

银白杨×新疆杨杂种无性系生长特性差异
及其与环境因子的关系研究

杨建军^{1,2}, 李丕军^{3*}

(1. 新疆大学 资源与环境科学学院, 新疆 乌鲁木齐 830046; 2. 绿洲生态教育部重点实验室, 新疆 乌鲁木齐 830046;
3. 新疆林业科学院, 新疆 乌鲁木齐 830002)

摘 要:以银白杨×新疆杨的 8 个杂种无性系为材料,研究其在新疆北屯、玛纳斯和伊犁试验区的生长特性差异及其与环境因子的关系。结果表明:银白杨×新疆杨 8 个杂种无性系的高生长、径生长在北屯、玛纳斯和伊犁 3 个试验区均存在差异。8 个无性系材积增长量的顺序为北屯试验区>玛纳斯试验区>伊犁试验区,在所有试验无性系中,北屯试验区的 108 号无性系的材积增长量最大,为 0.774 4 m³,材积增长量最小的为玛纳斯试验区的 184 号无性系,仅有 0.101 3 m³;不同试验区的温、湿条件是影响银白杨×新疆杨杂种无性系材积增长的主要气候因素;影响无性系生长的土壤主分量因子在北屯试验区为土壤有机质、土壤全氮、土壤全磷、土壤速效氮、含盐量和含水率;在玛纳斯试验区为土壤有机质、土壤全氮、土壤全钾、土壤速效氮和土壤速效钾,在伊犁试验区为土壤有机质、土壤全氮和土壤速效氮;综合材积与气候、土壤因子,8 个无性系中,以 108 和 527 无性系的生长为最佳。

关键词:银白杨;新疆杨;杂种无性系;生长特性;环境因子

中图分类号:S792.11 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2014)06-0119-08

Growth Difference and Environmental Factors of Hybrid Clones
from *Populus alba* × *P. alba* cv. *Pyramdalis*

YANG Jian-jun^{1,2}, LI Pi-jun³

(1. College of Resource and Environment, Xinjiang University, Urumqi 830046, China; 2. Key Laboratory of Oasis Ecology of the Ministry of Education, Urumqi, Xinjiang 830046, China; 3. Xinjiang Academy of Forestry, Urumqi, Xinjiang 830002, China)

Abstract: Eight hybrid clones of *Populus alba* and *P. alba* cv. *Pyramdalis* were studied in Beitun, Manas and Ili experimental zones with block design. The annual diameter at breast height(DBH)and tree height were monitored. Differences in growth characteristics and their relationships with environmental factors were analyzed. The results showed that high growth, diameter growth of eight hybrid clones in three areas varied differently. The ascending sequential order of volume increment was Beitun, Manas and Ili, and the volume increment of No. 108 clone in Beitun test area was the largest with 0.774 4 m³, while the No. 184 clone in Manas test area was the minimal (0.101 3 m³). The temperature and humidity were the main factor limiting volume increment. The principal component factors of soil in Beitun were organic matter, total nitrogen, total phosphorus, available nitrogen, salinity and moisture, which in Manas were organic matter, total nitrogen, total potassium, available nitrogen and potassium, and those in Ili test were organic matter, nitrogen and available nitrogen. Considering the volume increment, weather and soil factors, the growth of No. 108 and No. 527 clones were the best.

收稿日期:2014-04-18 修回日期:2014-06-04

基金项目:国家自然科学基金(51104127);新疆维吾尔自治区科技计划项目(201254112)。

作者简介:杨建军,男,博士,副教授,研究方向:干旱区生态系统与全球变化。E-mail: yjjdfly@sina.com

* 通信作者:李丕军,男,博士,研究员,研究方向:林木育种。E-mail: lpj1997@sina.com

Key words: *Populus alba*; *Populus alba* cv. *Pyramidalis*; hybrid clones; growth characteristic; environmental factor

杨树(*Populus*)具有生长快、成材早、产量高、易于更新的特点,是世界中纬度平原地区栽培面积最大、木材产量最高的速生用材树种之一,也是我国北方主要速生用材树种^[1]。近年来,我国北方地区杨树产业发展迅速,杨树产业发展的关键在于良种,从维持杨树人工林长期生产力和生态安全角度,也应不断丰富良种^[2]。因此,培育新品种并将良种迅速用于生产势在必行。研究树种生长规律对发展杨树速生丰产林具有重要意义,因树种生长规律不同,不仅需要采取不同培育措施,而且直接关系着培育材种、收获年限以及经济效益等^[3-4]。对杨树新品种生长特性的研究多集中在生长模型、生长周期的划分、胸径与树高的比较等方面,而有关不同杨树生长特性及其与环境因子的研究较少^[5-11]。银白杨×新疆杨杂种无性系是新疆林科院通过人工杂交培育出来的具有生长快、无性繁殖成活率高等优良性状的杨树新无性系,在北方造林中具有一定的造林应用前景^[12-15]。

