

## 土壤因子对杂交鹅掌楸幼林生长的影响

张远<sup>1</sup>, 李火根<sup>1</sup>, 蒋祥英<sup>2</sup>, 戴其生<sup>3</sup>, 张焕朝<sup>1</sup>, 宋宏林<sup>3</sup>, 张井义<sup>1</sup>

(1. 南京林业大学 林学院, 江苏 南京 210037; 2. 江西省景德镇市枫树山林场, 江西 景德镇 333000;  
3. 安徽省泾县林业局, 安徽 泾县 242500)

**摘要:** 以3个试验点杂交鹅掌楸 *Liriodendron chinense* × *tulipifera* 试验林为材料, 研究了土壤容重、pH值以及全氮、碱解氮、全磷、有效磷、全钾、速效钾及有机质质量分数等9个土壤因子对杂交鹅掌楸幼林生长量(1~8年生)的影响。结果表明: 土壤因子在不同地点、坡位与土层间均存在显著差异( $P < 0.05$ ); 杂交鹅掌楸幼龄期生长量在不同地点间以及地点内区组间存在显著差异( $P < 0.05$ )。相关分析表明: 除1~2 a地径与速效钾质量分数相关不显著外, 其余各年份的杂交鹅掌楸树高与胸径均与土壤碱解氮质量分数和速效钾质量分数呈显著正相关( $P < 0.05$ ), 说明碱解氮和速效钾是影响杂交鹅掌楸生长的2个关键土壤因子, 提高土壤碱解氮及速效钾质量分数可促进杂交鹅掌楸幼林期生长。这对于杂交鹅掌楸造林立地选择及幼林期土壤养分管理有指导意义。表6参20

**关键词:** 森林培育学; 杂交鹅掌楸; 生长量; 土壤因子; 碱解氮; 速效钾

**中图分类号:** S725      **文献标志码:** A      **文章编号:** 2095-0756(2016)01-0094-08

## Soil factors influencing juvenile growth of *Liriodendron chinense* × *tulipifera*

ZHANG Yuan<sup>1</sup>, LI Huogen<sup>1</sup>, JIANG Xiangying<sup>2</sup>, DAI Qisheng<sup>3</sup>, ZHANG Huanchao<sup>1</sup>,  
SONG Honglin<sup>3</sup>, ZHANG Jingyi<sup>1</sup>

(1. College of Forestry, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, Jiangsu, China; 2. The Forestry Centre of Fengshu Mountain of Jingdezhen City, Jingdezhen 333000, Jiangxi, China; 3. Forest Enterprise of Jing County, Jingxian 242500, Anhui, China)

**Abstract:** To determine the impacts of soil factors on juvenile growth in years 1 through 8 for *Liriodendron chinense* × *tulipifera*, thirty 8 m × 8 m plots from 3 plantations having dozens of interspecies crosses were sampled for 9 soil characteristics including soil bulk density, pH, total and hydrolyzed N, total and available P, total and available K, and organic matter. Growth (height and DBH) of trees within a plot were also measured followed an random complete block (RCB) design with 3-4 replications. A correlation analysis and a (duncan's multiple range test) were conducted. Results revealed differences of soil factors existing among the sites, slope positions, and soil layers in a site. Juvenile growth differed significantly among the sites ( $P < 0.05$ ) and blocks in a site ( $P < 0.05$ ). No significant correlation existed between ground diameter and available K ( $r = 0.287-0.323$ ,  $P = 0.081-0.124$ ) during the first and second year; but height and DBH were significantly ( $P < 0.05$ ) and positively correlated ( $r = 0.369-0.711$ ) with soil hydrolyzed N and available K for years 3 through 8 showing that hydrolyzed N and available K were the two critical soil indexes for growth. Thus, enhancing hydrolyzed N and available K could promote juvenile growth of *Liriodendron chinense* × *tulipifera* and could pro-

收稿日期: 2015-02-13; 修回日期: 2015-04-12

基金项目: “十二五”国家科学技术支撑项目(2012BAD01B05); 国家自然科学基金资助项目(31470660); 江苏省高校优势学科资助项目

作者简介: 张远, 从事林木遗传育种研究。E-mail: 695872491@qq.com。通信作者: 李火根, 教授, 从事林木遗传育种研究。E-mail: hgli@njfu.edu.cn

vide guidance for tree selection and soil nutrition management in the juvenile stage of large scale afforestation projects. [Ch, 6 tab. 20 ref.]

