

文章编号:1001-1498(2013)01-0046-06

氮素指数施肥对3个楸树无性系光合特性的影响

王力朋¹, 晏紫伊¹, 李吉跃^{1*}, 王军辉², 何 茜¹, 苏 艳¹, 董菊兰³

(1. 华南农业大学林学院, 广东 广州 510642; 2. 中国林业科学研究院林业研究所, 国家林业局林木培育重点实验室, 北京 100091;
3. 甘肃省小陇山林业科学研究所, 甘肃 天水 741022)

摘要:为探究楸树不同无性系的光合特性和确定最适施氮量,以3个楸树无性系(1-4、7080、015-1)为材料,研究了4种氮素指数施肥处理楸树无性系光合特性的变化。结果表明:(1)在6、7、8月份,3个楸树无性系施氮处理的净光合速率、蒸腾速率和气孔导度均高于对照;无性系1-4、7080、015-1的净光合速率比对照分别上升36.63%~89.66%、9.35%~70.87%、14.92%~66.12%;在7、8月份,无性系1-4、7080、015-1施氮处理的水分利用效率比对照分别增加30.14%~57.38%、19.05%~53.85%、12.69%~47.54%。(2)3个无性系的光合参数在6、7月随着施氮量的增加而增大;而在8月则随着施氮量的增加而呈现“升~降”的趋势。(3)施氮量(尿素)为10 g·株⁻¹的效果最好,无性系1-4、7080、015-1在8月的净光合速率和水分利用效率分别为13.76、17.36、12.82 μmol·m⁻²·s⁻¹、3.84、4.60、3.60 μmol·mmol⁻¹。无性系7080的光合能力和水分利用效率高于无性系1-4和015-1。

关键词:楸树;氮素;指数施肥;光合特性

中图分类号:S723.7

文献标识码:A

Effects of Nitrogen Exponential Fertilization on Photosynthetic Characteristics of Three *Catalpa bungei* Clones

WANG Li-peng¹, YAN Zi-yi¹, LI Ji-yue¹, WANG Jun-hui², HE Qian¹, SU Yan¹, DONG Ju-lan³

(1. College of Forestry, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, Guangdong, China;

2. Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry, Key Laboratory of Tree Breeding and Cultivation, State Forestry Administration, Beijing 100091, China; 3. Xiaolongshan Forestry Science and Technology Research Institute of Gansu, Tianshui 741022, Gansu, China)

Abstract: In order to understand the photosynthetic physiological characteristics of different *Catalpa bungei* clones and to determine the optimum nitrogen rate, three *Catalpa bungei* clones (1-4, 7080, and 015-1) were used to study the dynamic changes of photosynthetic characteristics under four levels of exponential fertilization. The results showed that: (1) The net photosynthetic rate, transpiration rate and the stomatal conductance of the three *C. bungei* clones by nitrogen treatment were higher than that of the CK in three months. The net photosynthetic rate of clones 1-4, 7080, and 015-1 were 36.63% - 89.66%, 9.35% - 70.87%, and 14.92% - 66.12% higher than that of the CK. The water use efficiencies of clones 1-4, 7080, and 015-1 in July and August were 30.14% - 57.38%, 19.05% - 53.85%, and 12.69% - 47.54% higher compared with that of the CK. (2) The photosynthetic parameters of clones 1-4, 7080, and 015-1 in June and July increased with the increasing of nitrogen application rate, and showed the trend of “up-down” in August. (3) Various exponential fertilization could promote the photosynthetic capacity of *C. bungei* clones, and the effects of 10 g urea · plant⁻¹ were the best. In August, the net photosynthetic rates and water use efficiencies of clones 1-4, 7080, and 015-1 were 13.76, 17.36, and 12.82 μmol · m⁻² · s⁻¹,

收稿日期:2012-03-04

基金项目:国家“十二五”科技支撑项目“楸树和赤皮青冈珍贵用材林定向培育技术研究与示范”(2012BAD21B03)

作者简介:王力朋(1985—),男,硕士研究生,主要从事桉树和楸树的施肥研究,E-mail:345668573@qq.com

* 通讯作者:教授,博士生导师,E-mail:ljjymy@vip.sina.com

3.84, 4.60, and 3.60 $\mu\text{mol} \cdot \text{mmol}^{-1}$. The photosynthetic capacity and water use efficiency of clone 7080 were better than that of clone 1-4 and 015-1.

