

# 橡胶树魏克汉种质资源生长与形质性状变异分析

张凤良, 李小琴, 胡永华, 毛常丽, 杨 涪, 者国雄, 倪书邦, 吴 裕

(云南省热带作物科学研究所, 景洪 666100)

**摘要:** 于 2009-2016 年每年 12 月中旬, 对 2008 年定植保存在“农业部景洪橡胶树种质资源圃”内来自 4 个国家的 364 份橡胶树魏克汉种质资源 1740 株林木的年度径围生长量进行了跟踪观测, 2016 年 12 月底对其枝下高、主干通直度、主干分杈、侧枝分枝轮、侧枝粗细、侧枝分枝角、侧枝伸展等指标进行了观测, 统计分析了年度径围生长规律及变异情况; 以 364 份种质资源的调查数据对 8 个指标的遗传多样性指数进行了分析, 并分别以基因型和 国家为单位进行了多指标综合聚类, 旨在为揭示橡胶树魏克汉种质资源遗传多样性及合理保护和利用提供理论依据。研究表明, 可以根据林木的茎粗生长量将保存的 364 份魏克汉种质资源划分成 3 个类群, 依次为缓慢型(径围 < 50 cm)、中间型(径围在 50 ~ 60 cm)、速生型(径围 > 60 cm), 其中, 8 年生时径围总生长量平均为 52.88 cm, 变幅为 41.50 ~ 64.00 cm; 缓慢型均值为 47.49 cm, 变幅为 40.50 ~ 49.75 cm; 中间型均值为 54.02 cm, 变幅为 50.00 ~ 59.75 cm; 速生型均值为 61.07 cm, 变幅为 60.00 ~ 64.00 cm; 速生型与缓慢型之间均值相差 13.58 cm。从变异程度来看, 总体、缓慢型、中间型、速生型等年度间变异系数变幅依次为 10.87% ~ 25.81%、10.20% ~ 26.89%、9.32% ~ 25.62%、8.64% ~ 20.78%。随着林龄的增加, 3 类群体连年生长量与年平均生长量均呈现出先增大后降低的趋势, 且两者在 8 年间只出现了 1 次相交, 相交时间在 3 ~ 4 年生之间, 速生型相交时间较晚一些。年度间径围生长量相关性分析表明, 缓慢型和中间型群体相关性均达到极显著正相关(除中间型 1 年生与 8 年生前相关性不显著外), 速生型群体 3 年生后各年度间相关性达到极显著正相关。8 个指标的遗传多样性指数从大到小排序依次为: 枝下高(1.835) > 径围生长量(1.713) > 侧枝分枝轮(1.222) > 侧枝粗细(1.192) > 侧枝分枝角(1.079) > 主干通直度(1.032) > 主干分杈数(0.991) > 侧枝伸展(0.579), 多数指标遗传多样性指数偏小。聚类结果表明, 来自同一国家的种质大部分聚在一组或几组; 4 个国家种质关系最为密切的是印度尼西亚和马来西亚, 其次是印度尼西亚和中国, 距离较远的是斯里兰卡。综上可知, 国内保存的橡胶树魏克汉种质资源 8 个性状变异程度不大, 遗传多样性丰度低。建议在进行早期选择时, 以较小的林龄(如 2 年生)进行淘汰选择, 以较大的林龄(如 4 年生)进行速生资源选择, 其中 7 份速生型种质资源可直接用来培育胶木兼优无性系或作为亲本材料进行杂交育种。

**关键词:** 橡胶树; 魏克汉种质资源; 遗传变异; 径阶分布; 遗传多样性指数

## The Variation Analysis of Growth and Stem Form Quality Traits from Wickham Germplasm Resources of *Hevea brasiliensis*

ZHANG Feng-liang, LI Xiao-qin, HU Yong-hua, MAO Chang-li,

YANG Tian, ZHE Guo-xiong, NI Shu-bang, WU Yu

(Yunnan Institute of Tropical Crops, Yunnan Province, Jinghong 666100)

**Abstract:** In every mid-December of 2009 to 2016, the annual growth of diameter circumference of 1740 ramets in 364 samples of Wickham germplasm resources from four countries preserved in 2008 by the Germplasm Repository of Rubber Tree (*Hevea* spp.) Jing Hong City, Ministry of Agriculture, was made a tracing observation. Besides, the height under branch, trunk straightness, stem branching, lateral branch wheel, lateral branch thickness, lat-

收稿日期: 2017-05-17 修回日期: 2017-06-28 网络出版日期: 2017-12-26

URL: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.4996.S.20171226.1511.016.html>

基金项目: 云南省热带作物科技创新体系建设专项资金项目(RF2017-1); 云南省橡胶产业技术体系(2017KJTX008-01); 农业部种质资源保护项目(16RZZY-07-01); 云南省科技计划项目(2017FD230)

第一作者主要从事橡胶树种质资源保护及遗传育种工作。E-mail: 278540721@qq.com

通信作者: 吴裕, 主要从事植物遗传育种与种质资源学研究。E-mail: hhyw20030105@126.com

eral branch angle and lateral branch stretch were also observed by the end of December 2016. The diameter circumference annual growth rule and variation were analyzed based on investigating data from the samples of 364 Wickham germplasm resources, and the genetic diversity of eight indexes was calculated and multi-index comprehensive clustering was analyzed from the prospective of genotypes and countries respectively. The research was to provide a theoretical basis for revealing their genetic diversity and reasonable protection and utilization. According to the diameter circumference, 364 Wickham germplasm resources samples could be divided into 3 groups, they were slow-growing type (diameter circumference < 50 cm), middle-growing type (in the range of 50 cm and 60 cm) and fast-growing type (> 60 cm), respectively, among which the total growth averaged in 52.88 cm at the age of 8 with an amplitude of variation from 41.50 to 64.00 cm. The average total growth in slow-growing type was 47.49 cm and the amplitude of variation was 40.50 to 49.75 cm, it was 54.02 cm at variation amplitude of 50.00 to 59.75 cm for middle-growing type and 61.07 cm at variation amplitude of 60.00 to 64.00 cm for fast-growing type. The difference of average value was 13.58 cm between the fast-growing type and slow-growing type. From the degree of variation, the amplitude of annual variation coefficients were 10.87%-25.81%, 10.20%-26.89%, 9.32%-25.62% and 8.64%-20.78% for total, slow-growing, middle-growing and fast-growing, respectively. With the forest getting old, the annual increment and annual average growth of three groups all showed a trend of increasing first and then decreasing, and both intersected only once at the time of 3-4a during the eight years, the fast-growing type intersected more lately. Correlation analysis of diameter circumference annual growth showed that there was an extremely significant positive correlation between slow and middle group (excepted the 1a and 8a from middle group). That of fast-growing group also reached an extremely significant positive correlation at the age of 3. Eight indexes of genetic diversity were orderly from large to small: height under branch (1.835) > diameter circumference growth (1.713) > lateral branch wheel (1.222) > lateral branch thickness (1.192) > lateral branch angle (1.079) > trunk straightness (1.032) > stem branching (0.991) > lateral branch stretch (0.579). Most genetic diversity indexes were comparatively smaller. Clustering results showed that germplasm from the same country were mostly gathered in a group or several groups. Indonesia and Malaysia had the closest relations in four countries, the second was Indonesia and China, and Sri Lanka was farther. In conclusion, the variation of eight indexes from Wickham germplasm resources which preserved in China was not significant, and the abundance of genetic diversity was low. In the very early selection, it was recommended that eliminating choice at smaller forest age (such as the age of 2), and fast-growing resource option at larger forest age (such as the age of 4). Seven samples from fast-growing type germplasm resources can be used for cultivating the latex/timber clone or hybridizing as parent materials.

