

## 豫南黄土丘陵区丹红杨引种试验研究

申明海<sup>1</sup>, 余亚平<sup>2</sup>, 肖曙光<sup>3\*</sup>, 李楠<sup>2</sup>, 吕顺端<sup>4</sup>, 张博<sup>4</sup> (1. 信阳市林业科学研究所, 河南信阳 464031; 2. 信阳市林业工作站, 河南信阳 464000; 3. 河南鸡公山国家级自然保护区管理局, 河南信阳 464133; 4. 罗山县林业科学研究所, 河南罗山 464200)

**摘要** 在豫南黄土丘陵区杨树引种试验中, 丹红杨年平均胸径和树高生长量分别为 3.9 cm、3.3 m。虽然与其他丹红杨引种栽培区相比生长速度偏小, 但是其胸径和树高生长均显著大于当地主栽杨树品种, 丹红杨仍是当地培育速生丰产林的首选杨树品种之一。土壤条件是豫南黄土丘陵区中丹红杨生长发育的主要限制因子, 需要加大造林整地力度, 提高土壤养分, 为培育速生丰产林打好基础。

**关键词** 丹红杨; 引种试验; 树高; 胸径; 生长量

中图分类号 S 792.11 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2019)22-0119-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2019.22.038

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



### Introduction Test of *Populus deltoides* CL. 'Danhong' in Loess Hilly Area of Southern Henan Province

SHEN Ming-hai<sup>1</sup>, YU Ya-ping<sup>2</sup>, XIAO Shu-guang<sup>3</sup> et al (1. Institute of Xinyang Forestry, Xinyang, Henan 464031; 2. Xinyang Forestry Station, Xinyang, Henan 464000; 3. Bureau of Henan Jigongshan National Nature Reserve, Xinyang, Henan 464133)

**Abstract** The annual average diameter at breast height (DBH) and height of *Populus deltoides* CL. 'Danhong' were 3.9 cm, 3.3 m at the planting experiment spot in the loess hilly area of southern Henan Province, respectively. Although the growth rate was smaller compared with the other planting area, it was greater than the other poplar varieties in the experiment spot, significantly. Thus, *Populus deltoides* CL. 'Danhong' was the first candidate of local poplar varieties in nurturing fast-growing plantations in the loess hilly area of southern Henan Province. In our experiment, soil may be one of the main restriction factors at the process of poplar plantations. Consequently, intensive cultivation and improving soil nutrients are the foundation for nurturing the prosperous plantation in the area.

**Key words** *Populus deltoides* CL. 'Danhong'; Introduction test; Tree height; Diameter at breast height; Growth

丹红杨(*Populus deltoides* CL. 'Danhong')是中国林业科学院韩一凡研究员于 1991 年通过对美洲黑杨(*P. deltoides* W. Bartram ex Marshall) 50 号杨(*P. deltoides* CL. '55/65') 与 36 号杨(*P. deltoides* CL. '2KEN8') 进行人工控制授粉获得的杂交后代, 品种比较试验表明, 丹红杨表现出明显的速生及抗虫性等优良性状<sup>[1]</sup>。目前, 丹红杨已经在华北南部<sup>[2-6]</sup>、江淮<sup>[7]</sup>、西南等地区进行了造林推广<sup>[1]</sup>, 表现了较好的生长势头。多地造林试验表明, 丹红杨生长较为迅速<sup>[1-3, 5-8]</sup>, 生长前期(1~5 年)表现尤为明显<sup>[9]</sup>, 且造林推广地区南部丹红杨的生长量大于北部的生长量<sup>[8]</sup>。笔者通过丹红杨与其他当地 3 个主栽杨树品种的生长量进行比较, 分析评价丹红杨在豫南黄土丘陵区生长的适应性, 为区域栽培推广应用服务。该研究也是 2014 年河南省丹红杨品种中试试验工作的组成部分, 目的是进一步验证该杨树品种在省内不同类型区的生长适应性及评价其推广应用价值, 为今后大规模应用于林业生产提供依据。

## 1 材料与与方法

**1.1 研究地概况** 试验地位于河南省信阳市罗山县尤店乡鱼台村和东铺镇杨店村, 该地属北亚热带大陆性季风湿润气候, 四季分明, 雨量充沛, 年平均日照时数 2 178 h, 年平均气温 15.1 ℃, 1 月平均气温 1.8 ℃, 7 月平均气温 27.5 ℃, 年平均降雨量 1 149 mm, 无霜期 225 d, 极端最低气温 -18.2 ℃, 极端最高气温 41.0 ℃, ≥10 ℃活动积温 4 870 ℃。