**Key words:** silviculture; *Liriodendron chinense* × *tulipifera*; growth; soil factors; hydrolyzed N; available K

自然界中影响林木生长的因子是复杂的,而立地条件是影响林木生长的主导因子。土壤因子既是立地条件的基础,又是林木赖以生存的载体,林木生长发育所必须的水、肥、气、热等肥力因素主要来自土壤,它同时还表达了气候、地形、生物和时间对林木生长的综合作用,所以,土壤因子是影响林木生长的重要因子<sup>[1-5]</sup>。杂交鹅掌楸 *Liriodendron chinense* × *tulipifera* 是由木兰科 Magnoliaceae 鹅掌楸属 *Liriodendron* 现存 2 个种鹅掌楸 *L. chinense* 和北美鹅掌楸 *L. tulipifera* 杂交而得。南京林业大学先后培育出一批杂交鹅掌楸优良家系与无性系,经过 40 余年的试验研究,证实了杂交鹅掌楸具有非常强的杂种优势<sup>[6]</sup>。杂交鹅掌楸生长快,适应性强,无病虫害,树形美观,枝叶浓密,花色鲜艳,无性繁殖容易,材质佳,是优良的庭院绿化树种,也是重要的用材树种<sup>[7]</sup>。目前,杂交鹅掌楸在中国南方山区人工造林中所占比重逐年提高,但迄今尚缺乏与之配套的栽培技术体系。如立地选择不当,则会严重影响杂交鹅掌楸的生长表现,造成巨大的经济损失<sup>[8]</sup>。因此,开展杂交鹅掌楸工业人工林高效培育技术体系研究迫在眉睫。其中,造林立地选择及幼龄期抚育管理对于杂交鹅掌楸速生丰产林的培育尤为关键。基于此,本研究以来自同一批杂交组合子代的 3 片杂交鹅掌楸试验林为材料,研究分析了土壤因子对杂交鹅掌楸幼林生长的影响,期望为杂交鹅掌楸造林立地选择及幼林期土壤养分管理提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 杂交鹅掌楸试验林概况

实验材料包括以下 3 个地点的杂交鹅掌楸试验林:安徽泾县试验点、江苏镇江试验点和江西景德镇试验点。造林苗木来自同一批鹅掌楸杂交子代,2004 年 4-5 月进行交配设计与人工控制授粉,同年 10 月采种,2005 年 1 月播种于南京林业大学校园苗圃。

安徽泾县试验点:设在泾县马头林场,30°43'~30°52'N,118°29'~118°33'E。泾县地处皖南山区,位于安徽省宣城市西南部,温和湿润,雨水充沛。年平均气温为 15.5℃,最高气温 41.0℃,最低气温 -14.0℃。年平均降水量为 1 600 mm,多集中在 5-7 月。年日照时数为 1 827.2 h,日照充足。无霜期长,年平均为 240.0 d。土壤系山地红壤。该试验林于 2007 年 3 月定植,2 年生苗造林,参试杂交鹅掌楸家系 23 个,以自由授粉半同胞家系为对照,10 株小区,3 次重复,株行距为 4 m × 4 m,试验林总面积 3.33 hm<sup>2</sup>。

江苏镇江试验点:设在南京林业大学下蜀林场,32°07'~32°09'N,119°12'~119°14'E。年平均气温为 15.2℃,年平均降水量 1 055.6 mm,平均无霜期 233 d,年平均空气相对湿度 79%。土壤以黄棕壤和山地黄棕壤为主,土壤表层腐殖质质量分数为 2.5%,腐殖质层厚度约为 10~20 cm,土壤呈酸性至强酸性,土壤厚度 50~100 cm。该试验林于 2006 年 3 月定植,1 年生苗造林。参试杂交鹅掌楸家系 16 个,以自由授粉半同胞家系为对照,10 株小区,3 次重复,株行距 4 m × 4 m,试验林总面积 2.80 hm<sup>2</sup>。

江西景德镇试验点:设在江西省景德镇枫树山林场,29°15'~29°18'N,117°10'~117°13'E。气候温度湿润,阳光充足,雨水充沛,无霜期长,年平均气温为 17.0℃左右,年降水量为 1 500~1 800 mm,多集中在夏季。无霜期 248.0 d 左右。土壤系红壤,土层厚度在 100 cm 左右,土壤肥沃。该试验林于 2006 年 3 月定植,1 年生苗造林。参试杂交鹅掌楸家系 22 个,以自由授粉半同胞家系为对照,10 株小区,4 次重复,株行距为 4 m × 4 m。试验林总面积 4.33 hm<sup>2</sup>。

### 1.2 研究方法

1.2.1 土壤样品采集与处理 在上述 3 个试验点内,选择不同区组,不同坡位的林分,共设置 8 m × 8 m 的样地 30 个(设区组 3~4 个·试验点<sup>-1</sup>,各个区组设上、中、下 3 个坡位)。挖掘具有代表性的土壤剖面 1 个·样地<sup>-1</sup>,在 0~20 和 20~40 cm 土层分别用 100 cm<sup>3</sup> 标准环刀分别采集各层土壤,重复 3 次,用于测定土壤容重<sup>[9-11]</sup>。然后按 0~20 cm(上层)、20~40 cm(下层)分层采集分析土样(1 kg·样品<sup>-1</sup>),重复 3 次。土样带回实验室,经风干、磨碎、过筛处理,供各项土壤化学性质分析用。

