

# 黑木相思优良无性系叶片数量性状与生长评价

裘珍飞

(中国林业科学研究院热带林业研究所, 广州 510520)

**摘要:** 为合理利用种质资源, 对 5 年生黑木相思(*Acacia melanoxylon*)无性系试验林中 9 个优良无性系(F1、SR3、SR9、SR14、SR17、SR18、SR25、SR38、SR41)开展叶片和生长性状的遗传变异研究, 采用模糊数学隶属函数值法进行综合评价。结果表明, 9 个无性系叶片在形态、结构、化学性状都存在显著差异, 以形态性状变异系数最大, 其中叶面积(LA)和叶宽(LW)可作为直观区别无性系的可靠指标。SR18、SR17 和 SR14 号无性系的树高(H)和胸径(DBH)生长具有显著优势。相关性分析表明, LW 与 H, LW、LA、比叶面积(SLA)与 DBH 呈显著线性关系, 而叶长(LL)、干物质质量(LDMC)、C、N、P、C/N 和 N/P 与 H 和 DBH 相关性弱。隶属函数综合评价排名前 4 位的是 SR17、SR18、SR41、SR14, 可作为直接生产和后续育种工作的有效资源加以应用。

**关键词:** 黑木相思; 无性系; 叶片; 数量性状; 遗传变异; 生长量

doi: 10.11926/jtsb.3736

## Leaf Quantitative Traits and Growth Evaluation in *Acacia melanoxylon* Excellent Clones

QIU Zhen-fei

(Research Institute of Tropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Guangzhou 510520, China)

**Abstract:** In order to rational utilization the germplasm resources, the genetic variation of leaf and growth traits in nine excellent clones, including F1, SR3, SR9, SR14, SR17, SR18, SR25, SR38, SR41, in 5-year-old *Acacia melanoxylon* forest were studied. The results showed that the leaf morphology, structure and chemical traits exhibited significant differences among the clones, in which the variation coefficient of leaf morphological traits was the highest, and the leaf width (LW) and leaf area (LA) could be used as reliable indexes to intuitively distinguish clones of *A. melanoxylon*. The height (H) and diameter at breast height (DBH) in clones of SR18, SR17 and SR14 had significant advantage. The correlation analysis showed that LW had significant linear relationship with H and DBH, and did also between LA, specific leaf area (SLA) with DBH. However, the other traits, leaf length (LL), leaf dry matter content (LDMC), contents of carbon (C), nitrogen (N), phosphorus (P) in leaf, C/N and N/P, had weak correlation with H and DBH. The top four clones (SR17, SR18, SR41, SR14) were selected by comprehensive evaluation of membership function, which could be directly used for production and breeding as excellent germplasm in future.

**Key words:** *Acacia melanoxylon*; Clone; Leaf; Quantitative trait; Genetic variation; Growth

黑木相思(*Acacia melanoxylon*)是含羞草科(Mimosaceae)金合欢属树种, 为相思类最高大乔木

之一, 原产于澳大利亚、巴布亚新几内亚和印度尼西亚等地。黑木相思木纹美丽, 材质好, 具有固氮

收稿日期: 2017-02-20

接受日期: 2017-04-18

基金项目: 广东省科技计划项目(2015B020231008)资助

This work was supported by the Planning Project for Science and Technology in Guangdong (Grant No. 2015B020231008).

作者简介: 裘珍飞(1966~), 女, 高级工程师。研究方向为林木组织培养和生物技术。E-mail: qzf5702@163.com

根瘤, 枯落物丰富, 改土性能好, 20 世纪 90 年代引进我国后在广东、福建、广西、海南等地成功种植<sup>[1-2]</sup>。本世纪以来, 中国林业科学研究院热带林业研究所与嘉汉林业合作, 通过无性系选育, 克服了分枝多, 主干不明显的问题, 黑木相思已成为我国华南地区速生丰产、珍贵用材和生态公益等多用途树种<sup>[3-4]</sup>。据不完全统计, 2015 年起, 黑木相思无性系造林面积以每年超过 666.7 hm<sup>2</sup> 的速度发展。在育种实践中, 选育的无性系由于具有较多的符合生产要求的性状, 因而被作为重要的育种资源<sup>[5]</sup>。对选育的优良无性系开展重要性状评价, 深入研究其种质基础和遗传变异特性, 有利于扩大种质资源的利用, 明确育种目标, 培育适应性强的新品种及以后有针对性的进一步引进种质资源, 这也是黑木相思育种发展的必要途径。

