

# 氮素形态对饲料桑树幼苗生长和光合特性的影响

许楠, 张会慧, 朱文旭, 李鑫, 岳冰冰, 金微微, 王良再, 孙广玉

(东北林业大学生命科学学院, 黑龙江 哈尔滨 150040)

**摘要:**以饲料桑树品种“青龙桑”(Morus alba cv Qinglong)为试验材料,通过水培方式研究了等氮条件下铵态氮和硝态氮两种形态氮源及其配比对桑树幼苗生长和光合特性的影响。结果表明,桑树幼苗在单一硝态氮或单一铵态氮条件下,植株高度、叶片数、叶片面积和根系长度均低于铵态氮和硝态氮配合施用,桑树叶片和根系生物量的变化也呈现类似趋势。铵态氮和硝态氮摩尔浓度比为 50:50 和 25:75 时桑树幼苗生长和生物量最高,而当铵态氮和硝态氮摩尔浓度比例为 25:75 时桑树净光合速率( $P_n$ )、气孔导度( $G_s$ )和水分利用效率(WUE)高于其他处理,单一硝态氮或单一铵态氮处理降低了桑树叶片表观量子效率(AQE),提高了桑树叶片的光补偿点(LCP)。以上结果说明饲料桑树是一种偏硝性的植物,以铵态氮和硝态氮摩尔浓度比为(50:50)~(25:75)最适合。

**关键词:**饲料桑树;氮源;净光合速率

**中图分类号:**Q945.1

**文献标识码:**A

**文章编号:**1001-0629(2012)10-1574-07

\* 1

桑树(*Morus alba*)是我国栽培最早而且用途最广的栽培植物,依据桑树的用途可分为蚕桑、食用桑、果桑、饲料桑和绿化桑等。桑树叶片营养丰富,蛋白质含量与苜蓿(*Medicago sativa*)相仿,比禾本科牧草高 80%~100%,比豆科牧草高 40%~50%<sup>[1]</sup>,桑树叶片富含多种氨基酸且比例适宜,其中谷氨酸的含量最高。因此,桑叶是一种优良的蛋白质资源,配合桑叶饲料可提高饲料的营养价值<sup>[2]</sup>。随着我国南桑北移策略的发展,东北地区桑树的种植面积逐年扩大,尤其是桑树具有耐盐碱和干旱的特点<sup>[3-5]</sup>,在松嫩平原盐碱土区以畜牧业为主的草原地区桑树种植面积较大,种植桑树的主要目的是恢复退化的草地植被,增加草地的总产量。但是,在黑龙江省西北部的盐碱和干旱地区种植桑树,由于春季低温少雨,加之桑树自身的生长特点,在 7 月份之前生长缓慢。为了促进桑树生长前期的生长速率,增加桑树的生物产量,适当增加肥料是最为有效的方法。在前期研究中,氮、磷、钾肥可促进桑树生长,其中最有效的是氮肥,适当增加氮肥可明显促进桑树生长<sup>[6]</sup>,并确定了饲料桑树氮肥施用量。植物吸收和利用氮素形态不同,主要是铵态氮和硝态氮<sup>[7]</sup>。

不同植物氮源的选择性吸收不同,直接影响植物生长和代谢,前人对铵态氮与硝态氮的吸收量、吸收速率、吸收比例进行了大量研究,涉及水稻(*Oryza sativa*)、小麦(*Triticum aestivum*)、玉米(*Zea mays*)等农作物和白菜(*Brassica rapa* ssp. *pekinensis*)、生菜(*Lactuca sativa*)、菠菜(*Spinacia oleracea*)等蔬菜作物<sup>[8-10]</sup>。一般情况下,单独供应铵态氮营养时,植物叶面积较小,叶片比面重增加,叶片氮素含量和 Rubisco 酶含量较高,而且单独供应铵态氮营养的叶片光合速率比单独供应硝态氮营养的叶片高<sup>[11]</sup>。但是,有关氮素形态对饲料桑树生长和光合特性的影响鲜见报道。为此,本研究以饲料桑树品种为材料,探索铵态氮和硝态氮的对比对桑树幼苗生长和光合特性的影响,以期获得桑树幼苗生长期不同形态氮素的最佳配比,为饲料桑树的栽培提供基础数据。

## 1 材料与方法

**1.1 材料与试验设计** 试验材料为饲料桑树品种青龙桑。种子由黑龙江省蚕业研究所提供。

试验采用水培法,于 2011 年 6—8 月在东北林业大学植物生理实验室内进行。2011 年 6 月下旬播

\* 收稿日期:2012-06-24 接受日期:2012-08-26

基金项目:国家自然科学基金(31070307、30771746);黑龙江省自然科学基金重点项目(ZD201105);国家科技支撑项目(2011BAD08B02-3)