以银白杨×新疆杨的8个杂种无性系为研究对象,通过多年的区域化栽培试验,比较研究不同无性系间生长差异,以期对不同无性系选优及在生产中推广应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

银白杨×新疆杨杂种无性系生长试验地分别位于新疆阿勒泰北屯林场、昌吉州玛纳斯林场和伊犁州察布查尔林场。三个试验地的自然条件见表1。

1.2 研究方法

1.2.1 材料 试验材料为银白杨×新疆杨杂种的8个无性系,无性系代号分别为108、184、192、196、389、512、527、536。

1.2.2 试验设计 采用随机区组设计,3~5个重复(区组),9株小区,参试材料8个,另有新疆杨、银白杨2个亲本做对照。造林株行距3 m×5 m,每个区组用地0.13 hm²,区组间不设保护行,试验区周围用两行银白杨作保护行。

1.2.3 生长量调查 在栽培试验区,1991年至2004年间,于每年树木生长停止时期(10月中旬),对每个试验点栽培的8个无性系进行每木检测(由于父本新疆杨在北屯全部被冻死,在玛纳斯破腹极其严重,故对父母本未进行每木检测),主要测量指标为树高(H)与胸径(DBH)。

利用SPSS15.0对生长指标进行分析。

表1 试验区自然条件

Table 1 The natural conditions of three experimentation sites

指标	试验地点		
	北屯林场	玛纳斯林场	察布查尔林场
海拔/m	510	448	608
经度/N	87°48′34.79″	86°13′20.67″	81°10′35.63″
纬度/E	47°22′07.4″	44°19′22.92″	43°49′38.34″
年平均温度/℃	4.9±1.0	7.3±0.6	9.2±0.7
最高气温/℃	37.2±1.9	39.0±1.1	37.0±1.2
最低气温/℃	-33.4±3.5	-32.1±2.5	-26.7±3.0
年降水量/mm	132.8±33.9	216.0±60.3	235.0±56.1
年蒸发量/mm	1 653.5±120.8	1 637.6±149.6	1 502.9±124.1
年均相对湿度/%	63.1±1.7	65.8±2.3	68.8±2.2
年均风速/(m·s ⁻¹)	2.1±0.1	1.8±0.3	1.3±0.2
土壤全 N/%	0.19±0.08	0.097±0.02	0.28±0.09
土壤全 P/%	0.085±0.005	0.062±0.006	0.082±0.001
土壤全 K/%	0.26±0.01	0.231±0.031	0.287±0.003
土壤有机质/%	1.66±0.45	1.15±0.15	2.28±0.49
土壤含盐量/%	0.056±0.014	0.029±0.001	0.147±0.007
土壤含水率/%	15.52±0.74	13.40±0.49	17.04±0.94
土壤 pH 值	7.97±0.13	8.66±0.03	8.32±0.06

2 结果与分析

2.1 银白杨×新疆杨 8 个杂种无性系的高生长差异

经过 14 a 的生长,北屯、玛纳斯和伊犁试验区供试无性系的高生长可认为是处于速生长期,其中,伊犁试验区无性系前 11 a 的高生长较快,后 3 a 高生长变慢。8 个无性系在 3 个试验区 14 a 的平均高生长速率间的差异显著(表 2)。除 512 无性系外,北屯试验区其他 7 个无性系的平均高生长速率分别与玛纳斯和伊犁试验区内各无性系高生长速率间存在显著的差异性($p<0.05$),且 184、192、196 和 527 等 4 个无性系在不同试验区的高生长差异显著。

表 2 3 个试验区无性系 14 a 平均树高增长率差异性

Table 2 The difference of mean height rate of 8 clones among the three sites %

无性系编号	北屯	玛纳斯	伊犁
108	0.524 4±0.012 8Aa	0.316 1±0.003 8Bb	0.333 3±0.000 7Fb
184	0.489 9±0.009 2ABa	0.229 6±0.003 8Dc	0.349 9±0.000 6Cb
192	0.449 7±0.009 7BCa	0.292 4±0.013 4Cc	0.370 5±0.000 8Ab
196	0.408 5±0.010 5CDa	0.282 7±0.006 1Cc	0.347 9±0.000 6Cb
389	0.406 6±0.018 5Ca	0.390 9±0.006 2Aa	0.368 9±0.000 9Bb
512	0.359 7±0.030 5Da	0.265 7±0.006 7Cb	0.347 3±0.001 4Da
527	0.522 5±0.010 7Aa	0.275 0±0.006 9Cc	0.365 9±0.000 8Bb
536	0.390 7±0.018 5Da	0.327 4±0.017 2Bb	0.343 7±0.001 1Eb

注:表中数据为平均数±标准误,大写字母(A、B、C、D、E、F)为相同试验区不同无性系间的差异性,小写字母(a、b、c)为相同无性系不同试验区间的差异性;不同字母间差异显著($p<0.05$)。

