

北方设施栽培条件下氮素水平对辣木幼苗生长的影响

徐海军^{1,2} 程薪宇¹ 王晓飞¹ 关向军^{1*}

(1. 黑龙江省科学院大庆分院, 大庆 163319; 2. 东北林业大学森林植物生态学教育部重点实验室, 哈尔滨 150040)

摘要 为了明确辣木幼苗速生期氮素需求规律, 在北方设施条件下, 通过设置 5 个氮素水平处理, 研究施氮对辣木幼苗株高、地径生长及其叶片 N、P、K 养分含量、色素含量及光合特性等方面的变化特征。结果显示, 随着氮素水平增加, 辣木株高、地径、叶片 N、P、chl_a、类胡萝卜素、总色素含量及光量子效率(Q)呈先上升后下降的变化趋势, 光补偿点(L_{cp})呈先下降后上升趋势, 株高生长与叶片 P 及 chl_a 显著相关, 地径与暗呼吸速率(RD)及叶片 K 含量显著相关; 当氮素水平在 30 g·株⁻¹(N₃)时, 辣木生长速度最快, 植株养分状况较好、光能利用率最佳。

关键词 辣木(*Moringa oleifera*) 设施栽培 氮素水平 幼苗生长量 光合特征

中图分类号 S567.1 S322.2 文献标志码 A doi:10.7525/j.issn.1673-5102.2019.01.007

Effects of Different Nitrogen Level on Growths of *Moringa oleifera* Seedling under Northern Facilities of China

XU Hai-Jun^{1,2} CHENG Xin-Yu¹ WANG Xiao-Fei¹ GUAN Xiang-Jun^{1*}

(1. Daqing Branch of Heilongjiang Academy of Sciences, Daqing 163319; 2. Key Laboratory of Forest Plant Ecology, Ministry of Education, Northeast Forestry University, Harbin 150040)

Abstract In order to clarify the rule of *Moringa oleifera* for nitrogen demand on fast-growing period, the experiment was carried out under five nitrogen level gradients applied on *Moringa* seedling, and to study the difference of characteristics on the growth of height, ground diameter, the contents of N, P, K in leaf, the contents of blade pigment and photosynthetic characteristics. The result showed that the height, ground diameter, N, P, chl_a, total pigment, carotenoid in leaf and photo-quantum efficiency rose first and descended later accompanied with nitrogen level increasing, while the light compensation point showed the contrary. Plant height growth was significantly correlated with leaf P and chl_a, and ground diameter was significantly correlated with dark respiration rate and leaf K content. When the nitrogen level was in 30 g·ind.⁻¹(N₃), *M. oleifera* seedling growth was the fastest, the plant nutrient status was better, and the utilization rate of light was the best.

Key words *Moringa oleifera* facility cultivation nitrogen level growth of seedling photosynthetic characteristics

氮素既是植物最重要的结构物质, 又是生理代谢中最活跃的重要物质^[1~2]。氮素营养状况的好坏, 直接影响植物光合作用速率和生长发育, 并最终影响光能利用率、产量与品质^[3~6]。不同氮素水平影响着植物碳氮代谢, 植株的碳氮代谢和光合产物的生产与分配是农林生产中的重要问题。

辣木(*Moringa oleifera* Lam.)系辣木科(Moringaceae)辣木属(*Moringa*)多年生木本植物, 产于热带、亚热带干旱及半干旱地区。性喜光、喜温、耐旱、抗逆性强、生长迅速, 属多用途速生树种, 其叶片富含多种矿物质和维生素, 作为蔬菜和食品有增进营养、食疗保健的功能^[7~11]。北方气候寒冷,

基金项目: 黑龙江省科学院科学研究基金项目(KY2016DQ01)

第一作者简介: 徐海军(1979—)男, 副研究员, 博士研究生, 主要从事植物栽培及植物营养学研究。

* 通信作者 E-mail: xiangjun_guan@163.com

收稿日期: 2018-09-03

Foundation item: Heilongjiang Academy of Sciences Scientific Research Fund(KY2016DQ01)

First author introduction: XU Hai-Jun(1979—) male, Associate Professor, mainly engaged in plant cultivation and plant nutrition research.

