



卷荚相思无性系主要性状的遗传分析和综合评价

陈启华, 郑莹莹, 陈留彝, 张波, 何士宾, 丁国昌, 阮少宁

引用本文:

陈启华, 郑莹莹, 陈留, 等. 卷荚相思无性系主要性状的遗传分析和综合评价[J]. *热带亚热带植物学报*, 2025, 33(2): 213–219.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11926/jtsb.4873>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

水肥胁迫对尾叶桉无性系生长及叶片变异的影响研究

Effects of Water and Nutrient Stresses on Growth and Leaf Variation of *Eucalyptus urophylla* Clones

热带亚热带植物学报. 2017, 25(3): 218–224 <https://doi.org/10.11926/jtsb.3666>

黑木相思优良无性系叶片数量性状与生长评价

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

热带亚热带植物学报. 2017, 25(5): 465–471 <https://doi.org/10.11926/jtsb.3731>

滇南亚高山巨桉种源/家系变异及早期选择研究

Variation Analysis and Early Selection for *Eucalyptus grandis* Provenances/Families in Central South Yunnan Province

热带亚热带植物学报. 2017, 25(3): 257–263 <https://doi.org/10.11926/jtsb.3692>

5种相思树和尾巨桉人工林土壤养分和酶活性特征

Characteristics of Soil Nutrient and Enzyme Activities in Plantations of *Eucalyptus urophylla* × *E. grandis* and Five *Acacia* Species

热带亚热带植物学报. 2021, 29(5): 483–493 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4334>

9年生枫香的遗传变异和优良家系单株选择

Genetic Variation, Excellent Family and Individual Selection of 9-year-old *Liquidambar formosana*

热带亚热带植物学报. 2018, 26(5): 506–514 <https://doi.org/10.11926/jtsb.3855>

向下翻页, 浏览PDF全文

卷荚相思无性系主要性状的遗传分析和综合评价

陈启华^{1a}, 郑莹莹^{1a}, 陈留犇^{1a}, 张波^{1a}, 何士宾², 丁国昌^{1b}, 阮少宁^{1a*}

(1. 福建农林大学, a. 林学院; b. 风景园林与艺术学院, 福州 350002; 2. 福建省漳浦中西国有林场, 福建 漳州 363400)

摘要: 为选育卷荚相思(*Acacia cincinnata*)优良无性系, 以 7 a 生卷荚相思无性系测定林 15 个无性系为材料, 通过方差分析、遗传参数估算、相关性分析、通径分析和综合评价等方法, 分析卷荚相思无性系主要性状的遗传变异和性状相关性。结果表明, 卷荚相思的树高、胸径、材积和枝下高在无性系间存在极显著差异, 其重复力分别为 0.71、0.64、0.42 和 0.49。性状相关分析中, 树高和材积与各性状均呈极显著相关; 胸径只与干形呈显著相关, 与其他性状呈极显著相关; 冠幅与枝下高呈负相关, 与干形呈正相关。通径分析表明, 胸径对材积的贡献作用最大, 其次为树高和冠幅, 三者的直接通径系数分别为 0.566 5、0.389 9 和 0.172 8, 总效应值分别为 0.904 7、0.825 8 和 0.877 9。利用布雷金多性状综合评价法, 以 20% 的入选率进行选择, 入选无性系为 SS2、SS3 和 ZJ22, 可考虑作为综合改良的卷荚相思无性系在当地推广。

关键词: 卷荚相思; 无性系; 遗传分析; 通径分析; 无性系选育

doi: 10.11926/jtsb.4873

CSTR:32235.14.jtsb.4873

Genetic Analysis and Comprehensive Evaluation of Main Traits of *Acacia cincinnata* Clones

CHEN Qihua^{1a}, ZHENG Yingying^{1a}, Chen Liuben^{1a}, ZHANG Bo^{1a}, HE Shibin², DING Guochang^{1b}, RUAN Shaoning^{1a*}

(1a. College of Forestry; 1b. College of Landscape Architecture and Art, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China; 2. Zhangpu Zhongxi State-owned Forest Farm in Fujian Province, Zhangzhou 363400, Fujian, China)

Abstract: In order to breeding superior clones of *Acacia cincinnata*, the genetic variation and trait correlation of main traits of 15 clones at 7 year old were analyzed by variance analysis, genetic parameter estimation, correlation analysis, path analysis and comprehensive evaluation. The results showed that there were significant differences in tree height, DBH, volume and height under branches among clones, and their repeatability was 0.71, 0.64, 0.42 and 0.49, respectively. Tree height and volume were significantly correlated with other traits. The DBH was significantly correlated with stem shape at 0.05 level, but with other traits at 0.01 level. The crown width was negatively correlated with height under branches and positively correlated with stem shape. The path analysis showed that DBH had the greatest contribution to single tree volume, followed by tree height and crown width, and their direct path coefficients of DBH were 0.566 5, 0.389 9 and 0.172 8, respectively, and the total effect values were 0.904 7, 0.825 8 and 0.877 9, respectively. The selected clones were SS2, SS3 and ZJ22 with the selection rate of 20% by using Breggin's multi-character comprehensive evaluation method, which could be considered as the comprehensive improved *A. acacia* clones for local promotion.

