

# 橡胶树栽培种质农艺性状的相关性和聚类分析

张晓飞, 黄肖, 高新生, 李维国

(中国热带农业科学院橡胶研究所/国家橡胶树育种中心, 海南儋州 571737)

**摘要:**以我国国家橡胶树种质资源圃保存的 119 份橡胶树栽培种为材料, 对叶蓬形状、叶面绿色程度等 21 个农艺性状进行比较分析。结果表明, 遗传多样性指数平均值为 0.83, 叶痕形状最高为 1.20, 蜜腺表面形态为 0.27, 且性状数据分布集中; 各性状中变异系数最大的大叶柄形状为 60.03, 蜜腺表面形态最小为 9.08, 平均值为 33.88; 叶面绿色程度和叶面光泽度、叶片形状与叶片基部形状等 7 对性状相关性极显著; 21 个性状可聚为 2 大类, 119 份供试材料中, 同一品种来源地、亲本和子代、具有类似品种特性(抗寒性)等类型的品种聚为一类。分析结果可供橡胶树种质资源鉴定和杂交亲本选配参考。

**关键词:**橡胶树; 农艺性状; 相关分析; 聚类分析

## Correlation and Cluster Analysis of Agronomic Traits in Rubber Tree

ZHANG Xiao-fei, HUANG Xiao, GAO Xin-sheng, LI Wei-guo

(Rubber Research Institute, CATAS/State Center for Rubber Tree Breeding, Danzhou Hainan 571737)

**Abstract:** The comparative analysis of twenty-one agronomic traits were assessed in rubber tree genetics resources in national rubber tree germplasm repository. The results indicated that, the diversity indexes ranging from 0.27 (nectar gland) to 1.20 (shape of leaf scar) with an average of 0.83. The coefficients of variation ranging from 9.08 (nectar gland) to 60.03 (shape of petiole) and average was 33.88. It was significantly rated in seven pairs of traits, such as intensity of green color of upper side and glossiness of upper side, shape and shape of base. All of the agronomic traits could be classified into 2 clusters. The test clones were clustered into geographical region, parents and offspring, characteristic. The obtained results can be referenced for evaluating germplasm resources and parental selection of breeding.

**Key words:** rubber tree; agronomic traits; correlation analysis; cluster analysis

巴西橡胶树 (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.) 原产于巴西亚马逊河流域, 因其具有产量高、质量好、经济寿命长、采胶容易、胶乳再生快等优点, 为世界上大规模种植产胶树种。目前, 世界上有超过 60 个国家和地区种植橡胶树, 且栽培品种的主要来源为英国人魏克汉 1876 年在亚马逊河下游与塔帕若斯 (Tapajos) 河汇合处的博因 (Boim) 采集并培育 46 株母树繁殖的后代中选出的初生代及其后杂交的次生代至多生代<sup>[1]</sup>。中国 1904 年引种巴西橡胶树至今已有 100 余年历史, 根据天然橡胶生产国协会 (ANRPC) 统计, 2014 年我国橡胶树种植面积已居世界

第 3 位, 产量居世界第 4 位。

种质资源的分类对橡胶树遗传改良具有重要作用, 曾霞等<sup>[2]</sup>对国内外橡胶树种质资源的保存和进展进行了总结, 安泽伟等<sup>[3-5]</sup>、李维国等<sup>[6]</sup>、龙青娥等<sup>[7]</sup>、王其同等<sup>[8]</sup>、钟淦彬等<sup>[9]</sup>、方家林等<sup>[10]</sup>已经对橡胶树种质资源在分子标记方面做了部分研究。印度橡胶研究所以橡胶产量及其相关生理、形态及结构性状的表现对 40 个魏克汉无性系的遗传分化及多样性进行了分析<sup>[11]</sup>。但在橡胶树农艺性状方面国内外研究较少。作物改良在农业生产上所起的巨大作用在很大程度上依赖于对农艺性状的研究,

收稿日期: 2015-11-18 修回日期: 2016-01-04 网络出版日期: 2016-08-12

URL: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.4996.S.20160812.1316.018.html>

基金项目: 中国热带农业科学院橡胶研究所基本科研业务费专项 (1630022015007); 现代农业产业技术体系项目 (CARS-34)