* Corresponding author E-mail: xiangjun_guan@163.com

Received date: 2018-09-03

田间种植辣木难以越冬,但利用温室设施栽培可以有效的利用该优良资源,因此,北方地区开展设施栽培辣木既可以整合闲置的温室资源、丰富北方的蔬菜品种,又可以调动闲散劳动力、促进区域经济的发展。近年来,辣木设施栽培研究的相关报道多集中在种子预处理^[12]、基质与催芽的关系^[13]、不同栽培基质对辣木产量的影响^[14]、光照对辣木生理影响^[15]、叶面肥对辣木生长影响^[16]等方面。由于南、北气候条件存在较大差异,辣木引种到高寒地区其养分需求规律有何变化还未见报道。目前,与之紧密相关的报道有氮素形态不同配比对辣木品质影响^[17],结果显示,硝态氮比例高有利于辣木品质成分的积累,铵态氮比例高有利于辣木药用成分的积累。除此之外,与辣木氮素需求相关的研究报道很少,北方地区辣木的引种和设施栽培技术,如反季育苗、基质复配、定植技术均有研究,但缺少针对北方地区辣木氮素养分需求规律以及不同氮素条件下辣木叶片养分分配及光合生理变化特征研究。因此,本文通过对辣木幼苗快速生长期的氮素养分需求规律进行研究,以为辣木高效栽培、养分调控提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料培育

2015年12月16日,用1%的多菌灵浸种6h后播种,40d后进行幼苗定植,栽培基质为草炭+河沙+腐熟蘑菇基料(3:1:1),种植池由红砖堆砌而成,规格为长为5.0m、宽为1.0m、高为0.4m,基质配制好后回填到种植池内,配制基质理化性质:有机质63.9g·kg⁻¹、碱解氮133.6mg·kg⁻¹、速效磷16.2mg·kg⁻¹、速效钾424.1mg·kg⁻¹、容重0.58g·cm⁻³、孔隙度76.8%、pH值6.5;选择苗高12~15cm,长势基本一致的健康幼苗进行床栽定植。定植株行距40cm×60cm,每床定植幼苗24株;定植60d后,苗木生长旺盛,即可作为试验材料。

1.2 方法

1.2.1 试验地概况

试验地位于大庆市春雷农场现代化农业棚室蔬菜种植示范区,温室为东西走向,地势为东高西低,后墙0.5m,墙后有堆砌土做保温层,温室前茬作物为叶菜类蔬菜。

温室常年生产,冬季燃煤取暖,室内平均温度16.5℃,白天最高温度为38℃,最低可降至8.9℃;

室内白天较干燥,平均湿度在38%,夜间平均湿度74%;光照依靠自然日照,时间从上午8:30至下午14:30,雪天依靠室内光源补光,夏季完全开放。

1.2.2 试验处理

设置5个不同氮素水平处理,以尿素调节,分别施加氮素0,10,20,30和40g·株⁻¹,依次记为N₀,N₁,N₂,N₃,N₄,随机区组排列,3次重复。

1.2.3 数据采集及测定方法

施氮处理60d后进行样品采集和数据测量。植物样品采集,每个处理随机选择5株,从不同方向分上中下3层随机摘取叶片混合,3次重复。株高用精度1mm的钢卷尺测定;地径用精度为0.01mm的游标卡尺测定;土壤水分、温度采用土壤水分温度测量仪(TZS-IIW型)测定;土壤pH值用便携式pH测定仪(IQ150)测定;每个处理随机选择3个点实时测定。

植物样品全氮、全磷、全钾测定用H₂SO₄-H₂O₂消煮法^[18-19];可溶性糖测定用蒽酮法^[20]。光合速率测定用Li-6400XT便携式光合测定仪(美国Li-cor公司生产)应用光合仪的自带光源,光量子通量密度(PPFD)分别为1800、1500、1200、800、500、300、100、80、60、40、20、0μmol·m⁻²·s⁻¹,光响应曲线由下面模型^[21]进行拟合:

$$P_n = (I \times Q + A_{\max} - \sqrt{(I \times Q + A_{\max})^2 - 4 \times Q \times A_{\max} \times I \times k}) / (2 \times k) - R_d \quad (1)$$