作者简介:许楠(1982-),男,黑龙江哈尔滨人,在读博士生,主要从事植物营养生理研究。E-mail: xunan0451@126.com

通讯作者:孙广玉 E-mail: sungy@vip.sina.com

种,选择成熟饱满、大小一致、颜色呈橙黄色的桑树种子,用3.0%的NaCl溶液进行表面消毒20 min,后用无菌水洗净,在灭菌的饱和CaSO<sub>4</sub>溶液中浸泡6 h后,置于37℃恒温箱中催芽。种子露白后,将种子播种至培养基中,并进行育苗,培养苗木的基质为混匀的草炭土与蛭石,二者的比例为1:1(V/V),并经过高温灭菌。桑树种苗培养在温度25℃/23℃(光/暗)、光照强度400 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>、光周期12 h/12 h(光/暗)、相对湿度75%左右的人工气候箱中,定期换水并监测pH值和温度变化,培养25 d左右,待种子萌发的主胚根长到3 cm左右时,挑选生长较为一致的幼苗从培养基质中取出,小心洗净根系表面的培养基质,然后移入直径25 cm、高30 cm、体积为10 L的水培箱中培养,培养液为Hoagland营养液。为防止根系见光,水培箱用黑色避光纸包裹,用电动气泵连续通气,每3 d更换一次

培养液。培养条件:光周期为12 h/12 h(光/暗),光照强度为400 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>,温度为(25±2)℃,空气相对湿度为70%±5%。pH值6.5±0.1,EC值1.1~1.3。待培养1周,幼苗萌发出白色新生根系后开始进行氮肥处理,按照前期研究结果<sup>[6]</sup>,以150 kg·hm<sup>-2</sup>纯氮的施氮量为基础,折合营养液中的总氮浓度为5.0 mmol·L<sup>-1</sup>,营养液采用Hoagland和Arnon营养液并稍加修改,设置5个不同的铵硝比(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N:NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N,摩尔浓度比)处理,分别为0:100、25:75、50:50、75:25和100:0。为了维持NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N和NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N浓度及离子平衡,每天用0.1 mmol·L<sup>-1</sup>的KOH或HCl调节pH值6.5±0.1,每周更换营养液一次。微量元素配方和Hoagland营养液一致,其组成见表1。每个处理5株幼苗,3次重复。待幼苗在不同氮素营养液中培养2周后开始进行生长参数和光合参数的测定。

表1 相同施肥量(150 kg·hm<sup>-2</sup>纯氮)下铵态氮和硝态氮比例的营养液组成

Table 1 Nutrition compositions of hydroponics solutions with different percentage of ammonium and nitrate nitrogen

营养液组成 Nutrition composition	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N:NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N				
	100:0	75:25	50:50	25:75	0:100
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> /mmol·L <sup>-1</sup>	1.500	0	0.500	0.500	0
KNO <sub>3</sub> /mmol·L <sup>-1</sup>	2.000	1.750	1.500	0.250	0
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> /mmol·L <sup>-1</sup>	0	0.625	1.250	1.875	0.250
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> /mmol·L <sup>-1</sup>	0	0.125	0.250	0.875	1.000
CaSO <sub>4</sub> /mmol·L <sup>-1</sup>	0	0.250	0.500	0.500	1.000
CaCl <sub>2</sub> /mmol·L <sup>-1</sup>	0	0.250	0.500	0.500	0.500
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> /mmol·L <sup>-1</sup>	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
MgSO <sub>4</sub> /mmol·L <sup>-1</sup>	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
NaCl/mmol·L <sup>-1</sup>	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500

## 1.2 测定项目和方

### 1.2.1 生长参数测定

选择各处理中生长相对一致的桑树测量单株叶片数,并测量其桑树主干的高度以及与地面接触处直径,分别记为株高和地径,测量桑树幼苗主干上从上往下数第2~3片完全展开叶的叶片长度和宽度,并计算其叶面积。每个处理各收获长势均匀一致的3株待测植株,分别将根系和地上部105℃杀青30 min、60℃烘干至质量恒定后称其干质量,即得到地下生物量和地上生物量,并计算总生物量(地下生物量和地上生物量之和)、根冠比(地下生物量/地上生物量)。

### 1.2.2 光合参数的测定

选择长势相对一致的桑树幼苗主干上的倒数第2~3片完全展开叶,利用CIRAS-1便携式光合作用测定系统(PPsystem公司,英国)于09:00开始测定桑树叶片的净光合速率(P<sub>n</sub>)、气孔导度(G<sub>s</sub>)、蒸腾速率(T<sub>r</sub>)和胞间CO<sub>2</sub>浓度(C<sub>i</sub>),测定时利用CIRAS-1自配光源和CO<sub>2</sub>钢瓶,设置光强为800 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>,固定系统内CO<sub>2</sub>浓度为400 μL·L<sup>-1</sup>。每处理测定重复3次,每一叶片的测定部位选择在叶片的第3、4叶脉之间,距离主叶脉1 cm左右处。