第一作者从事橡胶树遗传改良研究。E-mail: nfuzhangx@163.com

通信作者: 李维国, 从事橡胶树遗传改良研究。E-mail: leewg23@163.com

充分把握和科学评价种质材料农艺性状的真实表现并进行分类,对于种质资源的合理利用仍具有重要意义。目前,相关性分析法、聚类分析法和主成分分析法是遗传育种和品种资源研究中普遍应用的几种方法,在作物种质资源研究中被广泛应用<sup>[12-16]</sup>。为了解橡胶树品种的农艺性状的遗传多样性,本研究以相关性分析和聚类分析2种方法相结合,对119个品种的21个性状进行了分析鉴定,旨在为橡胶树种质资源鉴定、新品种培育和新品种的特异性描述提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

以我国国家橡胶树种质资源圃保存的119份栽

培种质为试验材料,其中包括国外引种和国内自育的品种。

### 1.2 方法

**1.2.1 数据采集** 在田间对每份材料进行各项指标的测定。参照NY/T 1314-2007《农作物种质资源鉴定技术规程 橡胶树》<sup>[17]</sup>的标准,选取标准叶蓬,观测叶蓬形状、叶面绿色程度、叶面光泽度、质地、叶缘波浪程度、中间小叶与侧小叶相似度、主侧脉角度、中间小叶形状、中间小叶顶部形状、中间小叶基部形状、侧小叶基部形态、三小叶姿态、小叶片最宽处位置、纵截面形态、叶痕形状、叶痕与芽眼距离、大叶柄形状、大叶柄姿态、叶枕沟、蜜腺表面形态、胶乳颜色等21个性状并进行赋值,具体性状描述见表1。

表1 巴西橡胶树农艺性状的描述分组

Table 1 Describe grouping of agronomic traits in rubber tree

代码 Code	性状 Trait	分组 Group					
		1	2	3	4	5	6
A	叶蓬形状	弧形	半球形	截顶圆锥形	圆锥形		
B	叶面绿色程度	浅	中	深			
C	叶面光泽度	弱	中	强			
D	叶片质地	细	中	粗			
E	叶缘波浪程度	小	中	大			
F	中间小叶与侧小叶相似度	低	中	高			
G	主侧脉角度	小	中	大			
H	叶片形状	倒卵形	卵形	椭圆形	菱形		
I	叶片顶部形状	芒尖	急尖	渐尖			
J	叶片基部形状	楔形	渐尖形	钝形			
K	侧小叶基部形态	内斜	对称	外斜			
L	三小叶姿态	重叠	靠近	分离	显著分离		
M	小叶片最宽处位置	基部	中间	顶部			
N	纵截面形态	直	弓形	S形			
O	叶痕形状	半圆形	近圆形	马蹄形	心脏形	三角形	菱形
P	叶痕与芽眼距离	近	中	远			
Q	大叶柄形状	直	弓形	反弓形	S形		
R	大叶柄姿态	上仰	平伸	下垂			
S	叶枕沟	有	无				
T	蜜腺表面形态	下陷	平	突起			
U	胶乳颜色	白	浅黄	黄	深黄		

**1.2.2 数据处理和分析** 试验数据采用Microsoft Office Excel、统计软件SAS 9.1和SPSS 19.0进行统计分析,参照唐燕琼等<sup>[18]</sup>的方法对测定数据规格化,采用类平均法(UPGMA)进行聚类分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 农艺性状的遗传多样性

植物学特征是区分橡胶树品种和判断种质遗传

变异的重要依据。在不同选育种目标下选育出的各个品种有遗传物质上的差异,表型上就表现为植物学特征的差异。

变异系数衡量了不同变量的变异幅度,在观测的21个性状中,变异系数最大的是大叶柄形状(60.03%),其次为胶乳颜色(53.26%),最小的为蜜腺表面形态(9.08%)。叶痕形状遗传多样性指数最高为1.20,叶蓬形状多样性指数为1.17,蜜腺