**Key words:** *Hevea brasiliensis*; Wickham germplasm resources; genetic variation; distribution of diameter grade; genetic diversity index

橡胶树 (*Hevea brasiliensis* (Willd. exA. Juss.) Müll. Arg.) 是目前已知产胶量最多的树种, 原产于南美洲巴西亚马逊河流域。全世界有 40 多个国家和地区种植橡胶树, 据 2012 年统计数据, 世界橡胶树种植面积达 1272 万  $\text{hm}^2$ , 东南亚仍是天然橡胶的主产区, 其中泰国、印度尼西亚和马来西亚等 3 国占到全世界的 66%<sup>[1]</sup>。我国已建成海南、云南等两大橡胶基地, 据 2015 年统计数据, 植胶面积约 113.3 万  $\text{hm}^2$ , 总量不足世界的 10%, 其中 2015 年产胶约 81.6 万 t。目前, 我国天然橡胶的消费量逐年增加, 而天然橡胶的产量不及消费量的 20%, 天然橡胶自

给率低, 需求缺口逐年加大。

我国天然橡胶种植区地处热带北缘, 该区植胶面积已达极限, 只有大幅度提高橡胶树单位面积产量才是一条适合中国橡胶事业发展的有效途径。杂交育种一直是橡胶树育种的重要方法, 然而国内橡胶树种质资源十分匮乏, 加强对橡胶树特异种质资源收集及评价尤为重要, 也一直是学术界重视的问题。目前, 橡胶树种质资源习惯被分为 81 IRRDB 种质资源和魏克汉种质资源等两大类。其中, 国际橡胶研究与发展委员会 (IRRDB, International Rubber Research & Development Board)

于 1981 年从巴西亚马逊河流域采集种子和芽条繁殖获得的称为 81'IRRDB 种质资源;1876 年英国的魏克汉(Wickham)将橡胶树从巴西引种到英国邱园(Kew Garden)育苗,再送到斯里兰卡、马来西亚和印度尼西亚等国种植,其后代统称为魏克汉种质资源,现已分布于东南亚大部分地区,并以此为材料培育了诸多优良品种,是目前橡胶树种植品种的主要来源<sup>[2-3]</sup>。

橡胶树割胶树龄通常在 7~40 年之间,40 年树龄后胶林需要逐步更新造林。而橡胶树因其木材结构细致、纹理美观、材色呈乳白色或淡黄色、硬度适中等特点,加工处理后是一种能生产高档家具、装饰材料<sup>[4]</sup>,近年来,橡胶树育种目标开始由以胶乳产量作为主要或单一指标转向胶木兼优为主<sup>[5-9]</sup>。因此,橡胶树作为胶木两用的珍贵树种,在研究胶乳产量的同时需加强对其林木生长、树体形态及木材性质等的研究,以充分评估其经济价值。另外,有报道生长较缓慢的基因型,基本不会出现产胶量高的个体,研究林木生长及树体结构对橡胶树选育工作具有重要意义<sup>[10]</sup>。

目前,利用分子标记技术来鉴定橡胶树种质资源的研究报道较多,也取得了较大的进展<sup>[11-17]</sup>。在突出分子标记技术重要性的同时,应充分与形态标记技术相结合,而关于橡胶树魏克汉种质资源生长及树体形态等表型性状多样性研究尚未见报道。本文对保存于“农业部景洪橡胶种质资源圃”的 364 份橡胶树魏克汉种质资源 1740 株林木的年度径围生长量及树体形态指标进行了观测,通过对其年度间径围生长规律、变异式样、表型遗传多样性指数及综合聚类分析,旨在为橡胶树魏克汉种质资源遗传多样性评价、保护与利用提供物质基础和理论参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

供试材料为 2008 年定植保存于“农业部景洪橡胶树种质资源圃”内的 364 份生橡胶树魏克汉(Wickham)种质资源,共计 1740 株,其中包括中国选育的 243 份(云南 145 份、海南和广东共 98 份)、马来西亚选育的 44 份、印度尼西亚选育的 43 份、斯里兰卡选育的 22 份和未知来源的 12 份。2006 年 9 月收集 GT1 自然授粉种子繁殖砧木苗,2007 年 7 月

采条芽接,芽接成活后于 2008 年 7 月定植,每份种质定植 4~8 株,株行距 3 m×6 m。定植成活后按生产性胶园常规管理,林木生长良好。

“农业部景洪橡胶树种质资源圃”位于云南省西双版纳景洪市云南省热带作物科学研究所内(99°55'~101°50'E,21°08'~22°40'N),海拔 500~600 m,干湿季分明,全年无霜。年平均气温 18.6~21.9℃,雨量充沛,其中 80%~90% 的雨量集中在 5-10 月份的雨季,年平均降雨量 1200 mm。土壤为酸性红土,pH 值 4.5~5.5,土层深厚,适宜于橡胶树正常生长发育。

### 1.2 性状指标

2009-2016 年,于每年 12 月中旬对参试种质资源逐株进行径粗测量,测量高度为离地 1.3 m。2016 年 12 月下旬对 8 年生林木的树体形态进行了逐株观测,具体包括枝下高、通直度、主干分权、分枝轮、侧枝粗细、侧枝角度和侧枝伸展情况(表 1)。

### 1.3 数据处理与统计分析

数量性状变异特征值包括均值( $X$ )、标准差( $S$ )、变异系数( $CV$ )、极差( $R$ )、相对极差( $RR$ )、遗传多样性指数( $H'$ )。用变异系数表示表型性状的离散程度,用相对极差表示极端差异程度( $RR = R/X \times 100\%$ ,其中  $R = X_{\max} - X_{\min}$ )。质量性状只统计各类别的频率分布,计算其遗传多样性指数。