种质资源评价中, 在兼顾生长表现的同时, 还应注意植物对环境的适应性和资源利用效率。在生长方面, 许多研究表明, 生长性状在种源、家系及无性系间等多个水平存在广泛的遗传变异, 为选育高产种质资源提供了可能<sup>[6-7]</sup>。叶片是植物进行同化作用的重要场所, 直接影响着植物的功能, 在遗传改良中占有举足轻重的地位, 利用叶形态特征开展遗传变异研究已有很多报道<sup>[8-9]</sup>, 但从叶结构性状(比叶面积、干物质量)和化学性状(碳、氮、磷含量)研究遗传变异及其与生长的关系较少。比叶面积和干物质量是叶结构性状的 2 个重要指标, 可以解释 90% 以上植物叶片性状随环境不同而发生的变异, 比叶面积在一定程度上反映了叶片截获光的能力, 干物质量反映植物获取资源的能力<sup>[10]</sup>。叶片中 C 元素是结构性物质, 能够反映植物的 C 积累状态, N、P 元素是植物生长的限制元素, 叶经济谱<sup>[11]</sup>指出: 具有叶氮含量高、光合速率大、呼吸速率快和寿命短、比叶重小的物种, 为“快速投资-收益”型物种, 反之“缓慢投资-收益”型物种的特点为寿命长、比叶重大、含氮量、光合速率和呼吸速率都偏低。黑木相思原产地约在南纬 16°~43°, 垂直分布从海平面附近直至 1500 m, 年降雨量 750~1500 mm, 原生境分布区内海拔、降雨、地形等生态条件差异大, 导致黑木相思具有丰富叶形和生长差异, 为选育生长快、资源利用率高和适应性强的种质资源提供可能。

前期黑木相思的研究主要以应用研究为主<sup>[1-4]</sup>, 基础研究相对薄弱。本研究通过对叶形、叶结构、化学性状和生长性状遗传变异规律的研究, 对 9 个

黑木相思无性系种质资源开展初步评价, 为深入了解现有育种资源特性, 进一步开展分子标记及功能基因分析研究打下良好的基础。

## 1 材料和方法

### 1.1 研究地概况

黑木相思无性系试验林在广东省紫金县中坝镇, 位于东经 115°20', 北纬 23°42', 海拔 230 m, 土壤类型为山地赤红壤, 年降雨量为 1760 mm, 年平均气温为 20.6°C。试验林定植于 2011 年 5 月, 株行距 3 m × 2 m, 采用随机完全区组设计, 3 个区组, 每区组每无性系 10 株。

### 1.2 叶片样品采集

在黑木相思无性系试验林中, 选取 SR3、SR9、SR14、SR17、SR18、SR25、SR38、SR41 和 F1 共 9 个无性系进行评价, 其中 SR 编号为参试无性系, F1 为对照无性系。每个无性系测定树高(H)和胸径(DBH)后利用高枝剪在林冠南向采集 6 枝长度适中、强壮、无病虫害的枝条, 每枝上摘取成熟的完整叶片 10~20 片, 即每个无性系获取叶片 60 片, 装入密封袋冷藏带回实验室。

### 1.3 测定指标和方法

把 60 片叶随机分为 6 组, 每组 10 片。用直尺测量叶片的长度(LL)和最宽处宽度(LW), 精确到 0.01 cm。用型号为 Yaxin-1242 叶面积仪对鲜叶进行扫描, 测定叶面积(LA), 精确到 0.01 cm<sup>2</sup>。之后把叶片用蒸馏水浸泡, 放入低温冷藏 24 h, 取出叶片迅速用吸水纸吸干表面水分, 用电子分析天平称量饱和鲜重(FW), 再将叶片先在 105°C 烘箱下烘 30 min, 然后在 60°C 下烘至恒重, 取出称量干重(DW)。比叶面积(SLA)=LA/DW, 以 cm<sup>2</sup> g<sup>-1</sup> 表示, 干物质量 LDMC=DW/FW, 以 g g<sup>-1</sup> 表示。叶片烘干粉碎后测量 C、N、P 含量, 分别采用重铬酸钾-硫酸氧化法、凯氏定氮法和钼锑抗比色法测定, 以 mg g<sup>-1</sup> 表示。

### 1.4 统计分析

试验数据采用 Excel 2007 进行统计, 用 SPSS 19.0 软件进行方差和相关性分析, 变异系数 CV=(标准偏差 SD/平均值 M) × 100%。综合评定依模糊

数学中隶属函数法<sup>[6]</sup>, 求取各指标的隶属函数值后进行平均, 得到综合评定值。隶属值  $= (X - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}) \times 100\%$ , 式中,  $X$  为测定值,  $X_{\max}$  为最大值,  $X_{\min}$  为最小值。若某指标与综合评定呈反向关系, 用反隶属函数计算: 隶属值  $= [1 - (X - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})] \times 100\%$ 。