Key words: *Acacia cincinnata*; Clone; Genetic analysis; Path analysis; Clone selection

收稿日期: 2023-11-14 接受日期: 2024-04-07

基金项目: 福建省林业科技项目(2024FKJ29); 福建省林木种苗科技攻关项目(ZMGG-0709); 福建农林大学科技创新项目(KFB23060A)资助

This work was supported by the Project for Forestry Science and Technology in Fujian (Grant No. 2024FKJ29), the Project for Forest Seedling Science and Technology in Fujian (Grant No. ZMGG-0709), and the Project for Science and Technology Innovation of Fujian Agriculture and Forestry University (Grant No. KFB23060A).

作者简介: 陈启华(1998年生), 硕士研究生, 研究方向为林木遗传改良。E-mail: chenqihua8413@163.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: fjrns@126.com

卷荚相思(*Acacia cincinnata*)为豆科(Leguminosae)金合欢属植物,原产于印度尼西亚东部和澳大利亚昆士兰沿海等地,具有速生、抗性强、适应性强等优点,适生于肥力中等、偏酸性的土壤^[1];其根系发达且具有根瘤^[2],利于改善土壤结构及理化性质^[3];此外,其材质优良,是制作家具的优质木材^[4]。20世纪70年代引种至我国,现在广东、广西、海南、福建等地均有种植。近年来,该树种在中国南方造林渐成规模,福建省于2013年将其列为珍贵造林推广树种^[5]。

国内关于该树种的研究多集中于造林及育苗技术、生理生态等方面,如闽南山地造林研究^[6]、不同轻型基质对容器苗的影响^[7]、林分凋落物和其持水性研究^[8]、物候期观测^[9]、不同叶龄春季叶绿素荧光动态观测^[10]和叶片、土壤的生态化学计量研究^[11]等。卷荚相思作为外来树种,遗传资源较为贫瘠,种子园产量较低,有性制种周期长,杂交困难。虽然该树种扦插和组培技术已有突破,但在推广应用上主要存在种苗质量良莠不齐、造林分化明显等问题^[12]。因此,当前亟待解决该树种种苗良种化和规模化问题,无性系育种和推广利用是当前的重点方向^[13]。

无性系选育是建立在无性繁殖技术基础上的遗传改良方法,从天然群体或人工杂交、诱变群体中,选择优良个体,通过无性繁殖成无性系,经无性系测定,选育出优良无性系并应用于生产^[14]。与种子繁殖相比,无性繁殖不仅能够充分利用加性效应、显性效应和上位效应,获得较大的遗传增益,而且周期较短,性状整齐,便于集约化栽培和管理。

经过遗传测定才能判定无性系品质优劣,每个测定过程都直接关系到最终的生长性状和选择结果^[15]。

本研究以漳州市龙海区九龙岭国有林场7 a 生的15个卷荚相思无性系测定林为材料,对其树高、胸径、材积、枝下高、冠幅和干形6个性状进行调查并开展遗传分析,并采用布雷金多性状综合评定法选择出优良无性系,旨在为卷荚相思无性系选育提供参考依据。

1 材料和方法

1.1 试验地概况

该测试林位于福建省漳州市龙海区九龙岭国有林场10-7林班(117°37' E, 24°20' N),属于南亚热带海洋性季风气候,年平均降水量1450 mm,年最高气温38℃,最低气温0℃,霜期短。该地属于沿海低山丘陵地带,土层腐殖质薄,主要以砖红壤为主,理化性质及立地条件较差。

1.2 试验材料与试验设计

试验材料为15个卷荚相思(*Acacia cincinnata*)无性系,分别为亭下2、金18、NS2、SS1、SS2、SS3、中2、中4、ZJ1、ZJ12、ZJ17、ZJ18、ZJ22、ZJ29和ZJ31,无性系母株为各地优树选择材料(表1)。扦插育苗于2009年10月在东山沙培林业苗圃开展,2010年春季在九龙岭国有林场进行造林,试验设计采用随机完全区组设计,10株纵行小区,3次重复,株行距为2.5 m×2.5 m。每年11月—12月进行每木调查,造林当年调查株数为558株,2017年保留观察的株数为394株。

表1 母树材料来源

Table 1 Source of mother tree material

来源 Source	无性系 Clone	经度 Longitude (E)	纬度 Latitude (N)
福建漳州亭下林场	亭下2	117°50'	24°36'
福建漳州金山林场	金18	117°52'	24°92'
福建漳州西坡林场	NS2	117°57'	25°11'
福建漳州中西林场	中2、中4、ZJ1、ZJ12、ZJ17、ZJ18、ZJ22、ZJ29、ZJ31	117°33'	24°17'
广东广州龙眼洞林场	SS1、SS2、SS3	113°38'	23°19'

