然株高的平均值以 28 号(66.23 cm)最高, 其次为 8 号(60.50 cm), 以匍匐型的 34 号(25.90 cm)、44 号(24.35 cm)最低。

从表 2 可以得出, 来自 CIAT 的 8 号, 三亚试验地的 28 号、20 号, 太空诱变选育的 43 号、41 号、42 号、以及 33 号柱花草同时表现出较高的自然株高和绝对株高以及快的生长速度(速生型)。叶长和叶宽均表现较大的(大叶型)有两个, 即 33 号、27 号。长叶型较高的种质分别为 16 号、33 号、27 号、15 号、17 号、9 号、26 号、41 号, 叶长均超过 4 cm。叶宽超过 0.9 cm 的品种(宽叶型)有 35 号、45 号、33 号、11 号、24 号、34 号、27 号、6 号、2 号等。23 号、44 号、25 号和 29 号表现出较大的叶长宽比(窄叶型)。

2.2 植物学特征的遗传距离和聚类分析

聚类图 1 可以看出, 欧式距离 2.0 处将 48 份种质分为两大类: 圭亚那种柱花草种和非圭亚那种柱花草种。非圭亚那种柱花草又可分, 其中 1 号有钩柱花草(*S. hmamata*)单独聚为一类, 2 号和 24 号属西卡柱花草(*S. scabra*)聚为一类, 但 39 号和 46 号灌木状柱花草(*S. seabrana*)与 47 号头状柱花草(*S. capitata*)不能很好的分开。其他 42 份属圭亚那柱花草(*S. guianensis*)品种间能够较好区分开, 从聚类图可以看出, 32 号(热研 2 号, *S. guianensis* cv. Reyan No. 2)与 16 号(*S. guianensis* cv. Reyan No. 10)亲缘关系较近; 10 号(热研 5 号, *S. guianensis* cv. Reyan No. 5)与 6 号(*S. guianensis* cv. Graham)和 42 号(*S. guianensis* TPRC2001-24)亲缘关系较近; 21 号(热研 7 号, *S. guianensis* cv. Reyan No. 7)与 5 号(*S. guianensis* CIAT11369)亲缘关系较近; 22 号(热研 13 号, *S. guianensis* cv. Reyan No. 13)与 20 号(*S.*

guianensis TPRC R273) 亲缘关系较近。

表2 48份柱花草种质的植物学特性

Tab.2 Traits of botany in 48 *Stylosanthes* germplasms

种质序号 Germplasm number	植株生活型 Plant life	茎的生长习性 Stalk growth habit	茎的颜色 Stem color	茎毛况 Stem hair condition	叶色 Leaf colour	中央小叶叶形 Central leaflet shape	叶复毛类型 Leaf compound hair type	花色 Flower color	荚果色 Pods color	荚果喙 Pods beak	千粒重/g 1 000 - grain weight
1	5	1	11	2	11	4	5	9	2	3	2.85
2	3	1	20	2	11	4	10	8	21	2	2.51