1.2.2 土壤 pH 值及养分含量测定 土壤 pH 值采用电位法测定；土壤全氮采用半微量凯氏法；土壤碱解氮采用碱解-扩散法；土壤全磷采用氢氧化钠碱熔-钼锑抗比色法；土壤有效磷采用 0.05 mol·L<sup>-1</sup> 盐酸-0.025 mol·L<sup>-1</sup> 硫酸浸提法；土壤全钾采用氢氧化钠碱熔-火焰光度法；土壤速效钾采用 1.0 mol·L<sup>-1</sup> 乙酸铵浸提-火焰光度法；土壤有机质采用重铬酸钾氧化-外加加热法。具体测定方法参见文献[12]。

1.2.3 生长量调查 试验林营建后，每年生长季结束后开展生长量调查，进行每木检尺。1~2 年生时，调查地径与苗高；3~8 年生时，调查胸径和树高。

1.2.4 统计分析方法 ①立地因子多地点方差分析模型。设有  $i$  个区组， $j$  个坡位， $n$  个土层，在  $m$  个地点试验。试验设计采用完全随机区组排列，重复  $k$  次。对数据分析时，统计模型为： $Y_{mijnk}=u+L_m+B_{mi}+P_{mij}+S_{mijn}+e_{mijnk}$ 。其中： $Y_{mijnk}$  为第  $m$  个地点第  $i$  个区组第  $j$  个坡位第  $n$  个土层立地因子的实际测定值， $u$  表示总体平均值； $L_m$  为地点效应； $B_{mi}$  为地点内区组嵌套效应； $P_{mij}$  为地点、区组与坡位间的嵌套效应； $S_{mijn}$  为地点、区组、坡位与土层间的嵌套效应； $e_{mijnk}$  为随机误差。②生长量方差分析模型。单点：设有  $i$  个区组， $j$  个坡位，每小区  $k$  株，以单株观测值为统计单元，每个观测值的线性模型为： $Y_{ijk}=u+B_i+P_{ij}+e_{ijk}$ 。其中： $Y_{ijk}$  为第  $i$  个区组第  $j$  个坡位的实际生长量， $u$  表示总体平均值； $B_i$  为区组效应； $P_{ij}$  为区组与坡位间的嵌套效应； $e_{ijk}$  为随机误差。多点：设有  $i$  个区组， $j$  个坡位，在  $m$  个地点试验。试验设计采用完全随机区组排列，重复  $k$  次。对数据分析时，统计模型为： $X_{mijk}=u+L_m+B_{mi}+P_{mij}+e_{mijk}$ 。其中： $X_{mijk}$  为第  $m$  个地点第  $i$  个区组第  $j$  个坡位的实际生长量， $u$  表示总体平均值； $L_m$  为地点效应； $B_{mi}$  为地点与区组间的嵌套效应； $P_{mij}$  为地点、区组与坡位间的嵌套效应； $e_{mijk}$  为随机误差。③相关分析。以样方内所有杂交鹅掌楸的生长量平均值代表该样地杂交鹅掌楸生长量，与样地土壤立地因子进行相关分析。相关系数：

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

其中： $\bar{x}$ ， $\bar{y}$  表示各性状平均值； $x_i$ ， $y_i$  为各性状测定值。

采用 Microsoft Excel 2007 和 SAS 8.0 软件进行统计分析<sup>[13-14]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 杂交鹅掌楸试验林土壤因子多地点方差分析

对杂交鹅掌楸林下土壤因子进行多地点方差分析(表 1)，结果表明：土壤容重、pH 值、碱解氮、全磷、有效磷、全钾、速效钾和有机质在地点间差异均达到极显著水平( $P < 0.01$ )，容重和有机质在地点内区组间差异达到极显著水平( $P < 0.01$ )，pH 值、碱解氮和速效钾在地点内区组间差异均达到显著水平( $P < 0.05$ )，全氮和碱解氮在坡位间差异均达到显著水平( $P < 0.05$ )，容重、pH 值、有效磷和速效钾在