2.2 银白杨×新疆杨 8 个杂种无性系的径生长差异

相同的无性系在不同的试验区,其胸径生长的量和速率也有差异(表 3)。8 个无性系在 3 个栽培试验区都有一定的差异。不同无性系间的差异性分析表明,北屯试验区,除 389 无性系外,108、184、192、196、512、527 与 536 无性系的胸径平均增长速

表 3 3 个试验区无性系 14 a 胸径的平均增长率差异性

Table 3 The difference of mean DBH rate of *P. alba* × *P. bolleana* among the three sites %

无性系	北屯	玛纳斯	伊犁
108	0.647 1±0.015 8Aa	0.390 1±0.004 7Bb	0.395 1±0.003 7Fb
184	0.604 0±0.011 3 7Aa	0.283 1±0.004 7Dc	0.474 1±0.004 2Ab
192	0.529 7±0.011 3Ba	0.344 4±0.015 8Cc	0.407 9±0.002 3Eb
196	0.461 8±0.011 9Ca	0.319 6±0.006 9Cc	0.431 7±0.001 9Db
389	0.473 6±0.021 6Ca	0.455 3±0.007 3Aa	0.458 1±0.005 9Ba
512	0.459 2±0.038 8Ca	0.339 2±0.008 6Cb	0.433 3±0.004 2Da
527	0.644 5±0.013 2Aa	0.339 2±0.008 6Cc	0.445 5±0.003 9Cb
536	0.459 2±0.021 7Ca	0.384 9±0.020 3Bb	0.399 6±0.002 4Fb

注:大写字母(A、B、C、D、E、F)为相同试验区不同无性系间的差异性,小写字母(a、b、c)为相同无性系不同试验区间的差异性;不同字母间差异显著($p<0.05$)。

同一试验区不同无性系间也存在差异(表 3)。北屯试验区内,108、184 与 527 无性系间的胸径增长速率间差异不显著,且增长速率为该试验区最大的;192 无性系的胸径增长速率低于上述 3 个无性

108 和 536 号无性系在玛纳斯和伊犁试验区间差异不显著外,其他无性系间的差异均显著。

在同一个试验区内,不同无性系之间的高生长速率存在差异(表 2)。在北屯试验区,108、184 和 527 3 个无性系的生长速率无显著的差异,184 与 192 间无显著差异,192、196 与 389 间无显著差异,196、512 与 536 间也无显著的差异。在玛纳斯试验区,108、389 与 536 间差异不显著,108 与 192 间的差异也不显著,192、196、512 与 527 间差异均不显著,184 无性系在此试验区的平均高生长速率与其它的无性系间存在显著的差异。在伊犁试验区,除 184 与 196 间及 192 与 527 间无显著差异性外,其他无性系间的差异性均显著。

率均与玛纳斯试验区的无性系间存在显著的差异性;除 389 和 512 无性系外,其他无性系与伊犁试验区的无性系也呈显著的差异性。108、389 与 536 无性系的胸径平均增长速率在玛纳斯和伊犁试验区内表现的较一致,无显著差异;184、192、196、512 和 527 无性系的径平均增长率在这两个试验区间差异显著。

系,且分别与它们之间存在显著的差异性;196、389、512 与 536 无性系的胸径增长速率一致,为该区域最小,且分别与上述 4 个无性系间存在显著的差异性。在玛纳斯试验区内,389 无性系的胸径增长速

率最高,与其它 7 个无性系间的差异显著;108 和 536 无性系的增长速率次之,与 389 无性系间差异显著;192、196、512 与 527 无性系间的径增长速率一致,但与上述 3 个无性系间的差异显著;184 无性系的胸径平均每年约以 0.28 %速率在增加,属于该试验区的胸径增长速率最小的,且与上述 7 个无性系间均存在显著的差异性。在伊犁试验区内,除 108 与 536 无性系、196 与 512 无性系之间差异不显著外,其他无性系的胸径增长速率之间的差异性均达显著水平。

2.3 银白杨×新疆杨无性系材积差异

根据新疆平原杨树人工林二元立木材积公式分别计算银白杨×新疆杨 8 个杂种无性系在 3 个试验区的材积大小^[16]。计算公式:

$$V=5.000\ 666\times 10^{-5}\times D^{1.912\ 099}H^{0.936\ 367\ 6}\quad (1)$$

式中: V 为材积(m^3); D 为胸径(cm); H 为树高

(m)。

对比分析 3 个试验区 8 个无性系的材积增长量显示(图 1),8 个无性系材积增长量的顺序为北屯试验区>玛纳斯试验区>伊犁试验区,且北屯试验区的 108、184、192、527 等 4 个无性系与玛纳斯和伊犁试验区的相同无性系间的材积增长量间的差异性显著。其中,在所有试验无性系中,北屯试验区的 108 无性系的材积增长量最大,为 $0.774\ 4\ \text{m}^3$;527 无性系的次之,为 $0.725\ 5\ \text{m}^3$;184 无性系的第三,为 $0.677\ 7\ \text{m}^3$ 。材积增长量最小的为玛纳斯试验区的 184 无性系,仅有 $0.101\ 3\ \text{m}^3$ 。但同一试验区内的不同无性系之间的材积增加存在的差异性的不同,变异系数越大,各无性系间的差异也就越大。其中,北屯试验区内 8 个无性系的材积变异系数为 43.75%,玛纳斯试验区为 16.96%,伊犁试验区为 6.70%。