表面形态多样性指数仅为 0.27, 为所有性状中最低。各性状的频率分布相对集中, 即一个性状的某一形态占较大比例。蜜腺表面形态为突起的分布频

率最高为 92.44%, 小叶最宽处位置位于顶部性状的分布频率也高达 87.39% (表 2)。

表 2 供试巴西橡胶树农艺性状的多样性分析

Table 2 Diversity analysis of agronomic traits in rubber tree

性状代码 Code	频率分布 (%) Frequency distribution						平均值 Mean	变异系数 (%) CV	遗传多样性指数 Genetic diversity index
	1	2	3	4	5	6			
A	12.61	54.62	11.76	21.01			2.4	39.82	1.17
B	10.08	52.10	37.82				2.3	27.96	0.94
C	21.01	55.46	23.53				2.0	33.07	1.00
D	16.81	52.94	30.25				2.1	31.65	1.00
E	9.24	19.33	71.43				2.6	24.82	0.78
F	15.13	39.50	45.38				2.3	31.25	1.01
G	28.57	41.18	30.25				2.0	38.18	1.08
H	46.22	1.68	50.42	1.68			2.1	49.05	0.84
I	59.66	10.92	29.41				1.7	52.89	0.91
J	48.74	41.18	10.08				1.6	41.23	0.95
K	5.88	56.30	37.82				2.3	25.06	0.86
L	4.20	5.88	63.87	26.05			3.1	22.17	0.94
M	1.68	10.92	87.39				2.9	13.89	0.43
N	20.17	78.99	0.84				1.8	23.10	0.55
O	12.61	1.68	40.34	42.02	1.68	1.68	3.2	32.62	1.20
P	84.87	7.56	7.56				1.2	46.78	0.53
Q	82.35	5.04	8.40	4.20			1.3	60.03	0.65
R	23.53	63.87	12.61				1.9	31.40	0.89
S	23.53	76.47	0.00				1.8	24.14	0.55
T	0	7.56	92.44				2.9	9.08	0.27
U	65.55	21.85	9.24	3.36			1.5	53.26	0.94

## 2.2 农艺性状的相关性分析

对参试的 119 个品种 21 个农艺性状进行相关性分析。从表 3 可以看出叶面绿色程度和叶面光泽度极显著正相关; 叶片形状与叶片基部形状极显著正相关; 叶片顶部形状与大叶柄形状和大叶柄姿态都呈极显著正相关; 三小叶姿态和叶片基部形状极显著负相关; 叶痕与芽眼距离和胶乳颜色这 2 个性状极显著正相关。叶面光泽度和中间小叶与侧小叶相似度性状显著相关; 叶片形状与主侧脉角度和中间小叶与侧小叶相似度 2 个性状显著相关; 叶片基部形状与主侧脉角度、叶片顶部形状、侧小叶基部形状、大叶柄形状等 4 个性状显著相关; 胶乳颜色与叶片顶部形态显著相关; 叶片基部形状与大叶柄形状显著相关。小叶片最宽处位置与叶片基部形状、叶

片形状和叶痕形状等 3 个性状显著负相关; 叶片质地与侧小叶基部形态和蜜腺表面形态等 2 个性状显著负相关, 该性状与叶缘波浪程度、叶片顶部形状和三小叶姿态等其他 10 个性状呈负相关但未达到显著水平; 叶面绿色程度与叶片质地等 12 个性状呈负相关但未达显著水平。

## 2.3 农艺性状的聚类分析

分别对 21 个观测性状和 119 份供试材料进行聚类分析。从聚类图 1 可以看出, 类间距离为 25 时将 21 个性状分为 2 类, 则叶蓬形状、主侧脉角度、中间小叶形状、中间小叶顶部形状、中间小叶基部形状、纵截面形态、叶痕与芽眼距离、大叶柄形状、大叶柄姿态与胶乳颜色等性状聚为一类; 叶面绿色程度、叶面光泽度、质地、叶缘波浪程度、中间小叶与侧小

表 3 供试巴西橡胶树 21 个性状间的表型相关分析  
Table 3 Correlation analysis of agronomic traits in rubber tree