利用 Shannon-Weaver 遗传多样性指数(Shannon Weaver index of genetic diversity)来衡量群体表型遗传多样性大小。涉及表型遗传多样性指数的性状指标分为 2 类:第 1 类为质量性状,包括主干通直度、主干分权、侧枝分枝轮、侧枝粗细、侧枝分枝角及侧枝伸展情况,统计各性状类别的频率分布( $P_i$ ),用于计算遗传多样性指数( $H'$ );第 2 类为数量性状,包括径围生长量及枝下高,根据平均值、标准差将材料分为 10 级,从第 1 级  $X_1 < (x-2s)$  到第 10 级  $X_{10} \geq (x+2s)$ ,每 0.5s 为 1 级,每一组的相对频率( $P_i$ )用于计算多样性指数( $H'$ );计算公式  $H' = - \sum_i^m P_{ij} \ln P_{ij}$ ,其中  $P_{ij}$  为 j 性状在第 i 个级别出现的频率,ln 为自然对数<sup>[18-20]</sup>。

应用 Excel 2003 软件对统计分析结果进行整理汇总;应用 SPSS 17.0 软件对数量性状进行变异特征值描述及差异性分析,采用欧式距离法(Euclidean distance)对参试种质进行聚类分析。

表1 主干和分枝指标评价标准

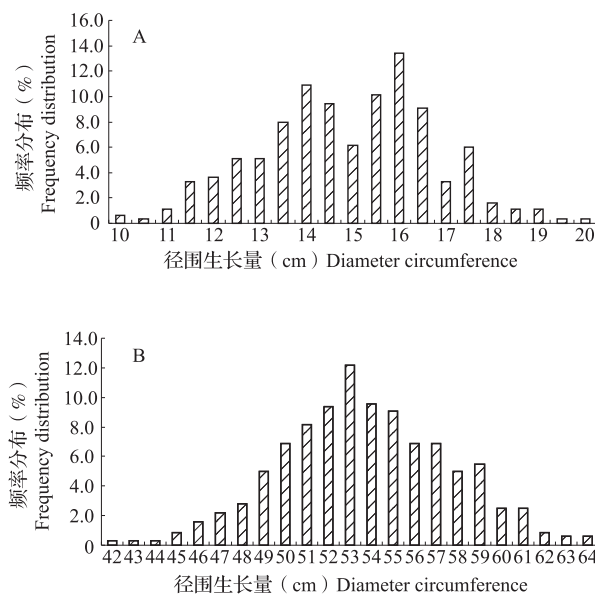
Table 1 The test criteria of stem traits and branch indexes for Wickham germplasm resources

性状 Traits	符号/类型 Sign/Type	描述 Description
主干通直度 Stem straightness	1:严重弯曲	2个及以上大弯曲
	2:弯曲	1个大弯曲
	3:基本通直	1~2个小弯曲
	4:通直	无弯曲
主干分枝 Stem divergence	1:有2个以上分枝	树高1/2以下有2个以上分枝
	2:有1个分枝	树高1/2以下分为2杈
	3:无分枝	树高1/2以下无分枝
侧枝分枝轮 Lateral branch wheel	1:不规则状	分枝轮不明显,分枝多在主干中上部,且分枝少而细
	2:丛状	呈丛状分枝,分枝多在主干尖端,分枝长而粗
	3:5轮以下	呈轮状分枝,轮距小,多为5轮以下,分枝长而粗
	4:5轮以上	呈轮状分枝,轮距较大,多在5轮以下
侧枝粗细 Lateral branch thickness	1:极粗	有一半以上侧枝基部直径>邻近主干直径的2/3
	2:粗	有一半以上侧枝基部直径在邻近主干直径的1/2到2/3之间
	3:细	有一半以上侧枝基部直径在邻近主干直径的1/3到1/2之间
	4:极细	有一半以上侧枝基部直径<邻近主干直径的1/3
侧枝分枝角 Lateral branch angle	1:小	侧枝基部与主干夹角<30°
	2:较小	侧枝基部与主干夹角在30°与45°之间
	3:大	侧枝基部与主干夹角在45°与60°之间
	4:较大	侧枝基部与主干夹角在60°与90°之间
侧枝伸展 Lateral branch stretch	1:向上倾斜	树冠大部分枝条向上倾斜,侧枝与主干夹角小于60°
	2:平展	树冠大部分枝条水平生长,侧枝与主干夹角在60°与90°之间
	3:下垂	树冠大部分枝条下垂生长,侧枝与主干夹角大于90°

## 2 结果与分析

### 2.1 年度径围生长规律分析

对364份魏克汉种质资源2年生和8年生时林木的径围总生长量径阶频率分布进行了统计(图1)。可以看出,2年生和8年生时林木径阶频率分布均呈正态分布,极端值出现的概率2年生时要比8年生时高,总体上都较低,且频率分布8年生要比2年生更加集中,林木分化程度更小。按照橡胶树开割标准(径围 $\geq 50$  cm),7年生时达到开割标准的有111份(占30.49%),整个群体生长不算快。8年生时径围生长量小于50 cm的有74份(占20.33%),这部分种质生长较慢,归为缓慢型群体;达到开割标准的有290份(占79.67%),其中有25份(约占7%)超过59 cm,归为速生型群体,其余265份归为中间型群体。值得指出的是,在速生型群体中有7份种质6年生时径围生长量已经超过开割标准(50 cm),7年生时径围生长量超过55 cm,这部分种质资源是培育橡胶树胶木兼优品种或作为杂交亲本选择难得的基因型。



A:2年生径围频率分布图;B:8年生径围频率分布图

A:The frequency distribution diagram of diameter circumference from 2-years old trees, B:The frequency distribution diagram of diameter circumference from 8-years old trees

图1 魏克汉种质资源径围频率分布图

Fig. 1 The frequency distribution diagram of diameter circumference from Wickham germplasm resources

对划分的 3 类群体分别统计了年度径围生长变异情况(表 2)。方差分析结果表明,所参试的 364 份魏克汉种质资源各年径围总生长量差异均达到极显著水平( $P < 0.01$ ),缓慢型和中间型群体 1~5 年生时径围总

生长量差异达到极显著水平( $P < 0.01$ ),6~8 年生差异未达到显著水平( $P > 0.05$ ),速生型群体 1~2 年生时径围总生长量差异达到显著水平( $P < 0.05$ ),其余各年径围总生长量差异均不显著( $P > 0.05$ )。