表 1 土壤因子 3 个地点联合方差分析

Table 1 ANOVA of soil conditions combined three sites

变异来源	容重		pH 值		全氮		碱解氮		全磷	
	F 值	P 值	F 值	P 值	F 值	P 值	F 值	P 值	F 值	P 值
地点	30.82	<0.000 1	545.93	<0.000 1	1.63	0.199 1	13.09	<0.000 1	127.64	<0.000 1
区组(地点)	10.23	<0.000 1	2.15	0.042 1	1.33	0.237 7	1.62	0.048 2	1.11	0.358 0
坡位(地点区组)	4.88	<0.000 1	7.17	<0.000 1	1.65	0.049 2	1.53	0.031 9	1.08	0.378 8
土层(地点区组坡位)	12.18	<0.000 1	12.53	<0.000 1	13.72	<0.000 1	14.08	<0.000 1	13.16	<0.000 1
变异来源	有效磷		全钾		速效钾		有机质			
	F 值	P 值	F 值	P 值	F 值	P 值	F 值	P 值		
地点	44.10	<0.000 1	1 037.36	<0.000 1	267.69	<0.000 1	6.47	0.002 0		
区组(地点)	0.43	0.880 8	1.21	0.301 9	2.45	0.020 9	2.87	0.007 7		
坡位(地点区组)	2.80	0.000 2	0.84	0.666 2	2.35	0.001 9	1.38	0.138 9		
土层(地点区组坡位)	10.41	<0.000 1	13.06	<0.000 1	13.72	<0.000 1	13.97	<0.000 1		

坡位间差异均达到极显著水平( $P<0.01$ ), 容重、pH 值、全氮、碱解氮、全磷、有效磷、全钾、速效钾和有机质在土层间差异均达到极显著水平( $P<0.01$ )。说明土壤因子不仅在地点间存在差异, 在同一地点内不同坡位, 以及不同土层也存在空间变异。

## 2.2 杂交鹅掌楸幼林期生长性状单地点方差分析

对泾县试验点杂交鹅掌楸幼林期生长性状进行方差分析(表 2)。结果表明: 除 7 年生和 8 年生时树高和胸径在区组间差异不显著, 1 年生地径和 7 年生胸径在坡位(区组)间差异不显著外, 其他情形生长量在区组间、坡位间均达到显著( $P<0.05$ )或极显著水平( $P<0.01$ )。

表 2 杂交鹅掌楸幼林期生长性状方差分析(泾县点)

Table 2 ANOVA of juvenile growth of *Liriodendron chinense* × *tulipifera* (data from Jingxian site)

林龄/a	变异来源	F 值		P 值	
		树高	胸径	树高	胸径
1	区组	17.69	3.26	<0.000 1	0.041 4
	坡位(区组)	2.48	1.61	0.026 2	0.148 6
2	区组	18.64	12.60	<0.000 1	<0.000 1
	坡位(区组)	6.00	4.10	<0.000 1	0.000 8
3	区组	15.06	11.84	<0.000 1	<0.000 1
	坡位(区组)	3.38	4.29	0.004 0	0.000 6
4	区组	9.22	11.10	0.000 2	<0.000 1
	坡位(区组)	6.47	4.58	<0.000 1	0.000 3
5	区组	15.73	6.70	<0.000 1	0.001 7
	坡位(区组)	7.22	3.01	<0.000 1	0.008 7
6	区组	8.87	4.55	0.000 2	0.012 4
	坡位(区组)	4.41	2.50	0.000 4	0.025 2
7	区组	0.28	2.44	0.758 7	0.091 1
	坡位(区组)	4.71	2.08	0.000 2	0.060 0
8	区组	0.11	2.27	0.893 7	0.107 8
	坡位(区组)	7.23	1.92	<0.000 1	0.042 5

表 3 杂交鹅掌楸幼林期生长性状方差分析(下蜀点)

Table 3 ANOVA of juvenile growth of *Liriodendron chinense* × *tulipifera* (data from Xiashu site)

林龄/a	变异来源	F 值		P 值	
		树高	胸径	树高	胸径
1	区组	7.14	10.72	0.001 2	<0.000 1
	坡位(区组)	5.87	6.97	<0.000 1	<0.000 1
2	区组	9.31	9.29	0.000 2	0.000 2
	坡位(区组)	13.90	13.90	<0.000 1	<0.000 1
3	区组	7.86	2.49	0.000 6	0.087 7
	坡位(区组)	12.74	15.04	<0.000 1	<0.000 1
4	区组	1.20	1.41	0.304 1	0.247 7
	坡位(区组)	9.57	15.18	<0.000 1	<0.000 1
5	区组	13.42	6.55	<0.000 1	0.002 0
	坡位(区组)	6.49	7.49	<0.000 1	<0.000 1
6	区组	1.20	2.00	0.305 4	0.140 5
	坡位(区组)	5.78	4.57	<0.000 1	0.000 3
7	区组	7.47	3.06	0.000 9	0.050 9
	坡位(区组)	7.26	3.88	<0.000 1	0.001 4
8	区组	30.23	1.39	<0.000 1	0.252 4
	坡位(区组)	11.87	3.43	<0.000 1	0.003 8