### 1.3 数据处理和统计方法

文中所有数据运用

Excel 和 DPS 软件进行统计和分析, 图表中的数据为 3 次重复的平均值±标准误(SE), 利用单因素方差分析(One-way ANOVA)和最小显著差异法(LSD)比较不同处理之间的差异。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同氮素形态对比对桑树生长的影响

不同  $\text{NH}_4^+\text{-N} : \text{NO}_3^-\text{-N}$  比例对桑树幼苗的生长影响不同(图 1)。随着  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  的减少,  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  的增加, 桑树单株叶片数、株高和根系长度均增加, 其中  $\text{NH}_4^+\text{-N} : \text{NO}_3^-\text{-N}$  为 50 : 50 和 25 : 75 时, 桑树的株高、单株叶片数、根长等均显著高于 100 : 0 和 75 : 25 ( $P < 0.05$ ), 单一铵态氮和硝态氮源反而降低了桑树幼苗的各生长指标, 其单株叶片数、株高、根长和叶面积分别低于  $\text{NH}_4^+\text{-N} : \text{NO}_3^-\text{-N}$  为 50 : 50 时。说明桑树幼苗偏好硝态氮源, 但适量添加铵态氮比例对桑树生长起促进作用。

### 2.2 不同氮素形态对比对桑树生物量的影响

在  $\text{NH}_4^+\text{-N} : \text{NO}_3^-\text{-N}$  为 50 : 50 和 25 : 75 时, 桑树幼苗叶片鲜质量和干质量均高于其他处理, 并

达到显著差异水平( $P < 0.05$ )(图 2)。从根系和茎的鲜质量、干质量表现来看,  $\text{NH}_4^+\text{-N} : \text{NO}_3^-\text{-N}$  为 50 : 50 时比其他氮素处理均高, 并达到显著差异水平。在单一  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  或  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  情况下, 叶片、根系和茎的生物量均低于  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  和  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  配比处理。从  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  和  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  比例来看,  $\text{NH}_4^+\text{-N} : \text{NO}_3^-\text{-N}$  为 50 : 50 和 25 : 75 时的桑树叶片生物量高于其他比例,  $\text{NH}_4^+\text{-N} : \text{NO}_3^-\text{-N}$  为 50 : 50 时的桑树根系和茎生物量高于其他处理。

桑树幼苗在  $\text{NH}_4^+\text{-N} : \text{NO}_3^-\text{-N}$  为 50 : 50 时地上生物量与地下生物量分别达到最高(2.85 和 0.993  $\text{g} \cdot \text{株}^{-1}$ ), 总生物量由高到低依次为 50 : 50、25 : 75、75 : 25、0 : 100、100 : 0(表 2)。青龙桑幼苗根冠比在  $\text{NH}_4^+\text{-N} : \text{NO}_3^-\text{-N}$  为 100 : 0 处理时最大, 在 75 : 25 和 0 : 100 处理下与 100 : 0 时差异不显著( $P > 0.05$ ), 在 50 : 50 时最小, 分别比前两者降低了 27.3% 与 24.9%。地径在  $\text{NH}_4^+\text{-N} : \text{NO}_3^-\text{-N}$  为 25 : 75 时最大, 约为 100 : 0 和 0 : 100 处理的 2 倍, 且差异显著( $P < 0.05$ )。