表 2 魏克汉种质资源径围年生长量变异情况

Table 2 Variations of annual growth in diameter circumference from Wickham germplasm resources

年份 Year	总体 Total population				缓慢型 Slow-growing type				中间型 Middle-growing type				速生型 Fast-growing type			
	均值 (cm) <i>X</i>	变异 系数 (%) <i>CV</i>	极差 (cm) <i>R</i>	相对 极差 (%) <i>RR</i>	均值 (cm) <i>X</i>	变异 系数 (%) <i>CV</i>	极差 (cm) <i>R</i>	相对 极差 (%) <i>RR</i>	均值 (cm) <i>X</i>	变异 系数 (%) <i>CV</i>	极差 (cm) <i>R</i>	相对 极差 (%) <i>RR</i>	均值 (cm) <i>X</i>	变异 系数 (%) <i>CV</i>	极差 (cm) <i>R</i>	相对 极差 (%) <i>RR</i>
2009(1)	6.28**	25.81	5.86	91.46	5.89**	26.89	5.40	91.62	6.40**	25.62	5.86	91.49	6.50*	20.78	4.40	67.67
2010(2)	14.55**	18.30	11.78	80.44	13.72**	19.08	7.60	55.41	14.90**	17.84	11.60	77.83	15.38*	17.70	9.50	61.75
2011(3)	22.83**	14.66	14.42	63.17	21.23**	15.17	10.12	47.66	23.22**	14.05	13.62	58.67	24.79	12.77	6.82	27.51
2012(4)	30.04**	12.26	15.28	50.86	27.66**	12.34	11.03	39.87	30.50**	11.37	13.65	44.76	33.10	10.06	5.91	17.86
2013(5)	36.63**	11.36	18.47	50.43	33.45**	11.59	12.17	36.38	37.26**	10.01	12.87	34.55	40.65	9.03	8.92	21.94
2014(6)	42.93**	10.90	19.35	45.07	39.08	10.74	11.75	30.07	43.69	9.36	12.38	28.33	48.25	9.02	7.75	16.06
2015(7)	48.10**	10.90	21.62	44.95	43.65	10.25	11.87	27.20	49.06	9.31	11.30	23.03	54.51	8.68	9.58	17.58
2016(8)	52.88**	10.87	23.50	42.55	47.49	10.20	9.25	16.84	54.02	9.32	9.75	18.05	61.07	8.64	4.00	6.55

括号内数值表示林龄; \* 表示在 0.05 水平上差异显著; \*\* 表示在 0.01 水平上差异显著,下同

*X*: Mean, *CV*: Variation coefficients, *R*: Range, *RR*: Relatively range. The value in brackets indicates the age of the tree, \* the mean difference is significant at the 0.05 level, \*\* the mean difference is significant at the 0.01 level, the same as below

8 年生时总体径围生长量均值为 52.88 cm, 变幅为 40.50~64.00 cm; 缓慢型均值为 47.49 cm, 变幅为 40.50~49.75 cm; 中间型均值为 54.02 cm, 变幅为 50.00~59.75 cm; 速生型均值为 61.07 cm, 变幅为 60.00~64.00 cm, 速生型与缓慢型之间均值相差 13.58 cm。对于连年生长量而言, 缓慢型和中间型第 2 年和第 3 年保持一个较快的生长速度, 后逐渐减缓, 到第 8 年时分别为 3.84 cm 和 4.96 cm, 表现出生长较慢; 而速生型群体虽从 3 年生时开始逐年下降, 但到第 5 年时仍具有较强的生长潜力, 8 年生时为 6.56 cm, 远高于总体均值 4.78 cm。由图 2 可知, 8 年间, 3 类群体和总体来说, 连年生长量与年平均生长量均发生了 1 次相交, 只是相交的时间有所不同; 缓慢型和中间型群体相交在 3~4 年生之间; 速生型群体相对延后至 4 年生时, 相交之后所有群体的连年生长量都一直低于年平均生长量。总体、缓慢型、中间型呈现逐渐拉大的趋势, 而速生型呈现先拉大后逐渐平稳的趋势。

从变异程度来看(表 2), 总体、缓慢型、中间型、速生型年度间变异系数变幅依次为 10.87%~25.81%、10.20%~26.89%、9.32%~25.62%、8.64%~20.78%, 且随林龄的增加逐年下降, 其中缓慢型种质数量远小于中间型, 但逐年变异系数前者反而比后者大, 说明缓慢型群体生长上分化更严重。相

对极差表示各群体内的极端变异程度, 总体、缓慢型、中间型、速生型年度间相对极差的变幅依次为 42.55%~91.46%、16.84%~91.62%、18.05%~91.49%、6.55%~67.67%, 各群体相对极差以不同幅度呈逐年下降趋势, 而总体从第 4 年开始下降幅度逐渐减少, 而另外 3 类群体, 每年下降幅度差异都比较大, 说明要通过相对极差来判别群体的极端情况, 最好先进行分类处理以免造成误判。

## 2.2 年度径围生长量相关性分析

以每份种质资源的径围总生长量均值为依据, 分别对 4 类群体进行了年度间相关性分析(表 3)。可以看出总体和缓慢型群体各年度间相关性均达到了极显著正相关( $P < 0.01$ ), 而中间型群体 1 年生与 8 年生相关性不显著, 其余年份均达到极显著正相关( $P < 0.01$ ), 速生型群体 1 年生与 7 年生、8 年生相关性不显著, 2 年生与 8 年生相关性不显著, 其余年份相关性均达到显著或极显著正相关。从总体相关性来看, 1 年生与 5 年生、6 年生、7 年生及 8 年生的相关系数不是很大, 说明用 1 年生苗木来做成年树径围生长预测效果可能不理想。而针对速生型种质选择时, 要从 4 年生开始, 与 5 年生、6 年生、7 年生、8 年生之间的相关系数才比较大, 依次为 0.835、0.741、0.646、0.506。