对下蜀试验点杂交鹅掌楸幼林期生长性状进行方差分析(表3)。结果表明:该试验点鹅掌楸杂交子代树高、胸径在坡位(区组)间差异均达到极显著水平( $P<0.01$ ),在区组间除3,4,6,7,8年生时部分生长性状差异不显著外,其他情形的生长量在区组间、坡位间均达到极显著水平( $P<0.01$ )。

对景德镇试验点杂交鹅掌楸幼林期生长性状进行方差分析(表4)。结果表明:该试验点鹅掌楸杂交子代树高、胸径在区组间和坡位(区组)间差异均达到显著或极显著水平( $P<0.01$ )。

表4 杂交鹅掌楸幼林期生长性状方差分析(景德镇点)

Table 4 ANOVA of juvenile growth of *Liriodendron chinense* × *tulipifera* (data from Jingdezhen site)

林龄/a	变异来源	F 值		P 值	
		树高	胸径	树高	胸径
1	区组	9.19	3.15	<0.000 1	0.026 4
	坡位(区组)	3.57	6.39	0.000 7	<0.000 1
2	区组	4.04	3.87	0.008 4	0.010 4
	坡位(区组)	5.17	4.57	<0.000 1	<0.000 1
3	区组	4.99	8.20	0.002 7	<0.000 1
	坡位(区组)	4.75	2.97	<0.000 1	0.004 5
4	区组	4.12	7.23	0.008 1	0.000 2
	坡位(区组)	5.42	2.95	<0.000 1	0.004 9
5	区组	14.10	7.37	<0.000 1	<0.000 1
	坡位(区组)	8.20	4.04	<0.000 1	0.000 3
6	区组	10.10	8.39	<0.000 1	<0.000 1
	坡位(区组)	7.50	3.80	<0.000 1	0.000 5
7	区组	9.30	6.55	<0.000 1	0.000 4
	坡位(区组)	9.85	5.22	<0.000 1	<0.000 1
8	区组	10.69	4.56	<0.000 1	0.013 1
	坡位(区组)	9.62	2.86	<0.000 1	0.013 6

综合3个地点结果可以看出:区组(地块)、坡位等立地因子显著影响杂交鹅掌楸生长。

### 2.3 杂交鹅掌楸幼林期生长性状多地点联合方差分析

对泾县、下蜀和景德镇3个试验点的杂交鹅掌楸生长性状进行多地点方差分析(表5)。结果表明:3个试验点杂交鹅掌楸子代树高、胸径在地点、区组(地点)和坡位(地点区组)间差异均达到极显著水平( $P<0.01$ )。

从表2~5可以看出:除泾县试验点7年生和8年生时树高和胸径在区组间差异不显著,1年生地径和7年生胸径在坡位(区组)间差异不显著,下蜀试验点在3,4,6,7,和8年生时部分生长性状在区组间差异不显著外,其他情形下,均存在显著( $P<0.05$ )或极显著差异( $P<0.01$ )。

### 2.4 土壤因子与杂交鹅掌楸幼林期生长量之间的关系

对杂交鹅掌楸幼林期的生长性状(树高和胸径),与10个土壤因子(即坡位、容重、pH值、全氮、碱解氮、全磷、有效磷、全钾、速效钾和有机质)进行相关分析,结果见表6。因土壤理化性质是分层取样测定,考虑到杂交鹅掌楸为浅根系树种,其侧根主要分布在0~20 cm土层,因此本研究中的土壤理化性质指标采用0~20 cm土层的测定值,而杂交鹅掌楸幼林期的生长性状指标采用每块样地中的林木调查数据。

从表6中可以看出:杂交鹅掌楸幼龄期不同林龄(1~8年生)与主要土壤因子间的相关分析结果趋于一致。其中,坡位、容重、pH值、全氮、有效磷及有机质等6个立地因子与杂交鹅掌楸幼龄期生长量相关不显著;全磷、全钾与杂交鹅掌楸幼龄期生长量呈显著负相关( $P<0.05$ );而碱解氮、速效钾2个立地因子,除速效钾与1~2年生地径相关未达显著性水平外,其他年份均与杂交鹅掌楸幼龄期生长量呈显著正相关( $P<0.05$ )。因此,可以认为:土壤碱解氮、速效钾质量分数是促进杂交鹅掌楸幼龄期生长的2个关键土壤因子。

碱解氮主要来自于土壤全氮,而全氮又与土壤有机质有关。本试验中,杂交鹅掌楸幼林生长量全

表 5 杂交鹅掌楸幼林期生长性状多地点联合方差分析

Table 5 ANOVA of juvenile growth of *Liriodendron chinense* × *tulipifera* combined three testing sites

