

# 氮磷钾配方施肥对楸树苗期生长及养分利用的影响\*

王祥<sup>1</sup> 白晶晶<sup>2</sup> 何茜<sup>2</sup> 邱权<sup>2</sup>  
吴俊文<sup>2</sup> 王军辉<sup>3</sup> 李吉跃<sup>2</sup>

(1. 中山市水库水电工程管理中心, 广东 中山 528400; 2. 华南农业大学 林学与风景园林学院, 广东 广州 510642;  
3. 中国林业科学研究院 / 林木遗传育种国家重点实验室, 北京 100091)

**摘要** 通过盆栽试验法和氮、磷、钾完全随机区组设计法, 以2年生无性系7080组培苗为材料, 设置15个处理组, 探究楸树 *Catalpa bungei* 在氮、磷、钾不同配方施肥下的生物量积累和分配及施肥效率, 筛选最优配比, 为楸树无性系精准配方施肥提供理论依据。结果表明: 在试验设置的施肥量范围内, 配方施肥能够显著增加楸树无性系7080幼苗的苗高、地径、生物量及氮、磷、钾含量, 且显著高于对照组 ( $P < 0.05$ )。T10 (氮:磷:钾=12:12:12 g·株<sup>-1</sup>) 为最佳配比组, 其苗高为173.4 cm, 是CK的1.88倍, 施肥期间苗高平均增长136.9 cm, 而CK只增长了55.8 cm; 其地径为24.04 mm, 是CK的1.8倍, 施肥期间地径平均增大19.08 mm, 而CK只增大了8.37 mm; 其生物量是CK的2.6倍, CK12的1.8倍, 且T10组根、茎、叶的氮、磷、钾含量均为最高。通过以上分析可得, 合理的配方施肥对楸树苗木生物量和养分积累、肥料利用效率具有显著促进作用, 无性系7080的最佳施肥配比为T10。

**关键词** 配方施肥; 楸树; 生长量; 生物量分配; 氮磷钾分配; 施肥效率

中图分类号: Q945.79 文献标志码: A 文章编号: 2096-2053 (2021) 03-0040-07

## Effects of Different Formulated Fertilization on the Growth and Physiological Characteristics of *Catalpa bungei* Seedling

WANG Xiang<sup>1</sup> BAI Jingjing<sup>2</sup> HE Qian<sup>2</sup> QIU Quan<sup>2</sup>  
WU Junwen<sup>2</sup> WANG Junhui<sup>3</sup> LI Jiyue<sup>2</sup>

(1. Zhongshan Reservoir Hydropower Management Center, Zhongshan, Guangdong 528400, China;  
2. College of Forestry and Landscape, South China Agricultural University, Guangzhou, Guangdong 510642, China;  
3. State Key Laboratory of Tree Genetics and Breeding / Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China)

**Abstract** In order to explore the effect of nitrogen, phosphorus and potassium fertilization on biomass accumulation and allocation, nutrient utilization efficiency in *Catalpa bungei* seedlings. The optimal fertilization scheme was selected to provide theoretical basis for precise formula fertilization of *C. bungei* clones. Two year-old clone 7080 seedlings were used as experimental materials, setting 12 different NPK fertilization treatments. Pot experiments were carried out to determine the height, ground diameter, biomass, nitrogen, phosphorus and potassium contents of roots, stems and leaves. Within the range of fertilization amount, the height, ground diameter, biomass and contents of nitrogen, phosphorus and potassium of *C. bungei* clone 7080 seedlings were significantly increased by formula fertilization, which was significantly higher than that of nitrogen and no fertilization. T10 (N : P : K=12 g : 12 g : 12 g) can get the best ratio, its seedling height is 173.4 cm, which is 1.88 times of CK, the average increase is

\* 基金项目: 国家重点研发计划项目 (2017YFD060060404)。

第一作者: 王祥 (1992—), 男, 主要从事风景园林、森林培育研究, E-mail: 494256683@qq.com。

通信作者: 李吉跃 (1959—), 男, 教授, 主要从事森林培育研究, E-mail: ljyymy@vip.sina.com。

136.9 cm during fertilization, but CK only increases 55.8 cm; its ground diameter is 24.04 mm, which is 1.8 times of CK, the average increase is 19.08 mm during fertilization, but CK only increases 8.37 mm; its biomass is 2.6 times of CK, 1.8 times of CK12, and the nitrogen, phosphorus and potassium in roots and leaves at T10 is the highest. Through the above analysis, it can be concluded that the reasonable formula fertilization has a significant role in promoting the biomass, nutrient accumulation and fertilizer use efficiency of *C. bungei* seedlings, and the optimal fertilization ratio of clone 7080 is N : P: K = 12 g: 12 g: 12 g.