性状代码 Code	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
B	0.070																			
C	0.153	0.546**																		
D	0.001	-0.035	0.155																	
E	-0.157	0.259	0.125	-0.108																
F	0.048	0.174	0.204*	0.065	-0.020															
G	0.088	0.139	-0.034	0.041	0.036	0.152														
H	0.128	-0.037	-0.090	0.068	-0.130	0.194*	0.190*													
I	0.001	-0.155	-0.122	-0.079	0.088	-0.177	0.036	0.001												
J	0.169	0.080	0.010	0.140	-0.122	0.179	0.216*	0.284**	0.224*											
K	0.061	-0.001	0.015	-0.224*	-0.120	-0.060	-0.074	-0.018	0.210*	0.064										
L	-0.067	0.025	0.064	-0.033	0.035	-0.034	-0.067	-0.001	-0.175	-0.364**	-0.129									
M	-0.046	-0.006	0.113	-0.176	0.119	0.037	-0.043	-0.200*	-0.053	-0.209*	-0.017	0.148								
N	-0.097	-0.079	0.023	0.157	-0.050	0.031	-0.037	-0.140	0.066	-0.025	-0.122	-0.044	0.038							
O	-0.104	0.101	0.120	-0.129	-0.006	0.004	-0.132	-0.097	0.032	0.021	0.012	0.035	-0.203*	0.122						
P	0.015	-0.130	-0.216	-0.148	-0.110	0.075	0.082	0.083	0.284*	0.141	0.157	-0.125	-0.118	-0.064	-0.046					
Q	0.124	-0.042	0.025	-0.059	-0.139	-0.082	0.013	0.098	0.346**	0.232*	0.156	-0.127	-0.005	0.047	-0.026	0.050				
R	0.005	-0.118	-0.118	-0.129	0.046	-0.178	0.006	0.001	0.333**	0.001	0.128	-0.076	-0.030	-0.017	0.054	0.098	0.043			
S	0.050	-0.126	-0.178	-0.088	-0.168	-0.148	-0.110	0.065	-0.036	0.008	0.176	0.001	-0.048	-0.017	0.029	0.149	0.112	-0.068		
T	0.034	-0.055	-0.030	-0.294*	-0.082	-0.165	-0.069	-0.004	-0.037	0.008	0.117	0.004	-0.108	0.006	0.067	0.119	0.090	-0.055	0.261*	
U	0.016	-0.132	-0.203	-0.101	0.024	-0.139	-0.048	0.186	0.228*	0.142	0.027	-0.038	-0.120	-0.088	-0.130	0.303**	0.098	0.116	0.099	0.114

\*:  $P < 0.05$ ; \*\*:  $P < 0.01$

\* represents significant difference at 0.05 level, \*\* represents extremely significant difference at 0.01 level

叶相似度、侧小叶基部形态、三小叶姿态、小叶片最宽处位置、叶痕形状、叶枕沟和蜜腺表面形态等这些性状聚为一类。类间距离为 18 时可将 21 个变量分为 4 类,主侧脉角度和叶枕沟 2 个性状被单独分开,而其他的性状还是按照原来的分类聚为一类。叶片绿色程度和叶面光泽度 2 个性状聚为一类。

把所调查的 119 个巴西橡胶树种质资源进行聚类分析(图 2)。类间距离为 25 时,可将 119 份种质分为 4 类,其中,马来西亚选育的 RRIM623 和热垦 167 聚为一类;PR25 和大丰 318 聚为一类;南捧 37、PR261、大丰 117、PB235、大丰 99、PB5/51、RRIM703、广西 6-68、红星 1 和天任 31-45 等种质聚为一类,在这类中多数种质具有抗寒性,如广西 6-68、红星 1 和天任 31-45 等;其他的 105 个种质聚为另一大类,在这类中,亲本 PR107 与子代大丰 95 和热研 7-20-59 聚为一类,大岭 64-36-1、大岭 21-38、大岭 64-6-64 等同一单位育成的品种聚为一类。