## 2 结果和分析

### 2.1 叶片性状的比较

以叶长、叶宽和叶面积为代表的叶形指标, 在黑木相思 9 个无性系间都达到显著差异 ( $F_{LL} = 138.897$ 、 $F_{LW} = 116.211$ 、 $F_{LA} = 55.066$ ,  $P < 0.001$ ), 多重比较表明(表 1), SR38 号无性系的叶长、叶宽和

叶面积显著最大, 属于大叶型, SR14、SR17、SR18 号无性系的叶宽和叶面积最小, 属于窄小叶型。不同的叶形特征为无性系直观区别提供重要参考。3 个叶形性状的变异系数以  $LA > LW > LL$ , 变异系数越大, 表型性状的离散程度越大, 表明叶面积和叶宽可作为直观区别无性系可靠指标。

比叶面积和干物质量为叶结构特征的 2 个重要指标, 黑木相思 9 个无性系间的比叶面积和干物质量差异显著 ( $F_{SLA} = 36.976$ 、 $F_{LDMC} = 38.130$ ,  $P < 0.001$ ), 多重比较(表 1)表明, 比叶面积以 SR41 无性系显著最大, 而 SR3 显著最小, 干物质含量以 SR3、SR14、SR17、SR18 无性系显著最大, 而 F1 无性系最小。9 个无性系的比叶面积为  $76.18 \sim 133.51 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ , 干物质质量为  $0.30 \sim 0.41 \text{ g g}^{-1}$ , 干物质质量的变异系数小于比叶面积。

表 1 黑木相思无性系的叶片性状

Table 1 Leaf traits of 9 *Acacia melanoxylon* clones

无性系 Clone	LL (cm)	LW (cm)	LA (cm <sup>2</sup> )	SLA (cm <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> )	LDMC (g g <sup>-1</sup> )	C (mg g <sup>-1</sup> )	N (mg g <sup>-1</sup> )	P (mg g <sup>-1</sup> )
F1	12.49b	1.55d	12.16b	98.46c	0.31e	544.25a	28.51a	1.47b
SR3	10.85c	1.81b	12.34b	81.41e	0.40a	508.77d	23.56e	1.17d
SR9	10.90c	1.67c	11.46b	89.22d	0.37b	528.67c	25.84bc	1.71a
SR14	10.61cd	1.16f	8.05d	89.39d	0.38a	527.62c	25.35bcd	1.53b
SR17	10.89c	1.12f	8.44d	91.39d	0.39a	541.92a	24.48d	1.13d
SR18	10.59cd	1.12f	8.05d	92.70cd	0.39a	528.47c	26.12bc	1.15d
SR25	12.65b	1.33e	9.69c	91.95d	0.36c	532.05b	25.21cd	1.49b
SR38	15.1a	1.92a	17.74a	110.71b	0.34d	510.97d	26.27b	1.33c
SR41	10.23d	1.40e	9.67c	122.14a	0.34d	530.39bc	28.17a	1.18d
平均 Average	11.59	1.45	10.84	96.37	0.36	528.13	25.94	1.35
幅度 Range	7.20~18.7	0.90~2.90	7.35~20.88	76.18~133.51	0.30~0.41	507.6~546.8	23.23~28.84	1.07~1.77
CV	15.49	24.40	28.41	13.28	8.04	2.19	6.13	15.34

同列数据后不同字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。LL: 叶长; LW: 叶宽; LA: 叶面积; SLA: 比叶面积; LDMC: 干物质质量; CV: 变异系数。以下图表同。

Data followed different letters indicate significant difference at 0.05 level. LL: Leaf length; LW: Leaf width; LA: Leaf area; SLA: Specific leaf area; LDMC: Leaf dry matter content; CV: Variance coefficient. The same is following Tables and Figures.

方差分析表明, 黑木相思叶片 C、N、P 含量在 9 个无性系间达到极显著差异 ( $F_{LC} = 180.147$ 、 $F_{LN} = 29.669$ 、 $F_{LP} = 26.714$ ,  $P < 0.001$ ), 多重比较(表 1)表明, F1、SR17 无性系叶片的 C 含量显著最大, 而 SR3、SR38 的显著最小; F1、SR41 无性系叶片的 N 含量显著最大, 而 SR3 的显著最小; SR9 无性系叶片的 P 含量显著最大, 而 SR3、SR17、SR18、SR41 的显著最小。C 和 N 含量的变异系数较小, P 含量的变异系数略大。

经多重比较, 黑木相思 9 个无性系叶片的 C/N 和 N/P 达到显著差异 ( $P < 0.05$ ) (图 1), 叶片 C/N 的平均值为 20.39, SR3、SR14、SR17、SR25 等 4 个