试验地属于罗山县北部黄土丘陵垄岗区, 其中鱼台村试验地原为缓坡耕地, 坡度 < 10°, 土壤为黄褐土, 较黏重, 保水

保肥能力强, 但排水较差, 前茬作物为日本板栗, 土壤弱酸性, pH 为 6.9 左右。杨店村试验地地势平坦, 排灌方便, 土壤为水稻土, 较疏松, 保水保肥能力强, 前茬为农作物, 地被植物有萱草、鸢尾等, 土壤弱酸性, pH 为 6.9 左右。

**1.2 材料** 试验材料共 4 个杨树品种, 即丹红杨、I-69 杨、I-72 杨和 2025 杨, 其中丹红杨从中国林业科学研究院林业研究所引进, I-69 杨、I-72 杨和 2025 杨为对照品种, 是该省区主栽品种。

**1.3 试验林营造管理** 鱼台村杨树品种造林试验采用随机区组设计, 3 个重复, 每个重复 7 行; 丹红杨每个小区 21 株, I-69 杨、I-72 杨和 2025 杨每个小区 7 株, 试验小区外侧栽植 1 行丹红杨作为保护行。杨店村杨树品种造林试验采用随机区组设计, 4 个重复, 每个重复 7 行; 丹红杨每个小区 35 株, I-69 杨、I-72 杨和 2025 杨每个小区 21 株, 试验小区外侧栽植 2~3 行丹红杨作为保护行。

2014 年 3 月上旬进行试验林营造。栽植时丹红杨胸径(diameter at breast height, DBH)约 2.0 cm, 树高 4 m; 其他杨树胸径约 1.5 cm, 树高 3 m。采用穴状整地, 挖穴时将表土与心土分开放置, 树穴规格为 60 cm×60 cm×50 cm。采用“三埋两踩一提苗”的方式进行植苗造林, 每穴统一施厩肥 40 kg, 在穴底与生土拌匀, 再覆 10~15 cm 表层土。栽植时苗根不可与厩肥直接接触, 将苗木直接放入穴内, 使根系舒展, 然后填土至根际线, 踩实后充分灌水, 水全部渗下后再填土踏实至根际线。栽后要浇灌透水 3 次以上, 以确保苗木成活。按照一般杨树生产管理要求, 及时进行松土除草、浇水灌溉等抚育管理。

**1.4 数据调查及统计分析方法** 自杨树试验林营造当年始, 每年 12 月底, 对试验地栽植树木进行每木检尺, 测量试验地

**作者简介** 申明海(1967—), 男, 河南商城人, 高级工程师, 从事森林培育研究。\* 通信作者, 工程师, 从事森林保护研究。

**收稿日期** 2019-06-03

每株树木的胸径、树高等,共调查了2014—2017年4个年份的生长数据。

通过 Shapiro-Wilk 法检验鱼台村和杨店村杨树造林试验地4个年份每个树种的胸径、树高数据是否服从正态分布,显著性检验水平的临界值选定为0.01。利用非参数 Kruskal-Wallis 法进行同一杨树造林试验地相同年份不同杨树品种之间胸径、树高的方差分析,并采用 Duncan's 法进行多重比较,显著性检验水平的临界值选定为0.01。所有的统计分析均是在 SAS 9.0 上进行的<sup>[10]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 鱼台村杨树试验林不同杨树品种生长量分析

**2.1.1 鱼台村杨树试验林不同杨树品种胸径生长量分析。**从鱼台村杨树试验林不同杨树品种胸径生长来看(表1),杨树品种造林试验的4年内,4个杨树品种胸径生长量大小排序均表现为丹红杨、I-69杨、2025杨、I-72杨。

杨树品种造林试验的4年内,每年胸径生长量最大的单

株也是丹红杨,仅2014年有1株I-69杨(5.1 cm)与丹红杨具有相同的最大胸径;从每年不同杨树品种胸径最小的单株来看,丹红杨胸径并不是最大的(造林试验第1年丹红杨与I-69杨、2025杨胸径最小单株的大小相同)。杨树品种造林试验的4年内,丹红杨的平均胸径生长量均是最大的,分别比平均胸径生长量最小的I-72杨大52.0%、75.6%、77.3%、67.9%;与胸径生长量仅次于丹红杨的I-69杨相比,丹红杨的平均胸径生长量也分别大11.8%、17.9%、18.2%、21.4%,且随着树龄增加二者差异呈现出逐渐增大的趋势。

非参数方差分析表明,在不同杨树品种造林试验的4年内,除了造林试验的第1年丹红杨胸径生长量与I-69杨没有显著差异外,丹红杨胸径生长量与其他3个当地主栽杨树品种(I-69杨、I-72杨和2025杨)均有显著差异。然而,I-69杨和2025杨的胸径生长量在杨树品种造林试验的4年内均没有显著差异,胸径生长量最小的I-72杨与其他杨树品种间均存在显著差异。

