

文章编号: 1001-1498(2008)02-0206-06

辽西地区黑杨派纸浆材无性系生长与材性综合评价*

李金花¹, 宋红竹², 牛正田¹, 张绮纹¹

(1. 中国林业科学研究院林业研究所, 北京 100091; 2. 国家林业局科技发展中心, 北京 100714)

摘要:以辽宁西部的 7 个黑杨派优良无性系为试材, 以 13 年生的生长量 (胸径、树高) 和材性性状 (基本密度、纤维长度、壁腔比和 1% NaOH 抽提物) 为指标进行方差分析和遗传参数估算, 6 个性状在 7 个无性系间存在极显著或显著差异, 胸径和树高的重复力较高。利用灰色关联度分析与 DTOPSIS 法对 7 个无性系进行生长与材性综合评价, 47 号杨的综合表现最好, 这两种方法的分析结果在无性系优劣排序上基本吻合, 但无性系间的 C_i 值差异十分明显, 而灰色关联度差异不大。此外, 还对分析中各性状权重的确定进行了探讨。

关键词: 杨属; 黑杨派; 灰色关联度; DTOPSIS 法; 生长与材性综合评价

中图分类号: S792.11 文献标识码: A

Comprehensive Judgement of Section *Aigeiros* Clones in Western Liaoning Province for Pulp Wood

LI Jin-hua¹, SONG Hong-zhu², NIU Zheng-tian¹, ZHANG Qi-wen¹

(1. Research Institute of Forestry, CAF, Beijing 100091, China;

2. Science and Technique Development Centre, State Forestry Administration, Beijing 100714, China)

Abstract: Seven clones of section *Aigeiros* introduced from foreign countries were selected and studied from stands in cold and middle-dry region of western Liaoning Province. For each cultivar, 13-year-old height, DBH, basic density, fiber length, and ratio of fiber wideness to space and 1% NaOH extractant of wood were measured and analyzed for variance and genetic parameter. The results showed that there existed significant variability of 6 traits among cultivars and heritabilities were generally high and significant for DBH and height. Using gray correlation analysis and method DTOPSIS, six traits of growth and wood quality were used to comprehensively evaluate the seven clones. The rank of clones showed that *P. euramerican* cv. 'Agethe F' was the best. These two methods used the same gray theory and resulted in the basically conformable rank of clones. But the C_i values of DTOPSIS were significantly different among cultivars, and the difference of the gray correlation degrees were not great between cultivars. The ensurement of each trait power for analysis were discussed.

Key words: *Populus*; the section *Aigeiros*; gray correlation analysis; DTOPSIS; multi-trait comprehensive evaluate

黑杨派无性系适宜我国平原地区生长, 早期速生、无性繁殖容易, 材质较好, 被广泛用于杨树生态林和速生丰产用材林建设^[1]。近 20 年来, 我国广泛

开展了黑杨派无性系遗传变异及选择研究, 以生长、抗性、适应性、材质等性状综合评定无性系, 特别注重影响材质和产量的性状的评价, 开展了生长与材

收稿日期: 2006-07-20

基金项目: 国家“九五”科技攻关“杨树纸浆材用材林树种良种选育及培育技术研究”(96-011-01-02)专题

作者简介: 李金花 (1970—), 女, 新疆石河子人, 副研究员, 林木遗传育种学博士。

*参加人员还有中国林业科学研究院林业研究所的苏晓华研究员和朱春全研究员, 马浩博士参加了部分试材的调查和取样等研究工作, 林化所房桂干研究员在木材材性分析上给予了帮助, 特此感谢!