1.3 方法

2017年12月测定7 a 生卷荚相思无性系的树高、胸径、材积、枝下高、冠幅和干形等生长性状。利用超声波测高仪对树高进行测量;使用围径尺对胸径进行测定;枝下高和冠幅利用5 m长测高杆进

行测量。干形评判标准参考李光友等^[16]的方法,I级主干通直没有弯曲,评分为5分;II级主干基本通直圆满,有1~2个小弯,评分4分;III级主干一般通直圆满,有2~3个小弯,评分3分;IV级主干弯曲,评分2分;V级弯曲严重,评分1分。单株材

积参考张方秋等^[17]的方法, 根据澳大利亚国际农业研究中心(ACIAR)提供的公式计算: $V=0.010633-0.0000428D^2+0.0000263D^2H$, 式中, V 为材积($m^3/ind.$); D 为胸径(cm); H 为树高(m)。

1.4 数据的统计分析

应用 DPS 9.0 和 SPSS 25.0 软件进行数据分析, 主要包括方差分析、Duncan 多重比较、相关系数分析、通径分析和布雷金综合评价。

卷荚相思无性系生长性状方差分析模型公式为^[18]: $X_{ij}=\mu+\alpha_i+\varepsilon_{ij}$, 式中 μ 为总体平均值; α_i 为无性系效应; ε_{ij} 为随机误差。表型变异系数^[19]公式为: $PCV = SD / \bar{X} \times 100\%$, 式中, SD 为性状表型标准差; \bar{X} 为性状平均值。性状重复力参考续九如等^[20]的方法: $R=1-1/F$, 式中 F 为方差分析中的 F 值。遗传增益公式^[21]: $\Delta G=S \times R$, 式中, S 为选择差, R 为各性状重复力。通径分析参考赵保国等^[22]的方法, 并计算控制性状 X_1, X_2, \dots, X_n 对性状 Y 的直接通径系数和间接通径系数以及多元决定系数。参考赵曦阳等^[23]的方法, 采用布雷金多性状综合评价法(Q_i) 对无性系进行综合评价。

2 结果和分析

2.1 性状方差分析

对 15 个 7 a 生卷荚相思无性系树高、胸径、材积、枝下高、冠幅和干形进行方差分析, 结果表明树高、胸径、材积和枝下高在无性系间均存在极显著差异, 而冠幅和干形在无性系间无显著差异(表 2)。树高、胸径、材积、枝下高 4 个性状在无性系间差异较为明显, 开展无性系选择的潜力较大。

2.2 树高、胸径、材积、枝下高的多重比较

从表 3 可见, SS2、ZJ22、SS3、亭下 2 和 ZJ29 等 5 个无性系的树高优势明显, 平均树高均大于

14 m。其中 SS2 树高生长表现最优, 平均树高为 18.11 m, 同金 18、NS2、ZJ1 和 ZJ31 等无性系的树高差异极显著, 分化明显。中 2、亭下 2、NS2、SS3 和 SS2 的胸径较大, 均大于 13.8 cm, 在 15 个无性系中保持较大的胸径生长优势, 其中无性系中 2 的胸径生长表现最优, 平均胸径为 15.12 cm, 与其具有显著差异的家系, 即胸径生长较差的家系有 ZJ29、ZJ17、SS1、中 4、ZJ1 和 ZJ31 号。材积的多重比较以 SS2 的表现最优, 平均材积为 $0.147 m^3/ind.$, 与其具有显著性差异的无性系有 ZJ12、金 18、ZJ17、ZJ29、SS1、中 4、ZJ1 和 ZJ31。枝下高的多重比较结果表明 SS2、SS3、ZJ12、ZJ29、中 4 的枝下高保持较大优势, 说明上述无性系的自然整枝能力较强。可见 SS2、SS3、中 2、亭下 2、ZJ22、ZJ12 和 ZJ29 等无性系主要性状表现较好。

2.3 主要性状的遗传参数估算

从表型变异系数上看, 各性状的变异系数为 15.69%~36.25%, 属于高变异系数, 有利于优良无性系评价选择。性状重复力表现为树高>冠幅>胸径>枝下高>材积>干形, 性状重复力为 0.42~0.71, 最低为材积(0.42), 最高为树高(0.71), 重复力均大于 0.4, 表明无性系多个性状受遗传效应和固定环境效应控制较强, 而受随机环境因素的影响较弱, 无性系遗传稳定性较高。

2.4 性状的相关分析

对 15 个无性系性状进行相关性分析表明, 树高、胸径材积均与其他性状呈显著正相关; 冠幅与枝下高呈负相关, 与干形呈正相关, 但不显著(表 5)。材积与树高、胸径和冠幅的相关系数最大, 分别为 0.620、0.897 和 0.548。树高、胸径和冠幅应作为材积生长量的主要影响因素, 在进行选择时需重点考虑树高、胸径和冠幅性状表现较好的无性系。