**Key words** formula fertilization; *Catalpa bungei*; growth; biomass allocation; NPK distribution; fertilizer use efficiency

合理施肥在苗木生长过程中非常重要, 能显著改善苗木质量。氮、磷、钾在植物生长、光合作用、呼吸作用等过程中发挥了重要作用, 适量配施可显著促进苗木生长。近年来, 配方施肥对植物幼苗的生长<sup>[1]</sup>、光合生理<sup>[2-3]</sup>、养分积累转运分配<sup>[4]</sup>、土壤养分和菌落<sup>[5-6]</sup>、叶色变化<sup>[7]</sup>等方面研究越来越多, 适量施肥可提高苗木总产量, 是培育苗木的关键技术之一。有学者采用不同配方施肥, 研究了海南风吹楠<sup>[8]</sup>*Horsfieldia hainanensis*、青冈栎<sup>[1]</sup>*Cyclobalanopsis glauca*、辣木<sup>[9]</sup>*Moringa oleifera*、油茶<sup>[10]</sup>*Camellia oleifera*、降香黄檀<sup>[2]</sup>*Dalbergia odorifera*等幼苗在生长、生理特性、光合特性、土壤养分的变化规律<sup>[11-13]</sup>。上述研究表明, 合理配方施肥能够在较短时间内促进植物生长, 提升苗木质量, 整体指标优于对照组, 但过量施肥将抑制苗木生长。

楸树 *Catalpa bungei* 被称为“木王”, 是一种名贵用材树种, 在绿化、观赏、建筑、医用等方面亦具应用价值<sup>[14]</sup>。不同树种苗木对养分需求不一致<sup>[15]</sup>, 已有研究表明, 单施氮肥能够促进楸树各个无性系幼苗的生长<sup>[16]</sup>, 适当氮、磷、钾配方施肥能够促进楸树苗无性系 1-4 生物量积累, 提高吸收效率<sup>[17]</sup>。合理的水肥配施, 能够提高楸树苗的光合生产力<sup>[18]</sup>。而楸树无性系 7080 在配方施肥下的生长特性和生理特性还未见报道。本文旨在探索配方施肥对楸树无性系 7080 幼苗生物量的积累和分配、幼苗及各器官氮磷钾分配以及施肥效率, 以期对楸树幼苗施肥、楸树人工林建设等方面提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究地区概况

试验设在甘肃省小陇山林业实验局林业科学

研究所苗圃, 海拔 1 160 m, 该地位于 105°54'E, 34°28'N。处亚热带和暖温带的过渡地带, 年降水量 600~800 mm, 年蒸发量 1 290 mm, 年平均气温 11.0 °C, 极端最高气温 39.0 °C, 极端最低气温 -19.2 °C, 全年降水集中于 5—9 月。4—9 月晴天日平均光照时数 11~14 h, 全年日照时数约 1 910 h。夏季最高光照强度 2 500  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 平均相对湿度 66.7%。

### 1.2 试验材料

试验材料为 2 年生楸树无性系 7080 组培苗, 在甘肃省天水市小陇山林业实验局林业科学研究所开展盆栽试验。2013 年 5 月 1 日选择生长状况良好的且长势相对一致的苗木 93 株。苗高为  $(36.5 \pm 0.55)$  cm, 地径为  $(4.96 \pm 0.08)$  mm。试验所采用的花盆规格为: 30 cm × 45 cm × 30 cm (上口径 × 高 × 底径), 每个花盆配有塑料托盘, 每个花盆装基质约 20 kg。基质是体积比为 4:6 的森林土和泥炭土, 理化性质: pH 值 7.47, 有机质 29.62  $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 全氮 1.55  $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 全磷 0.81  $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 全钾 18.68  $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 碱解氮 0.15  $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 有效磷 0.05  $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 速效钾 0.10  $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 容重 0.95  $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 。其中每盆栽植 1 株幼苗, 期间正常浇水。

### 1.3 研究方法

1.3.1 施肥方法 试验设置氮、磷、钾设 3 个因素, 采用完全随机区组设计。氮肥 [尿素, w (N) 为 46%] 设 10  $\text{g} \cdot \text{株}^{-1}$  和 12  $\text{g} \cdot \text{株}^{-1}$  2 个水平, 磷肥 [过磷酸钙, w ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) 为 12%] 设 6  $\text{g} \cdot \text{株}^{-1}$ 、12  $\text{g} \cdot \text{株}^{-1}$  和 18  $\text{g} \cdot \text{株}^{-1}$  3 个水平, 钾肥 [硫酸钾, w ( $\text{K}_2\text{O}$ ) 为 50%] 设 6  $\text{g} \cdot \text{株}^{-1}$  和 12  $\text{g} \cdot \text{株}^{-1}$  2 个水平。处理 CK10 和 CK12 分别为单施氮肥 10  $\text{g} \cdot \text{株}^{-1}$  和 12  $\text{g} \cdot \text{株}^{-1}$ , CK 为空白对照。共设置 15 个处理, 具体见表 1, 每个处理 6 次重复。