式子:P_n为叶片净光合速率;A_{max}为最大光合速率;I为光量子通量密度(PPFD);R_d为暗呼吸速率;Q为初始量子效率;K为光合曲线凸度。

光补偿点(L_{cp})和光饱和点(L_{sp})用以下公式计算:

$$L_{cp} = R_d / (Q \times (1 - R_d / A_{\max})) \quad (2)$$

$$L_{sp} = A_{\max} \times \ln(100 \times R_d) / Q \quad (3)$$

1.3 数据处理

用SPSS(22.0)对数据进行One-Way ANOVA分析(P<0.05),进行LSD多重比较,数据采用3次重复的平均值±标准差(mean±SD);利用Canoco 5.0分析生理指标与表观生长指标间的关联性。

2 结果与分析

2.1 不同供氮水平对辣木表观生长量的影响

不同氮素水平对辣木株高、地径生长有显著的影响(P<0.05),随着氮素水平的增加辣木的株高、地径增长速度呈先上升后下降的趋势(图1)。

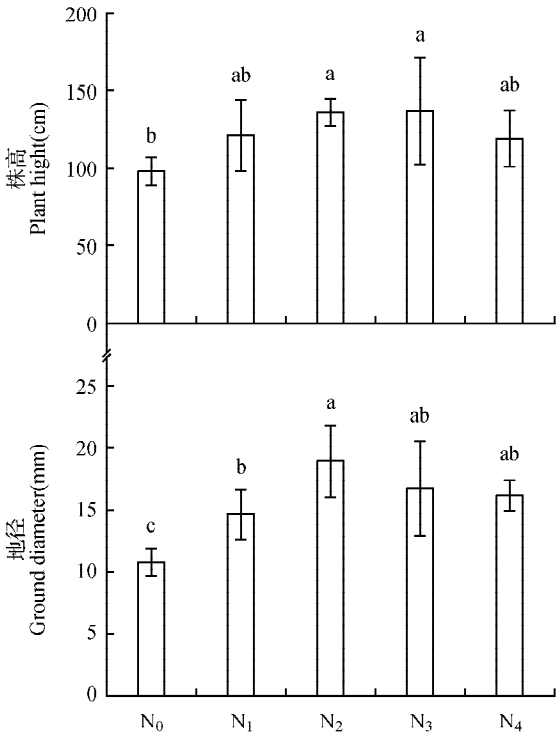


图 1 不同氮素水平条件下辣木生长量

Fig. 1 The difference of *M. oleifera* on height growth and ground diameter in different nitrogen levels

在不同氮素水平条件下,辣木株高表现为 N₃、N₂ 处理显著高于对照 (N₀), N₁、N₄ 处理与对照差异不显著,不同氮素水平条件下株高由大到小的顺序依次为 N₃ > N₂ > N₁ > N₄ > N₀, 平均株高达 139、138、123、121 和 101 cm。地径在各处理间差异表现为 N₂ 显著高于对照 (N₀), 而与 N₃、N₄ 差异不显著; 不同氮素水平条件下地径大小顺序依次为 N₂ < N₃ < N₄ < N₁ < N₀, 平均地径分别为 19.02、16.88、16.25、14.73 和 10.82 mm。

2.2 不同氮素水平对叶片营养物质的影响

在不同氮素水平条件下,辣木叶片全氮含量在 N₂、N₃ 处理显著高于另外 3 个处理 (P < 0.05), N₁、N₄ 与对照 (N₀) 差异不显著,全氮含量大小顺序依次为 N₂ > N₃ > N₁ > N₄ > N₀; 全磷含量 N₂、N₁ 处理显著高于对照 (N₀), 与 N₃、N₄ 差异不显著,其全磷含量高低顺序依次为 N₂ > N₁ > N₃ > N₄ > N₀; 全钾含量波动较大, N₂、N₄ 处理显著低于另外 3 个处理,其含量高低顺序依次为 N₁ > N₃ > N₀ > N₄ > N₂; 可溶性糖含量处理间差异不显著 (表 1)。