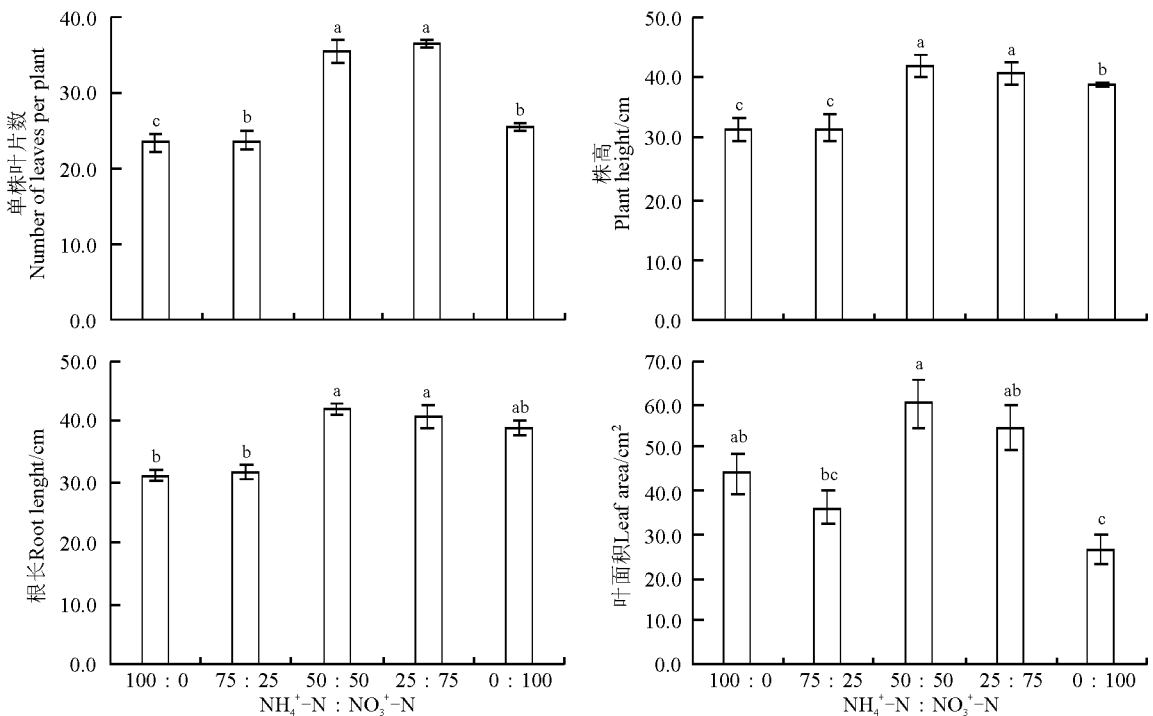


图 1 氮素形态对比对桑树的株高、根长、单株叶片数和叶面积的影响

Fig. 1 Effects of different N sources on the plant height, root length, leaf number and leaf area of mulberry seedlings

注:不同小写字母表示处理之间差异显著( $P < 0.05$ )。下图同。

Note:Different lower case letters mean significant difference at 0.05 level. The same below.