表 2 无性系主要性状的方差分析

Table 2 Variance analysis of main traits of clones

性状 Trait	变异来源 Source of variation	自由度 Degree of freedom	均方 Mean square	F	P
树高 Tree height	无性系间 Inter-clone	14	31.43	4.66**	0.000
胸径 DBH	无性系间 Inter-clone	14	15.05	3.10**	0.000
材积 Volume	无性系间 Inter-clone	14	0.02	7.33**	0.000
枝下高 Height under branch	无性系间 Inter-clone	14	26.25	1.96**	0.000
冠幅 Crown width	无性系间 Inter-clone	14	7.29	2.85 ^{ns}	0.083
干形 Stem form	无性系间 Inter-clone	14	3.07	2.05 ^{ns}	0.142

**: $P<0.01$; ns: $P>0.05$ 。下同

**: $P<0.01$; ns: $P>0.05$ 。The same below

表 3 7 a 生卷荚相思无性系 4 个生长性状的多重比较

Table 3 Duncan multiple range test of 4 growth traits of 7-year-old *Acacia cincinnata* clones

序号 No.	无性系 Clone	树高 (m) Tree height	胸径 (cm) DBH	材积 (m ³ /ind.) Volume	枝下高 (m) Height under branch
1	SS2	18.11a	13.87abc	0.147a	8.58a
2	ZJ22	15.42b	13.82abc	0.124ab	7.38ab
3	SS3	15.16bc	13.96abc	0.124ab	8.28a
4	亭下 2	14.72bc	14.55ab	0.128ab	5.57b
5	ZJ29	14.20bcd	11.36cd	0.083bc	8.10ab
6	中 2	13.97bcd	15.12a	0.130ab	6.60ab
7	ZJ18	13.91bcd	13.76abc	0.109abc	7.64ab
8	ZJ12	13.70bcd	12.85abcd	0.092bc	8.16ab
9	ZJ17	13.66bcd	12.21bcd	0.084bc	7.43ab
10	SS1	13.44bcd	12.20bcd	0.083bc	6.10ab
11	中 4	13.44bcd	11.79bcd	0.078bc	7.71ab
12	金 18	12.75cd	12.57abcd	0.086bc	6.90ab
13	NS2	12.64cd	14.01abc	0.100abc	7.27ab
14	ZJ1	11.96d	10.56d	0.063c	7.21ab
15	ZJ31	11.83d	10.63d	0.057c	5.25b

同列数据后不同字母表示差异极显著($P<0.01$)。

Data followed different letters within column indicate significant differences at 0.01 level.

表 4 7 a 生卷荚相思无性系 6 个性状的遗传参数

Table 4 Genetic parameters of 6 traits of the 7-year-old *Acacia cincinnata* clones

性状 Trait	均值±标准差 Mean ± standard deviation	变幅 Range	表型变异系数 /% Coefficient of phenotypic variation	重复力 Repeatability
树高 Tree height	13.93±2.23	5.00~24.00	16.01	0.71
胸径 DBH	12.88±2.50	5.40~26.60	19.41	0.64
材积 Volume	0.10±0.04	0.06~0.15	32.75	0.42
枝下高 Height under branch	7.22±2.81	0.20~17.00	36.25	0.49
冠幅 Crown width	3.05±1.02	1.00~9.00	35.34	0.65
干形 Stem form	3.83±0.56	1.00~5.00	15.69	0.51

表 5 7 a 生卷荚相思无性系 6 个性状的相关分析

Table 5 Correlation analysis among 6 traits of 7-year-old *Acacia cincinnata* clones

	树高 Tree height	胸径 DBH	材积 Volume	枝下高 Height under branch	冠幅 Crown width	干形 Stem form
树高 Tree height	1					
胸径 DBH	0.320**	1				
材积 Volume	0.620**	0.897**	1			
枝下高 Height under branch	0.470**	0.139**	0.249**	1		
冠幅 Crown width	0.486**	0.440**	0.548**	-0.036	1	
干形 Stem form	0.282**	0.099*	0.183**	0.439**	0.004	1

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

2.5 单木材积的遗传控制途径分析

材积是重要的改良性状, 卷荚相思作为用材林树种以其最终获得的木材产量作为首要参考性状。为进一步了解树高、胸径、枝下高、冠幅和干形这 5 个性状对材积的相对重要性, 在相关分析的基础上进行途径分析。计算各性状对材积的直接途径系

数和间接途径系数(表 6)。途径分析结果表明, 胸径对材积的贡献作用最大, 其次为树高和冠幅, 三者的直接途径系数分别为 0.566 5、0.389 9 和 0.172 8, 总效应值分别为 0.904 7、0.825 8 和 0.877 9。在 5 个性状中, 已考虑材积变异的 98.29% (多元回归系数 $R^2=0.982 9$), 其他因素的作用占 1.71%。因此, 选