Key words: *Catalpa bungei*; nitrogen; exponential fertilization; photosynthetic characteristics

苗木培育中,主要通过施肥来提高苗木质量,不同施肥方法的养分利用效率具有高低差异,如何提高苗木的养分利用效率是目前研究的重点^[1]。指数施肥是近几年稳态营养理论的重要研究方向;它是根据幼苗指数生长的养分需求,增加施肥量,从而诱导出稳定态养分;与传统施肥相比,指数施肥的施肥次数、时间和树种的生长节律一致,使植物充分吸收利用,使植物最终在体内形成养分的储藏和养分库的建立;指数施肥侧重于控制单次施肥量对苗木生长和养分吸收的重要作用^[2],能够满足植物不同生长阶段的养分需求,提高养分利用效率,增强生存竞争力,节约肥料,避免肥料过量对土壤造成的污染^[3-4]。

楸树(*Catalpa bungei* C. A. Mey)为紫葳科梓树属,适应性强,分布范围广,是我国传统栽培的优质珍贵用材树种和著名园林观赏树种^[5]。我国对楸树的生物学特性、种质资源现状、良种选育、扦插繁殖、造林技术等方面都开展了相应的研究^[6],但国内外对于楸树施肥的研究并不多,生产中一般凭借田间经验,缺乏对施肥方法、施肥量和肥料配比等方面的综合研究。因此,亟需加大对楸树施肥的研究,从而有利于实现楸树的定向培育,形成配套的栽培技术体系。一些学者对楸树的光合特性进行了相关的研究,孙岷等^[7]对江淮地区引种的4种楸树生长初期的光合生理特性进行了研究,认为长果楸、密毛灰楸、灰楸和光叶楸的光饱和点均为 $1\ 200\ \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,光补偿点分别为53.34、64.82、66.74、98.91 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$;吴春林等^[8]的研究表明,植于低山丘陵地的楸树不同品种幼树的生长及生理特性的净光合速率存在显著差异;王改萍等^[9]研究表明,水分胁迫下楸树各品种的净光合速率、蒸腾速率、气孔导度和胞间 CO_2 浓度均降低;王臣等^[10]的研究发现,盐胁迫下3个楸树无性系的净光合速率随盐浓度的升高明显降低,净光合速率的最大值都出现在8:00,然而施肥对楸树无性系光合特性的影响至今鲜见报道。

氮素是植物体内叶绿素、蛋白质、核酸和部分激素的重要组成部分,是影响植物正常生长发育的重要养分因子^[11]。植物叶片大约75%的氮素存在于叶绿体^[12],叶片氮含量与光合能力线性正相关^[13],

因此,氮素对植物的影响与光合作用直接有关。施氮后植物叶绿素含量增加,叶片吸光强度和叶肉细胞光合活性的增强,最终使净光合速率增加,从而促进植株生物量的积累^[14]。本试验采用指数施肥方法,研究不同氮素处理下楸树不同无性系光合特性的变化,以期探求楸树无性系光合特性对不同氮素水平的响应差异,进而确定最佳施氮量,为楸树精准施肥和速生丰产提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于甘肃省天水市小陇山林业科学研究所的温室大棚,105°54' E,34°28' N,海拔约1 160 m。属温带半湿润季风气候,年均降水量约600~800 mm,年均蒸发量约1 290.0 mm,年均气温约10.7℃,无霜期约190 d。

1.2 试验材料

试验材料来自小陇山林业科学研究所苗圃,选取生长相对一致的2年生楸树无性系1-4、7080和015-1组培苗各48株。2011年3月采用35 cm×35 cm×30 cm(底径×上口径×高)的花盆,每盆植1株。为了防止水肥流失,每个花盆配有塑料托盘;盆内套有双层白色塑料袋。基质为体积比为7:3的森林土和泥炭土,pH值6.20,有机质74.44 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$,全氮3.03 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$,全磷1.47 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$,全钾20.29 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$,碱解氮325.36 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,有效磷131.88 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,速效钾372.94 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,土壤密度0.96 $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$,总孔隙度63.64%。每个花盆约装基质20 kg。待缓苗至5月开始施肥试验。施肥前,无性系1-4、7080和015-1的苗高分别为(26.11±0.60)、(26.91±0.44)、(26.95±0.43) cm,地径分别为(4.99±0.07)、(5.44±0.06)、(5.28±0.06) mm。正常浇水管理。