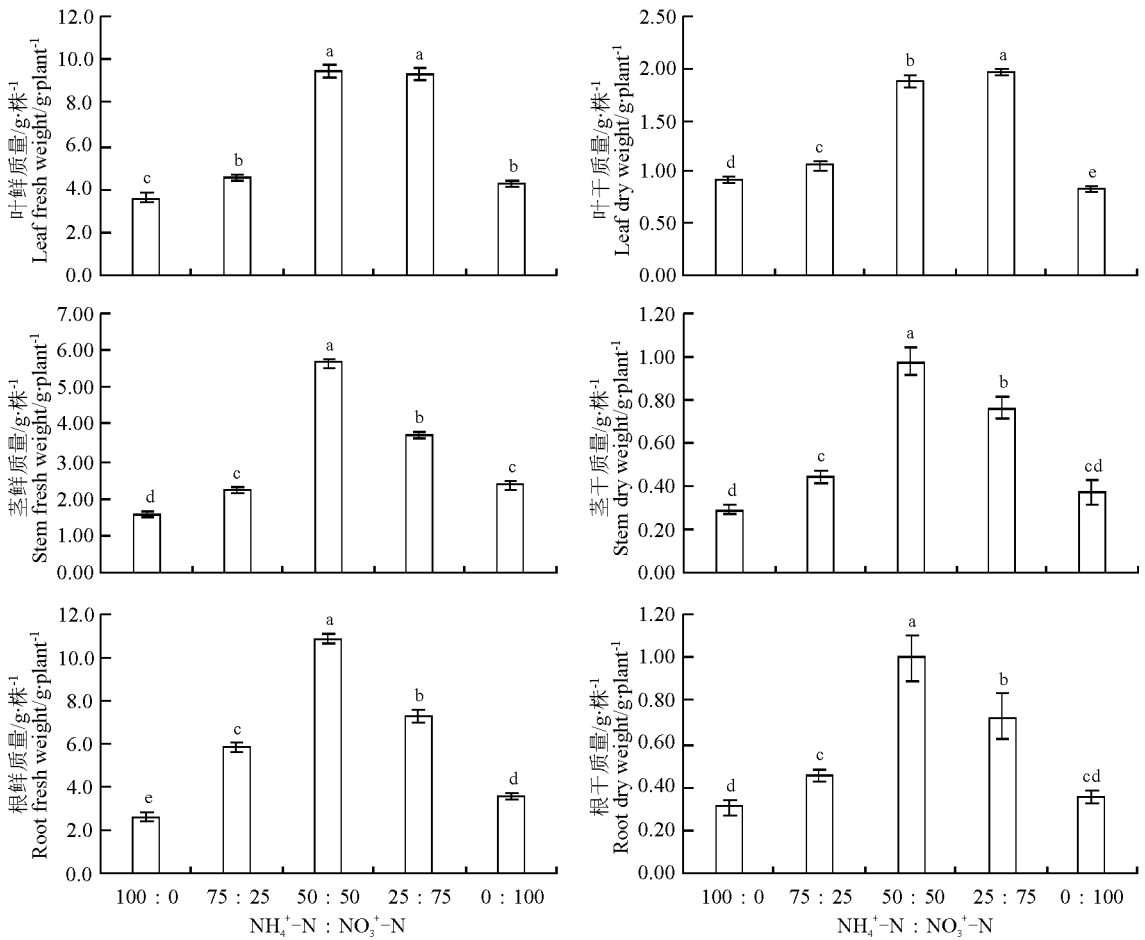


图2 氮素形态比对桑树的叶片、茎和根系的干质量和鲜质量的影响

Fig. 2 Effects of different N sources on the fresh and dry of leaf, stem and root of mulberry seedlings

表2 不同氮素形态比对桑树生物量的影响

Table 2 Effects of different N sources on the fresh and dry leaf, stem and root biomass of mulberry seedlings

$\text{NH}_4^+-\text{N} : \text{NO}_3^--\text{N}$	地上生物量 Aboveground biomass/ $\text{g} \cdot \text{plant}^{-1}$	地下生物量 Underground biomass/ $\text{g} \cdot \text{plant}^{-1}$	总生物量 Total biomass/ $\text{g} \cdot \text{plant}^{-1}$	根冠比 Root-shoot ratio	地径 Basal diameter/ mm
100 : 0	1.21±0.02d	0.308±0.04d	1.519±3.11d	3.98±0.51a	0.31±0.14b
75 : 25	1.50±0.06c	0.453±0.03c	1.958±3.78c	3.34±0.38ab	0.45±0.12ab
50 : 50	2.85±0.06a	0.993±0.10a	3.840±3.90a	2.89±0.37b	0.54±0.15a
25 : 75	2.73±0.03b	0.720±0.11b	3.451±3.21b	3.85±0.58a	0.61±0.16a
0 : 100	1.21±0.06d	0.350±0.03cd	1.563±3.66d	3.47±0.19ab	0.32±0.15b

注:表中不相同的小写字母表示不同氮素配比处理间差异显著( $P < 0.05$ )。下表同。

Note: Different lower case letters within the same column mean significant difference at 0.05 level. The same below.

**2.3 不同氮素形态比对桑树幼苗光合参数的影响** 光合作用是植物生长的基础,在不同 $\text{NH}_4^+-\text{N} : \text{NO}_3^--\text{N}$ 条件下,以25 : 75时的桑树幼苗叶片 $P_n$ 分别比100 : 0、75 : 25、50 : 50和0 : 100

处理高204.5%、36.7%、21.8%和91.4%,而且 $G_s$ 、WUE和 $T_r$ 也比其他处理高。在只有铵态氮或硝态氮的情况下, $P_n$ 、 $T_r$ 和WUE均比铵态氮和硝态氮配比的低,但是铵态氮和硝态氮处理相比

表 3 不同氮素形态对比对桑树叶片光合指标的影响

Table 3 Effects of different N sources on photosynthetic characteristics of mulberry seedlings

NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N : NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	净光合速率	气孔导度	水分利用效率	蒸腾速率
	Net photosynthetic rate	Stomatal conductance	Water use efficiency	Transpiration rate
	P <sub>n</sub> /μmol·m <sup>-2</sup> ·s <sup>-1</sup>	G <sub>s</sub> /mmol·m <sup>-2</sup> ·s <sup>-1</sup>	WUE/μmol·mmol <sup>-1</sup>	T <sub>r</sub> /mmol·m <sup>-2</sup> ·s <sup>-1</sup>
100 : 0	2.2±0.45d	64±5.04d	2.10±0.27ab	1.05±0.13c
75 : 25	4.9±0.43b	78±4.04c	2.23±0.11a	2.20±0.11b
50 : 50	5.5±0.31b	102±4.62b	2.19±0.36a	2.52±0.77ab
25 : 75	6.7±0.32a	118±4.66a	2.28±0.99a	2.93±0.18a
0 : 100	3.5±0.30c	79±4.72c	1.66±0.22c	2.10±0.11b

较, 硝态氮处理的光合参数高于铵态氮(表 3)。

为了进一步分析桑树叶片 P<sub>n</sub> 对氮素形态的响应, 测定了 P<sub>n</sub> 与光强(P<sub>n</sub>-PAR) 响应曲线(图 3), 并以光合拟合方程来拟合不同氮素形态条件下的 P<sub>n</sub>-PAR 曲线, 通过拟合方程可以计算出表观光合量子效率(Apparent Quantum Yield, AQY)、光饱和点(LSP)、光补偿点(LCP)和暗呼吸速率(R<sub>d</sub>)(表 4)。铵态氮和硝态氮配比为 25 : 75 时的 AQY 均高于其他处理, 而在单施铵态氮或硝态氮的情况下, AQY 值明显比铵态氮和硝态氮配比处理的低。同时, 铵态氮和硝态氮配比处理的 LCP 明显低于单施铵态氮和硝态氮处理, 不同氮素形态及其配比处理的 R<sub>d</sub> 没有显著变化(表 4)。以上说明合理的铵态氮和硝态氮配比可明显提高桑树对光能的利用能力。