无性系叶片的 C/N 高于平均值, SR9、SR18 与平均值相近, F1、SR41、SR38 等 3 个无性系的小于平均值。N/P 的平均值为 19.62, SR3、SR17、SR18、SR41 等 4 个无性系叶片的 N/P 高于平均值, F1、SR38 与平均值相近, SR9、SR14、SR25 等 3 个无性系小于平均值。

### 2.2 无性系生长量的比较

5 年生黑木相思 9 个无性系的平均树高为 12.2 m, 平均胸径为 10.6 cm。方差分析表明, 树高和胸径在无性系间存在显著差异, 树高  $F$  值为 30.04 ( $P < 0.001$ ), 胸径  $F$  值为 26.15 ( $P < 0.001$ ), 9

个无性系中树高生长较快的是 SR17 和 SR18，胸径生长较快的是 SR14、SR17 和 SR18，而 F1 无性系的树高生长最慢，F1 和 SR38 无性系的胸径生长最小(图 2)。

2.3 相关性分析

叶片性状与树高和胸径具有一定的线性相关性，比叶面积、叶片 C 含量、C/N 和 N/P 与树高

和胸径呈正相关关系，而叶长、叶宽、叶面积、干物质量、N 和 P 含量与树高和胸径呈负相关关系。从表 2 可见，叶宽与树高，叶宽、叶面积和比叶面积与胸径均呈显著相关，其他性状与树高和胸径的相关性不显著。叶片的形态性状与树高、胸径相关性更突出，结构性状其次，而化学性状的相关性小，这可能与叶片的 C、N、P 含量随着季节和不同的生长阶段变化有关<sup>[12]</sup>。

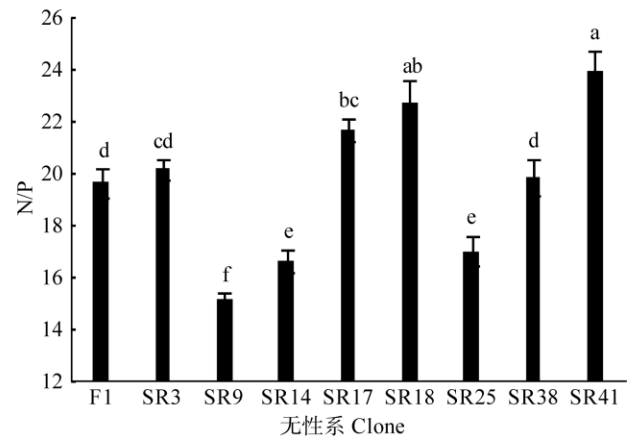
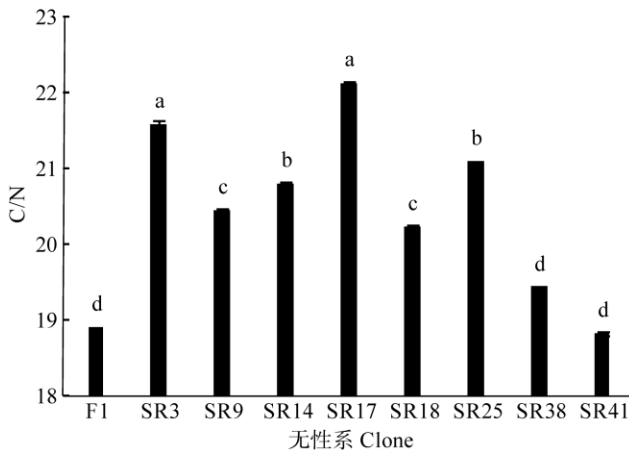


图 1 黑木相思 9 个无性系叶片的 C/N 和 N/P

Fig. 1 C/N and N/P in leaves of 9 *Acacia melanoxylon* clones

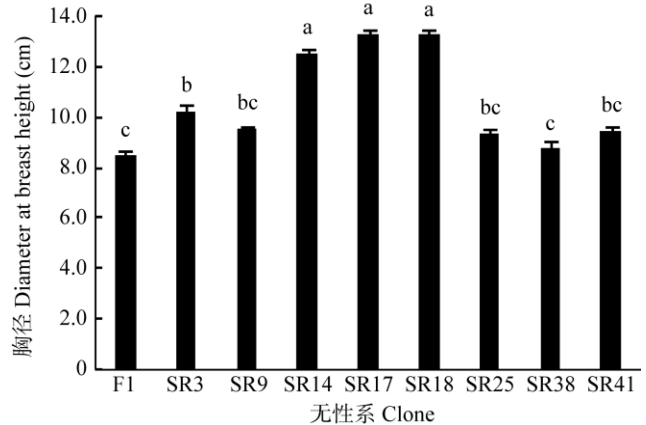
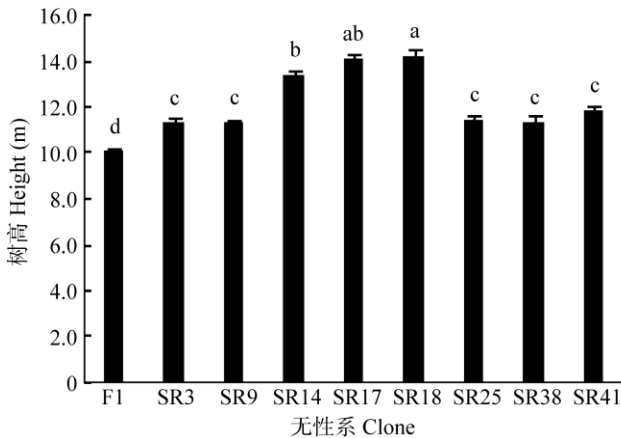