3	6	3	11	1	11	4	5	9	21	0	2.34
4	6	2	11	1	12	4	5	8	22	1	2.41
5	6	1	10	2	10	4	5	7	22	1	2.74
6	6	1	12	1	10	4	10	6	21	0	2.61
7	6	3	11	1	10	4	5	9	19	1	2.96
8	6	1	11	1	11	2	5	8	19	1	2.48
9	6	1	11	1	10	4	10	7	21	0	2.73
10	6	1	11	2	12	4	5	8	22	0	2.40
11	6	3	11	1	11	4	10	9	21	1	2.53
12	6	1	21	1	11	4	5	8	2	0	2.26
13	6	1	20	1	11	4	10	6	19	0	2.85
14	6	3	12	2	11	2	5	7	19	0	2.65
15	6	1	20	2	11	4	10	6	19	1	2.97
16	6	1	10	2	11	4	8	9	21	1	3.06
17	6	1	20	2	12	4	5	8	19	0	2.09
18	6	3	10	2	11	4	5	8	21	0	3.08
19	6	1	10	1	11	4	5	9	19	0	2.95
20	6	1	20	1	11	4	5	1	21	0	2.70
21	6	1	11	2	10	4	14	8	21	0	2.72
22	6	3	20	1	10	2	5	8	22	1	3.37
23	6	4	12	1	11	4	17	6	21	0	2.80
24	3	1	20	2	11	1	14	8	21	3	2.86
25	6	4	12	1	10	2	5	7	23	1	1.97
26	6	1	12	1	10	4	10	9	22	1	2.91
27	6	1	10	2	12	4	14	6	19	0	2.22
28	6	1	10	1	11	4	5	8	22	1	3.20
29	6	3	12	1	11	4	5	8	2	1	2.28
30	6	1	12	1	11	4	10	8	19	1	2.83
31	6	2	12	1	12	4	10	6	19	0	2.78
32	6	1	11	1	11	4	5	8	21	0	2.99
33	6	1	20	2	10	4	14	6	21	1	2.84
34	6	2	10	1	10	4	5	9	21	0	2.74
35	6	4	10	2	11	4	5	7	22	0	2.53
36	6	3	12	1	11	1	55	9	19	1	2.06
37	6	1	10	1	10	4	5	7	22	1	2.77
38	6	5	10	2	11	4	10	6	9	2	2.98
39	5	1	10	1	11	7	5	8	2	2	2.99
40	6	1	10	1	11	4	5	9	21	0	3.02
41	6	1	10	1	11	4	5	8	22	0	2.86
42	6	1	12	1	11	4	10	8	21	1	2.94
43	6	1	12	1	11	4	14	8	21	0	2.80
44	6	5	10	1	11	4	5	8	21	1	2.08
45	6	1	11	2	11	4	14	9	19	1	2.88
46	5	1	11	2	11	4	5	8	21	2	2.34
47	3	1	11	1	11	4	5	7	19	2	3.12
48	6	1	11	1	11	2	5	8	22	0	2.00