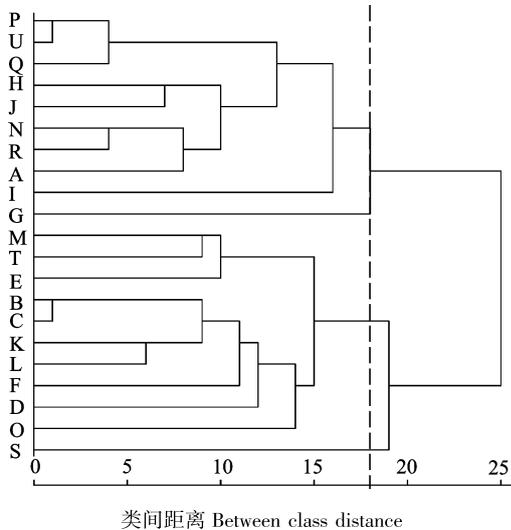


图 1 橡胶树 21 个农艺性状变量树状聚类图  
Fig. 1 Cluster analysis of 21 agronomic traits

### 3 讨论

通过植物学性状进行遗传多样性的研究,能从整体上了解资源的丰富程度,为使用者提供重要信息<sup>[19]</sup>。本研究对国家橡胶树种质资源圃内收集保存的巴西橡胶树栽培种的遗传多样性进行了系统分析,为有效利用这些资源提供了依据。以往的研究结果表明,使用 AFLP、PARD、ISSR、EST-SSR 等分子标记技术巴西橡胶树栽培种质的多态性表现较低,因此认为巴西橡胶树的遗传基础狭窄<sup>[3-10]</sup>。究其原因,现在世界上植胶国家种植的巴西橡胶树栽培种

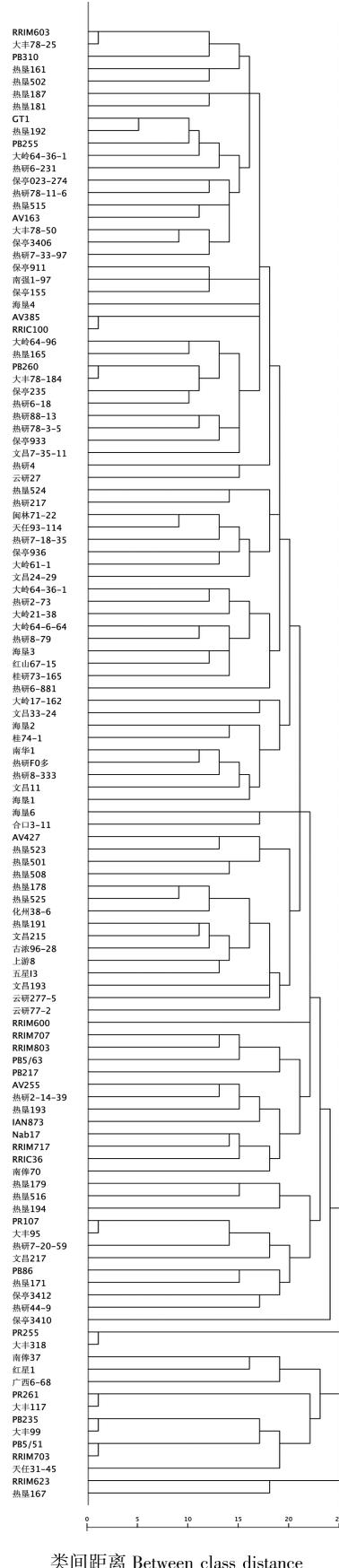


图 2 119 份橡胶树品种基于农艺性状的树状聚类图  
Fig. 2 Cluster analysis of 119 rubber tree clones

均起源于魏克汉在亚马逊河下游与塔帕若斯(Tapajos)河汇合处的博因(Boim)采集并培育的46株母树。这一现状也制约着巴西橡胶树杂交育种工作的开展,使用现有种质资源作为亲本选育出子代的遗传增益越来越小,杂种优势也越来越小,新品种的选育也越发困难。巴西橡胶树的原产地还有大量的野生种质,存在着丰富的遗传多样性。相关研究结果也表明,1981' IRRDB 野生种质与魏克汉种质存在显著差异,两者之间的遗传距离也较大<sup>[6]</sup>。如何较好的利用巴西橡胶树野生种质,是橡胶树选育种工作更好发展的关键。

本研究通过植物学性状进行遗传多样性研究,材料样本较大,包含的性状较多,在观测的21个性状中,变异系数最大的是大叶柄形状(60.03%),其次为胶乳颜色(53.26%),最小的为蜜腺表面形态(9.08%)。叶痕形状遗传多样性指数最高为1.20,叶蓬形状多样性指数为1.17,蜜腺表面形态多样性指数仅为0.27,为所有性状中最低。各性状的频率分布相对集中,即一个性状的某一形态占较大比例。蜜腺表面形态为突起的分布频率最高为92.44%,小叶最宽处位置位于顶部性状的分布频率也高达87.39%。所有结果均表明巴西橡胶树栽培种的遗传多样性较低,与分子水平检测结果相同。相关性分析和聚类分析表明,叶面绿色程度和叶面光泽度2个性状相关性大,也较早的聚为一类,聚类分析的结果也验证了相关性分析中各性状间的关联程度。119份供试材料聚类分析结果显示,同一种源、亲本和子代、具有类似品种特性(低温适应性,农艺性状表现上主要与叶片顶部形状和叶面光泽度2个性状有关)等类型的品种聚为一类,与赵建文等<sup>[20-21]</sup>的研究结果相似。本研究的聚类结果可为杂交育种中栽培种质亲本的选择提供一定的参考依据。