表1 无性系7080施肥方案

Tab.1 Schedules of fertilization for *Catalpa bungei*

处理 Treatment	施肥比例 Fertilizer proportion	施肥量 / (g · 株 <sup>-1</sup> ) Application rate		
		氮肥 N	磷肥 P	钾肥 K
T1	1:0.6:0.6	10	6	6
T2	1:0.6:1.2	10	6	12
T3	1:1.2:0.6	10	12	6
T4	1:1.2:1.2	10	12	12
T5	1:1.8:0.6	10	18	6
T6	1:1.8:1.2	10	18	12
T7	1.2:0.6:0.6	12	6	6
T8	1.2:0.6:1.2	12	6	12
T9	1.2:1.2:0.6	12	12	6
T10	1.2:1.2:1.2	12	12	12
T11	1.2:1.8:0.6	12	18	6
T12	1.2:1.8:1.2	12	18	12
CK		0	0	0
CK10		10	0	0
CK12		12	0	0

注: CK10、CK12 为单施 10、12 g 氮肥处理, CK 为空白处理。

Note: CK10 and CK12 were treated with 10 and 12 g nitrogen fertilizer, and CK was the blank treatment.

2013年5月7日将磷、钾肥作为基肥一次性施入。氮肥采用指数施肥模型:

$$N_t = N_s (e^{rt} - 1) - N_{t-1} \dots \dots \dots (1)$$

$$N_T = N_s (e^{rt} - 1) \dots \dots \dots (2)$$

其中,  $N_t$  为第  $t$  次施氮量,  $t$  为施肥次数,  $N_s$  为幼苗体内起始氮含量,  $r$  为氮素的相对增加量,  $N_{t-1}$  为包括  $t-1$  次施肥在内已施氮肥总量,  $N_T$  为总施氮量。

根据氮肥的 10 和 12 g · 株<sup>-1</sup> 2 个处理水平 (记作  $N_{10}$  和  $N_{12}$ )。施肥之前,  $N_s$  的初始值为 0.525,

带入公式计算得出每周施氮量, 如表 2 所示。

1.3.2 测定指标 在施肥之前 (2013 年 05 月 07 日) 随机选取 3 株楸树无性系 7080 幼苗进行破坏性取样; 约 4 个月后 (2013 年 09 月 02 日) 对楸树无性系 7080 幼苗的苗高、地径进行测定。同时, 每个处理再次选取 3 株生长状况相对一致的楸树苗木, 实行破坏性取样, 然后用尼龙网袋装好植株带土根系, 于实验室用去离子水冲洗。将上述楸树苗木分为叶、根、茎 3 个部分, 在烘箱中以 105℃ 杀青 30 min, 然后在 85℃ 的温度下烘干至恒重, 分别测定干物质含量并计算总生物量。粉碎之后, 过筛 (0.5 mm), 全氮、全磷、全钾均采用  $H_2SO_4-H_2O_2$  消煮, 全氮采用硫酸加速剂消煮—蒸馏法测定, 全磷采用氢氧化钠熔融—钼黄比色法测定, 全钾采用氢氧化钠熔融—火焰光度法测定<sup>[19]</sup>。按以下公式求得:

楸树无性系 7080 苗木根氮含量 = 生物量 × 根氮质量分数, 茎和叶磷、钾含量计算方式相同; 采用养分参数<sup>[20]</sup>, 计算氮、磷、钾的吸收及施肥效率:

施肥效率 = (施肥结束后总生物量 - 施肥前总生物量) / 施氮或 (磷、钾) 总量。

## 1.4 数据处理与分析

采用 SPSS 19.0 软件进行方差分析和 Duncan's 多重比较。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同施肥处理对苗木苗高和地径生长的影响

由表 3 可得, 配方施肥对楸树幼苗苗高、地径具有显著影响 ( $P < 0.05$ )。苗高、地径在 T1~T6、T7~T12 呈先升高后降低趋势, 分别在 T4、T10 处理取得峰值, 在 T10 取得最大值。苗高最大值为 (173.4 ± 5.56) cm, 分别为 CK、CK10、CK12 的 1.88 倍、1.39 倍、1.29 倍, 施肥期间平均增长 136.9 cm, 比初始苗高增长 3.75 倍, 而 CK 平均只增长了 55.8 cm、1.53 倍。地径最大值为