图 2 黑木相思 9 个无性系的树高和胸径生长量

Fig. 2 Height and diameter at breast height of 9 *Acacia melanoxylon* clones

表 2 黑木相思无性系叶片性状与生长性状的相关性

Table 2 Correlation between leaf and growth traits of 9 *Acacia melanoxylon* clones

	LL	LW	LA	SLA	LDMC	C	N	P	C/N	N/P
树高 Height	-0.480	-0.789*	-0.641	0.650	-0.110	0.196	-0.355	-0.438	0.455	0.303
胸径 DBH	-0.568	-0.765*	-0.684*	0.744*	-0.319	0.192	-0.460	-0.405	0.576	0.222

\*:  $P < 0.05$ .

## 2.4 综合评定

利用模糊数学隶属函数法对黑木相思生长性状和叶片形态、结构、化学性状指标进行隶属值计算, 通过隶属值排名(表 3), SR17、SR18、SR41、SR14 无性系分别排第 1~4 位, 表明其具有生长和叶片性状优势, 在实际生长中, SR17、SR18、SR14 无性系表现出较强的长势, 其树高和胸径显著高于

其他无性系, 而 SR41 无性系在单纯以生长性状为入选指标时, 没有显著优势, 然而由于其叶片形态小, 比叶面积大, 叶片 P 含量低等特点, 可能是具有较大生长潜力的无性系。F1 为早期选育的无性系, 作为对照无性系, 其分枝多, 树高和胸径生长不理想, 但叶片 C 含量高, 干物质含量低, 隶属值仍高于 SR3、SR9、SR38 无性系。

表 3 黑木相思无性系叶片性状和生长性状的隶属评价值

Table 3 Membership function values of leaf and growth traits of 9 *Acacia melanoxylon* clones

无性系 Clones	树高 H	胸径 DBH	LL	LW	LA	SLA	LDMC	C	N	P	C/N	N/P	均值 Mean	排名 Order
F1	0.41	0.34	0.54	0.68	0.64	0.39	0.88	0.93	0.06	0.43	0.25	0.61	0.51	6
SR3	0.50	0.48	0.68	0.55	0.63	0.09	0.14	0.03	0.94	0.86	0.60	0.43	0.49	7
SR9	0.50	0.42	0.68	0.62	0.70	0.23	0.38	0.54	0.53	0.08	0.54	0.54	0.48	8
SR14	0.72	0.65	0.70	0.87	0.95	0.23	0.26	0.51	0.62	0.35	0.44	0.51	0.57	4
SR17	0.80	0.70	0.68	0.89	0.92	0.27	0.18	0.88	0.78	0.91	0.37	0.54	0.66	1
SR18	0.82	0.70	0.71	0.89	0.95	0.29	0.23	0.53	0.49	0.88	0.53	0.43	0.62	2
SR25	0.51	0.41	0.53	0.79	0.83	0.28	0.50	0.62	0.65	0.40	0.61	0.49	0.55	5
SR38	0.50	0.36	0.31	0.49	0.23	0.60	0.68	0.09	0.46	0.63	0.51	0.39	0.44	9
SR41	0.56	0.42	0.74	0.75	0.83	0.80	0.65	0.58	0.12	0.84	0.49	0.52	0.61	3