表 6 7 a 生卷荚相思控制性状对单木材积的直接和间接途径系数

Table 6 Direct and indirect path coefficients of control trait to single timber volume of 7-year-old *Acacia cincinnata*

性状 Trait	直接途径系数 Direct path coefficient	间接途径系数 Indirect path coefficient					总效应 Gross effect
		树高 Tree height	胸径 DBH	枝下高 Height under branch	冠幅 Crown width	干形 Stem form	
树高 Tree height	0.389 9		0.315 7	-0.014 2	0.125 8	0.008 6	0.825 8
胸径 DBH	0.566 5	0.217 3		-0.003 5	0.127 6	-0.003 2	0.904 7
枝下高 Height under branch	0.098 4	0.195 2	0.069 6		-0.004 7	0.024 1	0.382 6
冠幅 Crown width	0.172 8	0.283 9	0.418 5	0.000 8		0.001 9	0.877 9
干形 Stem form	0.053 6	0.062 4	-0.033 8	-0.012 8	0.006 1		0.075 5

育材积生长量高的优良品种需要将胸径、树高、冠幅作为选择主要性状，枝下高和干形作为次要性状。

2.6 综合评价

以树高、胸径等 6 个性状对 15 个无性系进行布雷金综合评价， Q_i 值为 1.58~1.83，最大的无性系为 SS2 (1.83)，最小的为 SS1 (1.58)。按照 20% 的入选率对 15 个无性系进行综合评价选择，入选的无性系分别为 SS2、SS3 和 ZJ22，其 Q_i 值分别为 1.83、1.77 和 1.76，入选无性系的材积遗传增益为 13.86%。

3 讨论和结论

遗传与变异是林木选择的基础，林木群体内遗传变异具有广泛性^[24]。白史且等^[25]认为变异系数大于 10%，表明个体间存在较大差异，在进行种质资源选择时需重点考虑，变异系数越大反映变异程度越大，选择潜力越大。本研究中 15 个无性系主要性状的变异系数为 15.69%~36.25%，与梁德洋等^[26]对红松(*Pinus koraiensis*)无性系的研究结果相似。刘劲宏等^[27]对胡桃楸(*Juglans mandshurica*)不同家系的研究也表明树高、胸径变异程度较大，其变异系数为 24.23%~45.33%。重复力可以衡量性状的稳定性，高重复力意味着该性状稳定性较强，受环境影响较小^[12]。本研究表明，卷荚相思无性系主要性状的重复力均大于 0.4，为中度以上重复力，预示对该性状选择可获得较高的遗传增益。潘志刚等^[28]对马占相思(*Acacia mangium*)和陈苏英等^[29]对杉木(*Cunninghamia lanceolata*)无性系的研究也表明其具有高重复力。相关性分析可以直接反映无性系各性状间的关联程度，为了解各性状间的关系提供重要参考意义^[30-31]。本研究中，树高、胸径和材积间存在极显著正相关，枝下高和冠幅之间呈负相关，干形与其他性状间呈正相关，表明林木生长及形质

是各个方面相互作用的结果，在进行林木选择时，一方获得改良，另一方性状就可能受负向效果^[32]。

提高用材林的材积生长量是林木遗传改良的重要方向^[33]。相关分析表明各性状间存在复杂相关关系，途径分析可进一步区分总效应、直接效应和间接效应，反映性状间的真实相关性^[34]。本研究对单株材积构成因素的途径分析结果表明，总效应值依次为胸径(0.904 7)>冠幅(0.877 9)>树高(0.825 8)>枝下高(0.382 6)>干形(0.075 5)，直接效应值依次为胸径(0.566 5)>树高(0.389 9)>冠幅(0.172 8)>枝下高(0.098 4)>干形(0.053 6)，由此可见，对比相关分析，冠幅对材积影响重要性明显提升，构成材积最主要因素是胸径、冠幅、树高，干形影响极小。从间接效应上看，胸径、树高、冠幅间接效应最大，干形与枝下高间接效应极小且枝下高为负效应。这与陈伟等^[35]对思茅松(*Pinus kesiya* var. *langbianensis*)半同胞子代的研究结果一致。在其他性状稳定的条件下，通过选择胸径、树高和冠幅较为优良的无性系对材积生长量的提高有利。

卷荚相思作为用材推广树种，生长性状是其优良无性系选择的重要内容。本研究通过 15 个卷荚相思无性系遗传变异分析，得出主要性状重复力均大于 0.4，树高、胸径和材积均有较高的遗传稳定性。利用 6 个性状的布雷金多综合评价法，最终选择无性系 SS2、SS3 和 ZJ22 为优良无性系。