性等多性状综合选择研究^[1-10],这些研究多是利用主成分分析法、遗传距离聚类分析、指数选择法和综合性状评分法,而且以暖温带和北亚热带杨树无性系为材料进行多性状联合选择,选育速生优质杨树工业用材林新品种^[2-3,6-9]。

为了满足东北地区黑杨派良种无性系的需求,中国林科院林研所于 20 世纪 80 年代在属于寒冷半干旱地区的辽宁省西部建平县设点,进行耐寒杨树良种无性系的引种试验和无性系对比林试验,经苗期和幼龄期筛选和半个轮伐期生长测试,选出了一批抗寒速生优良无性系,经受住了低温(-30)、早霜和晚霜的考验,表现出了很高的速生能力,通过了辽宁省林业厅鉴定^[6,10]。本研究以其中的 3 号 (*Populus euramericana* cv. 'DN59')、10 号 (*P. euramericana* cv. 'DN182')、19 号 (*P. euramericana* cv. 'DN74')、47 号 (*P. euramericana* cv. 'Agethe F')、48 号 (*P. euramericana* cv. 'N3014')、51 号 (*P. deltoides* cv. 'Imperial') 和 64 号 (*P. euramericana* cv. 'N3016') 等 7 个黑杨派优良无性系为材料,研究 13 年生生长和材性性状的遗传变异,并利用灰色关联度分析和 DTOPSIS 法对 7 个无性系进行生长与材性多性状综合评价,以期为辽西地区黑杨派纸浆材优良无性系的选择提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验地自然概况

试验地设在辽宁省建平县黑水林场章京营子区,黑水林场位于 119°25'E, 41°52'N, 海拔 660 m, 气候干燥,自然灾害严重,属于寒冷半干旱草原气候区,年均气温 5.5, 极端最高气温 41.5, 极端最低气温 -31.4, 年降水量 308 mm, 年蒸发量 1950 mm, 年平均相对湿度 55%。章京营子区地处河滩沙荒地,土壤为壤质沙土, pH 值 7.8, 地下水位 2 m 左右,地势平坦。

1.2 试验材料和性状测定

1983 年张绮纹^[11]从国外引进一批黑杨派无性系(多为欧美杨 (*P. euramericana* (Dode) Guineir) 或美洲黑杨 (*P. deltoides* Bartr)), 1985 年在章京营子区营建试验林,面积 4 hm², 25 株小区, 2~3 次重复,株行距 6 m × 6 m。1998 年 4 月从试验林中选出了 7 个无性系(表 1), 每个无性系选取 3 株平均木伐倒,在每株伐倒木的 2/3 树高、1/2 树高和距地面 40 cm 树高的 3 个部位,锯取厚 3~4 cm 的圆盘,在

圆盘上由南向北方向上截取宽 25 mm 的试条,再劈分为上、下两部分试样,进行木材材性测定,求每株材性性状的平均值^[11]。基本密度采用排水法^[12]测定;在 XST-Z 型投影显微镜下随机选取 50 根完整纤维,测定纤维长度、纤维宽度和纤维腔径,求平均值后再计算出壁腔比^[12];按照国家标准 GB/T 2677.5^[13]进行 1% NaOH 抽提物的测定。木材取样前测定各伐倒木的胸径、树高。

表 1 7 个黑杨派无性系基本情况

无性系名称	性别	起源	来源
3号杨 (<i>P. euramericana</i> cv. 'DN59')		人工杂交	加拿大
10号杨 (<i>P. euramericana</i> cv. 'DN182')		人工杂交	加拿大
19号杨 (<i>P. euramericana</i> cv. 'DN74')		人工杂交	加拿大
47号杨 (阿盖特杨) (<i>P. euramericana</i> cv. 'Agethe F')		人工杂交	美国
48号杨 (<i>P. euramericana</i> cv. 'N3014')		人工杂交	荷兰
51号杨 (帝国杨) (<i>P. deltoides</i> cv. 'Imperial')		天然林选择	美国
64号杨 (<i>P. euramericana</i> cv. 'N3016')		人工杂交	荷兰