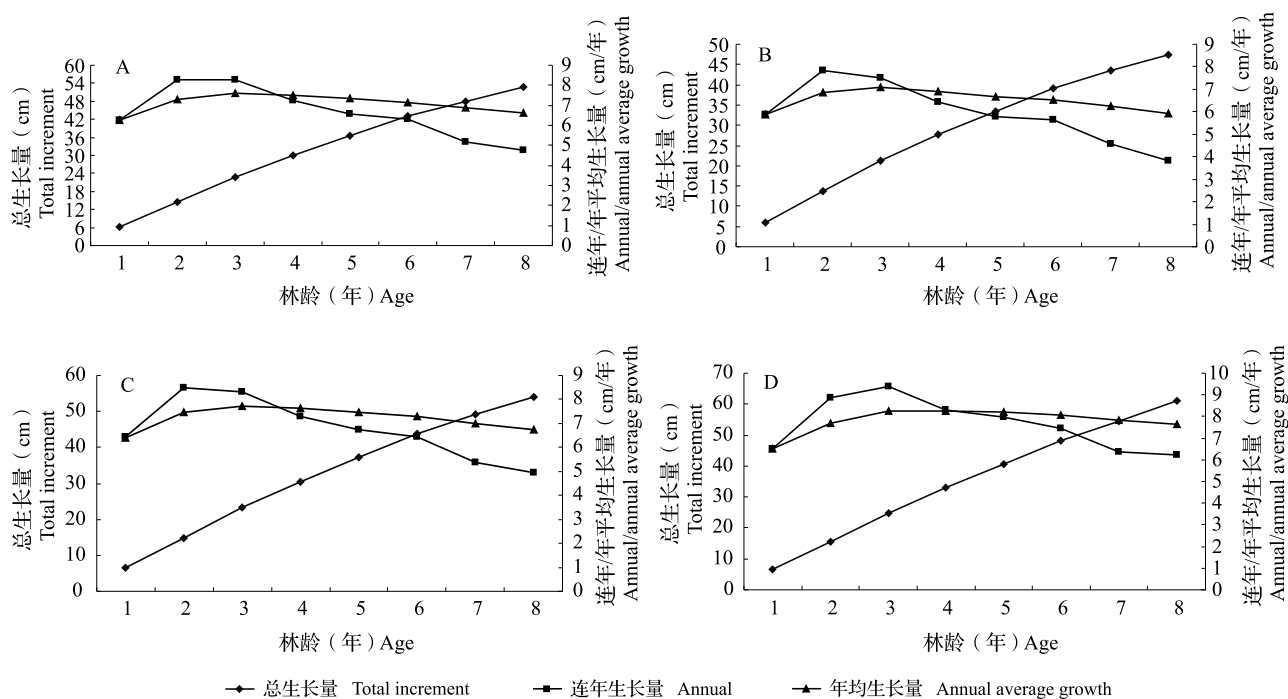


图2 魏克汉种质资源年度径围生长曲线图

Fig.2 Annual growth curve of diameter circumference for Wickham germplasm resources

表3 魏克汉种质资源年度间径围总生长量相关性

Table 3 The correlation of diameter circumference total growth between years from Wickham germplasm resources

种质类型 Germplasm types	林龄(年) Age	林龄(年) Age						
		1	2	3	4	5	6	7
总群体 Total	2	0.738 **						
	3	0.650 **	0.862 **					
	4	0.520 **	0.719 **	0.885 **				
	5	0.407 **	0.603 **	0.753 **	0.886 **			
	6	0.331 **	0.506 **	0.667 **	0.820 **	0.921 **		
	7	0.284 **	0.431 **	0.597 **	0.747 **	0.862 **	0.948 **	
	8	0.219 **	0.350 **	0.516 **	0.674 **	0.797 **	0.891 **	0.954 **
	8	0.301 **	0.444 **	0.508 **	0.649 **	0.746 **	0.843 **	0.940 **
缓慢型 Slow-growing type	2	0.730 **						
	3	0.602 **	0.841 **					
	4	0.503 **	0.746 **	0.895 **				
	5	0.399 **	0.630 **	0.732 **	0.874 **			
	6	0.375 **	0.567 **	0.651 **	0.792 **	0.908 **		
	7	0.345 **	0.512 **	0.564 **	0.698 **	0.815 **	0.914 **	
	8	0.301 **	0.444 **	0.508 **	0.649 **	0.746 **	0.843 **	0.940 **
	8	0.301 **	0.444 **	0.508 **	0.649 **	0.746 **	0.843 **	0.940 **

表 3(续)

种质类型 Germplasm types	林龄(年) Age	林龄(年) Age						
		1	2	3	4	5	6	7
中间型 Middle-growing type	2	0.719**						
	3	0.654**	0.857**					
	4	0.515**	0.692**	0.863**				
	5	0.383**	0.552**	0.681**	0.824**			
	6	0.290**	0.423**	0.580**	0.735**	0.857**		
	7	0.235**	0.316**	0.467**	0.610**	0.738**	0.887**	
	8	0.106	0.177**	0.317**	0.464**	0.611**	0.772**	0.894**
速生型 Fast-growing type	2	0.881**						
	3	0.727**	0.842**					
	4	0.575**	0.671**	0.828**				
	5	0.352**	0.490**	0.683**	0.835**			
	6	0.270*	0.389**	0.564**	0.741**	0.875**		
	7	0.151	0.270*	0.472**	0.646**	0.828**	0.922**	
	8	0.073	0.171	0.340**	0.506**	0.700**	0.835**	0.926**

### 2.3 不同国家种质资源生长与形质性状分析

由表 4 可知,来自马来西亚培育的资源生长最快,其次是中国,斯里兰卡最差。枝下高、主干通直度、主干分杈及侧枝粗细等各个国家相差不大,这可

能与橡胶树固有的特性有关,即橡胶树普遍主干通直、少分杈、侧枝较粗等,推测这些性状受环境影响比较小,稳定性好。

表 4 不同国家魏克汉种质资源生长与形质性状统计结果

Table 4 The statistical result of growth and stem form quality traits from Wickham germplasm resources of different countries

来源 Source	径围(cm) Diameter circumference	枝下高 (cm) Under branch height	主干通直度 Stem straightness	主干分杈 Stem divergence	分枝轮 Lateral branch wheel	侧枝粗细 Lateral branch thickness	侧枝角度(°) Lateral branch angle	侧枝伸展 Lateral branch stretch
中国 China	53.01	3.07	3.28	2.25	2.71	2.02	2.67	1.26
印度尼西亚 Indonesia	52.80	3.25	3.24	2.61	3.32	2.15	2.49	1.02
斯里兰卡 Sri Lanka	51.98	3.12	3.21	2.93	4.17	2.38	3.14	1.24
马来西亚 Malaysia	53.47	3.13	3.20	2.57	3.40	2.23	2.74	1.20

### 2.4 遗传多样性指数统计分析

对 364 份橡胶树魏克汉种质资源的生长及树体形态等 8 个性状指标的频率分布及表型遗传多样性指数进行了统计分析(表 5)。林木 8 年生时 2 个数量性状中枝下高的变异系数(15.58%)要高于径围生长量的变异系数(10.87%),相应地遗传多样性