1.3 试验设计

采用指数施肥模型^[15-16]:

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

式(1)中: N_t 为第 t 次的施肥量, N_s 为施肥前苗木体内的氮含量, N_{t-1} 为包括第 $t-1$ 次施肥在内的氮素总量^[17], t 为施肥总次数, r 为氮素的相对增

加率。

$$NT = N_s(e^t - 1) \quad (2)$$

式(2)中, NT 为 t 次施肥后苗木氮素含量。试验前取9株楸树,洗净、烘干、研磨、过筛后进行全氮含量的测定,计算出平均氮含量为 $431 \text{ mg} \cdot \text{株}^{-1}$, $N_s = 431 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$ 。设置0(CK,对照)、6、10、14 $\text{g} \cdot \text{株}^{-1}$ 尿素4个处理,每个处理12株。从5月27日开始施肥,每周施肥1次,到8月12日

结束,不同时间的施肥量见表1。过磷酸钙、硫酸钾分别为10、5 $\text{g} \cdot \text{株}^{-1}$,均作底肥在第1次施肥时施入。具体方法是:用小铲在植株的东、西、南、北4个方位挖1个深度为10 cm的小洞,然后将过磷酸钙等量施入后埋平。尿素和硫酸钾是按处理溶于水(确保完全溶解),然后用烧杯对同一处理的苗木进行等量浇灌。

表1 不同时间3个楸树无性系的氮素指数施肥量

处理	施氮(尿素)量/($\text{g} \cdot \text{株}^{-1} \cdot \text{周}^{-1}$)												总量
	1周	2周	3周	4周	5周	6周	7周	8周	9周	10周	11周	12周	
CK	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
N-6	0.109	0.136	0.170	0.214	0.268	0.336	0.421	0.527	0.660	0.827	1.035	1.297	6
N-10	0.131	0.171	0.223	0.291	0.379	0.494	0.645	0.841	1.097	1.430	1.865	2.433	10
N-14	0.146	0.196	0.263	0.352	0.472	0.633	0.848	1.136	1.522	2.039	2.732	3.661	14

注:CK、N-6、N-10、N-14各处理的施入尿素总量分别为0、6、10、14 $\text{g} \cdot \text{株}^{-1}$,下同。

1.4 指标测定

在6月26日(第4周)、7月21日(第8周)、8月17日(第12周)(晴朗天气)9:30—11:00,用Li-co-6400便携式光合作用分析系统(美国)进行光合指标的测定,红蓝光源,光强 $1200 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,叶室温度约 $25 \sim 30 \text{ }^\circ\text{C}$,湿度约60%,大气 CO_2 浓度约 $400 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。测定参数主要有净光合速率($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)、蒸腾速率($\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)、气孔导度($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)等,并计算瞬时水分利用效率($\mu\text{mol} \cdot \text{mmol}^{-1}$) = 净光合速率/蒸腾速率。每个处理取3株,每株取3片植株中部向南的功能叶。

1.5 数据处理

试验数据表示为平均值 \pm 标准误差,用Excel

2003对试验数据进行统计分析和绘图,并用SPSS 13.0进行方差分析和Duncan多重比较。

2 结果与分析

2.1 指数施肥对3个楸树无性系净光合速率的影响

图1表明:3个楸树无性系6月和7月的净光合速率随着施氮量的增大而增大,N-14处理的都最大,6月N-14处理的无性系1-4、7080、015-1的净光合速率分别为15.21、14.09、14.31 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,是CK的1.56、1.20、1.29倍,7月则分别为11.74、11.24、10.15 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,是CK的1.90、1.39、1.66倍。6月和7月楸树无性系的净光合速率随施氮量的增加而提高。