注: 、 分别为雄株和雌株。

1.3 统计分析方法

1.3.1 方差分析及重复力估算 生长和材性性状方差分析的线性模型为(1)式。根据续九如^[14]方法计算无性系重复力。

$$Y_{ik} = \mu + X_i + e_{ik} \quad (1)$$

式(1)中: Y_{ik} 为第 i 个品种的第 k 个观测值; μ 为总体平均值; X_i 表示品种第 i 个效应值; e_{ik} 表示误差。

1.3.2 灰色关联度分析 其原理是将所有参试品种视为一个灰色系统,每一品种看作该系统中的一个因素。根据系统内各因素之间态势相似或接近的程度来衡量其相关程度即关联度的大小,关联度越大,比较数列与参考数列的发展趋势就越接近^[15-16]。首先设一个各性状均较参试品种优良的理想品种为“标准品种”,以其各项性状指标组成参考数列 X_0 , 以各参试品种各项性状均值组成比较数列 X_i , 对原始数据进行无量纲化处理,即正向指标和逆向指标分别用(2)式和(3)式计算,得到一个各性状值相差很小、且介于 0~1 之间的新数列。利用(4)式计算无量纲化后 X 数列与标准品种数列 X_0 各对应点的绝对差值 $|i(k)|$, 找出各性状 $|i(k)|$ 的最大值 $\max |i(k)|$ 与最小值 $\min |i(k)|$, 不同的性状用不同的 $\max |i(k)|$ 与 $\min |i(k)|$, 代入公式(5)计算各参试品种

各性状指标的关联系数 $r_{i(k)}$ 。根据各性状的重要性和育种目标,赋予关联系数不同的权重 w_k ,并根据 (6)式求算加权关联度 r_i 。根据关联度的大小,就可以确定比较数列与参考数列的相似程度,从而判断比较数列(参试品种)的优劣。

$$X_{正 i(k)} = X_{正 i(k)} / X_0 \quad (2)$$

$$X_{负 i(k)} = X_0 / X_{负 i(k)} \quad (3)$$

式(2)和(3)中: i 为品种数量($i = 0 \sim 7$); k 为性状数量($k = 1 \sim 6$); $X_{正 i(k)}$ 和 $X_{负 i(k)}$ 为无量纲化后的值; $X_{正 i(k)}$ 和 $X_{负 i(k)}$ 为无量纲化前的值; X_0 为标准品种的值。

$$|i(k)| = |X_{0(k)} - X_{正 i(k)} \text{ 或 } X_{负 i(k)}| \quad (4)$$

式(4)中: $|i(k)|$ 为差数的绝对值; $X_{0(k)}$ 为标准数列; $X_{i(k)}$ 为各品种数列。

$$r_{i(k)} = \frac{\min |i(k)| + \max |i(k)|}{|i(k)| + \max |i(k)|} \quad (5)$$

式(5)中: $r_{i(k)}$ 为分辨系数,取值范围为 $0 \sim 1$,常取 0.5 ; $|i(k)|$ 为各性状的关联系数; $\max |i(k)|$ 和 $\min |i(k)|$ 分别为各性状 $|i(k)|$ 最大值和最小值。

$$r_i = \sum_{k=1}^6 w_k r_{i(k)} \quad (6)$$

式(6)中: r_i 为各性状关联度; w_k 为各性状权重。

1.3.3 DTOPSIS法分析^[16-18] DTOPSIS法借助于多个目标决策的理想解和负理想解进行排序,由于该方法把每个指标量化为可比较的规范化标准,且对每一指标找出其理想解和负理想解,能较详细地比较各指标间的差异。标准品种的确立和原始数据的无量纲化处理都与灰色关联法相同,得到一个各性状值相差很小、且介于 $0 \sim 1$ 之间的新数列 $Y_{i(k)}$,

再根据各性状赋予的权重 w_k ,利用(7)式计算 $R_{i(k)}$,并求出各性状 R 值的最大值 Y_i^+ 和最小值 Y_i^- ,利用(8)式和(9)式计算各品种各性状与最佳性状间的距离 S_i^+ 以及与最差性状间的距离 S_i^- ,用(10)式计算各个品种对理想解的相对接近度 C_i , C_i 值最大者即为综合性状最优品种。

$$R_{i(k)} = w_{(k)} \times Y_{i(k)} \quad (7)$$

式(7)中: i 为品种数($i = 0 \sim 7$); k 为性状数($k = 1 \sim 6$); $R_{i(k)}$ 为 R 值; $w_{(k)}$ 为权重; $Y_{i(k)}$ 为无量纲化后的值。