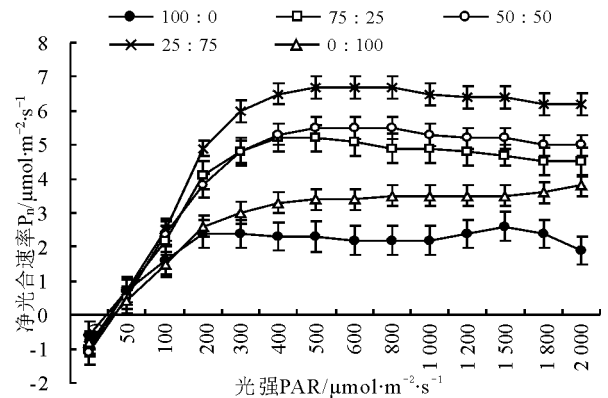


图 3 不同氮素形态配比处理的净光合速率和光强的响应曲线

Fig. 3 Effects of NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N : NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N on P<sub>n</sub>-PAR curve of mulberry seedlings

表 4 不同氮素形态对比对桑树叶片光合指标的影响

Table 4 Effects of different N sources on photosynthetic characteristics of mulberry seedlings

NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N : NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	表观量子产额	光饱和点	光补偿点	暗呼吸速率	拟合度
	Apparent quantum yield/	Light saturation point/	Light compensation point/	Dark respiration rate/	Fitting degree
	μmol·m <sup>-2</sup> ·s <sup>-1</sup>	μmol·m <sup>-2</sup> ·s <sup>-1</sup>	μmol·m <sup>-2</sup> ·s <sup>-1</sup>	μmol·m <sup>-2</sup> ·s <sup>-1</sup>	R <sup>2</sup>
100 : 0	0.022±0.005b	1 616±25a	88±6b	0.533±0.174a	0.965
75 : 25	0.032±0.006ab	1 568±14c	24±2c	0.913±0.256a	0.984
50 : 50	0.033±0.006a	1 412±17d	28±2c	1.065±0.268a	0.985
25 : 75	0.039±0.004ab	1 392±15d	20±5d	0.827±0.198a	0.993
0 : 100	0.014±0.001a	1 532±25b	116±3a	0.815±0.740a	0.998

### 3 讨论

桑树主要分布在东北地区的山区半山区地带<sup>[12]</sup>, 将其纳入栽培作物进行管理只有 30 多年的历史, 主要作为养蚕的饲料, 少部分桑树作为果桑和绿化树种。桑树营养价值和紫花苜蓿相似, 且其产量高于紫花苜蓿, 因此, 桑树作为饲料在黑龙江省得到了迅速发展, 主要分布在黑龙江省西北部干旱半干旱的盐碱地区, 但栽培管理比较粗放。在春季桑

树生长较慢的时期, 人们利用氮肥来促进桑树的生长, 但是, 人们对饲料桑树氮肥用量、施用时期、氮肥种类及其配比却了解甚少, 只是认为增施氮肥可促进桑树生长, 导致桑树的氮肥管理非常粗放。在前期研究中, 确定了桑树氮肥的施肥量为 150 kg·hm<sup>-2</sup><sup>[6]</sup>, 在此基础上, 本试验进一步研究氮素的形态对桑树生长和光合特性的影响。结果表明, 单一铵态氮源和单一硝态氮源桑树生长指标和生物

量均低于铵态氮和硝态氮配合施用。从桑树生长的形态上看,单一铵态氮为氮源,即全铵营养条件下,桑树幼苗生长较为缓慢,株型矮小、叶片小,根系发黑,根短而细,而且叶面积、生物量和净光合速率均显著低于其他处理,说明纯铵营养明显减缓了桑树的生长,这一结果同在挪威云杉(*Picea abies*)和欧洲赤松(*Pinus sylvestris*)的研究结果相似<sup>[13]</sup>。Raab和Terry<sup>[14]</sup>对甜菜(*Beta vulgaris*)研究发现,全铵营养情况下,地上部分受抑制的程度大于根系,并在蓖麻(*Ricinus communis*)、大麦(*Triticum aestivum*)和黄瓜(*Cucumis sativus*)获得相同的结果,而且铵态氮主要降低部分叶片的生长,尤其是降低叶片的扩展,但不会影响到叶芽的生长。