林龄/a	变异来源	F 值		P 值	
		树高	胸径	树高	胸径
1	地点	166.35	117.84	<0.000 1	<0.000 1
	区组(地点)	11.74	4.78	<0.000 1	<0.000 1
	坡位(地点区组)	3.69	4.26	<0.000 1	<0.000 1
2	地点	168.33	306.69	<0.000 1	<0.000 1
	区组(地点)	9.85	8.07	<0.000 1	<0.000 1
	坡位(地点区组)	7.14	5.40	<0.000 1	<0.000 1
3	地点	136.97	115.68	<0.000 1	<0.000 1
	区组(地点)	13.31	7.86	<0.000 1	<0.000 1
	坡位(地点区组)	7.68	6.41	<0.000 1	<0.000 1
4	地点	206.30	248.37	<0.000 1	<0.000 1
	区组(地点)	4.97	6.97	<0.000 1	<0.000 1
	坡位(地点区组)	6.82	6.58	<0.000 1	<0.000 1
5	地点	215.43	205.94	<0.000 1	<0.000 1
	区组(地点)	14.97	6.93	<0.000 1	<0.000 1
	坡位(地点区组)	7.78	4.66	<0.000 1	<0.000 1
6	地点	470.61	257.86	<0.000 1	<0.000 1
	区组(地点)	7.98	5.35	<0.000 1	<0.000 1
	坡位(地点区组)	6.07	3.62	<0.000 1	<0.000 1
7	地点	393.34	236.59	<0.000 1	<0.000 1
	区组(地点)	6.81	4.39	<0.000 1	0.000 1
	坡位(地点区组)	7.90	3.85	<0.000 1	<0.000 1
8	地点	359.15	184.67	<0.000 1	<0.000 1
	区组(地点)	10.25	2.84	<0.000 1	0.010 0
	坡位(地点区组)	9.14	2.70	<0.000 1	0.000 3

表 6 杂交鹅掌楸幼林期生长量与各土壤因子间的相关系数

Table 6 Correlation coefficients between soil conditions and juvenile growth of *Liriodendron chinense* × *tulipifera*

树龄/a	生长量	坡位	容重	pH 值	全氮	碱解氮	全磷	有效磷	全钾	速效钾	有机质
1	树高	0.133 4	-0.122 7	0.246 2	0.139 5	0.556 8**	-0.797 3**	0.111 3	-0.736 5**	0.468 1**	0.018 7
1	地径	0.080 8	0.054 3	0.028 8	0.000 9	0.361 5*	-0.830 0**	-0.082 9	-0.802 6**	0.287 1	-0.191 0
2	树高	0.319 4	-0.172 9	0.354 3	0.186 4	0.580 6**	-0.685 7**	0.276 3	-0.617 8**	0.568 1**	0.035 3
2	地径	0.201 1	0.061 6	0.042 4	0.155 9	0.511 0**	-0.880 3**	-0.045 7	-0.870 9**	0.323 3	-0.102 1
3	树高	0.324 3	-0.033 7	0.214 2	0.162 8	0.543 7**	-0.772 6**	0.111 3	-0.724 7**	0.473 5**	-0.053 5
3	胸径	0.327 6	-0.242 8	0.323 9	0.244 2	0.616 9**	-0.675 4**	-0.082 9	-0.612 0**	0.563 1**	0.101 2
4	树高	0.300 1	-0.020 1	0.126 5	0.220 3	0.585 9**	-0.834 7**	-0.001 9	-0.796 0**	0.416 5*	-0.038 9
4	胸径	0.261 3	-0.141 2	0.288 6	0.201 9	0.619 7**	-0.800 5**	0.153 6	-0.746 0**	0.550 0**	0.018 5
5	树高	0.338 2	-0.023 3	0.106 8	0.247 6	0.541 8**	-0.776 1**	-0.007 7	-0.751 6**	0.373 5*	-0.041 6
5	胸径	0.277 7	-0.145 5	0.330 8	0.214 2	0.621 8**	-0.774 9**	0.189 5	-0.713 4**	0.587 3**	0.025 1
6	树高	0.227 6	0.037 5	0.082 5	0.217 9	0.560 9**	-0.881 7**	-0.067 4	-0.878 6**	0.368 8*	-0.049 3
6	胸径	0.211 7	-0.106 3	0.318 5	0.215 7	0.635 5**	-0.816 6**	0.140 2	-0.765 6**	0.580 6**	0.027 7
7	树高	0.290 5	0.026 4	0.247 8	0.134 2	0.536 0**	-0.837 9**	0.064 8	-0.801 4**	0.506 1**	-0.094 9
7	胸径	0.225 6	-0.101 1	0.380 5	0.200 6	0.633 0**	-0.792 5**	0.183 3	-0.728 5**	0.622 7**	0.037 4
8	树高	0.316 7	-0.043 2	0.233 9	0.148 5	0.627 9**	-0.812 7**	0.074 6	-0.759 6**	0.483 1**	-0.078 0
8	胸径	0.212 7	-0.098 5	0.296 8	0.221 9	0.711 3**	-0.809 4**	0.053 7	-0.756 8**	0.546 4**	0.030 9