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{k=1}^6 (R_{i(k)} - Y_k^+)^2} \quad (8)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{k=1}^6 (R_{i(k)} - Y_k^-)^2} \quad (9)$$

式(8)和(9)中: Y_i^+ 和 Y_i^- 分别为各性状 R 值的最大值和最小值; S_i^+ 和 S_i^- 分别为各品种各性状与最佳性状间的距离和与最差性状间的距离。

$$C_i = \frac{S_i^-}{(S_i^+ + S_i^-)} \quad (10)$$

式(10)中: C_i 为各个品种对理想解的相对接近度,介于 $0 \sim 1$ 。

2 结果与分析

2.1 生长与材性性状均值和遗传参数估计

由表2可知,7个无性系木材基本密度的平均值为 $320.7 \sim 382.5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$,纤维长度为 $0.791 \sim 0.968 \text{ mm}$,壁腔比为 $0.266 \sim 0.342$,都小于1,属于制浆造纸的上等材料^[10-12]。

表 2 7个无性系的生长量和材性性状均值

品种	代号	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅	K ₆
		胸径/cm	树高/m	基本密度/(kg·m ⁻³)	纤维长度/mm	壁腔比	1%NaOH抽提物
标准品种	X ₀	27.00	36.00	400.000	0.990	0.250	19.000
3号杨	X ₁	22.00	27.13	382.458	0.957	0.328	20.557
10号杨	X ₂	21.20	24.87	377.075	0.910	0.342	20.116
19号杨	X ₃	20.77	29.37	320.717	0.968	0.308	23.598
47号杨	X ₄	25.37	34.50	373.425	0.791	0.286	21.615
48号杨	X ₅	22.97	29.70	378.550	0.807	0.339	20.075
51号杨	X ₆	20.87	24.87	361.400	0.837	0.283	21.347
64号杨	X ₇	23.60	31.50	333.533	0.863	0.266	20.175
最大值	MAX	25.37	34.50	382.458	0.968	0.342	23.597
最小值	MIN	20.77	24.87	320.717	0.791	0.266	20.075

7个无性系的胸径、树高、木材基本密度、纤维长度、壁腔比和1%NaOH抽提物等6个性状均存在

极显著($P = 0.0001$)或显著差异($P = 0.01$)(表3)。各性状不同来源方差分量和重复力、表型与

遗传变异系数等参数的估算结果表明,胸径、树高性状重复力较高,分别为 0.819 9 和 0.839 3,表明其受高度遗传控制,其次是 1% NaOH 抽提物,重复力为

0.795 8;树高的遗传变异系数最大,为 11.85%,而 1% NaOH 抽提物的最小,只有 5.8%。

表 3 7 个无性系生长性状与材性性状的方差分析及遗传参数

项目	胸径/cm	树高/m	基本密度/(kg·m ⁻³)	纤维长度/mm	壁腔比	1% NaOH 抽提物
均值	22.395 2	28.847 6	361.022 6	0.876 1	0.307 4	21.068 8
方差分析的 F 值	14.65***	16.67***	5.18*	5.10*	5.40*	12.69***
方差分量						
环境方差	0.586 2	2.237 6	343.620 5	0.002 92	0.000 5	0.383 2
遗传方差	2.668 1	11.690 0	478.554 8	0.004 0	0.000 7	1.493 4
表型方差	3.254 3	13.927 6	822.175 4	0.007 0	0.001 2	1.876 6
遗传参数						
重复力(h ²)	0.819 9	0.839 3	0.582 1	0.577 5	0.594 5	0.795 8
表型变异系数(PCV)/%	8.06	12.94	7.94	9.52	11.38	6.50
遗传变异系数(GCV)/%	7.29	11.85	6.06	7.23	8.78	5.80