当铵态氮和硝态氮配合施用,尤其是试验中浓度配比为50:50和25:75时,桑树幼苗株型舒展,叶色浓绿,根系呈现白色,根长而粗,叶面积、生物量和净光合速率等均高于其他处理,说明以硝态氮为主的前提下,施适量的铵态氮对桑树生长有促进作用。这一结果同白菜和棉花(*Gossypium* sp.)上的结果相似<sup>[15]</sup>。在全硝营养条件下,桑树叶片质薄且水润,叶片对氮素营养会产生生物稀释作用,叶片水分含量较高,容易发生倾倒现象,这与植物的硝态氮代谢密切相关,植物对硝态氮的吸收利用较铵态氮需更多的光合能量<sup>[16]</sup>。本研究中,铵态氮和硝态氮混合营养与单一氮素营养相比较,适当的 $\text{NH}_4^+-\text{N}:\text{NO}_3^--\text{N}$ 比例能够有效地提高桑树幼苗叶片净光合速率,促进桑树生长。 $\text{NH}_4^+-\text{N}$ 和 $\text{NO}_3^--\text{N}$ 比例为25:75时,桑树叶片净光合速率和气孔导度最大,这与夏枯草(*Spica prunellae*)获得的结果相似<sup>[17]</sup>。氮素是植物必需的营养元素,而植物吸收和利用氮素的形态有很大差异,不同植物或同一植物在不同生育时期对氮素的吸收量也是不同的。单独对植物供应 $\text{NH}_4^+-\text{N}$ 营养会抑制植物对 $\text{K}^+$ 和 $\text{Ca}^{2+}$ 的吸收,使植物体内产生铵毒害现象,限制植物的生长<sup>[18]</sup>;而单独对植物供应 $\text{NO}_3^--\text{N}$ 营养容易引起植物根际pH值升高,限制其他矿质养分的吸收和利用<sup>[19]</sup>。曹翠玲和李生秀<sup>[20]</sup>发现,小麦生长在 $\text{NH}_4^+-\text{N}$ 和 $\text{NO}_3^--\text{N}$ 比例为50:50的营养液中,小麦叶片叶绿素含量最高,而且两种形态氮素单独施用最低。结合前人和本研究结果, $\text{NH}_4^+-\text{N}$ 和 $\text{NO}_3^--\text{N}$ 比例为25:75时桑树生长量和光合能力最高。一方面,根系生长和叶面积是反映植物生

长强弱的重要指标, $\text{NH}_4^+-\text{N}$ 和 $\text{NO}_3^--\text{N}$ 配比为25:75时有利于根系生长,可有效提高其对土壤养分的吸收和转化,减轻铵毒害<sup>[21]</sup>;另一方面, $\text{NO}_3^--\text{N}$ 比例高时可促进细胞的伸长,有利于光合物质运输<sup>[22]</sup>,有利于叶面积增大,叶绿素含量提高,有利于同化产物的形成和累积<sup>[23]</sup>。同时在溶液培养条件下,铵态氮不会很快转化为硝态氮,既避免了单一铵态氮供给下阳离子吸收的减少,也避免了土壤栽培中的 $\text{NO}_3^--\text{N}$ 易淋失而造成的氮素利用率低的问题,比单一硝态氮能节省更多的能量,增加磷的吸收和侧根生长。所以, $\text{NH}_4^+-\text{N}$ 和 $\text{NO}_3^--\text{N}$ 适当的配比,桑树生长最好。

## 参考文献

- [1] 吴萍,李龙. 桑树用作畜牧饲料的开发前景[J]. 中国蚕业,2006,27(3):91-93.
- [2] 黄自然,杨军,吕雪娟. 桑树作为动物饲料的应用价值与研究进展[J]. 蚕业科学,2006,32(3):337-385.
- [3] 张会慧,张秀丽,朱文旭,等. 桑树叶片光系统II对NaCl和 $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 胁迫的响应[J]. 北京林业大学学报,2011,33(6):121-126.
- [4] 张会慧,张秀丽,李鑫,等. NaCl和 $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 胁迫对桑树幼苗生长和光合特性的影响[J]. 应用生态学报,2012,23(3):625-631.
- [5] 张会慧,张秀丽,胡彦波,等. 碱性盐胁迫对桑树幼苗叶片叶绿素荧光特性和激发能分配的影响[J]. 经济林研究,2012,30(1):6-12.
- [6] 许楠,张晓松,张秀丽,等. 供氮水平对田间桑树叶片产量及其生理特性的影响[J]. 经济林研究,2011,29(3):45-49.
- [7] 陆景陵. 植物营养学[M]. 北京:中国农业大学出版社,2003:25-28.
- [8] 徐富贤,熊洪,谢戎,等. 水稻氮素利用效率的研究进展及其动向[J]. 植物营养与肥料学报,2009,15(5):1215-1225.
- [9] Sutton M A, Reis S, Billen G, et al. Nitrogen and global change[J]. Biogeosciences, 2012, 9(1):1691-1693.
- [10] Ambus P, Skiba U, Butterbach-Bahl K, et al. Reactive nitrogen and greenhouse gas flux interactions in terrestrial ecosystems[J]. Plant and Soil, 2011, 343(1):1-3.
- [11] Guo S W, Schinner K, Sattelmacher B, et al. Different apparent  $\text{CO}_2$  compensation points in nitrate- and ammonium-grown *Phaseolus vulgaris* and relationship to non-photorespiratory  $\text{CO}_2$  evolution[J]. Physiologia