参考文献

- [1] WANG H, HUANG L J, SHI Q, et al. Technique of tissue culture of *Acacia cincinnata* [J]. For Res, 2016, 29(4): 603-609. [王鸿, 黄烈健, 施琼, 等. 卷荚相思组培快繁技术研究 [J]. 林业科学研究, 2016, 29(4): 603-609. doi: 10.3969/j.issn.1001-1498.2016.04.021.]
- [2] PAN H, LIU F, ZENG Z H, et al. Diversity characteristics of endophytic bacterial communities in the roots of 5 *Acacia* species [J]. J SW For Univ, 2022, 42(5): 165-170. [潘辉, 刘芳, 曾志浩, 等. 5 个相思

- 树种根内生细菌群落多样性特征研究 [J]. 西南林业大学学报, 2022, 42(5): 165-170. doi: 10.11929/j.swfu.202106016.]
- [3] AMARE T, AMEDE T, ABEWA A, et al. Remediation of acid soils and soil property amelioration via *Acacia decurrens*-based agroforestry system [J]. *Agrofor Syst*, 2022, 96(2): 329-342. doi: 10.1007/s10457-021-00721-8.
- [4] MILLAR M A, COATES D J, BYRNE M, et al. Assessment of genetic diversity and mating system of *Acacia cyclops* restoration and remnant populations [J]. *Restor Ecol*, 2019, 27(6): 1327-1338. doi: 10.1111/rec.13007.
- [5] LI C J, LAI H J, FAN H H, et al. Effects of simulated nitrogen deposition on seed germination of *Schima superba* and *Acacia cincinnata* [J]. *J NW A&F Univ (Nat Sci)*, 2024, 52(5): 48-56. [李成珺, 赖慧捷, 范辉华, 等. 模拟氮沉降对木荷和卷荚相思种子萌发的影响 [J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2024, 52(5): 48-56. doi: 10.13207/j.cnki.jnwafu.2024.05.005.]
- [6] LÜ Z Q. Preliminary study on artificial afforestation of *Acacia cincinnata* in mountainous area of southern Fujian [J]. *Anhui Agric Sci Bull*, 2021, 27(18): 70-71. [吕重铅. 闽南山地卷荚相思人工造林初步研究 [J]. 安徽农学通报, 2021, 27(18): 70-71. doi: 10.16377/j.cnki.issn1007-7731.2021.18.027.]
- [7] HUANG B L, RUAN S N, MA Z H, et al. The effects of different light mediums on the growth of container seedlings of *Acacia cincinnata* [J]. *J For Environ*, 2015, 35(2): 153-158. [黄斌龙, 阮少宁, 马志慧, 等. 不同轻型基质对卷荚相思容器苗生长的影响 [J]. 森林与环境学报, 2015, 35(2): 153-158. doi: 10.13324/j.cnki.jfef.2015.02.010.]
- [8] ZHAO W D, LI K, WANG J, et al. Water-holding capacity and accumulation amount of litters of five kinds of *Acacia* plantations [J]. *J Sichuan Agric Univ*, 2020, 38(6): 677-684. [赵文东, 李凯, 王俊, 等. 5 种人工相思林凋落物现存量及其持水特性 [J]. 四川农业大学学报, 2020, 38(6): 677-684. doi: 10.16036/j.issn.1000-2650.2020.06.005.]
- [9] HUANG M, HUANG Y M, ZHAO M F, et al. Phenological observation of 5 exotic *Acacia* species [J]. *J Fujian For Sci Technol*, 2018, 45(4): 28-32. [黄猛, 黄玉梅, 赵苗菲, 等. 5 种外来相思类树种的物候期观测 [J]. 福建林业科技, 2018, 45(4): 28-32. doi: 10.13428/j.cnki.fjlk.2018.04.006.]