表3 48份柱花草种质6个植物学特征变异比较

Tab.3 Variation comparison of 6 botanic characteristics in 48 *Stylosanthes* germplasms

性状 Traits	叶长/cm Leaf length	叶宽/cm Leaf width	长/宽/cm Length/width	自然株高/cm Natural plant height	绝对株高/cm Absolute height	千粒重/g 1 000 - grain weight
平均 mean ± s	3.87 ± 0.50	0.83 ± 0.13	4.75 ± 0.76	40.19 ± 9.90	46.62 ± 10.39	2.70 ± 0.33
变异系数/% cv	12.92	15.66	16.00	24.63	22.29	12.22

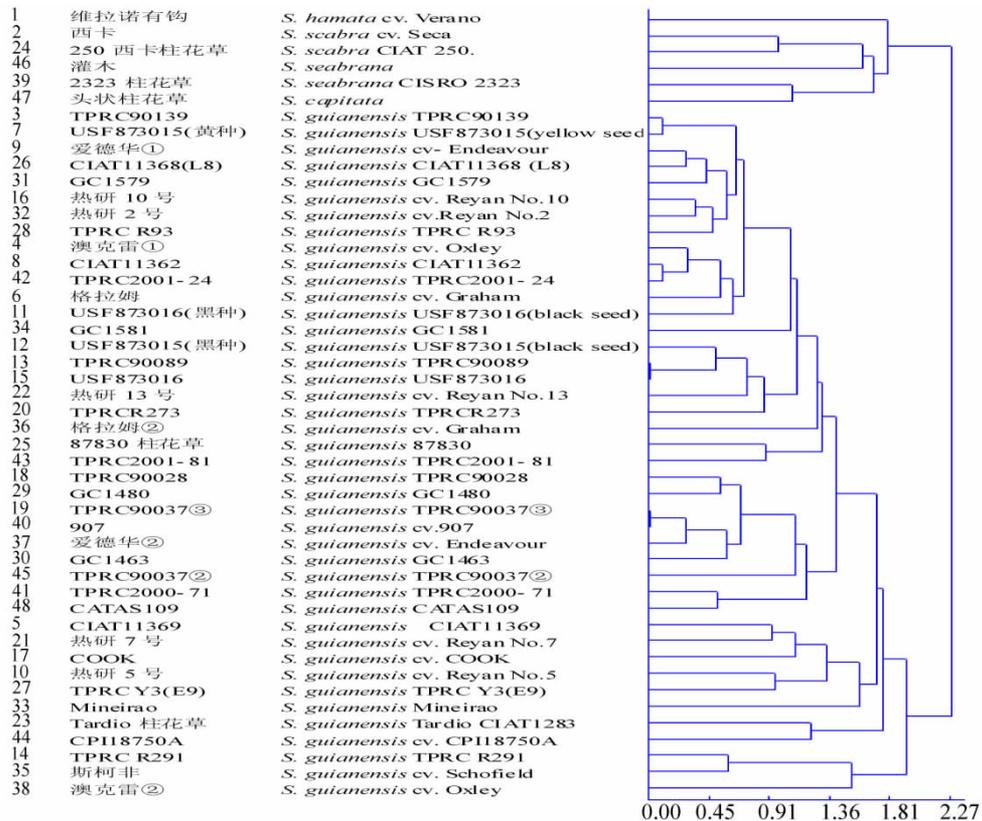


图1 基于欧式距离的48份柱花草种质的13个植物学特性指标的UPGMA聚类图

Fig.1 UPGMA dendrogram for 13 botanic characteristics in 48 *Stylosanthes* germplasms based Euclidean Distance

3 结论与讨论

根据《热带牧草种质资源数据质量控制规范》的标准鉴定柱花草种质植物学特性时,考虑到应用聚类分析,本试验遵从某种质某性状以绝多数的鉴定结果为该指标值。例如在充分生长的现蕾期至成熟期,鉴定柱花草茎的生长习性时,发现有钩柱花草绝大多数植株表现直立,也有个别植株表现为斜升,本试验则记为直立。花、茎、叶等颜色的判断也存在这一问题。按13项植物学性状聚类分析结果能与植物学分类基本吻合,说明这种评价方式是可行的。

从植物表型性状或形态学上来检测植物的遗传变异是最直观简便的方法。很长时间来,人们对种质资源的鉴定、分类以及对育种材料的选择主要是依据表型性状进行的^[20-23]。本试验考察了柱花草的18个植物学形态特征,结果发现,来源不同的品种间存在不同程度的差异,其中自然株高变异最大,其次为绝对株高(22.29%),最小的是种子千粒重(12.22%)。由于地理分布的差异,柱花草资源的形态特征变异明显,这可能是对其生境的适应性变异。

根据植株生活型、茎的生长习性、茎的颜色、茎毛况、叶色、叶腹毛况、叶柄毛况、叶形、叶尖形、复叶类型、花序类型、花序枝形态和花色共13个植物学特性指标聚类的结果将柱花草分为分为两大类:42份圭亚那种柱花草种和6份非圭亚那种柱花草种。而非圭亚那种中1号有钩柱花草单独聚为一类,2

号和 24 号属西卡柱花草聚为一类,但 39 号和 46 号色不拉柱花草与 47 号头状柱花草不能很好的分开,其他 42 份属圭亚那柱花草品种间能够较好地分开。此前笔者也通过 ISSR 技术也对这 48 份种质进行了分析^[19],其结果与本研究结果类似。从而在形态水平与分子水平上证实了不同柱花草之间差异较大,遗传多样性较丰富。

柱花草资源丰富,种质繁多,利用基于形态学指标与分子技术的聚类分析可将不同组间的遗传相似性较小的柱花草种质作为杂交亲本,有利于在育成种质中体现杂种优势。

参考文献:

- [1] Williams R J, Reid R, Schultze Kraft R, et al. Natural distribution of *Stylosanthes* [M]//Stace H M, Edye L A. The biology and agronomy of *Stylosanthes*. Sydney, Australia: Academic Press, 1984: 73-101.
- [2] 单国燕, 易克贤, 赵辉. 柱花草组织培养技术研究进展[J]. 热带农业科学, 2009, 29(12): 41-45.
- [3] Edye L A, Cameron D F. Prospects for *Stylosanthes* improvement and utilization [M]//Stace H M, Edye L A. The biology and agronomy of *Stylosanthes*. Sydney, Australia: Academic press, 1984: 571-587.
- [4] Chakraborty S, Liu C J, Cameron D F, et al. Application of molecular markers to breed and select anthracnose resistant *Stylosanthes* and to characterize endemic and exotic populations of *Colletotrichum gloeosporioides* [C]. In Proceedings of IVth Asia Specic Congress on Agricultural Biotechnology. Darwin, Australia: 1998: 56-59.
- [5] Chakraborty S, Ghosh R, Ghosh M, et al. Weather - based prediction of anthracnose severity using artificial neural network models [J]. Plant Pathology, 2004, 53: 375-386.
- [6] Gillies A C M, Abbott R J. Molecular analysis of genetic diversity and evolutionary relationships in *Stylosanthes* (Aubl.) Sw [M]//de Leeuw P N, Mohamed - Saleem M A, Nyamu A M. *Stylosanthes* as a forage and fallow crop, 1994: 37-53.
- [7] Gillies A C M, Abbott R J. Phylogenetic relationships in the genus *Stylosanthes* (Leguminosae) based upon chloroplast DNA variation [J]. Plant Syst Evol, 1996, 200: 193-211.
- [8] Liu C J, Musial J M, Thomas D. Genetic relationship among *Stylosanthes* species revealed by RFLP and STS analysis [J]. Theor Appl Genet, 1999, 99: 1179-1186.
- [9] Vander stappen J, Weltjens I, Munaul F. Interspecific and progeny relationships in the genus *Stylosanthes* inferred from chloroplast DNA sequence variation [J]. Life Sciences, 1999, 322: 481-490.
- [10] Glover B J, Gillies A C M, Abbott R J. Use of the polymerase chain reaction to investigate the delimitation of two agronomically important species of *Stylosanthes* (Aubl.) Sw [J]. Botanical Journal of Scotland, 1984, 47: 83-96.
- [11] 蒋昌顺, 葛琴雅. 柱花草 RAPD 反应体系的建立及其 8 个品种遗传多样性分析[J]. 广西植物, 2004, 24(3): 243-247.
- [12] Curtis M D, Cameron D F, Manners J M. Molecular evidence that diploid *Stylosanthes humilis* and diploid *Stylosanthes hamata* are progenitors of allotetraploid *Stylosanthes hamata* cv 'Verano' [J]. Genome, 1995, 38: 344-348.
- [13] Jiang C S, Jia H S, Ma X R. AFLP analysis of genetic variability among *Stylosanthes guianensis* accessions resistant and susceptible to the Stylo [J]. Anthracnose Acta Botanica Sinica, 2004, 46(4): 480-488.
- [14] Vander stappen J, Volckaert G. Molecular characterization and classification of *Stylosanthes mexicanana*, *S. macrocarpa*, *S. seabrana*, and *S. fruticosaby* DNA sequence analysis of two chloroplast regions [J]. DNA Sequence, 1999(3): 199-202.
- [15] Vander stappen J, De Laet J, Gama - Lopez S. Phylogenetic analysis of *Stylosanthes* (Fabaceae) based on the internal transcribed spacer region (ITS) of nuclear ribosomal DNA [J]. Plant Systematics and Evolution, 2002, 234: 27-51.
- [16] 蒋昌顺. 应用微卫星标记分析柱花草的遗传多样性[J]. 高技术通讯, 2004(4): 25-30.
- [17] Vander stappen J, Weltjens I, Volckaert G. Microsatellite markers in *Stylosanthes guianensis* [J]. Molecular Ecology, 1999, 8: 515-517.
- [18] 蒋昌顺, 张新申. 柱花草核 rDNA 的 ITS1 序列分析[J]. 高技术通讯, 2006(1): 73-77.
- [19] 唐燕琼, 胡新文, 郭建春, 等. 柱花草种质遗传多样性的 ISSR 分析[J]. 草业学报, 2009, 18(1): 57-64.
- [20] 刘建秀, 郭爱桂, 郭海林. 中华结缕草种质资源形态变异及其形态类型[J]. 草地学报, 2003, 11(3): 189-196.
- [21] 刘建秀, 朱雪花, 郭爱桂, 等. 中国假俭草种质资源主要性状变异及其形态类型[J]. 草地学报, 2004, 12(3): 183-188.
- [22] 袁庆华, 张吉宇, 张文淑, 等. 披碱草和老芒麦野生居群生物多样性研究[J]. 草业学报, 2003, 12(5): 44-49.
- [23] 刘江, 陈兴福, 杨文钰, 等. 四川盆地麦冬种质资源的形态特征变异分析[J]. 草业学报, 2010, 19(1): 143-150.