注:***、**和*分别表示 =0.000 1、=0.001 和 =0.01 水平。

2.2 标准品种的确立

灰色决策系统的核心内容之一是标准品种的确立,标准品种是根据育种目标和生产实际确定的一个理想的参考品种,是各性状均优于参试品种的理想品种,其各种性状表型值是取参试品种各种性状的最佳表型值或优于最佳表型值,标准品种是参试品种比较的标准尺度,决定着分析结果的可靠性^[16]。

生长性状与材性性状是杨树纸浆材品种的重要评价指标^[1],品种在具有速生性、最大木材产量的同时,木材材性也应满足制浆造纸的特性要求,一般认为:木材密度影响纸浆强度和纸浆得率;木材纤维宜细而长;纤维细胞壁宜薄、腔宜宽,壁腔比应小于 1,愈小愈好;1% NaOH 抽提物影响纸浆得率、制浆和纸张性能,也是愈小愈好^[19]。

本研究将 7 个参试无性系供评价的生长性状与

材性性状共 6 个性状指标分为 2 类,胸径、树高、木材基本密度和纤维长度被确定为正向指标,取正向最大值的偏高数,而壁腔比和 1% NaOH 抽提物被确定为逆向指标,取负向最小值的偏低数,做为性状指标的最优值计算,确定为标准品种的性状取值(表 2)。

2.3 灰色关联度分析及评价

本研究以胸径、树高、木材基本密度、纤维长度、壁腔比和 1% NaOH 抽提物 6 个性状为指标,采用灰色关联度分析的方法,对 7 个无性系进行综合评价。考虑这 6 个性状的改良潜力和在生产应用中的重要程度,分别为其关联系数赋予不同的权重(0.250、0.250、0.125、0.125、0.125、0.125),参试无性系各性状关联系数、关联度的计算结果及其排序情况见表 4。

表 4 7 个无性系生长性状和材性性状灰色关联系数及关联度分析结果

品种	胸径/cm	树高/m	基本密度/(kg·m ⁻³)	纤维长度/mm	壁腔比	1% NaOH 抽提物	等权关联度	排序	加权关联度	排序
3号杨	0.584 7	0.489 4	1.000 0	0.917 0	0.522 8	0.871 8	0.731 0	3	0.682 5	3
10号杨	0.532 2	0.423 2	0.914 0	0.676 9	0.482 4	0.987 4	0.669 3	5	0.621 4	5
19号杨	0.507 8	0.579 3	0.480 8	1.000 0	0.603 0	0.516 6	0.614 6	6	0.596 8	6
47号杨	1.000 0	1.000 0	0.863 6	0.407 0	0.747 6	0.691 3	0.784 9	1	0.838 7	1
48号杨	0.664 1	0.595 4	0.936 0	0.430 1	0.490 3	1.000 0	0.686 0	4	0.671 9	4
51号杨	0.513 3	0.423 2	0.730 9	0.481 2	0.775 2	0.728 0	0.608 6	7	0.573 5	7
64号杨	0.728 3	0.701 9	0.538 9	0.536 4	1.000 0	0.969 9	0.745 9	2	0.738 2	2

从表 4 看出,7 个参试无性系的等权关联度与加权关联度的分析结果一致,优劣排列顺序依次为 47 号杨、64 号杨、3 号杨、48 号杨、10 号杨、19 号杨和 51 号杨,其中 47 号杨的等权关联度和加权关

联度分别为 0.784 9 和 0.838 7,生长与材性性状的综合表现最好。在灰色关联分析中,关联度大的比较数列与参考数列最为接近,即联度大的参试品种与标准品种(理想品种)最为接近,综合性状表现

好^[16]。根据灰色关联度分析原则,关联度越大,品种越优良,反之则劣,由此说明,7个无性系无论是均等强调生长与材性综合性状,还是突出强调生长性状,在无性系优劣次序的排列上相同。