## 3 讨论和结论

### 3.1 叶形的变异特征

植物叶片性状常被认为是相对稳定的, 其一方面受控于植物遗传特性, 另一方面受生境和气候等综合因素影响, 叶片性状常作为品种间、种源间及家系间的重要生理特性而加以研究<sup>[13]</sup>。何承忠等认为滇杨(*Populus yunnanensis*)的 52 株优树叶片差异主要表现在叶长与叶宽上, 其次为叶片最宽处所处位置<sup>[8]</sup>。本研究表明, 黑木相思 9 个无性系中, SR38 的叶片长且宽, SR25 的长而窄, SR3 的短而宽, SR14、SR17、SR18 的短且窄, 叶片较小, 可作为已选育优良无性系的初步区分和识别。对马大相思(*Acacia mangium* × *A. auriculiformis*)的研究表明, 叶长、叶宽和叶面积等指标在无性系间差异不显著<sup>[14]</sup>。这可能是黑木相思在原产地分布范围广, 无性系选育群体来源丰富, 导致黑木相思无性系具有丰富的叶形变化。

### 3.2 叶片结构性状的变异特征

比叶面积和干物质质量反映了植物应对生存环境所采取的适应策略, 植物的比叶面积与相对生长速率和资源利用有紧密关系, 比叶面积大的树种具有较高的生产力, 而相对比叶面积小的树种资源利

用率低, 生产力也较低<sup>[10]</sup>。桉树(*Eucalyptus*)的 10 个无性系的比叶面积为 81.42~137.58 cm<sup>2</sup> g<sup>-1</sup><sup>[15]</sup>。本研究表明, 黑木相思 9 个无性系的比叶面积为 76.18~133.51 cm<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>, 表明黑木相思优良无性系与桉树无性系的生长速率相似。SR41 无性系具有最大比叶面积, 可作为具有生长潜力的无性系, 考虑在立地条件好、水热资源丰富、经营措施到位的区域试种。叶干物质含量主要反映植物对养分的保有能力, 黑木相思干物质质量变异系数小, 约为 0.30~0.41 g g<sup>-1</sup>, 属于比较稳定的叶性状指标, 叶干物质质量稳定、可靠与多穗柯(*Lithocarpus polystachyus*)的相似<sup>[16]</sup>。

### 3.3 叶片化学性状的变异特征

叶片的长期 N 素利用效率可用 C/N 值表示, 反映出植物 C 的获取和同化率及 N 分配和利用率相对强弱, 美洲黑杨(*Populus deltoid*)超亲后代叶片的 C/N 显著低于低亲后代, 反映超亲后代对 N 的利用速率大于对 C 的同化速率<sup>[17]</sup>。9 个黑木相思无性系叶片的 C/N 与生长性状不呈线性相关, 可能是不同无性系 N 的需求和利用率不同。通过叶片 N/P 来判断营养限制已经得到广泛认同, 当叶片 N/P < 14 时, 植物生长主要受 N 限制, N/P > 16 时, 植物生长主要受 P 限制; 当 14 < N/P < 16 时, 植物生长

受 N 和 P 共同限制<sup>[18]</sup>。黑木相思 9 个无性系的叶片 N/P 都超过了 16 (除 SR9 外), 说明我国黑木相思生长普遍受到 P 素营养的限制, 在经营黑木相思人工林时应注重磷肥使用。

### 3.4.9 个无性系的综合评价

本研究表明, 9 个无性系间的生长性状、叶片数量性状都呈显著差异, 在良种选育时, 单纯采用生长指标容易遗漏种质资源的优良性状。以生长和光能、水分、养分利用为目标性状, 筛选出高产高光, 高产高养分、水分利用效率高的北方型美洲黑杨无性系<sup>[19]</sup>。本研究借鉴叶经济谱概念, 定量分析了无性系叶片的结构性状(比叶面积、干物质量), 化学性状(C、N、P 含量), 以后还可开展叶片生理性状(如光合能力、呼吸速率)的测试, 这将为选育具有叶 N 含量高, 光合速率大, 呼吸速率快, 比叶重小特征的快速投资-收益型无性系提供参考。

黑木相思无性系叶形的遗传变异丰富, 其中叶面积和叶宽可作为直观区别无性系的可靠指标, 结合生长性状和叶片数量性状指标评选出 SR14、SR17、SR18、SR41 无性系, 可作为生产推广应用和后续育种的首选材料。本研究对于发掘利用引进的黑木相思资源, 选育高效速生用材新品种有重要参考价值。今后对黑木相思资源还可以用分子标记手段更全面地了解遗传变异规律, 为进一步针对性的引进和定向培育新品种提供理论基础。