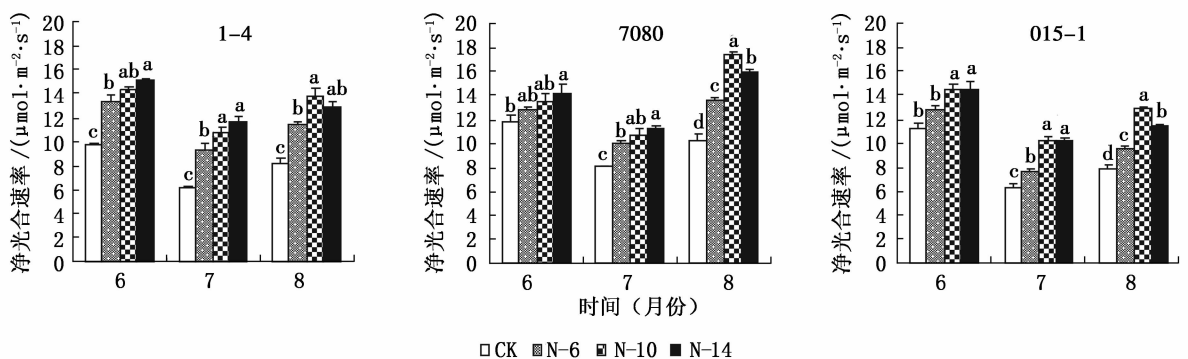


图1 指数施肥对3个楸树无性系净光合速率的影响(注:不同小写字母表示同一无性系同月份不同处理间差异显著($P < 0.05$),下同。)

3个楸树无性系的净光合速率在8月均随施氮量增加呈现先升高后下降的趋势,N-10处理的净光合速率均达到峰值。不同处理的无性系7080净光合速率(10.16、13.47、17.36、15.92($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$))分别大于无性系1-4(8.17、11.49、13.76、12.87($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$))和015-1(7.79、9.47、12.82、11.26($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)),说明无性系7080的净光合速率高于无性系1-4和015-1。多重比较(图1)发现:在6—8月,N-6、N-10、N-14处理的无性系1-4的净光合速率均显著高于对照。对无性系7080的蒸腾速率而言,在6月,N-14处理的效果最好,显著高于对照;在7月,也是N-14处理的效果最好,均高于N-6和对照;在8月,N-10处理的效果最好,3个处理的效果均显著高于对照。对无性系015-1蒸腾速率而言,在6—8月,N-10、N-14处理的效果均显著比N-6和对照的好。

2.2 指数施肥对3个楸树无性系蒸腾速率的影响

由表2可得:3个楸树无性系在6月和7月蒸腾速率均随着施氮量的增大而增大;8月的蒸腾速率均随施氮量的增加呈现“升~降”的趋势,都是尿素

施用量 $10 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$ 的最大,分别为3.58、3.77、3.58 $\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,比CK提高了6.87%、10.56%、12.23%。说明适量施氮有利于提高楸树无性系的蒸腾速率,过量却抑制了楸树无性系的蒸腾速率。无性系7080在8月各种施氮处理的蒸腾速率均比无性系1-4和015-1相同处理的高。

在6月N-6、N-10、N-14处理的无性系1-4蒸腾速率均显著高于CK($2.50 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$),而在7月,N-14处理效果显著高于对照,其余处理的差异不显著;在8月,4个处理的效果也均不显著。对无性系7080的蒸腾速率而言,在6月,N-14处理效果显著高于对照,其余处理的差异不显著;在7月,N-14处理的效果均显著高于其他3个处理;在8月,3个施肥处理的效果均显著高于对照。对无性系015-1的蒸腾速率而言,在6月,N-14处理显著高于对照和N-6;在7月,N-10、N-14处理显著高于对照;在8月,N-10处理的效果最好,显著高于CK。

2.3 指数施肥对3个楸树无性系水分利用效率的影响

由图2知:3个楸树无性系在6月的水分利用效率随着施氮量的增大而降低(除1-4的N-14大于N-10外),其中,1-4在N-10的水分利用效率比CK($3.90 \mu\text{mol} \cdot \text{mmol}^{-1}$)下降了24.62%;7月水分利用效率随着施氮量的增加而增加(除7080的N-10大于N-14外),特别是1-4在N-14的水分利用效率比CK($2.19 \mu\text{mol} \cdot \text{mmol}^{-1}$)升高了51.60%;8月水分利用效率均随施氮量的增加呈现先上升后下降的趋势,都是N-10的最大,分别为3.84、4.60、3.60 $\mu\text{mol} \cdot \text{mmol}^{-1}$,比CK上升了57.38%、53.85%、47.54%,说明适量施氮有利于提高楸树无性系的水分利用效率,施氮过量则使其水分利用效率降低。8月7080各个处理的水分利用效率均大于1-4和015-1的相应处理。