表1 鱼台村杨树试验林不同杨树品种胸径的假设检验和方差分析

Table 1 The tests for normality and analysis of variances of DBH of poplar varieties in Yutai

年份 Year	树种 Species	样本量 Sample size	平均胸径(标准误差) Average DBH(standard error) cm	中位数 Median	标准差 Standard deviation	最小值 Minimum	最大值 Maximum	正态性检验 Tests for normality
2014	丹红杨	53	3.8(0.108 8)A	3.9	0.792 2	2.0	5.1	0.942 5(P=0.013 0)
	2025 杨	19	3.1(0.142 8)B	3.4	0.622 6	2.0	3.8	0.874 4(P=0.017 2)
	I-69 杨	20	3.4(0.157 6)AB	3.7	0.704 9	2.0	5.1	0.912 6(P=0.071 4)
	I-72 杨	7	2.5(0.337 7)C	2.8	0.893 4	1.2	3.8	0.921 6(P=0.482 0)
2015	丹红杨	52	7.9(0.234 6)A	8.3	1.691 4	3.4	10.6	0.928 8(P=0.004 0)
	2025 杨	20	6.1(0.256 1)B	6.5	1.145 5	3.1	7.7	0.924 8(P=0.122 5)
	I-69 杨	20	6.7(0.290 0)B	7.0	1.297 0	3.5	8.4	0.935 3(P=0.195 1)
	I-72 杨	6	4.5(0.694 0)C	5.2	1.699 9	2.2	6.2	0.854 8(P=0.172 0)
2016	丹红杨	52	11.7(0.329 6)A	12.4	2.376 9	4.8	16.1	0.932 0(P=0.005 4)
	2025 杨	20	8.9(0.367 9)B	9.3	1.645 5	4.6	11.0	0.920 4(P=0.100 8)
	I-69 杨	20	9.9(0.419 7)B	10.5	1.877 1	5.3	12.4	0.930 1(P=0.154 9)
	I-72 杨	6	6.6(1.049 7)C	7.6	2.571 2	3.2	8.8	0.788 7(P=0.046 4)
2017	丹红杨	52	13.6(0.374 1)A	14.0	2.697 4	5.4	19.1	0.936 8(P=0.008 3)
	2025 杨	20	10.2(0.428 7)B	10.8	1.917 2	5.1	12.6	0.913 6(P=0.074 6)
	I-69 杨	20	11.2(0.473 8)B	11.9	2.118 9	6.2	14.0	0.923 0(P=0.113 1)
	I-72 杨	5	8.1(1.116 9)C	8.9	2.497 4	3.8	9.8	0.758 4(P=0.035 6)

注:同一年份平均胸径列数字后不同字母表示在0.01水平上差异显著,正态性检验统计量后括号内的数值为显著性概率P值

Note: Different letters after the average DBH of the same year indicate significant difference at the level of 0.01, and the values in brackets after the normal test statistics are P values

### 2.1.2 鱼台村杨树试验林不同杨树品种树高生长量分析。

从鱼台村杨树试验林不同杨树品种树高生长来看(表2),杨树品种造林试验的4年内,4个杨树品种树高生长量大小排序均表现为丹红杨、I-69杨、2025杨、I-72杨。

杨树品种造林试验的4年内,每年树高生长量最大的单株也是丹红杨;从每年不同杨树品种树高生长量最小的单株来看,仅在造林试验的第1年丹红杨树高生长量是最大的。杨树品种造林试验的4年内,丹红杨的平均树高生长量均是最大的,分别比平均树高生长量最小的I-72杨大36.4%、65.2%、52.2%、40.2%;与树高生长量仅次于丹红杨的I-69杨相比,丹红杨的平均树高生长量也分别大18.4%、26.7%、17.2%、19.4%。

非参数方差分析表明,在不同杨树品种造林试验的4年内,丹红杨树高生长量与其他3个当地主栽杨树品种(I-69杨、I-72杨和2025杨)树高生长量均有显著差异。然而,2025杨和I-69杨的树高生长量在杨树品种造林试验的4年内均没有显著差异。在杨树品种造林试验的第1年和第4年中,2025杨和I-72杨的树高生长量也没有显著差异。

## 2.2 杨店村杨树试验林不同杨树品种生长量分析

**2.2.1 杨店村杨树试验林不同杨树品种胸径生长量分析。**从杨店村杨树试验林不同杨树品种胸径生长来看(表3),杨树品种造林试验的第1年,4个杨树品种胸径生长量大小排序为丹红杨、2025杨、I-69杨、I-72杨,而其他3个生长年份内,4个杨树品种胸径生长量大小排序均表现为丹红杨、I-69