### 参考文献

- [1] LIU J C. Introduction and cultivation technology of *Acacia melanoxylon* and its application benefit [J]. Guangdong For Sci Technol, 2012, 28(1): 100–103. doi: 10.3969/j.issn.1006-4427.2012.01.021.  
刘建潮. 黑木相思引种栽培技术及效益分析 [J]. 广东林业科技, 2012, 28(1): 100–103. doi: 10.3969/j.issn.1006-4427.2012.01.021.
- [2] LIANG Y X, QIN W M, WEI Z M, et al. The growth regularity, biomasses and productivity of *Acacia melanoxylon* in the southwest of Guangxi [J]. J Fujian For Sci Technol, 2010, 37(2): 1–4. doi: 10.3969/j.issn.1002-7351.2010.02.001.  
梁有祥, 秦武明, 韦中绵, 等. 桂西南地区黑木相思生长规律、生物量及生产力研究 [J]. 福建林业科技, 2010, 37(2): 1–4. doi: 10.3969/j.issn.1002-7351.2010.02.001.
- [3] LUO R, CHEN K K, QU B P, et al. Growth performance and early selection of *Acacia melanoxylon* clones at three sites [J]. Guangdong For Sci Technol, 2012, 28(5): 57–61. doi: 10.3969/j.issn.1006-4427.2012.05.010.  
罗锐, 陈考科, 曲保平, 等. 黑木相思无性系生长表现及早期选择 [J]. 广东林业科技, 2012, 28(5): 57–61. doi: 10.3969/j.issn.1006-4427.2012.05.010.
- [4] WU Q, ZENG B S, CHEN K K, et al. Early selection of *Acacia melanoxylon* clones [J]. Guangdong For Sci Technol, 2014, 30(6): 40–44. doi: 10.3969/j.issn.1006-4427.2014.06.008.  
吴清, 曾炳山, 陈考科, 等. 黑木相思无性系早期选择 [J]. 广东林业科技, 2014, 30(6): 40–44. doi: 10.3969/j.issn.1006-4427.2014.06.008.
- [5] ZHANG J Q, CHEN C L, LUO X H, et al. Comprehensive evaluation and cluster analysis on yield characters of 26 jute germplasm resources based on principal components [J]. J Plant Genet Resour, 2016, 17(3): 475–482. doi: 10.13430/j.cnki.jpgr.2016.03.011.  
张加强, 陈常理, 骆霞虹, 等. 26 份黄麻种质资源产量性状的主成分聚类分析及其评价 [J]. 植物遗传资源学报, 2016, 17(3): 475–482. doi: 10.13430/j.cnki.jpgr.2016.03.011.
- [6] CHEN D S, SUN X M, ZHANG S G. Evaluation on growth and stem form characteristics of species and hybrids of *Larix* spp. [J]. For Res, 2016, 29(1): 10–16. doi: 10.3969/j.issn.1001-1498.2016.01.002.  
陈东升, 孙晓梅, 张守攻. 落叶松种间及其杂种生长与形质性状评价研究 [J]. 林业科学研究, 2016, 29(1): 10–16. doi: 10.3969/j.issn.1001-1498.2016.01.002.
- [7] DUAN H J, CAO S, ZHENG H Q, et al. Variation analysis on the main economic characters of Chinese fir clones [J]. J SW For Univ, 2016, 36(2): 78–83. doi: 10.11929/j.issn.2095-1914.2016.02.013.  
段红静, 曹森, 郑会全, 等. 杉木不同无性系主要经济性状变异分析 [J]. 西南林业大学学报, 2016, 36(2): 78–83. doi: 10.11929/j.issn.2095-1914.2016.02.013.
- [8] HE C Z, ZHANG A, DUAN A A, et al. Variation analysis on leaf traits in seedling duration of *Populus yunnanensis* plus tree clone [J]. J NW For Univ, 2009, 24(6): 28–32.  
何承忠, 张晏, 段安安, 等. 滇杨优树无性系苗期叶片性状变异分析 [J]. 西北林学院学报, 2009, 24(6): 28–32.
- [9] LI J H, ZHANG Y W, SU X H, et al. Multi-level genetic variation in leaf and growth of hybrid system between *Populus deltoides* and *P. cathayana* [J]. For Res, 2002, 15(1): 76–82. doi: 10.3321/j.issn:1001-1498.2002.01.012.  
李金花, 张绮纹, 苏晓华, 等. 美洲黑杨与不同种源青杨杂种苗叶片和生长性状多水平变异研究 [J]. 林业科学研究, 2002, 15(1): 76–82. doi: 10.3321/j.issn:1001-1498.2002.01.012.
- [10] GAO J L, LUO F M, ZHAO Y M, et al. Specific leaf area and leaf dry matter content of three kinds of poplar in Ulan Buh Desert Oasis [J]. J