表2 指数施肥对3个楸树无性系蒸腾速率的影响

无性系	处理	$\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$		
		6月	7月	8月
1-4	CK	2.50 ± 0.12b	2.87 ± 0.26b	3.35 ± 0.07a
	N-6	4.01 ± 0.30a	3.32 ± 0.28ab	3.42 ± 0.12a
	N-10	5.00 ± 0.53a	3.41 ± 0.10ab	3.58 ± 0.07a
	N-14	5.03 ± 0.40a	3.54 ± 0.05a	3.51 ± 0.08a
7080	CK	2.62 ± 0.28b	3.50 ± 0.11b	3.41 ± 0.05b
	N-6	2.94 ± 0.15ab	3.62 ± 0.06b	3.67 ± 0.02a
	N-10	3.31 ± 0.26ab	3.74 ± 0.13b	3.77 ± 0.03a
	N-14	4.07 ± 0.57a	4.04 ± 0.03a	3.70 ± 0.06a
015-1	CK	2.84 ± 0.06c	3.09 ± 0.14b	3.19 ± 0.05b
	N-6	3.39 ± 0.33bc	3.39 ± 0.07ab	3.29 ± 0.02ab
	N-10	3.96 ± 0.23ab	3.67 ± 0.10a	3.58 ± 0.18a
	N-14	4.30 ± 0.04a	3.63 ± 0.05a	3.40 ± 0.13ab

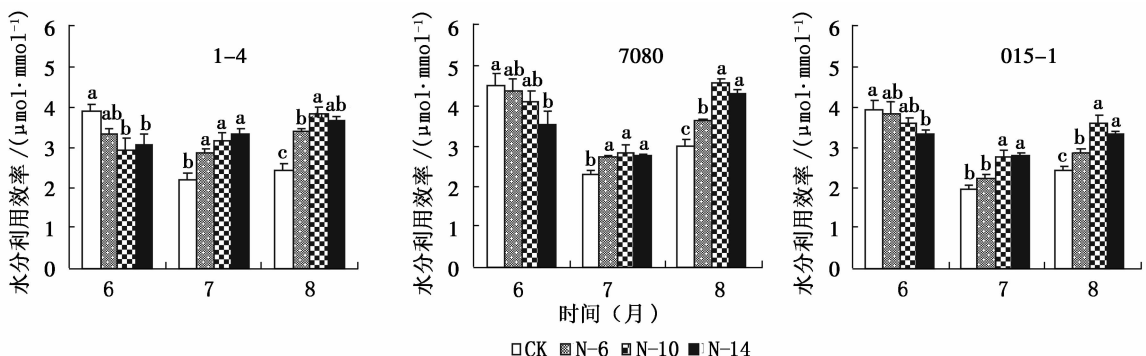


图2 指数施肥对不同时间3个楸树无性系水分利用效率的影响

对无性系 1-4 水分利用效率而言,在 6 月, N-14 与 N-10 处理的效果不显著,而且显著低于对照;在 7、8 月,3 个施肥处理的效果均高于对照。对无性系 7080 的水分利用效率而言,在 6 月,对照的水分利用效率最高, N-14 的最低;在 7、8 月,3 个施肥处理的效果均高于对照。对无性系 015-1 的水分利用效率而言,在 6 月,对照的水分利用效率最高, N-14 的最低;在 7、8 月, N-14 与 N-10 处理的效果均比对照和 N-6 的好。

2.4 指数施肥对 3 个楸树无性系气孔导度的影响

表 3 可知:3 个楸树无性系 6 月和 7 月气孔导度随着施氮量的增加而增大,8 月气孔导度均随施氮量的增加而先升后降,都是施 $10 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$ 尿素的最大,分别为 0.37 、 0.43 、 $0.36 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,比 CK 上升了 15.63%、26.47%、24.14%。8 月 7080 各处理的气孔导度分别高于 1-4 和 015-1 的相应处理。多重比较(表 3)表明:在 6、7 月, N-14 与 N-10 处理对无性系 1-4 和 7080 气孔导度的影响均与 CK 显著。在 6 月,各处理对无性系 015-1 气孔导度的影响均不显著;在 7 月, N-10、N-14 处理均与 CK 的差异显著。在 8 月, N-10 与 N-14 对无性系 1-4 气孔导度的影响均与 CK 显著, N-10 对无性系 7080 和 015-1 气孔导度的影响均与 CK 显著。