指数前者(1.835)也要高于后者(1.713)。

主干通直度、主干明显度、侧枝分枝轮、侧枝粗细、侧枝分枝角及侧枝伸展性等 6 个质量性状在其描述级别上均有分布,但分布不均。其中主干通直度以基本通直(占 46.565%)和通直(占 39.695%)为主,严重弯曲的仅占 1.018%,橡胶树属于巴西亚

马逊热带雨林中的上层树种,为了争夺阳光,在自然选择过程中形成了良好的主干通直度,往往树干通直的枝下高较高,自然整枝能力较强。一半以上的种质资源主干不分杈,调查中发现,分杈多的林木普遍枝下高不高、生长较慢、侧枝多而粗、分枝轮不明显。侧枝分枝轮分级表型为不规则状、丛状分枝到轮状分枝,轮状分枝数量从3轮到10轮以上不等,调查的林木以分枝轮明显(占68.43%)为主,橡胶树生长一段时间后会形成一个相对固定的叶蓬,叶蓬中央部位的叶芽最大,容易萌芽且生长较快,形成侧枝,故橡胶树的侧枝多以轮状分布;而部分分枝轮不明显的基因型(占27.24%)往往是每一轮中有一两个叶芽生长较快(其余叶芽均未形成侧枝),形成极粗的侧枝,形似主干,抑制主干生长,使主干向相反的一侧生长,调查中发现主干分杈多的往往分枝轮不明显且分枝角度较小。侧枝极细的仅占到4.580%,极粗的占到20.226%,两者共占24.806%,而处于中间状态的2种类型共占到75.193%,侧枝的粗细会影响整个树干径围的生长

情况,对于以培育用材林为主要目标时要充分考虑这一性状,能显著提高材积量和木材利用率。侧枝分枝角多集中在 $30^{\circ} \sim 60^{\circ}$ 之间,所占比例为82.698%,大于 $60^{\circ}$ 的占16.031%,小于 $30^{\circ}$ 的仅占1.272%,分枝角大小是抗风育种选择的主要性状之一,分枝角度大的往往抗风力强,侧枝分枝角受侧枝分轮、伸展情况及主干分杈等影响很大。大部分橡胶树枝条都向上伸展(占到80.916%),林木侧枝伸展趋势影响林木利用空间资源、获取林内散射光及抗风性强弱的能力。

由表4可知,各性状遗传多样性指数的范围为0.579~1.835,平均为1.205,其中径围生长量和枝下高都较大,侧枝分枝轮次之,侧枝伸展最小。各性状遗传多样性指数从大到小排序依次为:枝下高(1.835) > 径围生长量(1.713) > 侧枝分枝轮(1.222) > 侧枝粗细(1.192) > 侧枝分枝角(1.079) > 主干通直度(1.032) > 主干分杈(0.991) > 侧枝伸展(0.579)。2个数量性状的遗传多样性指数远高于6个质量性状,说明质量性状稳定性更好,受环境影响可能更小。

表5 魏克汉种质资源生长及形质性状遗传多样性指数

Table 5 The genetic diversity index of growth and stem form quality traits from Wickham germplasm resources

性状 Traits	遗传多样性 指数 $H'$	频率分布(%) Frequency distribution									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
径围生长量 Diameter circumference growth	1.713	0.226	1.129	5.869	16.479	28.442	30.248	10.384	5.869	1.129	0.226
枝下高 Under branch height	1.835	—	2.545	6.361	14.504	31.807	23.155	12.468	5.089	2.290	1.781
主干通直度 Stem straightness	1.032	1.018	12.723	46.565	39.695	—	—	—	—	—	—
主干分杈 Stem divergence	0.991	9.270	32.570	58.160	—	—	—	—	—	—	—
侧枝分枝轮 Lateral branch wheel	1.222	27.240	4.330	31.680	36.750	—	—	—	—	—	—
侧枝粗细 Lateral branch thickness	1.192	20.226	42.967	32.226	4.580	—	—	—	—	—	—
侧枝分枝角 Lateral branch angle	1.079	1.272	42.494	40.204	16.031	—	—	—	—	—	—
侧枝伸展 Lateral branch stretch	0.579	80.916	15.522	3.562	—	—	—	—	—	—	—

## 2.5 综合性状聚类分析

“农业部景洪橡胶树种质资源圃”保存的魏克汉种质资源大部分是由斯里兰卡、印度尼西亚、马来西亚、中国等几个国家选出的初生代及以后杂交的

次生代等高产品种或无性系。基于364份魏克汉种质资源8年生林木的径围生长和树体形态等8个性状描述均值数据,利用欧式距离 Euclidean distance 法进行聚类分析(图3)。聚类结果表明,当聚类阈



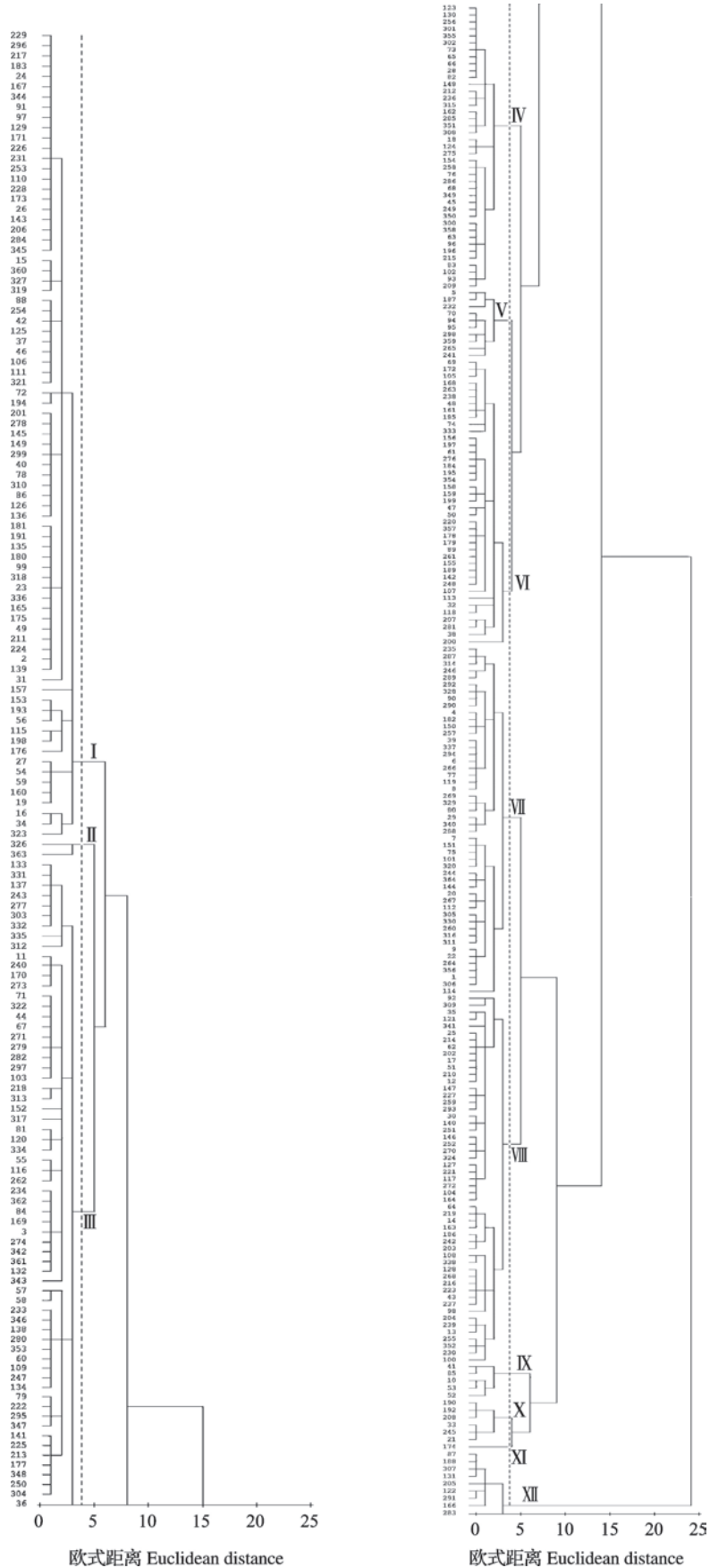
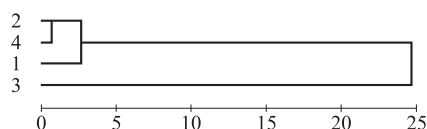