2.4 DTOPSIS法分析及评价

与灰色关联度分析相同,在本研究的DTOPSIS法分析中,胸径、树高、木材基本密度、纤维长度、壁腔比和1%NaOH抽提物6个性状分别被赋予了不同的权重(0.250、0.250、0.125、0.125、0.125、0.125),从而计算出每个无性系对理想解的相对接近度 C_i ,根据 C_i 值大小对7个无性系进行排序, C_i 值最大者即为综合性状最优良的无性系(表5)。47号杨的 C_i 值最大,为0.7665,生长和材性综合性状表现最好,其次是64号杨, C_i 值为0.6512,其它无性系综合评价从优到劣的排列顺序为48号杨、19号杨、3号杨、10号杨和51号杨,综合表现最不好是51号杨, C_i 值为0.2415。

表5 2种方法对7个无性系生长和材性性状分析结果比较

无性系	DTOPSIS法的 C_i 值	排序	灰色关联分析的 加权关联度	排序
3号杨	0.3710	5	0.6825	3
10号杨	0.2632	6	0.6214	5
19号杨	0.3851	4	0.5968	6
47号杨	0.7665	1	0.8387	1
48号杨	0.4753	3	0.6719	4
51号杨	0.2415	7	0.5735	7
64号杨	0.6512	2	0.7382	2

2.5 2种方法综合评价结果的比较

灰色关联度法和DTOPSIS法都是应用灰色理论,计算观察参试品种与标准品种的相对接近度,是目前在作物上应用广泛、较为理想的多性状综合评价方法,但由于方法不同,在分析结果上存在一定差异^[16]。本研究中对加权灰色关联度分析和DTOPSIS法分析的结果进行比较(表5),通过2种方法获得的无性系优劣排列顺序的结果基本吻合,综合表现最好的是47号杨,其次是64号杨,51号杨的综合表现最不好。在这2种方法的分析结果中,各无性系的关联度值明显高于 C_i 值,且无性系间关联度差异不明显,而 C_i 值差异明显;在2种分析的无性系优劣排序上有细微差异,排在第3、4、5、6位的无性系并不同;无性系间的关联度最大差异为46.2%,无性系之间的差异未能充分表现出来,而DTOPSIS法的无性系间 C_i 值差异达217.4%,无性系之间的优劣差异十分明显,便于对无性系进行分类淘汰。

3 结论与讨论

生长和材性的遗传改良是林木遗传育种研究的重要目标,关于性状的选择,不同树种是不同的,不同评价目的选择的性状也是不同的,但所选性状必须是主要而且重要的性状^[3-5,7-9]。杨树纸浆材良种选育除了注重速生性状外,还要着重研究木材基本特性以及木材制浆性能,以便选育出速生优质且适合制浆特性要求的品种^[2,5,9]。本研究选择树高和胸径2个生长性状以及木材基本密度、纤维长度、壁腔比和1%NaOH抽提物4个材性性状为指标,对杨树纸浆材优良无性系的综合评价和选择来说,这6个性状具有代表性,是主要而且是重要的性状评价指标。

灰色关联度法和DTOPSIS法都是通过对数据的无量纲化处理、确立标准品种、确定各性状的权重,然后通过不同的公式计算,将各性状与标准品种性状的差距累加起来,得出关联系数或 C_i 值,利用该值大小对品种进行排序^[15-18]。孙治安等^[16]利用10个小麦品种15个性状指标对这2种分析方法进行了比较,结果表明,DTOPSIS法能将品种的综合性状进行量化,品种间 C_i 值差异十分明显,而灰色关联度法则差异不大,不能很好地评价品种的优劣。本研究利用这2种方法对辽西地区7个黑杨派优良无性系进行生长和材性6个性状指标的综合评价,分析结果表明,二者在无性系优劣排序上基本一致,47号杨最好,其次是64号杨,最差是51号杨;也证实了这2种分析方法的结果存在差异,无性系 C_i 值间的差异十分明显,而灰色关联度间的差异则不大。由此也说明,DTOPSIS法的分析结果更科学,因为无性系间的差异能明显表现出来, C_i 值差异明显,不仅能将无性系进行综合性状优劣排序,而且还能对无性系进行分类淘汰,对于无性系(品种)的选择具有一定参考依据,可以更好地提高分析结果的理论指导意义,特别适用于大量育种材料的取舍。