表 3 指数施肥对 3 个楸树无性系气孔导度的影响

		$\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$		
无性系	处理	6 月	7 月	8 月
1-4	CK	$0.17 \pm 0.01\text{c}$	$0.17 \pm 0.02\text{b}$	$0.32 \pm 0.01\text{b}$
	N-6	$0.35 \pm 0.01\text{b}$	$0.30 \pm 0.05\text{ab}$	$0.34 \pm 0.01\text{ab}$
	N-10	$0.41 \pm 0.01\text{a}$	$0.30 \pm 0.04\text{ab}$	$0.37 \pm 0.01\text{a}$
	N-14	$0.42 \pm 0.02\text{a}$	$0.35 \pm 0.02\text{a}$	$0.36 \pm 0.01\text{a}$
7080	CK	$0.18 \pm 0.01\text{b}$	$0.39 \pm 0.02\text{c}$	$0.34 \pm 0.02\text{b}$
	N-6	$0.24 \pm 0.01\text{ab}$	$0.46 \pm 0.04\text{bc}$	$0.40 \pm 0.01\text{a}$
	N-10	$0.27 \pm 0.02\text{a}$	$0.51 \pm 0.03\text{ab}$	$0.43 \pm 0.01\text{a}$
	N-14	$0.29 \pm 0.03\text{a}$	$0.57 \pm 0.03\text{a}$	$0.41 \pm 0.01\text{a}$
015-1	CK	$0.24 \pm 0.02\text{a}$	$0.30 \pm 0.03\text{b}$	$0.29 \pm 0.01\text{c}$
	N-6	$0.27 \pm 0.02\text{a}$	$0.37 \pm 0.03\text{ab}$	$0.31 \pm 0.01\text{bc}$
	N-10	$0.28 \pm 0.04\text{a}$	$0.44 \pm 0.00\text{a}$	$0.36 \pm 0.01\text{a}$
	N-14	$0.28 \pm 0.02\text{a}$	$0.44 \pm 0.02\text{a}$	$0.33 \pm 0.01\text{ab}$

3 结论与讨论

指数施肥方法已用于落叶松 (*Larix olgensis* Henry)、黑云杉 (*Picea mariana* (Mill.) BSP)、西部铁杉 (*Tsuga heterophylla* (Raf.) Sarg.)、西南桦 (*Betula alnoides* Buch. Ham. ex D. Don)、沉香 (*Aquilaria agal-*

locha Roxb.)、红厚壳 (*Calophyllum inophyllum* L.) 等树种^[1,18-22],然而,有关光合特性方面的研究并不多,王冉等^[21]认为当氮施入量为 $3\ 000 \text{ mg} \cdot \text{株}^{-1}$ 时,马来沉香和土沉香的光合能力最大;当氮施入量 $>3\ 000 \text{ mg} \cdot \text{株}^{-1}$,光合能力和各项响应指标不再增加。贾瑞丰等^[22]的研究表明:红厚壳叶绿素 a、b 与总量随施氮量的增加而增加;净光合速率、气孔导度、胞间 CO_2 浓度和蒸腾速率随施氮量的增加而先增加后减小,均在 $200 \text{ mg} \cdot \text{株}^{-1}$ 达到最大值,为 $7.29 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 、 $0.071 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 、 $220.22 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ 和 $1.34 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,分别是 CK 的 2.26、1.92、1.37、1.79 倍;不同氮素处理间红厚壳光合气体交换参数差异均显著。