表2 无性系7080氮素指数施肥方案

Tab.2 Schedules of exponential fertilization for *Catalpa bungei* clones 7080

处理 Treatment	1周 Week 1	2周 Week 2	3周 Week 3	4周 Week 4	5周 Week 5	6周 Week 6	7周 Week 7	8周 Week 8	9周 Week 9	10周 Week 10	11周 Week 11	12周 Week 12
$N_{10}$	0.149	0.192	0.245	0.316	0.405	0.521	0.668	0.858	1.102	1.415	1.816	2.223
$N_{12}$	0.159	0.206	0.269	0.35	0.456	0.594	0.773	1.007	1.311	1.707	2.223	2.894

( $24.04 \pm 1.761$ ) mm, 分别为 CK、CK10、CK12 的 1.8 倍、1.27 倍、1.27 倍, 施肥期间平均增大 19.08 mm, 比初始地径增大 3.85 倍, 而 CK 平均只增大了 8.37 mm、1.69 倍。苗高、地径 T1~T12 处理 > CK12>CK10>CK。说明合理的配方施肥能够促进植物生长, 过量的配施抑制植物生长。配施对苗木生长的作用大于单施氮肥, 优于不施肥。

## 2.2 不同施肥处理对苗木生物量积累与分配的影响

施肥结束后, 不同处理间总生物量及生物量分配均差异显著 (表 4)。12 个处理中, 随着配施量的变化, 根、茎、叶的各部分生物量和总生物量均在 T1~T6、T7~T12 呈先上升后下降变化趋势, 分别在 T4 和 T10 处达到峰值。其中, T10 总生物量最高, 是 CK 的 2.6 倍、CK12 的 1.8 倍。单施氮肥处理 (CK10, CK12) 的总生物量明显低于氮、磷、钾配方施肥 (T1~T12)。在磷肥、钾肥施肥量不变的情况下, 施  $12 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$  氮肥 (T7~T12) 总生物量高于相应施  $10 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$  氮

肥 (T1~T6) 处理总生物量。在氮肥、钾肥施肥量一致的前提下, 总生物量为施钾肥  $12 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$  高于施钾肥  $6 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$ 。说明在一定范围内, 配方施肥能够显著增加楸树幼苗生物量, 且配方施肥对楸树幼苗生物量增长效果远远高于单施氮肥和不施肥。

由表 4 可以得出, 施氮量、施钾量对生物量分配无明显规律。氮、钾不变时, 随着施磷量的增加, 根、叶生物量占比呈先升高后降低趋势, 在  $12 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$  时达到峰值, 茎生物量占比呈先下降后上升趋势。说明施磷肥在一定范围内可影响楸树根、茎、叶生长量的分配。

从图 1 可见, 不同处理下, 苗木整株和根、茎、叶氮、磷、钾含量具有显著的差异 ( $P < 0.05$ )。T1~T6、T7~T12 处理下, 苗木整株和根、茎、叶氮、磷、钾含量先上升后下降, 均在 T4、T10 处达到峰值, 在 T10 处达到最大植。

根、茎、叶氮含量与植株规律处理为 T10[( $3.58 \pm 0.10$ )、( $1.04 \pm 0.02$ )、( $2.14 \pm 0.11$ )  $\text{g} \cdot \text{株}^{-1}$ ], 叶、

表 3 楸树不同施肥处理苗高和地径

Tab.3 The seedling height and diameter of *Catalpa bungei* under different fertilization formula

处理 Treatment	苗高 /cm Height	地径 /mm Ground diameter
T1	$147.1 \pm 5.8 \text{ e}$	$20.62 \pm 0.96 \text{ d}$
T2	$147.7 \pm 8.7 \text{ e}$	$20.79 \pm 0.69 \text{ e}$
T3	$158.7 \pm 6.4 \text{ h}$	$22.53 \pm 0.87 \text{ j}$
T4	$164.4 \pm 7.3 \text{ j}$	$22.70 \pm 1.60 \text{ k}$
T5	$143.8 \pm 7.0 \text{ d}$	$21.63 \pm 0.15 \text{ g}$
T6	$142.7 \pm 6.7 \text{ d}$	$20.84 \pm 0.65 \text{ f}$
T7	$154.8 \pm 8.4 \text{ g}$	$20.63 \pm 0.92 \text{ d}$
T8	$162.3 \pm 7.3 \text{ i}$	$21.85 \pm 0.15 \text{ h}$
T9	$169.7 \pm 5.8 \text{ k}$	$22.34 \pm 0.21 \text{ i}$
T10	$173.4 \pm 5.6 \text{ l}$	$24.04 \pm 1.76 \text{ l}$
T11	$149.5 \pm 8.3 \text{ f}$	$21.66 \pm 0.72 \text{ g}$
T12	$151.5 \pm 9.9 \text{ f}$	$21.87 \pm 0.93 \text{ h}$
CK10	$124.6 \pm 6.9 \text{ b}$	$18.86 \pm 0.38 \text{ b}$
CK12	$134.2 \pm 5.6 \text{ c}$	$18.96 \pm 0.76 \text{ c}$
CK	$92.3 \pm 4.7 \text{ a}$	$13.33 \pm 0.90 \text{ a}$

注: 同一列不同字母表示不同处理在  $P < 0.05$  水平上差异显著。表中值为平均值  $\pm$  标准差。

Note: different letters in the same column indicate significant difference in  $P < 0.05$ . The value in the table is the mean  $\pm$  s.d..