- [10] HU H T, QIU L J, LIN Y, et al. Diurnal changes of chlorophyll fluorescence parameters of different leaf ages of four *Acacia* species in southeast coastal area in spring [J]. *J NW For Univ*, 2017, 32(4): 34-39. [胡欢甜, 邱岭军, 林宇, 等. 滨海沙地 4 种相思不同叶龄春季叶绿素荧光参数日动态 [J]. 西北林学院学报, 2017, 32(4): 34-39. doi: 10.3969/j.issn.1001-7461.2017.04.06.]
- [11] ZHOU L L, LI S B, WU Y L, et al. Ecological stoichiometry characteristics of leaf-leaf litter-soil of different *Acacia* plantations [J]. *J Plant Resour Environ*, 2022, 31(2): 64-72. [周丽丽, 李树斌, 吴亚岚, 等. 不同相思林叶片-凋落叶-土壤的生态化学计量特征 [J]. 植物资源与环境学报, 2022, 31(2): 64-72. doi: 10.3969/j.issn.1674-7895.2022.02.07.]
- [12] ZHENG Y Y. Comprehensive evaluation and selection of *Acacia cincinnata* clones [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2018. [郑莹莹. 卷荚相思无性系综合评价与选择 [D]. 福州: 福建农林大学, 2018.]
- [13] WANG M, LIU Q, LI X M, et al. Selection of superior clones of *Xanthoceras sorbifolia* [J]. *J Jilin For Sci Technol*, 2022, 50(5): 7-10. [王漫, 刘岐, 李晓梅, 等. 文冠果优良无性系选育 [J]. 吉林林业科技, 2021, 50(5): 7-10. doi: 10.16115/j.cnki.issn.1005-7129.2021.05.002.]
- [14] XU M Y, NIE Y L, DENG G X, et al. Breeding on superior clones of *Betula almoides* [J]. *J SW For Univ*, 2022, 42(2): 163-167. [徐明艳, 聂艳丽, 邓桂香, 等. 西南桦优良无性系选育研究 [J]. 西南林业大学学报, 2022, 42(2): 163-167. doi: 10.11929/j.swfu.202108056.]
- [15] LI P, WEI W C, QIU H, et al. Genetic determination and selection of progeny tungmian provenance of *Pinus massoniana* [J]. *J Guangxi Norm Univ (Nat Sci)*, 2023, 41(3): 182-190. [李鹏, 魏文初, 邱辉, 等. 马尾松桐棉种源优树子代遗传测定与选择 [J]. 广西师范大学学报(自然科学版), 2023, 41(3): 182-190. doi: 10.16088/j.issn.1001-6600.2022050604.]
- [16] LI G Y, XU J M, LU Z H, et al. Studies on index selections of *Eucalyptus urophylla* families [J]. *For Res*, 2005, 18(1): 57-61. [李光友, 徐建民, 陆钊华, 等. 尾叶桉二代测定林家系的综合评选 [J]. 林业科学研究, 2005, 18(1): 57-61. doi: 10.3321/j.issn:1001-1498.2005.01.011.]
- [17] ZHANG F Q, CHEN Z X, ZHANG W H, et al. Regional selection of excellent families in *Acacia crassicarpa* [J]. *Guangdong For Sci Technol*, 2013, 29(6): 1-6. [张方秋, 陈祖旭, 张卫华. 厚荚相思优良家系的区域化选择 [J]. 广东林业科技, 2013, 29(6): 1-6. doi: 10.3969/j.issn.1006-4427.2013.06.001.]
- [18] ZHOU X Y, GAO H Y, LI Z M, et al. Evaluating parents of *Pinus koraiensis* seeds orchard with growth and fruiting [J]. *Bull Bot Res*, 2020, 40(3): 376-385. [周雪燕, 高海燕, 李召珉, 等. 基于生长与结实评价红松种子园亲本 [J]. 植物研究, 2020, 40(3): 376-385. doi: 10.7525/j.issn.1673-5102.2020.03.008.]
- [19] ZHANG X X, XIA H, ZHAO X, et al. Comprehensive evaluation of growth and fruit traits of *Larix olgensis* parents in seed orchard [J]. *Bull Bot Res*, 2017, 37(6): 933-940. [张鑫鑫, 夏辉, 赵昕, 等. 长白落叶松种子园亲本生长与结实性状综合评价 [J]. 植物研究, 2017, 37(6): 933-940. doi: 10.7525/j.issn.1673-5102.2017.06.017.]