本研究表明:施氮能够提高楸树无性系的气孔导度,进而提高净光合速率和蒸腾速率,从而增强楸树无性系的光合能力,这可能是氮素提高了楸树无性系叶绿素含量^[23]、促进叶片结构和功能的发育^[23],导致可溶性蛋白含量及光合酶类的合成与活性^[24]等的不同,进而导致 3 个楸树无性系不同处理间光合能力的差异。6 月和 7 月 3 个楸树无性系净光合速率、蒸腾速率和气孔导度均随着施氮量的增加而增大,8 月净光合速率、蒸腾速率、水分利用效率和气孔导度均随施氮量的增加呈现“升~降”的趋势。说明氮素指数施肥对 3 个楸树无性系的光合参数具有明显的促进作用。施氮适量时,叶片可以合成较多的叶绿素,并提高 RuBP 羧化酶的活性,进而提高楸树的光合能力^[21];过量施氮会引起过剩氮代谢消耗和营养生长旺盛,导致参与碳同化的 RuBP 羧化酶活性降低^[25-27],也可能由于基质和楸树体内氮素浓度较高,细胞液渗透压的降低引起气孔限制^[28],最终导致楸树光合能力减弱,呼吸作用增强。

不同植物的光合与生长对氮素的需求量和利用率不同,即使相同植物不同品系间也存在很大差异^[29],因此,植物的氮素需求和氮素利用效率是植物营养学家和生理学家研究的重点方向^[14]。魏红旭等^[1]根据生物量、氮含量和供氮量的回归拟合结果认为,供氮总量 $24.3 \sim 33.7 \text{ mg} \cdot \text{株}^{-1}$ 时可使长白落叶松获得较高的生物量和氮素利用效率。Sali-fu 等^[18]根据黑云杉的生长和养分状况确定其最适宜施氮量为 $30 \sim 64 \text{ mg} \cdot \text{株}^{-1}$ 。陈琳等^[20]利用临界浓度法得出西南桦的适宜施氮量为 $200 \sim 400 \text{ mg} \cdot \text{株}^{-1}$ 。王冉等^[21]和贾瑞丰等^[22]综合分析苗木的生长表现、生物量、养分和光合生理指标,分别得出

沉香和红厚壳的最适施氮量为 3 000、200 mg · 株^[21-22]。本文的研究结果表明,施氮(尿素)量为 10 g · 株⁻¹时,楸树的光合指标都最大,而施氮量为 14 g · 株⁻¹时,光合指标都有所降低。因此,根据光合指标得出 3 个楸树无性系的最适施氮量都为 10 g · 株⁻¹。相同处理下无性系 7080 的光合指标整体上都大于无性系 1-4 和 O15-1,说明无性系 7080 的光合能力和水分利用效率高于无性系 1-4 和 O15-1,这主要是由基因型的差异引起的。本研究没有考虑土壤氮残留量、不同时期土壤矿化量、大气的氮沉降和尿素的肥效性等因素^[14]对试验造成的影响。

参考文献:

[1] 魏红旭,徐程扬,马履一,等. 不同指数施肥方法下长白落叶松播种苗的需肥规律[J]. 生态学报, 2010, 30(3): 0685-0690

[2] 李玲莉,李吉跃,张方秋,等. 容器苗指数施肥研究综述[J]. 世界林业研究, 2010, 23(2): 22-27

[3] Dumroese R K, Page - Dumroese D S, Salifu K F, et al. Exponential fertilization leaching fractions, and early out planting performance of *Pinus monticola* seedlings: nutrient uptake efficiency[J]. Canadian Journal of Forest Research, 2005, 35(12): 2961-2968