杨、2025 杨、I-72 杨。

表 2 鱼台村杨树试验林不同杨树品种树高的假设检验和方差分析

Table 2 The tests for normality and analysis of variances of height of poplar varieties in Yutai

年份 Year	树种 Species	样本量 Sample size	平均树高(标准误差) Average height (standard error)//m	中位数 Median	标准差 Standard deviation	最小值 Minimum	最大值 Maximum	正态性检验 Tests for normality
2014	丹红杨	53	4.5(0.061 1)A	4.5	0.445 0	3.4	5.2	0.966 2( $P=0.137 8$ )
	2025 杨	19	3.6(0.127 6)BC	3.7	0.556 3	2.5	4.4	0.923 8( $P=0.133 3$ )
	I-69 杨	20	3.8(0.130 0)B	3.7	0.581 2	3.0	5.1	0.924 5( $P=0.121 0$ )
	I-72 杨	7	3.3(0.302 9)C	3.5	0.801 5	2.0	4.1	0.847 6( $P=0.116 9$ )
2015	丹红杨	52	7.6(0.161 7)A	7.8	1.166 2	4.6	9.5	0.932 5( $P=0.005 6$ )
	2025 杨	20	5.5(0.219 0)B	5.8	0.979 5	2.8	6.8	0.592 5( $P=0.126 3$ )
	I-69 杨	20	6.0(0.107 7)B	6.1	0.481 8	5.1	6.7	0.906 5( $P=0.054 6$ )
	I-72 杨	6	4.6(0.759 7)C	5.3	1.860 9	1.8	6.3	0.861 5( $P=0.194 4$ )
2016	丹红杨	52	10.2(0.203 2)A	10.0	1.465 2	4.8	13.1	0.944 3( $P=0.016 8$ )
	2025 杨	20	8.0(0.317 9)B	8.3	1.421 7	5.6	9.9	0.924 9( $P=0.123 2$ )
	I-69 杨	20	8.7(0.291 9)B	9.1	1.305 6	5.9	10.2	0.914 4( $P=0.077 3$ )
	I-72 杨	6	6.7(1.013 1)C	7.8	2.481 6	3.1	8.9	0.823 5( $P=0.094 5$ )
2017	丹红杨	52	12.9(0.242 0)A	13.1	1.745 2	6.1	16.1	0.890 5( $P=0.000 2$ )
	2025 杨	20	9.9(0.408 0)BC	10.4	1.824 5	6.0	13.1	0.963 0( $P=0.604 9$ )
	I-69 杨	20	10.8(0.359 4)B	11.1	1.607 2	7.6	13.2	0.948 1( $P=0.339 8$ )
	I-72 杨	5	9.2(1.200 6)C	10.4	2.684 6	4.6	11.1	0.744 9( $P=0.026 7$ )

注:同一年份平均树高列数字后不同字母表示在 0.01 水平上差异显著,正态性检验统计量后括号内的数值为显著性概率  $P$  值

Note: Different letters after the average height of the same year indicate significant difference at the level of 0.01, and the values in brackets after the normal test statistics are  $P$  values

表 3 杨店村杨树试验林不同杨树品种胸径的假设检验和方差分析

Table 3 The tests for normality and analysis of variances of DBH of poplar varieties in Yangdian

年份 Year	树种 Specie	样本量 Sample size	平均胸径(标准误差) Average DBH(standard error) cm	中位数 Median	标准差 Standard deviation	最小值 Minimum	最大值 Maximum	正态性检验 Tests for normality
2014	丹红杨	122	4.0(0.055 8)A	4.0	0.615 9	2.1	5.6	0.984 3( $P=0.170 9$ )
	2025 杨	70	3.6(0.055 9)B	3.7	0.468 0	2.3	4.9	0.989 8( $P=0.843 2$ )
	I-69 杨	51	3.4(0.065 6)B	3.5	0.468 7	2.0	4.1	0.896 8( $P=0.000 3$ )
	I-72 杨	34	3.0(0.118 5)C	2.9	0.691 2	1.5	4.2	0.976 5( $P=0.659 9$ )
2015	丹红杨	122	8.2(0.160 0)A	8.4	1.767 1	3.7	11.6	0.968 7( $P=0.006 2$ )
	2025 杨	71	7.1(0.104 5)B	7.2	0.880 1	3.4	9.6	0.926 2( $P=0.000 4$ )
	I-69 杨	51	7.5(0.136 9)B	7.4	0.977 9	4.3	9.4	0.948 2( $P=0.026 6$ )
	I-72 杨	33	5.5(0.248 4)C	6.0	1.426 8	2.5	7.4	0.892 0( $P=0.003 3$ )
2016	丹红杨	122	13.2(0.261 9)A	13.8	2.893 0	6.1	17.8	0.939 3( $P<0.000 1$ )
	2025 杨	71	11.3(0.169 0)B	11.6	1.424 0	5.2	15.7	0.907 6( $P<0.000 1$ )
	I-69 杨	51	12.4(0.201 1)A	12.4	1.436 2	7.5	15.5	0.971 8( $P=0.262 9$ )
	I-72 杨	33	9.2(0.435 0)C	10.5	2.498 8	3.0	11.9	0.822 7( $P<0.000 1$ )
2017	丹红杨	122	16.5(0.327 4)A	17.2	3.616 2	8.2	22.8	0.935 1( $P<0.000 1$ )
	2025 杨	70	14.0(0.193 7)B	14.2	1.620 7	6.9	19.5	0.912 6( $P=0.000 1$ )
	I-69 杨	51	15.5(0.277 2)A	15.3	1.979 4	9.3	20.4	0.967 3( $P=0.169 7$ )
	I-72 杨	32	11.8(0.524 2)C	12.9	2.965 4	4.7	15.5	0.869 7( $P=0.001 1$ )