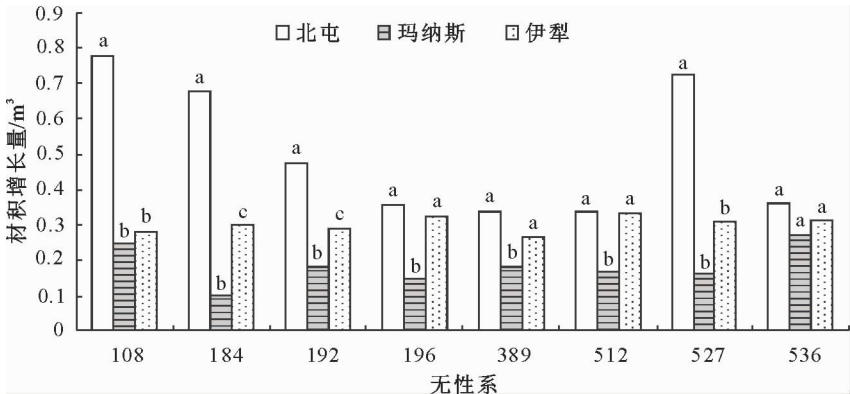


图 1 不同试验区间相同无性系的材积增长量比较

Fig. 1 Comparison on volume increment of the clones in the same experimentation site

2.4 银白杨×新疆杨杂种无性系生长与环境因子的关系

2.4.1 银白杨×新疆杨杂种无性系材积与气候因子的关系 根据收集的气候资料数据与树木生长的关系,选择 3 个试验区所在地的年平均温度(X_1)、年降水量(X_2)、年蒸发量(X_3)、年日照时数(X_4)、 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温(X_5)、年均相对湿度(X_6)、年平均风速(X_7)和 7 月平均温度(X_8)等 8 个气候因子,利用 SPSS 统计软件分析 8 个无性系的材积在不同试验区的生长与上述因子之间的关系(表 4)。材积的变化与气候因子的相关分析,结果表明,北屯和玛纳斯试验区内无性系的材积与 X_1 、 X_2 、 X_3 和 X_8 因子之间具有显著的相关性;伊犁试验区内各无性系的材积与 X_1 、 X_2 、 X_8 因子间具有显著的相关性。可见,不同试验区的温、湿条件是影响银白杨×新疆杨杂种无性系材积增长的主要因素。

2.4.2 银白杨×新疆杨杂种无性系生长与土壤养

分的关系 3 个试验区内土壤养分含量见表 5。玛纳斯试验区土壤的有机质含量和土壤全氮最高,分别为 $(6.84\pm 0.49)\%$ 和 $(0.85\pm 0.09)\%$;北屯试验区的土壤有机质和全氮含量次之,分别为 $(4.97\pm 0.45)\%$ 和 $(0.58\pm 0.08)\%$;伊犁试验区的最低,分别为 $(3.45\pm 0.15)\%$ 和 $(0.29\pm 0.02)\%$ 。土壤全磷、全钾含量在 3 个试验区间的差异不显著($p>0.05$)。玛纳斯试验区内的土壤速效氮、速效磷和速效钾含量均高于北屯和伊犁试验区,但与伊犁试验区间差异显著($p>0.05$)。

利用主成分分析法分析土壤因子和无性系之间的关系,确定影响无性系生长的主分量因子。其中北屯试验区的代表变量为土壤有机质、土壤全氮、土壤全磷、土壤速效氮、含盐量和含水率(表 6~表 8);玛纳斯试验区的代表变量为土壤有机质、土壤全氮、土壤全钾、土壤速效氮和土壤速效钾;伊犁试验区的代表变量为土壤有机质、土壤全氮和土壤速效氮。

表 4 3 个栽培试验区无性材积与气候条件的相关性

Table 4 Correlation index between volume of clones and weather conditions in three experimental sites