- NW For Univ, 2016, 31(1): 15–20. doi: 10.3969/j.issn.1001-7461.2016.01.03.
- 高君亮, 罗凤敏, 赵英铭, 等. 乌兰布和沙漠绿洲3种杨树比叶面积和叶干物质含量研究 [J]. 西北林学院学报, 2016, 31(1): 15–20. doi: 10.3969/j.issn.1001-7461.2016.01.03.
- [11] CHEN Y T, XU Z Z. Review on research of leaf economics spectrum [J]. Chin J Plant Ecol, 2014, 38(10): 1135–1153. doi: 10.3724/SP.J.1258.2014.00108.
- 陈莹婷, 许振柱. 植物叶经济谱的研究进展 [J]. 植物生态学报, 2014, 38(10): 1135–1153. doi: 10.3724/SP.J.1258.2014.00108.
- [12] WANG K B, SHANGDUAN Z P. Seasonal variations in leaf C, N, and P stoichiometry of typical plants in the Yangou Watershed in the Loess Hilly Gully Region [J]. Acta Ecol Sin, 2011, 31(17): 4985–4991.
- 王凯博, 上官周平. 黄土丘陵区燕沟流域典型植物叶片 C、N、P 化学计量特征季节变化 [J]. 生态学报, 2011, 31(17): 4985–4991.
- [13] SHU X, YANG Z L, YANG X, et al. Variation of leaf characters and seedling growth of *Magnolia officinalis* with different provenances [J]. J Ecol Rural Environ, 2009, 25(4): 19–25. doi: 10.3969/j.issn.1673-4831.2009.04.004.
- 舒泉, 杨志玲, 杨旭, 等. 不同种源厚朴叶片性状变异及幼苗生长量研究 [J]. 生态与农村环境学报, 2009, 25(4): 19–25. doi: 10.3969/j.issn.1673-4831.2009.04.004.
- [14] SUN H, DUAN A A, ZHANG W H, et al. Analysis of phenotypic traits difference of *Acacia mangium* × *A. auriculiformis* clones [J]. Guangdong For Sci Technol, 2015, 31(1): 7–13. doi: 10.3969/j.issn.1006-4427.2015.01.002.
- 孙恒, 段安安, 张卫华, 等. 马大杂种相思无性系表型性状差异分析 [J]. 广东林业科技, 2015, 31(1): 7–13. doi: 10.3969/j.issn.1006-4427.2015.01.002.
- [15] SHEN W H, LIU J, TANG Q L. Comparative analysis of leaf characters and photosynthetic parameters of *Eucalyptus* clones [J]. Pract For Technol, 2011, 50(1): 3–5.
- 申文辉, 刘建, 唐庆兰. 桉树无性系叶片性状和光合参数差异比较分析 [J]. 林业实用技术, 2011, 50(1): 3–5.
- [16] ZENG X Y, CHEN J Y, LIAO J M, et al. Variation of leaf traits and seedling growth of *Lithocarpus polystachyus* in Guangxi [J]. Guihaia, 2015, 35(6): 885–890. doi: 10.11931/guihaia.gxzw201404032.
- 曾祥艳, 陈金艳, 廖健明, 等. 广西多穗柯叶片性状变异及幼苗生长量研究 [J]. 广西植物, 2015, 35(6): 885–890. doi: 10.11931/guihaia.gxzw201404032.
- [17] GAO M, HUANG Q J, DING C J, et al. Foliar  $\delta^{13}\text{C}$  and nitrogen use efficient of *Populus deltoides* and the different growth vigor  $F_1$  hybrid clones [J]. Sci Silv Sin, 2013, 49(8): 51–57. doi: 10.11707/j.1001-7488.20130808.
- 高暝, 黄秦军, 丁昌俊, 等. 美洲黑杨及其杂种  $F_1$  不同生长势无性系叶片  $\delta^{13}\text{C}$  和氮素利用效率 [J]. 林业科学, 2013, 49(8): 51–57. doi: 10.11707/j.1001-7488.20130808.
- [18] XIAN G B, HUANG Y H, XIAN W G, et al. Ecological stoichiometry characteristics of leaf nitrogen, phosphorous and sulfur of tree species of plantation in south China [J]. Guangdong For Sci Technol, 2015, 31(5): 28–34. doi: 10.3969/j.issn.1006-4427.2015.05.006.
- 洗杆标, 黄钰辉, 洗伟光, 等. 华南人工林乔木树种叶片氮、磷、硫生态化学计量特征 [J]. 广东林业科技, 2015, 31(5): 28–34. doi: 10.3969/j.issn.1006-4427.2015.05.006.
- [19] DING C J, HUANG Q J, ZHANG B Y, et al. Evaluation of important traits of different clones of North-typed *Populus deltoides* [J]. For Res, 2016, 29(3): 331–339. doi: 10.3969/j.issn.1001-1498.2016.03.004.
- 丁昌俊, 黄秦军, 张冰玉, 等. 北方型美洲黑杨不同无性系重要性状评价 [J]. 林业科学研究, 2016, 29(3): 331–339. doi: 10.3969/j.issn.1001-1498.2016.03.004.