表 1 不同氮素水平条件下辣木叶片营养元素变化特征

Table 1 The difference of nutrient matter in *M. oleifera* leaf under different nitrogen levels

处理 Treatment	全氮 Total nitrogen (mg · g ⁻¹)	全磷 Total phosphorus (mg · g ⁻¹)	全钾 Total potassium (mg · g ⁻¹)	可溶性糖 Soluble sugar (mg · g ⁻¹)
N ₀	18.24b ± 1.54	11.28c ± 0.1	17.43a ± 1.64	6.79ns ± 0.63
N ₁	18.98b ± 0.4	17.56ab ± 1.33	17.85a ± 2.27	7.38ns ± 0.55
N ₂	21.49a ± 0.8	19.92ab ± 1.27	11.77b ± 1.35	7.22ns ± 0.62
N ₃	21.48a ± 1.69	15.82abc ± 4.22	17.73a ± 1.22	6.6ns ± 1.51
N ₄	18.47b ± 0.19	14.46bc ± 3.95	14.27b ± 1.13	6.77ns ± 0.53

注: 列中相同字母表示差异不显著 (P < 0.05 LSD), 下同。

Note: The same letter in the column indicate lack significant differences (P < 0.05 LSD) the same as below.

2.3 不同氮素处理对叶片色素含量的影响

辣木叶片色素含量在不同氮素水平条件下呈显著差异 (P < 0.05), chl_a、类胡萝卜素及总色素含量在 N₃ 处理下显著高于其它个处理, 各处理间 chl_a 含量大小顺序依次为 N₃ > N₂ > N₄ > N₁ > N₀, 类胡萝卜素含量大小顺序为 N₃ > N₂ > N₄ > N₀ > N₁, 总色素含量大小顺序为 N₃ > N₂ > N₄ > N₁ > N₀。chl_b 以及 chl_a/b 在处理间差异不显著 (表 2)。

表 2 不同氮素水平条件下叶片色素含量变化特征

Table 2 Changes of pigment content in *M. oleifera* leaf under different nitrogen levels

	叶绿素 a Chla (mg · g ⁻¹)	叶绿素 b Chlb (mg · g ⁻¹)	类胡萝卜素 Carotenoid (mg · g ⁻¹)	总色素 Total pigment (mg · g ⁻¹)	chl _a /b
N ₀	1.78b ± 0.14	0.49ns ± 0.07	0.57b ± 0.04	2.83b ± 0.25	3.65ns ± 0.27
N ₁	1.84b ± 0.11	0.52ns ± 0.06	0.55b ± 0.03	2.9b ± 0.18	3.58ns ± 0.28
N ₂	1.98ab ± 0.06	0.56ns ± 0.04	0.6ab ± 0.05	3.15b ± 0.1	3.53ns ± 0.24
N ₃	2.28a ± 0.23	0.63ns ± 0.07	0.72a ± 0.08	3.63a ± 0.37	3.62ns ± 0.16
N ₄	1.93b ± 0.14	0.53ns ± 0.05	0.58b ± 0.06	3.04b ± 0.24	3.67ns ± 0.08

2.4 不同氮素水平对辣木光合特性变化影响

不同氮素水平条件下辣木的光响应曲线拟合度较好 (图 2), N₀-N₄ 拟合系数 (R²) 依次为 0.92、0.96、0.92、0.98、0.91。从净光合速率 (P_n) 与光量子通量密度 (PPFD) 响应趋势及参数差异分析可知 (表 3), 氮素水平的增加对初始光量子效率 (Q) 有显著的影响, 在 N₃ 处理下初始量子效率最大 (0.09), 与 N₄ 差异不显著, 但显著高于另外 3 个处理; 在最大净光合速率 (A_{max}) 和光饱和点 (L_{sp}) 这两个参数上表现为各处理间差异不显著; 在暗呼吸速率 (R_d) 和光补偿点 (L_{cp}) 各处理间表