- [20] ZHANG D D, LI X, WANG B Y, et al. Variation analysis of growth traits of *Larix olgensis* parental clones in seed orchards [J]. Bull Bot Res, 2022, 42(1): 130-137. [张丹丹, 李翔, 王璧莹, 等. 长白落叶松种子园亲本无性系生长性状变异研究 [J]. 植物研究, 2022, 42(1): 130-137. doi: 10.7525/j.issn.1673-5102.2022.01.014.]
- [21] ZHU Z T. Basis of Forest Genetics [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 1990. [朱之梯. 林木遗传学基础 [M]. 北京: 中国林业出版社, 1990.]
- [22] ZHAO B G, ZHU J, AI X R, et al. Path analysis of DBH and crown width of native *Metasequoia glyptostroboides* population [J]. J NE For Univ, 2021, 49(10): 16-20. [赵保国, 朱江, 艾训儒, 等. 水杉原生种群胸径树高与树冠的通径分析 [J]. 东北林业大学学报, 2021, 49(10): 16-20. doi: 10.13759/j.cnki.dlxb.2021.10.004.]
- [23] ZHAO X Y, SONG Y P, MA K F, et al. Genetic variation of bark thickness and wet heart wood of intraspecific hybrid clones in *Populus deltoides* [J]. J Beijing For Univ, 2010, 32(5): 67-73. [赵曦阳, 宋跃朋, 马开峰, 等. 美洲黑杨种内杂种无性系树皮厚度与湿心材变异分析 [J]. 北京林业大学学报, 2010, 32(5): 67-73. doi: 10.13332/j.1000-1522.2010.05.021.]
- [24] ZHAO X Y, LI Y, ZHAO L, et al. Analysis and evaluation of growth and adaptive performance of white poplar hybrid clones in different sites [J]. J Beijing For Univ, 2013, 35(6): 7-14. [赵曦阳, 李颖, 赵丽, 等. 不同地点白杨杂种无性系生长和适应性表现分析和评价 [J]. 北京林业大学学报, 2013, 35(6): 7-14. doi: 10.13332/j.1000-1522.2013.06.010.]
- [25] BAI S Q, GOU W L, ZHANG X Q, et al. Ecological characteristics and morphological variations of centipedegrass in different populations [J]. J Beijing For Univ, 2002, 24(4): 97-101. [白史且, 苟文龙, 张新全, 等. 假俭草种群变异与生态特性的研究 [J]. 北京林业大学学报, 2002, 24(4): 97-101. doi: 10.3321/j.issn:1000-1522.2002.04.022.]
- [26] LIANG D Y, JIN Y Z, ZHAO G H, et al. Variance analyses of growth and wood characteristics of 50 *Pinus koraiensis* clones [J]. J Beijing For Univ, 2016, 38(6): 51-59. [梁德洋, 金允哲, 赵光浩, 等. 50个红松无性系生长与木材性状变异研究 [J]. 北京林业大学学报, 2016, 38(6): 51-59. doi: 10.13332/j.1000-1522.20150465.]
- [27] LIU J H, LI Z X, ZHANG H G, et al. Analysis of variation in growth traits of different species and families of *Juglans mandshurica* [J]. J NE For Univ, 2023, 51(8): 9-17. [刘劲宏, 李志新, 张含国, 等. 胡桃楸不同种源及家系间生长性状的遗传变异 [J]. 东北林业大学学报, 2023, 51(8): 9-17. doi: 10.13759/j.cnki.dlxb.2023.08.006.]
- [28] PAN Z G, LV P X, PAN Y X, et al. Provenance test of *Acacia mangium* [J]. For Res, 1989, 2(4): 351-356. [潘志刚, 吕鹏信, 潘永言, 等. 马占相思种源试验 [J]. 林业科学研究, 1989, 2(4): 351-356.]
- [29] CHEN S Y, MA X Q, WU P F, et al. Evaluation on growth and seed characters of different clones in 1.5-generation seed orchard of Chinese Fir [J]. J Trop Subtrop Bot, 2014, 22(3): 281-291. [陈苏英, 马祥庆, 吴鹏飞, 等. 1.5代杉木种子园不同无性系生长和结实性状的评价 [J]. 热带亚热带植物学报, 2014, 22(3): 281-291. doi: 10.3969/j.issn.1005-3395.2014.03.010.]
- [30] SUMIDA A, MIYAURA T, TORII H. Relationships of tree height and diameter at breast height revisited: Analyses of stem growth using 20-year data of an even-aged *Chamaecyparis obtusa* stand [J]. Tree Physiol, 2013, 33(1): 106-118. doi: 10.1093/treephys/tps127.
- [31] FUKATSU E, HIRAOKA Y, MATSUNAGA K, et al. Genetic relationship between wood properties and growth traits in *Larix kaempferi* obtained from a diallel mating test [J]. J Wood Sci, 2015, 61(1): 10-18. doi: 10.1007/s10086-014-1436-9.
- [32] DE ALMEIDA RIOS S, DA CUNHA R N V, LOPES R, et al. Correlation and path analysis for yield components in Dura oil palm germplasm [J]. Ind Crop Prod, 2018, 112: 724-733. doi: 10.1016/j.indcrop.2017.12.054.
- [33] POUDEL M R, POUDEL P B, PURI R R, et al. Variability, correlation and path coefficient analysis for agro-morphological traits in wheat genotypes (*Triticum aestivum* L.) under normal and heat stress conditions [J]. Int J Appl Sci Biotechnol, 2021, 9(1): 65-74. doi: 10.3126/IJASBT.V9I1.35985.
- [34] OU J D, WU Z Z. Path analysis between canopymorphological characteristics and growth form quality of *Taxus chinensis* var. *mairei* plantation at young age [J]. J Nanjing For Univ (Nat Sci), 2019, 43(4): 185-191. [欧建德, 吴志庄. 幼龄南方红豆杉人工林树冠形态特征与生长形质通径分析 [J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2019, 43(4): 185-191. doi: 10.3969/j.issn.1000-2006.201805011.]
- [35] CHEN W, MENG M, LI J, et al. Genetic analysis and selection of growth traits in 6-year-old half-sib progeny of *Pinus kesiya* var. *langbianensis* [J]. J W China For Sci, 2023, 52(4): 13-19. [陈伟, 孟梦, 李江, 等. 6年生思茅松半同胞子代生长性状的遗传分析及选择 [J]. 西部林业科学, 2023, 52(4): 13-19. doi: 10.16473/j.cnki.xblykx1972.2023.04.003.]