表4 不同施肥处理下楸树生物量积累与分配

Tab.4 The biomass allocation of *Catalpa bungei* seedling under different fertilization formula

处理 Treatment	根 Root		茎 Stem		叶 Leaf		总生物量 /g Total biomass
	生物量 / (g · 株 <sup>-1</sup> ) Biomass	占比 /% Proportion	生物量 / (g · 株 <sup>-1</sup> ) Biomass	占比 /% Proportion	生物量 (g · 株 <sup>-1</sup> ) Biomass	占比 /% Proportion	
T1	119.30 ± 4.38 e	43.80	68.35 ± 2.32 de	25.09	84.72 ± 2.81 cde	31.11	272.38 ± 4.54 f
T2	125.23 ± 3.62 ef	44.14	72.07 ± 3.58 ef	25.4	86.41 ± 3.08 def	30.46	283.72 ± 2.70 g
T3	150.85 ± 3.58 h	47.10	76.29 ± 2.86 fg	23.81	93.16 ± 2.60 ghi	29.09	320.30 ± 8.99 i
T4	168.93 ± 2.79 i	48.56	82.10 ± 2.14 hi	23.6	96.84 ± 2.97 i	27.84	347.87 ± 4.31 j
T5	106.93 ± 3.67 d	41.95	65.56 ± 2.68 d	25.72	82.41 ± 8.01 cd	32.33	254.90 ± 7.55 e
T6	101.96 ± 4.21 d	41.80	60.89 ± 3.38 c	24.97	81.05 ± 2.13 c	33.23	243.89 ± 5.74 d
T7	135.03 ± 5.33 g	44.81	74.90 ± 2.74 fg	24.86	91.39 ± 3.19 fgh	30.33	301.3 ± 8.42 h
T8	153.60 ± 5.06 h	47.09	78.59 ± 2.56 gh	24.1	93.98 ± 3.41 hi	28.81	326.17 ± 10.38 i
T9	184.00 ± 4.98 j	48.65	85.85 ± 1.82 ij	22.7	108.36 ± 2.90 j	28.65	378.21 ± 6.78 k
T10	192.62 ± 5.45 k	48.27	90.08 ± 2.65 j	22.57	116.36 ± 3.58 k	29.16	399.06 ± 4.34 l
T11	127.71 ± 4.54 f	44.96	68.78 ± 2.79 de	24.22	87.55 ± 3.23 def	30.82	284.04 ± 6.96 g
T12	130.22 ± 4.52 fg	44.81	71.94 ± 2.34 ef	24.75	88.47 ± 2.15 efg	30.44	290.63 ± 5.12 g
CK10	78.63 ± 1.97 c	38.39	52.80 ± 2.19 b	25.77	73.40 ± 2.91 b	35.84	204.83 ± 2.45 b
CK12	85.91 ± 3.01 a	39.39	56.23 ± 2.88 b	25.77	75.99 ± 3.67 b	34.84	218.13 ± 8.20 c
CK	65.06 ± 3.27 b	42.27	38.57 ± 2.24 a	25.06	50.28 ± 1.64	32.67	153.91 ± 1.23 a

注：同一列不同字母表示不同处理在  $P < 0.05$  水平上差异显著。表中值为平均值 ± 标准差。

Note: different letters in the same column indicate significant difference in  $P < 0.05$ . The value in the table is the mean ± s.d..

茎、根氮含量为 CK 的 4.5、9.4、7.1 倍。施氮肥量相同处理间，氮含量也有显著差异。由此可得，楸树苗木氮含量受不同氮、磷、钾肥配方施肥影响较大。根的磷含量最高处理为 T10 [(0.43 ± 0.02) g · 株<sup>-1</sup>]，是 CK [(0.06 ± 0.00) g · 株<sup>-1</sup>] 的 7.2 倍。说明 T10 处理最适宜楸树苗木整株及根、茎、叶积累养分。

### 2.3 不同施肥处理对苗木施肥效率的影响

由表 5 可知，不同处理间氮、磷、钾存在显著性差异。氮肥施肥效率随不同施肥配方的变化，在 T1~T6、T7~K12 呈现先升后降的趋势，分别在 T4、T10 处取得峰值，在 T10 处取得最大值，10 g · 株<sup>-1</sup> 与 12 g · 株<sup>-1</sup> 处理间无显著差异。磷肥施肥效率：6 g · 株<sup>-1</sup> 处理 > 12 g · 株<sup>-1</sup> 处理 > 18 g · 株<sup>-1</sup> 处理，T6 施肥效率最低，T8 最高。钾肥施肥效率：6 g · 株<sup>-1</sup> 处理 > 12 g · 株<sup>-1</sup> 处理，T9 最高。氮肥、钾肥、磷肥分别在 T10、T8、T9 处施肥效率最高，对应施肥量为（氮：磷：钾 = 12 g : 6 g : 12 g）。综上，T8 的施肥效率最高。