[4] 王冉,李吉跃,张方秋,等. 不同施肥方法对马来沉香和土沉香苗期根系生长的影响[J]. 生态学报, 2011, 31(1): 0098-0106

[5] 于永明,王军辉,马建伟,等. LaCl₃对楸树无性系试管苗生长的影响[J]. 东北林业大学学报, 2011, 39(1): 31-33

[6] 王良桂,张春霞,彭方仁. 干旱胁迫对几种楸树苗木叶片荧光特性的影响[J]. 南京林业大学学报:自然科学版, 2008, 32(6): 119-122

[7] 孙 峨,刘洪剑,傅玉兰,等. 江淮地区引种楸树光合生理特性的比较研究[J]. 林业科学研究, 2008, 21(5): 635-639

[8] 吴春林,郝明灼,彭方仁,等. 不同品种楸树生长及生理特性比较[J]. 南京林业大学学报:自然科学版, 2008, 32(6): 123-127

[9] 王改萍,岑显超,何 力,等. 水分胁迫对楸树苗木光合特性的影响[J]. 南京林业大学学报:自然科学版, 2007, 31(6): 57-60

[10] 王 臣,虞木奎,张 翠,等. 盐胁迫下 3 个楸树无性系光合特征研究[J]. 林业科学研究, 2010, 23(4): 537-543

[11] 栗娜娜,郭世荣,李 娟,等. 氮素营养对青花菜叶片光合特性的影响[J]. 内蒙古农业大学学报:自然科学版, 2007, 28(3): 140-144

[12] Ines C, Fumis T F. Effect of nitrogen supply on growth and photosynthesis of sunflower plants grown in the greenhouse[J]. Plant Science, 2004, 166(5): 1379-1385

[13] Nicodemus M A, Salifu F K, Jacobs D F. Growth, nutrition and photosynthetic response of black walnut to varying nitrogen sources and rates[J]. Journal of Plant Nutrition, 2008, 31(11): 1917

-1936

[14] 尹 丽,胡庭兴,刘永安,等. 施氮量对麻疯树幼苗生长及叶片光合特性的影响[J]. 生态学报, 2011, 31(17): 4977-4984

[15] Hawkins B J, Burgess D, Mitchell A K. Growth and nutrient dynamics of western hemlock with conventional or exponential greenhouse fertilization and planting in different fertility conditions[J]. Canadian Journal of Forest Research, 2005, 35(4): 1002-1016

[16] Dumroese R K, Page-Dumroese D S, Salifu K F, et al. Exponential fertilization leaching fractions, and early out planting performance of *Pinus monticola* seedlings: nutrient uptake efficiency[J]. Canadian Journal of Forest Research, 2005, 35(12): 2961-2968

[17] Ingestad T, Lands A B. Theory and techniques for steady state mineral nutrition and growth of plants[J]. For Res, 1986, 1(1): 439-453

[18] Salifu K F, Timmer V R. Optimizing nitrogen loading of *Picea mariana* seedlings during nursery culture [J]. Canadian Journal of Forest Research, 2003, 33(7): 1287-1294

[19] Hawkins B J, Burgess D, Mitchell A K. Growth and nutrient dynamics of western hemlock with conventional or exponential greenhouse fertilization and planting in different fertility conditions[J]. Canadian Journal of Forest Research, 2005, 35(4): 1002-1016

[20] 陈 琳,曾 杰,徐大平,等. 氮素营养对西南桦幼苗生长及叶片养分状况的影响[J]. 林业科学, 2010, 46(5): 35-40

[21] 王 冉,何 茜,丁晓纲,等. N 素指数施肥对沉香苗期光合生理特性的影响[J]. 北京林业大学学报, 2011, 33(6): 58-64

[22] 贾瑞丰,尹光天,杨锦昌,等. 不同氮素水平对红厚壳幼苗生长及光合特性的影响[J]. 林业科学研究, 2012, 25(1): 23-29

[23] Ruffy T W, Huber S C, Volk R J. Alterations in leaf carbohydrate metabolism in response to nitrogen stress[J]. Plant Physiology, 1988, 88(3): 725-730

[24] Amy K, Veronica C, Neal B, et al. Ecophysiological responses of *Schizachyrium scoparium* to water and nitrogen manipulations[J]. Great Plains Research, 2006, 16, 29-36

[25] 金继运,何 萍. 氮钾营养对春玉米后期碳氮代谢与粒重形成的影响[J]. 中国农业科学, 1999, 32(4): 55-62

[26] 孙旭生,林 琪,李玲燕,等. 氮素对超高产小麦生育后期光合特性及产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2008, 14(5): 840-844

[27] Manter D K, Kavanagh K L, Rose C L. Growth response of Douglas-fir seedlings to nitrogen fertilization: importance of Rubisco activation state and respiration rates[J]. Tree Physiology, 2005, 25: 1015-1021

[28] 赵 平,孙谷畴,彭少麟. 植物氮素营养的生理生态学研究[J]. 生态科学, 1998, 17(2): 37-42

[29] Anbessa Y, Juskiw P, Good A, et al. Genetic variability in nitrogen use efficiency of spring barley[J]. Crop Science, 2009, 49(4): 1259-1269