巴西橡胶树栽培种遗传多样性较低,个别性状的频率分布相对集中,单个性状的某一形态占较大比例,利用这些性状对种质资源进行区分难度较大,可考虑品种某一特有性状的基础上,结合其他性状进行。巴西橡胶树栽培种遗传基础狭窄,在深度挖掘现有资源利用潜力的同时,加快野生种质资源的

收集、鉴定和利用,从而为橡胶树新品种的选育提供丰富的材料。

#### 参考文献

- [1] 黄华孙,吴云通,王绥通,等.中国橡胶树育种五十年[M].北京:中国热带农业出版社,2005
- [2] 曾霞,黄华孙.国内外橡胶树种质资源收集保存及其研究进展[J].热带农业科技,2004,27(1):24-29
- [3] 安泽伟,黄华孙,姚庆收,等.橡胶树种质资源遗传多样性研究. I. 速生种质遗传多样性 RAPD 分析[J].植物遗传资源学报,2004,5(2):128-132
- [4] 安泽伟,孙爱花,程汉,等.用 RAPD 和 ISSR 检测的橡胶树野生种质和栽培品种的遗传多样性[J].热带亚热带植物学报,2005,13(3):246-252
- [5] 安泽伟,赵彦宏,程汉,等.橡胶树 EST-SSR 标记的开发和应用[J].遗传,2009,31(3):311-319
- [6] 李维国,冯素萍,郑学项,等.用 EST-SSR 标记分析巴西橡胶树的遗传多样性[J].热带作物学报,2009,30(12):1711-1717
- [7] 龙青姨,华玉伟,高战,等.利用 EST-SSRs 标记分析巴西橡胶树魏克汉种质的遗传多样性及遗传分化[J].热带作物学报,2010,31(6):873-880
- [8] 王其同,安泽伟,胡彦师,等.橡胶树抗寒种质遗传多样性分析[J].热带农业科学,2012,32(2):11-14
- [9] 钟滢彬,李维国,吴春太,等.188份巴西橡胶树种质材料 AFLP 指纹图谱分析[J].热带作物学报,2013,34(1):1-9
- [10] 方家林,龙青姨,华玉伟,等.基于 EST-SSRs 的巴西橡胶树魏克汉种质核心种质构建研究[J].热带作物学报,2013,34(6):1013-1017
- [11] Kavitha K. Mydin. 橡胶无性系的遗传分化及多样性分析[J].田郎,译.世界热带农业信息,2011(8):2-6
- [12] 胡兴雨,陆平,贺建波,等.黍稷农艺性状的主成分分析与聚类分析[J].植物遗传资源学报,2008,9(4):492-496
- [13] 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):11-15,21
- [14] 王万兴,刘玉梅,袁素霞,等.结球甘蓝植株相关农艺性状的遗传及相关性分析[J].植物遗传资源学报,2014,15(1):48-55
- [15] 游书梅,曹应江,郑家奎,等.73份亚洲水稻恢复系农艺性状的主成分与聚类分析[J].植物遗传资源学报,2015,16(2):250-256
- [16] 李春花,王艳青,卢文洁,等.云南薏苡种质资源农艺性状的主成分与聚类分析[J].植物遗传资源学报,2015,16(2):277-281
- [17] 中华人民共和国农业部. NY/T 1314-2007,农作物种质资源鉴定技术规程 橡胶树[S].北京:中国农业出版社,2007
- [18] 唐燕琼,李瑞梅,符少萍,等.桂花草种质植物学特征比较分析[J].江西农业大学学报,2011,33(4):629-635
- [19] 田稼,郑殿升.中国作物遗传资源[M].北京:中国农业出版社,1994:312-315
- [20] 赵建文,张晓飞,翟琪麟,等.应用 EST-SSR 分析国外种质作为亲本在中国橡胶树杂交育种中的贡献[J].热带作物学报,2013,34(2):232-238
- [21] 赵建文.我国育成橡胶树品种的遗传多样性分析及骨干亲本选择[D].海口:海南大学,2013