图3 魏克汉种质资源综合性状聚类图

Fig.3 The cluster figure of individual comprehensive traits from Wickham germplasm resources

值在4的位置,可以将参试的橡胶树种质资源聚为12组,大部分种质包含在1~6组。其中我国选育的资源每组均有分布,但主要归到I组、II组、III组、VI组;印度尼西亚的主要归到I组、II组、VI组;马来西亚的主要归到I组、II组;斯里兰卡的主要归到V组。

由于不同国家包含的种质数量差异较大,加之表型性状受环境影响很大,因此与地理来源相互关系比较复杂,但针对大部分种质而言,来自同一国家的种质资源被分组聚在了一起。不同国家魏克汉种质资源综合性状聚类分析表明,种质关系最为密切的是印度尼西亚和马来西亚,其次是印度尼西亚和中国,距离较远的是斯里兰卡(图4)。



欧式距离 Euclidean distance

1: 中国;2: 印度尼西亚;3: 斯里兰卡;4: 马来西亚

1: China, 2: Indonesia, 3: Sri Lanka, 4: Malaysia

图4 不同国家魏克汉种质资源综合性状聚类图

Fig. 4 The cluster figure of comprehensive traits of Wickham germplasm resources from different countries

### 3 讨论

表型性状变异往往具有适应和进化上的意义<sup>[21]</sup>。植物群体中保存有较大的遗传多样性对群体是有利的,群体内基因型数量越多相应地表型变异范围就广,从而使群体在整体上能更好地适应可能遇到的多种环境条件<sup>[22]</sup>。表型性状变异通常是遗传变异的重要体现形式,也是检测遗传多样性最简单而直接的方法。

参照橡胶树开割标准,把参试的364份魏克汉种质资源按茎粗生长量划分成缓慢型、中间型和速生型等3个类群,研究表明,3个类群年度径围生长规律与总群体呈相同的趋势,即总生长量随着林龄的增加而增长,连年生长量和年平均生长量随着林龄的增加呈先增大后下降的趋势,8年间连年生长量与年平均生长量均发生了1次相交,根据相交的林龄由小到大排序为缓慢型<中间型<总群体<速生型。相交之后各类型的连年生长量均一直低于年平均生长量,总群体、缓慢型及中间型群体呈逐渐拉大的趋势,而速生型群体呈先拉大后逐渐平行的趋势。保存的橡胶树魏克汉种质总体上反映出径围生长从第3年或第4年开始减慢,这与很多树

种的生长规律有很大差异<sup>[23-25]</sup>,其主要原因可能跟老态无性系过早开花结果及环境因子等一系列因素有关,在实际调查中发现3年生或4年生时林木大部分都开花结果。

橡胶树属于速生树种,但保存的魏克汉种质资源总体上径粗生长旺盛期比较短,针对这一特点,可以考虑利用生长较快的种质来培育短周期用材林。8年生时生长缓慢型群体均值仅为47.49 cm,根据大丰农场研究报告,群体以生长最差的10%为试验对象的植株中,没有出现高产植株,并进一步分析了按照生长量来进行淘汰选择,淘汰率以20%~30%为宜<sup>[10]</sup>。年度间相关性结果分析表明,缓慢型资源年度间早晚相关性比速生型更好,建议以较小的林龄(如2年生)进行早期淘汰选择,以较大的林龄(如4年生)进行速生型资源早期选择。

有关橡胶树种质资源遗传多样性研究前人已有报道,认为橡胶树野生种质资源的遗传多样性比栽培品种更丰富<sup>[16-17]</sup>。本研究通过相对极差、变异系数及表型遗传多样性指数来进行综合评价橡胶树魏克汉种质资源的变异情况,研究结果表明,1~8年生林木总体相对极差变幅为42.55%~91.46%,平均为58.49%;变异系数变幅为10.87%~25.81%,平均为14.38%;表型遗传多样性指数变幅为0.579~1.835,平均为1.205。随着林龄的增加径围生长量极端值出现的概率越来越低,变异系数越来越小,而表型遗传多样性指数年度间相差不大且值偏小,由此可以得出保存的魏克汉种质资源遗传多样性不够丰富,与龙青姨等<sup>[26]</sup>研究结果一致。虽然橡胶树的高度异交习性使得该物种内存在广泛的遗传变异性<sup>[27]</sup>,但整个魏克汉种质群体仅来自魏克汉(Wickham)在亚马逊河下游与塔帕若斯(Tapajós)河汇合处的博因(Boin)采集并培育的46株母树,且其子代很多都是高世代群体,这可能是其遗传多样性偏低的主要原因。保存的橡胶树魏克汉种质资源树体形态等指标的表型遗传多样性指数要比81'IRRDB野生种质低<sup>[28]</sup>。因此,在进行魏克汉种质资源鉴定及利用的同时,还应加强对81'IRRDB种质资源进行鉴定、评价和利用。本课题组对农业部景洪橡胶树种质资源圃内保存的81'IRRDB种质资源进行了鉴定,得出有相当一部分野生种质生长特别快、树干通直、枝下高较高,对这部分已鉴定的种质资源应加以充分利用,今后的研究工作中,应该把魏克汉种质资源与81'IRRDB野生种质资源充分结合,通过杂交育种技术、分子标记和基因工程辅助育种技术进行种质创