表5 不同施肥处理对楸树苗木氮磷钾施肥效率的影响

Tab.5 Effects of nitrogen, phosphorus and potassium utilization efficiency of *Catalpa bungei* seedling under different fertilization formula

处理 Treatment	施肥效率 / (g · g <sup>-1</sup> ) Fertilization efficiency		
	N	P	K
T1	25.19 ± 0.45 c	41.98 ± 0.45 c	41.98 ± 0.76 g
T2	26.30 ± 0.27 d	43.83 ± 0.27 d	21.92 ± 0.23 b
T3	30.16 ± 0.90 e	25.13 ± 0.93 b	50.26 ± 1.50 j
T4	30.83 ± 0.43 g	27.36 ± 0.43 g	27.36 ± 0.36 d
T5	23.50 ± 0.76 b	13.06 ± 0.76 b	39.17 ± 1.26 f
T6	22.33 ± 0.57 a	12.40 ± 0.57 a	18.61 ± 0.48 a
T7	23.45 ± 0.70 b	46.90 ± 0.70 ba	46.90 ± 1.40 i
T8	25.44 ± 0.87 cd	50.89 ± 1.73 j	25.44 ± 0.87 c
T9	29.84 ± 0.56 e	29.84 ± 0.56 e	59.68 ± 1.13 k
T10	31.62 ± 0.36 f	31.62 ± 0.36 f	31.62 ± 0.36 e
T11	22.58 ± 0.58 a	14.69 ± 0.58 a	44.08 ± 1.16 h
T12	22.04 ± 0.43 ab	15.06 ± 0.43 a	22.58 ± 0.43 b

注：同一列不同字母表示不同处理在  $P < 0.05$  水平上差异显著。表中值为平均值 ± 标准差。

Note: different letters in the same column indicate significant difference in  $P < 0.05$ . The value in the table is the mean ± s.d..

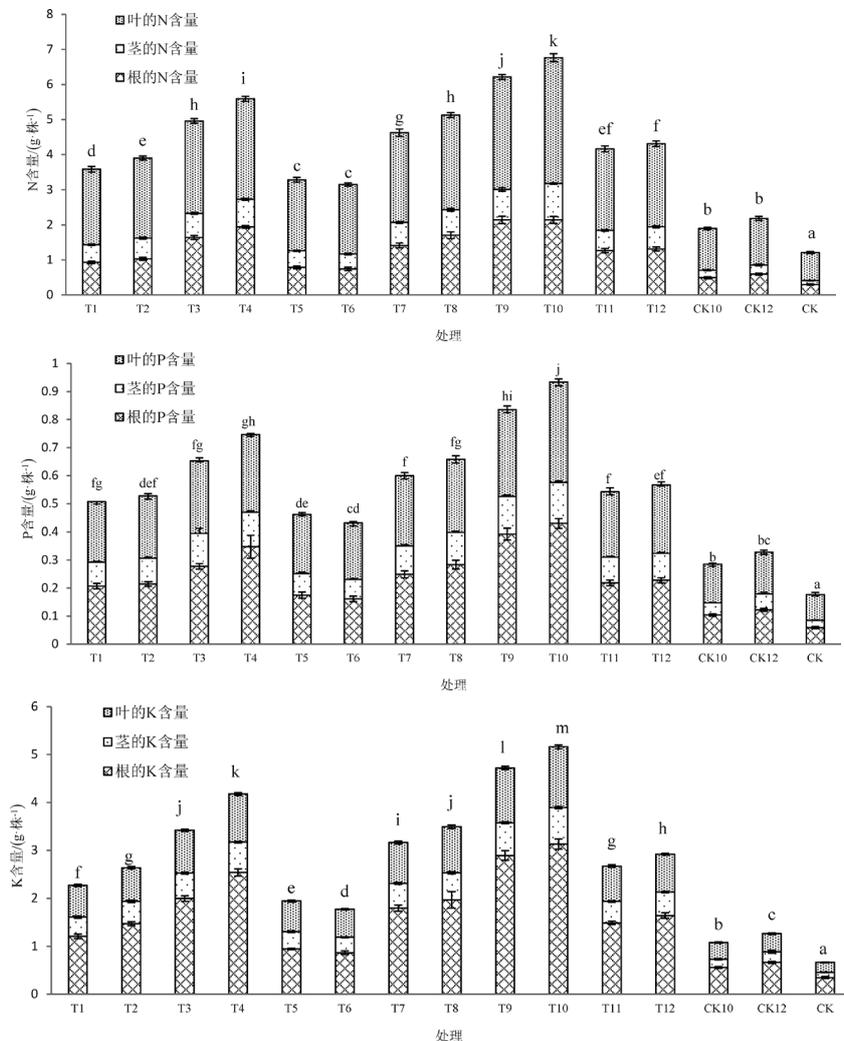


图 1 不同施肥处理下楸树苗木根、茎、叶氮、磷、钾含量

Fig.1 The distribution of nitrogen, phosphorus, potassium in *Catalpa bungei* seedling under different fertilization formula