说明：\* 表示在 0.05 显著性水平；\*\* 表示在 0.01 显著性水平。

氮、土壤有机质质量分数与相关不显著,这可能与有机氮转化为碱解氮的效率有关。或者,可以认为,有机氮转化为碱解氮效率是影响杂交鹅掌楸生长的主要因子之一。

### 3 结论与讨论

土壤条件对林木生长十分重要,尤其是土壤中各种速效营养元素含量对林木的生长起到关键的作用。对杂交鹅掌楸试验林内土壤因子多地点方差分析表明:土壤碱解氮和速效钾质量分数在地点、区组(地点)、坡位(地点 区组)、土层(地点 区组 坡位)间差异均达到显著或极显著水平,这说明不同地区的土壤条件存在明显差异,在杂交鹅掌楸造林立地选择时需慎重对待,做到适地适树。进一步对杂交鹅掌楸幼林期(1~8年生)生长量与各土壤因子间的相关分析研究表明:发现土壤碱解氮与速效钾质量分数与杂交鹅掌楸幼林期的生长紧密相关,土壤中碱解氮和速效钾质量分数可有效促进杂交鹅掌楸幼林生长。这与蔡伟建等<sup>[15-16]</sup>的研究结果一致。

至于全磷、全钾质量分数2个土壤因子为何与杂交鹅掌楸幼龄期生长量呈显著负相关,可能的解释有二:其一,全磷和全钾质量分数2个土壤因子主要用于区分土壤类型,不能反映土壤中可利用的磷、钾养分水平。其二,本试验中,全磷和全钾质量分数在3个地点间差异极显著,表明各试验点间土壤类型(或土壤本底条件不一致,而杂交鹅掌楸在3个地点均有良好的生长表现,说明杂交鹅掌楸适应性较好。换言之,土壤全磷和全钾质量分数可能对杂交鹅掌楸幼林期生长量的影响不大。同时,全磷和全钾质量分数在同一试验点内不同区组间、不同坡位间差异不显著,即同一试验点各坡位的磷、钾养分差异较小,但不同坡位的杂交鹅掌楸生长量存在差异,因而两者呈现出负相关。根据土壤营养元素作用的一般规律<sup>[17-20]</sup>,全磷、全钾质量分数在土壤中极为稳定,是区分不同类型土壤的重要指标,与植物生长关系不大。因此,在土壤因子分析过程中,筛选与植物生长紧密相关的土壤因子非常关键。

基于此,在杂交鹅掌楸造林立地选择时,土壤中碱解氮与速效钾质量分数是2个最主要的土壤因子。同时,在土壤相对贫瘠的立地营建杂交鹅掌楸人工林时,可采用抚育并适量施速效氮肥和钾肥,以提高土壤通气透水能力,改善土壤营养状况,促进杂交鹅掌楸幼林的生长,以达到速生丰产之目的。

毋庸置疑,气候因子对林木生长影响通常较大,但就本研究所涉及的杂交鹅掌楸3个试验点而言,气象因子可能并非杂交鹅掌楸主要的生态因子。因为,我们以3个试验点所在区域2006~2014年气象因子(年降水量、年日照时数、年积温)与年生长量进行相关分析,结果显示:除树高年生长量与年降水量相关系数(0.41)达0.05显著性水平外,其余相关系数(-0.05~-0.31)均未达显著性水平。说明在本研究所涉及的试验区域内,与土壤因子相比,气象因子对杂交鹅掌楸生长影响相对较小。这或许与3个试验点的地理距离相差不大有关。如果扩大试验区域范围,气象因子可能会对杂交鹅掌楸生长有较大的影响,当然,这尚有待于试验证实。此外,基因型与环境交互作用也会对林木生长造成影响。因此,从研发杂交鹅掌楸高效栽培技术体系角度考虑,今后应开展基因型与环境交互作用效应等领域的研究,为杂交鹅掌楸推广应用服务。