注:同一年份平均胸径列数字后不同字母表示在 0.01 水平上差异显著,正态性检验统计量后括号内的数值为显著性概率  $P$  值

Note: Different letters after the average DBH of the same year indicate significant difference at the level of 0.01, and the values in brackets after the normal test statistics are  $P$  values

杨树品种造林试验的 4 年内,每年胸径生长量最大的单株也是丹红杨;从每年不同杨树品种胸径生长量最小的单株来看,丹红杨并不是最大的,仅位列第 2 位。杨树品种造林试验的 4 年内,丹红杨平均胸径生长量均是最大的,分别比平均胸径生长量最小的 I-72 杨大 33.3%、49.1%、43.5%、39.8%;与每年胸径生长量仅次于丹红杨的 2025 杨(试验第 1 年)、I-69 杨(试验后 3 年)相比,丹红杨的平均胸径生长量也分别大 11.1%、9.3%、6.5%、6.5%,且随着树龄增加,二者差

异呈现出逐渐减少的趋势。

非参数方差分析表明,不同杨树品种造林试验的前 2 年内,丹红杨平均胸径生长量与其他 3 个当地主栽杨树品种(I-69 杨、I-72 杨和 2025 杨)相比均有显著差异,然而 I-69 杨和 2025 杨平均胸径生长量没有显著差异。造林试验的后 2 年内,丹红杨平均胸径生长量与 I-72 杨、2025 杨间均有显著差异,然而,丹红杨平均胸径生长量与 I-69 杨间没有显著差异。

**2.2.2 杨店村杨树试验林不同杨树品种树高生长量分析。**从杨店村杨树试验林不同杨树品种树高生长来看(表4),杨树品种造林试验的4年内,丹红杨每年的平均树高生长量均是最大的,而每年平均树高生长量最小的均是I-72杨(试验第1年与I-69杨同为树高生长量最小者)。杨树品种造林试验的4年内,每年树高生长量最大的单株也是丹红杨;从每年不同杨树品种树高生长量最小的单株来看,丹红杨也是最大的(试验第2年与I-69杨相同)。杨树品种造林试验的4年内,丹红杨平均树高生长量比平均树高生长量最小的I-72杨分别大24.3%、39.3%、35.6%、29.1%;与平均树高生长

量仅次于丹红杨的2025杨(试验前2年)、I-69杨(试验后2年)相比,丹红杨的平均树高生长量分别大17.9%、16.4%、11.9%、9.4%。

非参数方差分析表明,在不同杨树品种造林试验的4年内,丹红杨平均树高生长量与其他3个当地主栽杨树品种(I-69杨、I-72杨和2025杨)均有显著差异。然而,I-69杨、I-72杨平均树高生长量在杨树品种造林试验的第1年内没有显著差异,I-69杨、2025杨平均树高生长量在杨树品种造林试验的第2年内没有显著差异。

表4 杨店村杨树试验林不同杨树品种树高的假设检验和方差分析

Table 4 The tests for normality and analysis of variances of heights of poplar varieties in Yangdian