- Plantarum, 2005, 123: 288-301.
- [12] 武玉璧, 李云祥, 李冬杰, 等. 东北地区桑树资源考察[J]. 蚕业科学, 2000, 26(4): 224-226.
- [13] Gruffman L, Ishida T, Nordin A, *et al.* Cultivation of Norway spruce and Scots pine on organic nitrogen improves seedling morphology and field performance [J]. Forest Ecology and Management, 2012, 276(15): 118-124.
- [14] Raab T K, Terry N. Nitrogen source regulation of growth and photosynthesis in *Beta vulgaris* L. [J]. Plant Physiology, 1994, 105: 1159-1166.
- [15] 黄俊, 周旭燕, 刘莉. 不同铵硝配比对弱光下白菜氮素吸收及相关酶的影响[J]. 中国生态农业学报, 2011, 19(4): 783-787.
- [16] Elizabeth A, Ainsworth E A, Bush D R. Carbohydrate export from the leaf: A highly regulated process and target to enhance photosynthesis and productivity[J]. Plant Physiology, 2011, 155(1): 64-69.
- [17] 于曼曼, 刘丽, 郭巧生, 等. 氮素不同形态对比对夏枯草苗期生长及光合特性的影响[J]. 中国中药杂志, 2011, 36(5): 530-534.
- [18] Xu G H, Wol S, Kafkafi U. Effect of varying nitrogen form and concentration during growing season on sweet pepper flowering and fruit yield [J]. Journal of Plant Nutrition, 2001, 24(7): 1099-1116.
- [19] 李春俭. 高级植物营养学[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2008: 165.
- [20] 曹翠玲, 李生秀. 氮素形态对小麦中后期的生理效应[J]. 作物学报, 2003, 29(2): 258-262.
- [21] Warren K S. Ammonia toxicity and pH [J]. Nature, 1962, 195: 47-49.
- [22] 丁雪梅, 苑兆和, 冯立娟, 等. 不同氮素水平对大丽花形态指标及生理特性的影响[J]. 草业科学, 2012, 29(4): 592-598.
- [23] Vessey J K, Henry L T, Chaillou S, *et al.* Root-zone acidity affects relative uptake of nitrate and ammonium from mixed nitrogen sources [J]. Journal of Plant Nutrition, 1990, 13(1): 95-116.

### Effects of nitrogen form on seedling growth and its photosynthetic characteristics of forage mulberry

XU Nan, ZHANG Hui-hui, ZHU Wen-xu, LI Xin, YUE Bing-bing,  
JIN Wei-wei, WANG Liang-zai, SUN Guang-yu  
(College of Life Science, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China)

**Abstract:** A hydroponic experiment was carried out to determine the effects of different proportions of nitrate and ammonium nitrogen on seedling growth and its photosynthetic characteristics of mulberry (*Morus alba*) variety “Qinglong” under the same nitrogen amount. This study indicated that the combination of nitrate and ammonium nitrogen increased the plant height, leaf number, leaf area, root length, and leaf and root biomass of mulberry seedlings when compared to application of single ammonium or nitrate nitrogen. The plant growth and biomass of mulberry seedlings were the highest when the proportions of nitrate and ammonium nitrogen were 50 : 50 and 25 : 75. The net photosynthetic rate ( $P_n$ ), stomatal conductance ( $G_s$ ) and water use efficiency (WUE) in leaves of mulberry seedlings growing in 25 : 75 proportion solution of ammonium and nitrate nitrogen were higher than those of other proportion solutions. Single ammonium or nitrate nitrogen greatly improved the apparent quantum yield (AQY) and decreased the light compensation point (LCP) in leaves of mulberry seedlings. This study suggested that forage mulberry varieties “Qinglong” preferred to nitrate nitrogen, and the optimal proportions of nitrate and ammonium nitrogen for mulberry seedling were between 50 : 50 and 25 : 75.

**Key words:** forage mulberry; nitrogen source; net photosynthetic rate