### 4 参考文献

- [1] 孙广云, 聂燕. 土壤性状与林木生长关系的研究[J]. 土壤, 1998, 30(2): 80 - 83.  
SUN Guangyun, NIE Yan. Studies on the relationship between soil character and the growth of wood growth [J]. *Soils*, 1998, 30(2): 80 - 83.
- [2] 欧阳勋志, 张志云, 蔡学林. 岩性、地形、土壤与林木生长关系[J]. 江西农业大学学报, 1997, 19(6): 146 - 151.  
OUYANG Xunzhi, ZHANG Zhiyun, CAI Xuelin. The relationship between lithology, topography, soil and wood growth [J]. *Acta Agric Univ Jiangxi*, 1997, 19(6): 146 - 151.
- [3] 张志云, 蔡学林, 黎祖尧, 等. 土壤物理性质与林木生长关系的研究[J]. 江西农业大学学报, 1992, 14(6): 64 - 67.  
ZHANG Zhiyun, CAI Xuelin, LI Zuyao, et al. Studies on the relationship between the growth of Chinese fir and masson pine and soil physical properties [J]. *Acta Agric Univ Jiangxi*, 1992, 14(6): 64 - 67.
- [4] 黄承标, 陈碧珍, 倪建康, 等. 望天树人工林生长量及土壤理化性质[J]. 林业科技开发, 2013, 27(3): 37 -

- 39.
- HUANG Chengbiao, CHEN Bizhen, NI Jiankang, *et al.* The growth and soil physicochemical properties of artificial forest of *Parashorea chinensis* [J]. *China For Sci Technol*, 2013, **27**(3): 37 – 39.
- [5] 徐魁梧, 徐永吉. 不同立地条件对红皮云杉人工林材性影响[J]. 林业科技开发, 1997, **11**(4): 45 – 46.  
XU Kuiwu, XU Yongji. Research on the effect of different site conditions on the plantation timber of *Picea koraiensis* Nakai [J]. *China For Sci Technol*, 1997, **11**(4): 45 – 46.
- [6] 王章荣. 鹅掌楸属树种杂交育种与利用[M]. 北京: 中国林业出版社, 2005: 16 – 34.
- [7] 王章荣. 中国马褂木遗传资源的保存与杂交育种前景[J]. 林业科技通讯, 1997(9): 8 – 10.  
WANG Zhangrong. Conservation of genetic resources and prospect of cross breeding of *Liriodendron chinense* (Hemsl) Sarg. [J]. *For Sci Technol*, 1997(9): 8 – 10.
- [8] 刘化桐. 马褂木的人工栽培技术[J]. 林业科技开发, 2004, **18**(6): 77.  
LIU Huatong. Technique of artificial cultivating *Liriodendron chinense* (Hemsl) Sarg. [J]. *China For Sci Technol*, 2004, **18**(6): 77.
- [9] 张万儒. 森林土壤定位研究方法[M]. 北京: 中国林业出版社, 1986: 1 – 45.
- [10] 廖桂宗, 彭世揆. 试验设计与抽样技术[M]. 北京: 中国林业出版社, 1993: 1 – 168.
- [11] 肖俊璋, 白厚义. 试验研究及统计分析[M]. 北京: 世界图书出版社, 1998: 190 – 251.
- [12] 中华人民共和国林业部科技司. 林业标准汇编 3[S]. 北京: 中国标准出版社, 1991: 1 – 42.
- [13] 沈其君. SAS 统计分析[M]. 南京: 东南大学出版社, 2001: 41 – 124.
- [14] 惠大丰, 姜长鉴. 统计分析系统 SAS 软件实用教程[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 1996: 83 – 105.
- [15] 蔡伟建. 杂交马褂木人工林培育技术研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2011.  
CAI Weijian. *Research on Cultural Technology of Liriodendron chinense × L. tulipifera Plantation* [D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2011.
- [16] 蔡伟建, 窦霄, 高捍东, 等. 氮磷钾配比施肥对杂交鹅掌楸幼林初期生长的影响[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2011, **35**(4): 27 – 33.  
CAI Weijian, DOU Xiao, GAO Handong, *et al.* Effect of combined fertilization of NPK on initial growth of young *Liriodendron chinense* × *L. tulipifera* plantation [J]. *J Nanjing For Univ Nat Sci Ed*, 2011, **35**(4): 27 – 33.
- [17] 鲁如坤. 我国土壤氮、磷、钾的基本状况[J]. 土壤学报, 1989, **26**(3): 281 – 286.  
LU Rukun. General status of nutrients (N, P, K) in soils of China [J]. *Acta Pedol Sin*, 1989, **26**(3): 281 – 286.
- [18] WILCKE W. Small-scale variability of metal concentrations in soil leachates [J]. *Soil Sci Soc Am J*, 2000, **64**(1): 138 – 143.
- [19] 欧勇胜. 成都平原土壤钾素空间变异及其模拟研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2006.  
OU Yongsheng. *Study on Spatial Variability and Simulation for Soil Potassium in Chengdu Plain* [D]. Ya'an: Sichuan Agricultural University, 2006.
- [20] ARAKI S, KYUMA K. Lithological grouping of red and/or yellow colored soil materials based on total chemical composition and quartz content [J]. *Soil Sci Plant Nut*, 1985, **31**(3): 391 – 401.