年份 Year	树种 Species	样本量 Sample size	平均树高(标准误差) Average heights(standard error) m	中位数 Median	标准差 Standard deviation	最小值 Minimum	最大值 Maximum	正态性检验 Tests for normality
2014	丹红杨	122	4.6(0.040 6)A	4.6	0.448 9	3.1	5.6	0.971 6( $P=0.011 1$ )
	2025 杨	70	3.9(0.056 0)B	3.9	0.468 8	3.0	5.1	0.983 8( $P=0.502 3$ )
	I-69 杨	51	3.7(0.051 6)C	3.6	0.368 8	2.8	4.7	0.980 8( $P=0.571 8$ )
	I-72 杨	34	3.7(0.093 2)C	3.8	0.543 4	2.5	4.6	0.968 0( $P=0.409 0$ )
2015	丹红杨	122	7.8(0.077 3)A	8.1	0.853 7	5.1	9.1	0.916 4( $P<0.000 1$ )
	2025 杨	71	6.7(0.068 7)B	6.9	0.578 9	4.2	7.9	0.905 7( $P<0.000 1$ )
	I-69 杨	51	6.7(0.089 0)B	6.8	0.635 8	5.1	7.9	0.972 0( $P=0.267 5$ )
2016	I-72 杨	33	5.6(0.209 3)C	5.8	1.202 5	3.0	7.6	0.936 8( $P=0.054 9$ )
	丹红杨	122	12.2(0.092 7)A	12.4	1.024 1	8.7	14.0	0.946 3( $P=0.000 1$ )
	2025 杨	71	10.4(0.099 7)C	10.5	0.839 8	7.2	11.8	0.905 1( $P<0.000 1$ )
	I-69 杨	51	10.9(0.098 9)B	11.0	0.706 7	8.3	11.8	0.850 3( $P<0.000 1$ )
2017	I-72 杨	33	9.0(0.364 3)D	9.1	2.092 7	3.7	12.0	0.902 3( $P=0.006 1$ )
	丹红杨	122	15.1(0.095 8)A	15.3	1.058 7	12.3	17.0	0.930 0( $P<0.000 1$ )
	2025 杨	70	13.2(0.091 3)C	13.2	0.764 1	9.7	15.2	0.842 7( $P<0.000 1$ )
	I-69 杨	51	13.8(0.111 2)B	14.0	0.793 9	11.5	15.4	0.965 2( $P=0.138 9$ )
2017	I-72 杨	32	11.7(0.437 5)D	12.4	2.474 9	5.0	15.2	0.831 9( $P=0.000 2$ )

注:同一年份平均树高列数字后不同字母表示在0.01水平上差异显著,正态性检验统计量后括号内的数值为显著性概率 $P$ 值

Note: Different letters after the average DBH of the same year indicate significant difference at the level of 0.01, and the values in brackets after the normal test statistics are  $P$  values

### 3 结论与讨论

总体来看,豫南黄土丘陵区不同杨树品种引种试验中,丹红杨生长速度均是最大的,其胸径和树高生长均显著大于当地主栽杨树品种2025杨、I-69杨和I-72杨,其他造林试验区如豫北地区<sup>[3-4]</sup>、湖北潜江<sup>[7-8]</sup>、鲁西南<sup>[5]</sup>、河北南部<sup>[2,6]</sup>等地也呈现出类似的结果<sup>[1]</sup>。豫南黄土丘陵区造林试验期内(试验期后3年),丹红杨年平均胸径和树高生长量分别为3.9 cm、3.3 m,属于丹红杨栽培区中生长较慢的<sup>[1]</sup>,这与河北南部、中原地区武陟县的生长速度相似<sup>[2,4]</sup>,而小于该试验区北部黄河冲积扇南缘的商水县、鲁西南和湖北潜江丹红杨的生长速度<sup>[3,5,7]</sup>。

虽然豫南地区水热条件较好,但与其他造林区相比<sup>[1-8]</sup>,丹红杨并没有表现出较快的生长优势。该造林试验地土壤为黄褐土和水稻土,是豫南黄土丘陵区分布的主要土壤类型。由于黄褐土和水稻土质地黏重(黏壤土至黏土),土层紧实,土壤通透性和养分较差,不利于树木根系及其地上部分的生长发育,可能是豫南黄土丘陵区这种土壤条件是限制丹红杨生长发育的主要因素。试验表明,由于水稻土(杨店村)

比黄褐土(鱼台村)有着更好的土壤通透性和养分,所以水稻土上生长的丹红杨生长速度更快一些。湖北潜江造林试验也表明,丹红杨在同一地区内黏性土壤上生长速度偏小些<sup>[8]</sup>。在丹红杨引种栽培区中,虽然豫南黄土丘陵区丹红杨生长速度并不是最大的,但与当地主栽的其他杨树品种相比较,丹红杨表现出较大的生长优势,仍是当地培育速生丰产林的首选杨树品种之一。另外,由于豫南黄土丘陵区土壤条件是丹红杨生长发育的主要限制因子,在造林整地时,需要加大整地力度,增加土壤养分含量,为培育速生丰产林打好基础。

### 参考文献

- [1] 张春玲,李淑梅,赵自成,等.杨树新品种‘丹红杨’[J].林业科学,2008,44(1):169.
- [2] 潘文明,安金明,刘振廷,等.丹红杨在河北南部的引种及生长表现[J].河北林业科技,2015(6):47-48.
- [3] 朱璞玲,段玉玲,陆龙梅,等.杨树新品种丹红杨引种试验初报[J].河南林业科技,2009,29(2):22-23.
- [4] 魏万生,张晓强.中原地区丹红杨插干造林技术研究[J].防护林科技,2011(5):38-39.