试验区	无性系	X ₁ 年均温度	X ₂ 年降水量	X ₃ 年蒸发量	X ₄ 年日照时数	X ₅ ≥10℃积温	X ₆ 年均相对湿度	X ₇ 月平均温度	X ₈ 7 月平均温度
北屯	108	0.675 *	0.547 *	0.539 *	−0.019	0.546 *	0.303	−0.092	0.523 *
	184	0.624 *	0.520 *	0.588 *	0.023	0.558 *	0.333	−0.083	0.533 *
	192	0.637 *	0.503 *	0.568 *	0.011	0.502	0.284	−0.077	0.501
	196	0.594 *	0.549 *	0.551 *	0.029	0.499	0.280	−0.064	0.536 *
	389	0.621 *	0.552 *	0.591 *	0.046	0.520	0.299	−0.063	0.501
	512	0.605 *	0.528 *	0.646 *	0.032	0.536 *	0.306	−0.058	0.506
	527	0.638 *	0.414	0.558 *	0.030	0.535 *	0.304	−0.076	0.541 *
	536	0.582 *	0.447	0.509 *	0.023	0.573 *	0.337	−0.083	0.536 *
玛纳斯	108	0.595 *	0.529 *	0.591 *	−0.005	0.530	0.199	−0.063	0.603 *
	184	0.610 *	0.538 *	0.448	0.031	0.551 *	0.186	−0.083	0.604 *
	192	0.602 *	0.597 *	0.473	0.053	0.508	0.135	−0.053	0.611 *
	196	0.610 *	0.529 *	0.542 *	0.035	0.547 *	0.178	−0.088	0.587 *
	389	0.621 *	0.463	0.559 *	0.010	0.572 *	0.244	−0.102	0.536 *
	512	0.513	0.483	0.515	0.031	0.552 *	0.204	−0.082	0.523
	527	0.513	0.535 *	0.515	0.031	0.552 *	0.194	−0.082	0.523
	536	0.591 *	0.503	0.569 *	−0.026	0.512	0.161	−0.073	0.520
伊犁	108	0.589 *	0.572 *	0.423	0.002	0.627 *	−0.259	−0.083	0.578 *
	184	0.623 *	0.596 *	0.437	0.000	0.634 *	−0.276	−0.100	0.602 *
	192	0.615 *	0.568 *	0.403	−0.018	0.623 *	−0.257	−0.095	0.590 *
	196	0.565 *	0.563 *	0.449	0.007	0.620 *	−0.245	−0.066	0.600 *
	389	0.619 *	0.602 *	0.452	−0.007	0.625 *	−0.256	−0.082	0.596 *
	512	0.644 *	0.601 *	0.428	−0.025	0.622 *	−0.258	−0.098	0.589 *
	527	0.619 *	0.587 *	0.440	−0.016	0.618 *	−0.267	−0.100	0.579 *
	536	0.582 *	0.570 *	0.432	−0.006	0.614 *	−0.263	−0.087	0.585 *

注：* :显著相关($p<0.05$)；* * :极显著相关($p<0.01$)。

表 5 无性系栽培 3 个试验区内土壤性质比较

Table 5 Soil characteristics in three experimental sites

土壤性质	北屯	玛纳斯	伊犁
有机质/%	4.97±0.45b	6.84±0.49a	3.45±0.15b
全氮 N/%	0.58±0.08b	0.85±0.09a	0.29±0.02c
全磷 P/%	0.26±0.01a	0.25±0.01a	0.19±0.01a
全钾 K/%	0.77±0.01a	0.86±0.01a	0.69±0.03a
速氮 N/(mg·kg ^{−1})	205.28±32.09a	256.45±14.29a	106.99±8.85b
速磷 P/(mg·kg ^{−1})	86.74±7.04a	92.73±4.38a	63.84±0.75b
速钾 K/(mg·kg ^{−1})	249.05±19.37b	519.13±4.88a	558.53±4.38a
电导率/(ms·cm ^{−1})	0.53±0.04b	1.39±0.02a	0.27±0.03b
含盐量/%	0.17±0.01b	0.44±0.01a	0.09±0.001b
含水率/%	45.56±0.74a	51.13±0.94a	40.12±0.49a

注:不同字母间差异显著($p<0.05$)。

北屯试验区的 11 个主分量之间相互正交,且它们的方差是递减的。第一主分量的方差是 9.07,为整个原始数据标准变异的 82.54%。根据相关矩阵的关系,主分量与其他分量之间的关系式表示为:

$$prin1=0.3121x_1+0.3226x_2+0.3312x_3-0.2996x_4+0.3318x_5-0.3227x_6+0.2910x_7+0.1213x_8+0.3079x_9+0.3082x_{10}+0.3087x_{11}$$

(2)

式中, $x_1,x_2,x_3,x_4,x_5,x_6,x_7,x_8,x_9,x_{10},x_{11}$ 分别代表变量有机质、全 N(%)、全 P(%)、全 K(%)、速效 N(mg·kg^{−1})、速效 P(mg·kg^{−1})、速效 K(mg·kg^{−1})、pH 值、电导率(%)、含盐量(%)、含水率(%) (以下同)。可以看出,第 1 主分量主要代表了

$$x^1,x^2,x^3,x^5,x^9,x^{10},x^{11}。$$

同理得出玛纳斯试验区的 11 个主分量之间也是相互正交,且方差也是递减的。第一主分量的方差是 8.29,为整个原始数据的标准变异的 75.4%。根据相关矩阵的关系,主分量与其他分量之间的关系式表示为:

$$prin1=0.3108x_1+0.3022x_2-0.3312x_3+0.3472x_4+0.3450x_5-0.0998x_6+0.3470x_7+0.2938x_8-0.3470x_9-0.3470x_{10}+0.0704x_{11}$$