### 3 讨论与结论

3.1 配方施肥显著促进楸树幼苗苗高、地径积累, 施肥效果: 配方施肥 > 单施氮肥 > 不施肥。这与程勇等<sup>[1]</sup>在青冈栎幼苗配方施肥研究结果一致。苗木生长促进作用高氮处理 > 低氮处理, 中磷处理 > 低磷、高磷处理, 高钾处理与低钾处理无明显规律, 说明高氮中磷配比对楸树幼苗生长促进效果更佳, 这与王力朋等<sup>[21]</sup>对楸树 4 个无性系设置 4 个氮素处理的结果一致。合理的配方施肥可让苗木达到最好的生长效果, 一味增加施肥量将适得其反。本研究在氮素水平设置上存在一定局限, 未达到不同氮素处理下生长和生物量的极限值, 今后探索中, 建议增加施氮量处理。

3.2 根、茎、叶及总生物量在 T1~T6、T7~T12 呈先升后降趋势, 在 T10 达到最大值。这与张卫

强等<sup>[22-23]</sup>在银叶树 *Heritiera littoralis*、马来沉香 *Aquilaria malaccensis*、土沉香 *A. sinensis* 的苗期施肥生长规律一致。在 T10 处理下, 苗木生物量积累和分配最佳, 且苗高、地径也达到最大水平。该结果与白晶晶等<sup>[24]</sup>在楸树无性系 1-4 不同配方处理下苗木生物量积累、分配、养分分配结果一致, 说明该施肥配方适用于各个楸树无性系幼苗。满足了本文探索楸树无性系 7080 幼苗最佳施肥配比的初衷, 对实际生产具有很强的指导意义。同时, 配方施肥的效果优于单施氮肥, 这与朱丛飞等<sup>[25]</sup>在油茶幼苗配方施肥结果一致, 配方施肥对油茶苗木生长促进作用显著优于缺素处理。

3.3 本研究结果表明了适量配方施肥促进楸树苗木及各器官养分积累, 过量反而抑制<sup>[26-27]</sup>。不同施肥处理下, 楸树无性系苗木和各器官氮磷钾积累与生物量、生长指标规律一致, 配方施肥苗木

氮磷钾积累量大于单施氮肥和不施肥,这与陈祖静等<sup>[9]</sup>在不同配方施肥处理下的辣木养分积累变化趋势一致。不同施肥处理下,楸树幼苗根、茎、叶养分分配有一定差异。楸树幼苗各器官氮钾含量:叶>根>茎,磷含量:叶、根>茎,说明了在施肥过程中,楸树幼苗叶片积累了主要氮、钾肥,配施肥料参与了苗木生长生理过程。在T10处理处楸树苗木氮磷钾含量最高。说明T10处理是楸树苗木养分积累的最佳配方。

综上所述,施肥显著影响楸树无性系7080幼苗苗高、地径、生物量、养分积累和分配及施肥效率。楸树无性系7080幼苗苗高地径生长、根茎叶及总生物量、根茎叶及苗木养分积累(氮、磷、钾积累)分别在T1~T6、T7~T12呈先升高后降低的趋势,均在T10处理处取得最大值。施肥效率在T8处取得最佳值。因此,楸树无性系幼苗适宜的施肥量为T10(氮:磷:钾=12:12:12 g·株<sup>-1</sup>)。