(下转第155页)

差异;玉米幼苗地下部镉含量随磷石膏添加量的增加而增加,磷石膏添加量为 20%、40% 和 80% 的玉米幼苗地下部分镉含量分别为 1.95、2.88 和 3.75 mg/kg,比对照显著增加了 27.86%、89.01% 和 146.21%,5% 和 10% 的玉米幼苗地下部分镉含量与对照无显著差异。

### 3 结论与讨论

Smaoui-Jardak 等<sup>[14]</sup>研究发现施用磷石膏可同时降低非盐碱化和盐碱化土壤的 pH,80% 的磷石膏添加量分别使非盐碱化和盐碱化土壤的 pH 降低 33.6% 和 26.58%。该研究中,土壤 pH 随磷石膏添加量的增加而降低,80% 的磷石膏添加量使土壤 pH 降低了 31.06%,与前人的研究结果一致,这可能是由于磷石膏中残留的酸,或者 CaSO<sub>4</sub> 中的 Ca<sup>2+</sup> 替换了土壤中吸附态的 H<sup>+</sup>,使土壤溶液中 H<sup>+</sup> 活性增加,导致土壤 pH 降低。值得注意的是,虽然磷石膏可以显著降低土壤 pH,但该研究中不同磷石膏添加量的土壤 pH(5.04~7.37)仍在玉米的适应范围内(5~8)<sup>[20]</sup>。另外,土壤电导率通常反映含盐量的程度,它可以影响土壤与植物之间的水势<sup>[21]</sup>。土壤高盐会影响玉米根对水分的吸收,引起植株失水、细胞膜解体以及抑制其他生理生化过程<sup>[22]</sup>。该研究中,磷石膏的施用可显著增加土壤电导率,随着磷石膏添加量的增加,玉米幼苗根的生长受到显著抑制,这可能是土壤 pH 降低和电导率升高共同作用的结果,但这种抑制作用的机理目前尚不清楚。

与根的情况不同,玉米幼苗地上部分表现出低磷石膏添加量处理促进生长的趋势,这可能是由于磷石膏的施用改良了土壤养分,如提高了土壤中钙、硫、磷和其他微量元素的含量<sup>[23]</sup>。钙不仅对维持细胞膜的正常功能和稳定性具有重要作用,同时也是植物光合作用必需的元素<sup>[24]</sup>。该研究中,低磷石膏添加量处理的玉米幼苗叶片中总叶绿素和类胡萝卜素含量均有所增加。因此,磷石膏可能是通过提高土壤中钙含量从而提高玉米幼苗叶片光合作用,促进幼苗的生长。

此外,所有磷石膏添加量处理的玉米幼苗对镉的吸收均表现为地下部分大于地上部分,这与之前的研究结果相符<sup>[25]</sup>,说明磷石膏处理并未改变玉米幼苗对镉的富集能力。再者,虽然较高磷石膏添加量可以增加玉米幼苗地下部分镉含量,但对地上部分镉含量影响并不显著(除了 80% 的添加量),结合玉米幼苗生长指标的测定结果,可以得出不超过 10% 磷石膏添加量处理有利于玉米幼苗地上部分的生长,且不显著影响玉米幼苗体内镉含量。

### 参考文献

[1] 李佳宜,施泽明,唐瑞玲,等.磷石膏堆场对周围农田土壤重金属含量的

影响[J].中国非金属矿工业导刊,2010(5):52-55.