(3)

可以看出,第 1 主分量主要代表了 $x_1,x_2,x_3,x_4,x_5,x_6,x_7$ 。

同理得出伊犁试验区的 11 个主分量之间也是

相互正交,且方差也是递减的。第一主分量的方差是 5.92,第二主分量的方差是 5.08,其中,第一主分量为整个原始数据标准变异的 53.79%,第二主分量为整个原始数据标准变异的 46.21%。根据相关矩阵的关系,两个主分量与其他分量之间的关系式表示分别为:

$$\begin{aligned} prin1 = & 0.3654x_1 + 0.3234x_2 + 0.0303x_3 - \\ & 0.4111x_4 + 0.4044x_5 + 0.2412x_6 + 0.2010x_7 - \\ & 0.2133x_8 - 0.3702x_9 - 0.3660x_{10} + 0.1146x_{11} \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} prin2 = & -0.2031x_1 - 0.2737x_2 + 0.4423x_3 - \\ & 0.0037x_4 - 0.0796x_5 + 0.3591x_6 + 0.3868x_7 + \\ & 0.3791x_8 - 0.1928x_9 - 0.2019x_{10} - 0.4259x_{11} \end{aligned} \quad (5)$$

第一主分量主要代表变量为 x_1, x_2, x_5 ;第二主分量主要代表性变量为 x_3, x_6, x_7, x_8 。

由 3 个试验区的肥力因子主成分分析可以看出,第一主分量基本包含了肥力差异的主要因子——有机质、全氮和速效氮的含量。

表 6 北屯试验区内土壤因子间的相关性
Table 6 Correlation index among the soil characteristics in Beitun experimental site

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}
x_1	1.000 0	0.994 0	0.918 7	-0.995 2	0.943 2	-0.993 7	0.661 9	0.027 9	0.746 0	0.748 0	0.999 6
x_2		1.000 0	0.956 5	-0.978 5	0.973 9	-1.000 0	0.740 1	0.137 3	0.814 6	0.816 3	0.990 4
x_3			1.000 0	-0.875 7	0.997 7	-0.957 1	0.904 1	0.420 4	0.948 4	0.949 3	0.906 9
x_4				1.000 0	-0.906 2	0.978 0	-0.585 3	0.070 1	-0.677 3	-0.679 5	-0.997 6
x_5					1.000 0	-0.974 4	0.873 3	0.358 4	0.924 9	0.926 0	0.933 2
x_6						1.000 0	-0.741 6	-0.139 6	-0.815 9	-0.817 6	-0.990 1
x_7							1.000 0	0.767 8	0.993 0	0.992 6	0.639 9
x_8								1.000 0	0.686 5	0.684 3	-0.001 0
x_9									1.000 0	1.000 0	0.726 5
x_{10}										1.000 0	0.728 5
x_{11}											1.000 0

表 7 北屯试验区内土壤因子特征向量矩阵
Table 7 Eigenvalues matrix of soil characteristics in Beitun

土壤因子	特征向量值	差异	变异	累积
x_1	9.079 7	7.159 5	0.825 4	0.825 4
x_2	1.920 3	1.920 3	0.174 6	1.000 0
x_3	0.000 0	0.000 0	0.000 0	1.000 0
x_4	0.000 0	0.000 0	0.000 0	1.000 0
x_5	0.000 0	0.000 0	0.000 0	1.000 0
x_6	0.000 0	0.000 0	0.000 0	1.000 0
x_7	0.000 0	0.000 0	0.000 0	1.000 0
x_8	0.000 0	0.000 0	0.000 0	1.000 0
x_9	0.000 0	0.000 0	0.000 0	1.000 0
x_{10}	0.000 0	0.000 0	0.000 0	1.000 0
x_{11}	0.000 0	0.000 0	0.000 0	1.000 0

表 8 北屯试验区内土壤因子特征向量相关矩阵
Table 8 Eigenvalues of the correlation matrix of soil characteristics in Beitun