### 参考文献

- [1] 程勇, 吴际友, 刘球, 等. 氮磷钾施肥对比对青冈栎幼苗生长的影响[J]. 中南林业科技大学学报, 2018, 38(6): 71-74.
- [2] 王楠, 王宏信, 李向林, 等. 施肥对降香黄檀幼苗生长和光合的影响[J]. 东北林业大学学报, 2017, 45(1): 25-29.
- [3] 胡厚臻, 侯文娟, 潘启龙, 等. 配方施肥对刨花润楠幼苗生长和光合生理的影响[J]. 西北林学院学报, 2015, 30(6): 39-45.
- [4] 刘俏, 林勇, 胡小飞, 等. 氮磷肥调控茶树锌硒等微量元素吸收与分配[J]. 生态学报, 2021, 41(2): 1-8.
- [5] 陈祖静, 高尚坤, 陈园, 等. 短期施肥对桉树人工林土壤真菌群落结构及功能类群的影响[J]. 生态学报, 2020, 40(11): 3813-3821.
- [6] 朱丛飞, 华思德, 冯杰, 等. 不同氮磷钾配方施肥对油茶幼苗生长及土壤养分含量的影响[J]. 福建农业学报, 2017, 32(6): 613-618.
- [7] 陆秀君, 葛根塔娜, 梅梅, 等. N、P、K配比施肥对美国红枫幼苗生长及叶色变化的影响[J]. 中南林业科技大学学报, 2015, 35(5): 9-15.
- [8] 付晓凤, 王莉娜, 朱原, 等. 不同施肥处理对海南风吹楠幼苗生长及生理特性影响[J]. 植物科学学报, 2018, 36(2): 273-281.
- [9] 陈祖静, 高晓翠, 周玮, 等. 不同施肥量对辣木幼苗生长、光合和养分特征的影响[J]. 林业与环境科学, 2019, 35(2): 35-42.
- [10] 邵蕊, 赵苗苗, 赵芬, 等. 施肥对油茶园土壤呼吸和异养呼吸及其温度敏感性的影响[J]. 生态学报, 2018, 38(7): 2315-2322.
- [11] 常冀原, 张斌, 许琪, 等. 氮、磷、钾对江南油杉形态及生理变化的影响[J]. 中南林业科技大学学报, 2015, 35(5): 46-50.
- [12] 胡厚臻, 侯文娟, 潘启龙, 等. 配方施肥对刨花润楠幼苗生长和光合生理的影响[J]. 西北林学院学报, 2015, 30(6): 39-45.
- [13] 张金浩, 周再知, 杨晓清, 等. 氮素营养对肯氏南洋杉幼苗生长、根系活力及氮含量的影响[J]. 林业科学, 2014, 50(2): 31-36.
- [14] 卢正才. 楸树良种无性系育苗造林技术探讨[J]. 种子科技, 2019, 37(18): 76-79.
- [15] BOONMAN C C F, LANGEVELDE F V, OLIVERAS I, et al. On the importance of root traits in seedlings of tropical tree species[J]. New Phytologist, 2020, 227(1): 156-167.
- [16] 王力朋, 晏紫伊, 李吉跃, 等. 氮素指数施肥对3个楸树无性系光合特性的影响[J]. 林业科学研究, 2013, 26(1): 46-51.
- [17] 白晶晶, 吴俊文, 何茜, 等. 不同配方施肥对楸树幼苗生物量分配及养分利用的影响[J]. 华南农业大学学报, 2015, 36(6): 91-97.
- [18] 邱权, 李吉跃, 王军辉, 等. 水肥耦合效应对楸树苗期叶片净光合速率和SPAD值的影响[J]. 生态学报, 2016, 36(11): 3459-3468.
- [19] 孙冬晓, 杨旗, 赵正勇, 等. 云浮市森林土壤养分垂直分布模型的构建[J]. 林业与环境科学, 2020, 36(1): 1-8.
- [20] ROBERTS T L. Improving nutrient use efficiency[J]. Turkish Journal of Agriculture & Forestry, 2006, 32(3): 177-182.
- [21] 王力朋, 晏紫伊, 李吉跃, 等. 指数施肥对楸树无性系生物量分配和根系形态的影响[J]. 生态学报, 2012, 32(23): 7452-7462.
- [22] 张卫强, 黄芳芳, 甘先华, 等. 施肥对银叶树幼苗生长及光合特性的影响[J/OL]. 广西植物: 1-9[2021-04-25]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/45.1134.Q.20201009.1437.002.html>.
- [23] 何茜, 王冉, 李吉跃, 等. 不同浓度指数施肥方法下马来沉香与土沉香苗期需肥规律[J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 18(5): 1193-1203.
- [24] 白晶晶, 吴俊文, 何茜, 等. 不同配方施肥对楸树幼苗生物量分配及养分利用的影响[J]. 华南农业大学学报, 2015, 36(6): 91-97.
- [25] 朱丛飞, 华思德, 冯杰, 等. 不同氮磷钾配方施肥对油茶幼苗生长及土壤养分含量的影响[J]. 福建农业学报, 2017, 32(6): 613-618.
- [26] RUBILAR R A, ALBAUGH T J, LEE A H, et al. Influences of silvicultural manipulations on above- and belowground biomass accumulations and leaf area in young *Pinus radiata* plantations, at three contrasting sites in Chile[J]. Forestry, 2013(1): 27-38.
- [27] 何茜, 丁晓纲, 王冉, 等. 指数施肥下黑木相思根系特征值的动态变化[J]. 广东林业科技, 2011, 27(5): 1-6.