- [2] AL-HWAITI M, AL-KHASHMAN O. Health risk assessment of heavy metals contamination in tomato and green pepper plants grown in soils amended with phosphogypsum waste materials[J]. Environ Geochem Hlth, 2015, 37(2): 287-304.
- [3] 叶学东. 2016 年我国磷石膏利用现状、存在问题及建议[J]. 磷肥与复肥, 2017, 32(7): 1-3.
- [4] 王晓岑, 李淑芹, 许景钢. 农业应用磷石膏前景展望[J]. 中国农学通报, 2010, 26(4): 287-294.
- [5] MULLINS G L, MITCHELL C C. Use of phosphogypsum to increase yield and quality of annual forages[M]. Bartow: Florida Institute of Phosphate Research, 1989.
- [6] 叶厚专, 范业成. 磷石膏对水稻与花生增产效果的研究[J]. 江西农业科技, 1994(5): 25-27.
- [7] 石伟勇, 马国瑞, 李春九, 等. 磷石膏系列肥对水稻的增产效应及养分吸收的影响[J]. 浙江农业大学学报, 1994, 20(3): 259-262.
- [8] 陈永安, 游有文, 黄佳良, 等. 磷石膏在红壤上的肥料效应[J]. 土壤肥料, 1995(1): 22-25.
- [9] 丁爱芳, 俞元春. 酸性土壤中铝的活化及其对植物生长的影响[J]. 南京晓庄学院学报, 2000, 16(4): 25-28.
- [10] NOBLE A D, SUMNER M E, KUMAR A A. The pH dependency of aluminum phytotoxicity alleviation by calcium sulfate[J]. Soil Sci Soc Am J, 1988, 52(5): 1398-1402.
- [11] ALVA A K, SUMNER M E. Amelioration of acid soil infertility by phosphogypsum[J]. Plant and soil, 1990, 128(2): 127-134.
- [12] CARVALHO M C S, VAN RAIJ B. Calcium sulphate, phosphogypsum and calcium carbonate in the amelioration of acid subsoils for root growth[J]. Plant and soil, 1997, 192(1): 37-48.
- [13] 王玉江, 吴涛, 吴杰. 磷石膏改良盐碱地的研究进展[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(17): 7413-7414.
- [14] SMAOUI-JARDAK M, KRIAA W, MAALEJ M, et al. Effect of the phosphogypsum amendment of saline and agricultural soils on growth, productivity and antioxidant enzyme activities of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) [J]. Ecotoxicology, 2017, 26(8): 1089-1104.
- [15] 王运长, 李金娟, 解田, 等. 磷石膏改良基质中 Cd、Zn 在蔬菜内的富集和迁移特征[J]. 中国农学通报, 2012, 28(13): 271-275.
- [16] 李金娟, 王运长, 解田, 等. 磷石膏改良基质中 As 和 F 在蔬菜内富集和迁移特征[J]. 地球与环境, 2013, 41(2): 150-154.
- [17] 杜彩艳, 段宗颜, 潘艳华, 等. 干旱胁迫对玉米苗期植株生长和保护酶活性的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2015, 33(3): 124-129.
- [18] LICHTENTHALER H K. Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes[J]. Methods in enzymology, 1987, 148: 350-382.
- [19] ZAYNEB C, BASSEM K, ZEINEB K, et al. Physiological responses of fenugreek seedlings and plants treated with cadmium[J]. Environ Sci Pollut Res Int, 2015, 22(14): 10679-10689.
- [20] 冯丽, 董广林. 浅议 PH 值对玉米生长发育的影响[J]. 农村实用科技信息, 2010(6): 10.
- [21] 刘广明, 杨劲松. 土壤含盐量与土壤电导率及水分含量关系的试验研究[J]. 土壤通报, 2001, 32(S1): 85-87.
- [22] 赵韦. 土壤盐碱化对玉米胁迫的研究进展[J]. 黑龙江农业科学, 2019(1): 140-143.
- [23] 许敬敬, 张乃明. 磷石膏的农业利用研究进展[J]. 磷肥与复肥, 2017, 32(9): 34-38.
- [24] 蔡妙珍, 罗安程, 章永松, 等. 钙减缓植物矿物质元素毒害的机理[J]. 科技通报, 2003, 19(3): 207-210.
- [25] 袁林, 刘颖, 兰玉书, 等. 不同玉米品种对镉吸收积累特性研究[J]. 四川农业大学学报, 2018, 36(1): 22-27.

(上接第 122 页)

- [5] 田杏娟, 藏兰生, 张建稳, 等. 无性系丹红杨引种造林试验研究[J]. 山东林业科技, 2013(3): 54-58.
- [6] 路露, 刘振廷, 安金明, 等. 黑杨派优良无性系引种筛选试验初报[J]. 林业科技通讯, 2016(4): 16-18.
- [7] 张兴虎, 叶中亚, 李军, 等. 杨树新无性系丹红杨引种试验[J]. 湖北林业

科技, 2010(5): 29-31.

- [8] 刘江浩. 几个杨树良种的观察对比[J]. 农业科技通讯, 2008(2): 132-133.
- [9] 苏雪辉, 赵自成, 魏万生, 等. 豫北地区 13 个杨树优良无性系生根性试验初报[J]. 江苏林业科技, 2005, 32(1): 25-27.
- [10] SAS Institute. SAS version 9.0[M]. Cary, North Carolina, USA: SAS Institute, Inc., 2002.