新,培育更多优良的胶木兼优新品种。

前人对中国国家种质圃保存的橡胶树魏克汉种质资源与其地理来源的相关性研究表明,种质关系最近的是中国和印度尼西亚,其次是中国和马来西亚,遗传距离最远的是斯里兰卡和巴西<sup>[26]</sup>。本课题组对“农业部景洪橡胶树种质资源圃”内保存的魏克汉种质资源的研究结果与上述研究结果有一定差异,即种质关系最近是印度尼西亚和马来西亚,其次是马来西亚和中国,都与斯里兰卡关系最远。个体聚类结果显示来自同一国家的不同种质虽没有都聚在了一起,但大部分种质都分几组聚在了一起,说明不同橡胶树魏克汉种质资源的遗传距离与其地理位置有一定的相关性。由于参试的种质数太多,个体聚类关系比较复杂,未十分清晰的得出与地理位置的关系,今后可根据育种目标淘汰部分较差的种质后,再进行深入研究。

#### 4 结论

“农业部景洪橡胶树种质资源圃”保存的魏克汉种质资源遗传变异程度不高,遗传多样性偏低。按径围生长划分成缓慢型、中间型、速生型等3类群体年度径围生长规律与总体趋势是一致的,即林龄越大林木分化越小,连年生长量和年平均生长量随着林龄的增加呈先增大后下降的趋势,但不同类群连年生长量和年平均生长量相交出现的时间有所不同,具体表现为缓慢型 < 中间型 < 速生型。

保存的4个国家的种质资源中,马来西亚培育的生长最快,其次是中国,斯里兰卡最差,所测定的8个性状中关系最近是印度尼西亚和马来西亚,其次是马来西亚和中国,都与斯里兰卡关系最远。在进行生长早期选择时,建议以较小的林龄(如2年生)进行早期淘汰选择,以较大的林龄(如4年生)进行速生型资源早期选择,其中7份速生型种质资源可用来直接培育橡胶树胶木兼优无性系品种或作为杂交亲本选择材料。

#### 参考文献

- [1] 曾霞,郑服丛,黄茂芳,等. 世界天然橡胶技术现状与展望[J]. 中国热带农业,2014(1):31-36
- [2] 周艳飞. 云南橡胶树栽培[M]. 昆明:云南大学出版社,2008:3
- [3] 吴春太,李维国,黄华孙. 近年来国内外橡胶树种质资源与育种方法研究新进展[J]. 西北林学院学报,2013,28(2):118-124
- [4] 徐有明,林汉,江泽慧,等. 橡胶树生长轮宽度、木材密度变异及其预测模型的研究[J]. 林业科学,2002,38(1):95-102
- [5] 李维国,高新生,张伟算,等. 橡胶树胶木兼优品种热垦525适应性试种研究[J]. 热带作物学报,2011,32(10):1793-1798
- [6] 高新生,李维国,黄华孙,等. 4个胶木兼优品系生长量、初产期产量与排胶生理特性[J]. 热带农业科学,2007,27(3):1-4
- [7] 吴春太,高新生,张晓飞,等. 橡胶树胶木兼优无性系生长量与产量的测定与分析[J]. 华南农业大学学报,2012,33(1):69-72
- [8] 张晓飞,李维国,高新生,等. 橡胶树胶木兼优引进品系热垦21高级系比试验初报[J]. 热带作物学报,2011,32(5):781-784
- [9] 周钟毓. 21世纪推广种植胶木兼优品种势在必行[J]. 热带农业科学,2000(6):46-52
- [10] 黄华孙. 中国橡胶树育种五十年[M]. 北京:中国农业出版社,2005:79-80
- [11] 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
- [12] 龙翔宇,何斌,王闯,等. 橡胶树1981' IRRDB野生种质及栽培品系ITS序列多态性及其进化分析[J]. 热带作物学报,2015,36(12):2113-2119
- [13] 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
- [14] 李德军,邓治. 分子标记在橡胶树研究中的进展[J]. 热带农业科学,2013,33(11):46-50
- [15] Pootakham W, Chanprasert J, Jomchai N, et al. Single nucleotide polymorphism marker development in the rubber tree, *Hevea brasiliensis* (Euphorbiaceae) [J]. Am J Bot, 2011, 98(11):337-338
- [16] 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
- [17] 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
- [18] 赵香娜,李桂英,刘洋,等. 国内外甜高粱种质资源主要性状遗传多样性及相关性分析[J]. 植物遗传资源学报,2008,9(3):302-307
- [19] 董玉琛,曹永生,张学勇,等. 中国普通小麦初选核心种质的产生[J]. 植物遗传资源学报,2003,4(1):1-8
- [20] 代攀虹,孙君灵,何守朴,等. 陆地棉核心种质表型性状遗传多样性分析及综合评价[J]. 中国农业科学,2016,49(19):3694-3708
- [21] Bacilieri R, Ducouso A, Kremer A. Genetic, morphological, ecological and phenological differentiation between *Quercus petraea* (Matt.) Liebl. and *Quercus robur* L. in a mixed stand of Northwest of France [J]. Silvae Genetica, 1995, 44(1):1-10
- [22] 杨生超,徐绍忠,文国松,等. 灯笼花种质资源群体表型多样性研究[J]. 西北植物学报,2008,28(8):1573-1579
- [23] 韦善华,覃静,朱贤良,等. 南宁地区灰木莲人工林生长规律研究[J]. 西北林学院学报,2011,26(5):174-178
- [24] 蔡伟建,杨丽芳,高捍东,等. 杂交马褂木人工林生长规律及趋势研究[J]. 安徽农业科学,2011,39(15):9457-9459
- [25] 唐继新,白灵海,郭文福,等. 红椎人工林生长规律的初步研究[J]. 中南林业科技大学学报,2012,32(4):51-54
- [26] 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
- [27] Mydin K K, 田郎. 橡胶无性系的遗传分化及多样性分析[J]. 世界热带农业信息,2011(8):2-6
- [28] 张凤良,毛常丽,胡永华,等. 云南保存橡胶树部分种质资源干形及分枝变异分析[J]. 植物遗传资源学报,2014,15(3):534-539