	$Prin\ 1$	$Prin\ 2$	$Prin\ 3$	$Prin\ 4$	$Prin\ 5$	$Prin\ 6$	$Prin\ 7$	$Prin\ 8$	$Prin\ 9$	$Prin\ 10$	$Prin\ 11$
x_1	0.312 1	-0.245 1	-0.111 2	-0.113 1	0.183 6	-0.223 1	-0.111 8	-0.147 6	0.836 3	0.000 0	0.000 0
x_2	0.322 1	-0.169 2	-0.114 5	-0.120 7	0.174 8	0.899 4	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0
x_3	0.331 2	0.042 8	-0.116 2	0.935 3	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0
x_4	-0.299 6	0.310 3	0.107 2	0.105 2	-0.189 5	0.230 4	0.087 6	0.115 2	0.366 4	0.589 9	0.446 0
x_5	0.331 8	-0.005 7	0.943 3	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0
x_6	-0.322 7	0.167 6	0.114 5	0.120 8	0.916 4	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0
x_7	0.291 0	0.346 5	-0.100 3	-0.131 4	0.069 0	-0.083 0	-0.255 4	-0.339 8	-0.169 6	-0.253 5	0.694 5
x_8	0.121 3	0.671 6	-0.038 6	-0.078 5	-0.064 9	0.079 9	-0.244 9	-0.327 0	0.080 8	0.154 1	-0.564 4
x_9	0.307 9	0.269 0	-0.106 7	-0.134 6	0.090 3	-0.109 0	-0.244 5	0.850 5	0.000 0	0.000 0	0.000 0
x_{10}	0.308 2	0.267 1	-0.106 8	-0.134 7	0.090 8	-0.109 6	0.885 3	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0
x_{11}	0.308 7	-0.264 6	-0.110 2	-0.110 9	0.185 5	-0.225 5	-0.104 8	-0.138 1	-0.361 7	0.750 9	0.000 0

2.5 银白杨×新疆杨杂种无性系生长评价

3 个试验区之间无性系的材积变化有差异,造成的主要原因为气候和土壤,因此,以气候和土壤为造成三地之间材积差异的主要权重因子进行分析,然后将材积和权重因子相乘,最终得到排序结果。

由表 4 显示材积和气候因子中的年均气温、≥10℃ 积温、年降水量之间均存在显著的相关关系。土壤因子的主成分分析结果显示第一主分量基本包

含了土壤肥力差异的主要因子—有机质、全氮和速效氮的含量。在此,选取年均气温作为其气候因子权重的代表,土壤有机质和全氮含量为土壤因子权重的代表,将材积与上述所选主要权重因子相乘,再做差求得材积差值后排序,选出 8 个无性系中排名在前的为优良无性系(表 9)。结果显示,银白杨×新疆杨杂种的 8 个无性系中,以 108 和 527 无性系的生长为最佳。

表 9 8 个无性系材积增长量的综合排序

无性系号	试验区			Σ	综合排序
	北屯	玛纳斯	伊犁		
108	11.385 540	1.333 898	14.061 29	26.780 72	1
184	9.963 617	0.560 747	14.731 92	25.256 29	3
192	7.034 566	0.888 033	14.588 71	22.511 31	5
196	5.238 304	0.772 082	16.368 89	22.379 28	6
389	4.953 067	2.064 880	13.525 53	20.543 48	8
512	4.973 319	0.775 524	15.826 58	21.575 42	7
527	10.666 010	0.789 670	14.950 83	26.406 51	2
536	5.297 015	1.450 051	15.868 90	22.615 97	4

3 结论与讨论

银白杨×新疆杨 8 个杂种无性系的高生长、径生长在北屯、玛纳斯和伊犁试 3 个试验区均存在差异,差异表现各不相同,8 个无性系材积增长量的顺序为北屯试验区>玛纳斯试验区>伊犁试验区,在所有试验无性系中,北屯试验区的 108 无性系的材积增长量最大,为 0.774 4 m³,材积增长量最小的为玛纳斯试验区的 184 无性系,仅有 0.101 3 m³。不同的试验区的温、湿条件是影响银白杨×新疆杨杂种无性系材积增长的主要气候因素。

影响无性系生长的土壤主分量因子在北屯试验区为土壤有机质、土壤全氮、土壤全磷、土壤速效氮、含盐量和含水率;在玛纳斯试验区为土壤有机质、土壤全氮、土壤全钾、土壤速效氮和土壤速效钾;在伊犁试验区为土壤有机质、土壤全氮和土壤速效氮。

综合材积与气候、土壤因子,8 个无性系中,以 108 和 527 无性系的生长为最佳。

参考文献:

[1] 方升佐. 中国杨树人工林培育技术研究进展[J]. 应用生态学报,2008. 19(10): 2308-2316.

FANG S Z. Silviculture of poplar plantation in China;a review [J]. Chinese Journal of Applied Ecology,2008,19(10): 2308-2316. (in Chinese).

[2] 魏蕾,曹帮华,李建华,等. 3 个杨树无性系生长特性的比较研究[J]. 山东农业大学学报:自然科学版, 2008. 39(2): 229-232.

WEI L, CAO B H, LI J H, *et al.* A comparative study on

growth characteristic of three poplar clones [J]. Journal of Shandong Agricultural University: Natural Science Edition, 2008. 39(2):229-232. (in Chinese).

[3] 黄逢龙,焦一杰,梁军,等. 杨树无性系树冠性状间的相关性与遗传差异[J]. 西北林学院学报,2010,25(1): 61-65.

HUANG F L, JIAO Y J, LIANG J, *et al.* Correlation and genetic difference of crown traits of poplar clones [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2010, 25(1): 61-65. (in Chinese).

[4] 周永学,樊军锋,蔺林田,等. 杨树杂种无性系苗木生长性状比较研究[J]. 西北林学院学报,2004,19(4): 47-49.