灰色决策系统的另一个核心内容是各性状权重的确立,多数研究者将生长产量性状赋予了较高权重,其它性状的权重很低,这样得出的结果仍以产量性状为主,失去了综合评价的意义^[16]。如汤玉喜等^[3]利用灰色关联度对6年生18个美洲黑杨无性系进行综合评价,以材积、纤维含量、抗病性4个性状为指标赋予权重(0.6、0.2、0.1、0.1)。本研究以胸径、树高、木材基本密度、纤维长度、壁腔比和1%

NaOH抽提物为性状指标赋予权重(0.250, 0.250, 0.125, 0.125, 0.125, 0.125),其中胸径和树高生长性状的权重达到了0.5,而材性性状的权重也为0.5,兼顾了杨树纸浆材生长和材性的评价指标。

参考文献:

- [1] 张绮纹,李金花. 杨树工业用材林新品种 (ISBN 7 - 5038 - 3543 - 5) [M]. 北京:中国林业出版社,2003
- [2] 李善文,姜岳忠,王桂岩,等. 黑杨派无性系生长与材性联合选择 [J]. 林业科学,2005,41(2):53-58
- [3] 汤玉喜,吴立勋,吴敏,等. 杨树无性系生长与材性遗传变异及综合选择研究 [J]. 湖南林业科技,2005,32(5):1-5
- [4] 秦光华,姜岳忠,李善文,等. 黑杨派新无性系苗期生长模型及灰色关联分析 [J]. 北京林业大学学报,2004,26(2):52-57
- [5] 任建中,刘长青,汪清锐,等. 杨树纸浆材优良无性系选择方法的研究 [J]. 北京林业大学学报,2003,25(4):25-29
- [6] 雷静品,刘晓东,朱春全,等. 辽西地区杨树优良无性系品种的选择 [J]. 东北林业大学学报,2003,31(4):7-9
- [7] 王克胜,卞学瑜,佟永昌,等. 杨树无性系生长和材性的遗传变异及多性状选择 [J]. 林业科学,1996,32(2):111-117
- [8] 王明麻,黄敏仁,阮锡根,等. 黑杨派新无性系木材性状的遗传改良 [J]. 南京林业大学学报,1989,13(3):9-16
- [9] 管兰华,潘惠新,黄敏仁,等. 美洲黑杨 × 欧美杨 F₁ 无性系的多性状联合选 [J]. 南京林业大学学报,2005,29(2):6-10
- [10] 赵天锡,陈章水. 中国杨树集约栽培 [M]. 北京:中国科学技术出版社,1994
- [11] 房桂干,谢国恩,李萍,等. 综合评估方法的研究 [J]. 林产化学与工业,1995,15(增刊):1-7
- [12] 成俊卿. 木材学 [M]. 北京:中国林业出版社,1985
- [13] GB/T 2677. 5. 造纸原料 1% 氢氧化钠抽出物含量的测定 [S]
- [14] 续九如. 重复力及其在树木育种中的应用 [J]. 北京林业大学学报,1988,10(4):97-101
- [15] 袁嘉祖. 灰色系统理论及其应用 [M]. 北京:科学出版社,1991
- [16] 孙治安,王建立,杨丙中. 农作物新品种灰色关联度与 DTOPSIS 分析比较 [J]. 耕作与栽培,2006(1):15-20
- [17] 龙腾芳. DTOPSIS 法的程序设计及其在作物品种评价中的应用 [J]. 中国农学通报,2004(3):252-254
- [18] 许波,王成业,张海申,等. DTOPSIS 法在玉米新品种多因素综合评价中的应用 [J]. 种子,2005,24(1):14-16
- [19] 杨淑蕙. 植物纤维化学 3 版 [M]. 北京:中国轻工业出版社,2001