ZHOU Y X, FAN J F, LIN L T, *et al.* Comparing study of growth traits seedlings of *Populus* crossbreed clone [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2004, 19(4): 47-49. (in Chinese)

[5] 范少辉,冯慧想,张群,等. 华北沙地小黑杨人工林生长特性 [J]. 林业科学,2008,44(3): 29-33.

FAN S H, FENG H X, ZHANG Q, *et al.* Growth characteristic of *Populus*× xiao hei platation in sand land of north China [J]. Scientia Silvae Sinicae. 2008,44(3): 29-33. (in Chinese).

[6] 邹桂霞,李华东. 三北地区河滩地杨树人工林生长特性研究 [J]. 防护林科技,2002(2): 12-13.

ZOU G X, LI H D. Study on growth characteristics of poplar plantation on bottom land in “Three North” Area [J]. Protection Forest Science and Technology, 2002(2): 12-13. (in Chinese).

[7] 刘平,王宁,孙清江,等. 新疆伊犁地区速生杨树生长模型及数量成熟研究[J]. 新疆农业大学学报,2003,26(4): 45-48.

LIU P, WANG N, SUN Q J, *et al.* Study on growth model and amount maturity of high-yielding poplar in Xinjiang Ili [J]. Journal of Xinjiang Agricultural University. 2003, 26(4): 45-48. (in Chinese).

[8] 吴丽云, 阚荣飞, 令狐荣钢, 等. 20 个杨树无性系胸径和树高生长比较研究[J]. 江苏林业科技, 2013, 40(3): 8-9.
WU L Y, KAN R F, LINHU R G, *et al.* Comparative study of DBH and height growth in 20 poplar clones[J]. Journal of Jiangsu Forestry Science & Technology, 2013, 40(3): 8-9. (in Chinese).

[9] 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.
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]. Journal of Beijing Forestry University, 2013, 35(6): 7-14. (in Chinese).

[10] 祁春芳, 刘育生. 中金、中尚杨树无性系的选育[J]. 西北林学院学报, 2007, 22(1): 51-55.
QI C F, LIU Y S. Selective breeding of Zhongjin and Zhongshang-Poplar clones[J]. Journal of Northwest Forestry University. 2007, 22(1): 51-55. (in Chinese).

[11] 魏蕾, 曹帮华, 魏洁, 等. 两个杨树无性系生长进程动态分析[J]. 西南林学院学报, 2009. 29(2): 20-22.
WEI L, CAO B H, WEI J, *et al.* Dynamic analysis on the growth of two poplar clones[J]. Journal of Southwest Forestry University, 2009. 29(2): 20-22. (in Chinese).

[12] 李丕军, 王宝庆, 李宏, 等. 中林、中林 23 两个杨树无性系的生长特性[J]. 新疆农业科学. 2012, 49(7): 1207-1211.
LI P J, WANG B Q, LI H, *et al.* Growth characteristic of two clones of poplar Zhonglin and Zhonglin 23[J]. Xinjiang Agricultural Sciences. 2012, 49(7): 1207-1211. (in Chinese)

[13] 李丕军, 林思祖, 李宏, 等. 银×新无性系二次选优及无性系的推广[J]. 东北林业大学学报, 2009, 37(2): 94-95.
LI P J, LIN S Z, LI H, *et al.* Quadratic selection and popularization of superior clone of *Populus alba* × *Populus bolleana* [J]. Journal of Northeast Forestry University, 2009, 37(2): 94-95. (in Chinese)

[14] 彭秋梅, 朱玉伟, 李丕军, 等. 银×新杨无性系木材材性研究[J]. 新疆农业科学, 2005, 42(4): 280-283.
PENG Q M, ZHU Y W, LI P J, *et al.* An analysis and research on non-sexual characteristics of the timber of the series of the Silver × Xin poplar[J]. Xinjiang Agricultural Science, 2005, 42(4): 280-283. (in Chinese)

[15] 孙清江, 刘平, 郑江华. 杨树引种试验研究[J]. 新疆农业大学学报, 2000. 23(4): 37-40.
SUN Q J, LIU P, ZHENG J H. The study on poplar introduced variety experiment[J]. Journal of Xinjiang Agricultural University, 2000. 23(4): 37-40. (in Chinese)

[16] DB65/T 2283-2005. 新疆平原林杨树人工林二元立木材积表[S]. 2005.

本刊更正启事

《西北林学院学报》2014 年 29 卷第 2 期 226 页《基于景观镶嵌模型的景观格局变化及森林破碎化分析——以南京市紫金山风景区为例》，作者:李金臣,刘云峰,李明诗的基金项目标注有误,应为:国家林业公益性行业科研专项(201304208)“人工林结构参数、干扰变化对气候变化的响应”;国家自然科学基金(31270587):“基于模型—遥感整合的人工林应对干扰分析及气候变化的响应规律研究”。

特此更正,并向作者致歉!

编辑部
2014-09-03