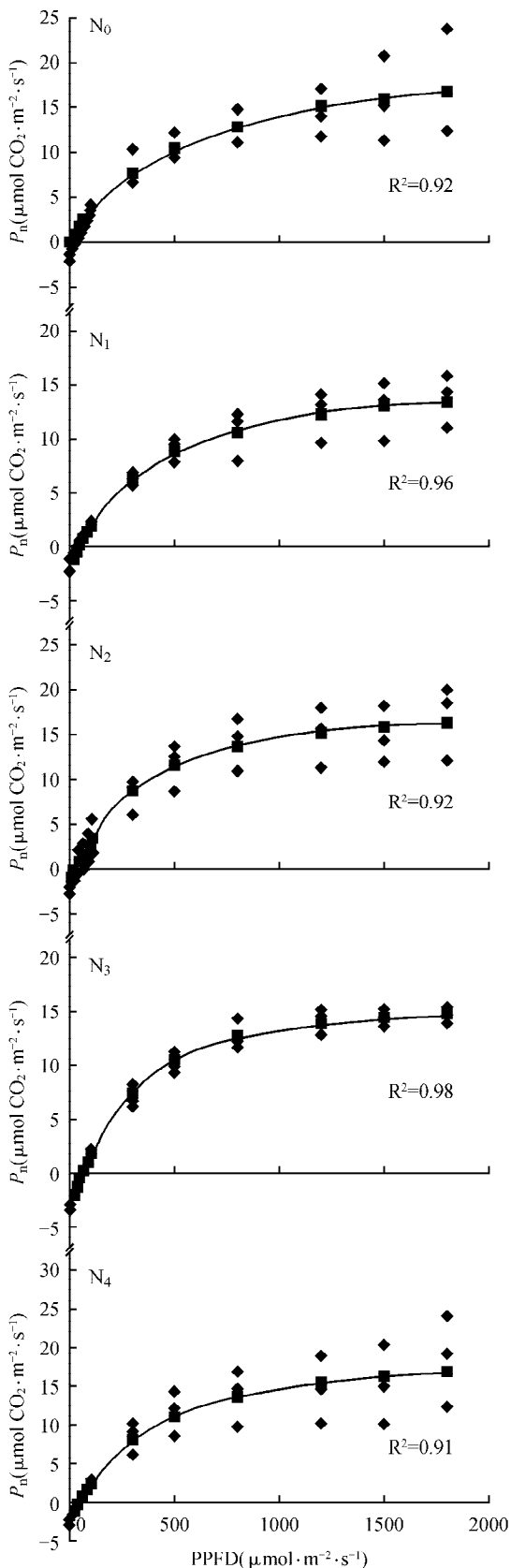


图2 不同氮素水平条件下辣木光合响应曲线

Fig. 2 Photosynthetic response curves of *M. oleifera* in different nitrogen levels

现差异显著 ($P < 0.05$) ,各处理的暗呼吸速率由大到小的顺序为 $N_2 > N_4 > N_3 > N_1 > N_0$,前三者差异不显著,但显著高于后两者;光补偿点由大到小的顺序为 $N_4 > N_0 > N_1 > N_2 > N_3$, N_0 与 N_4 差异不显著,但显著高于另外3个处理。

表3 不同氮素水平条件下辣木光合参数差异分析

Table 3 Analysis of photosynthetic parameters of *M. oleifera* in different nitrogen levels

	最大净光合速率 A_{max}	暗呼吸速率 R_d	光饱和点 L_{sp}	光补偿点 L_{cp}	初始光量子效率 Q
N_0	16.5ns ± 1.74	1.44b ± 0.34	2121ns ± 502.6	42.3ab ± 10.55	0.04b ± 0.01
N_1	20.5ns ± 10.67	1.64b ± 0.56	1889ns ± 642.3	39.7bc ± 2.64	0.05b ± 0.01
N_2	19.16ns ± 1.17	2.86a ± 0.42	2362ns ± 486.6	35.6bc ± 15.22	0.05b ± 0.02
N_3	29.1ns ± 16.65	2.41a ± 0.42	1874ns ± 915.1	32.4c ± 7.76	0.09a ± 0.02
N_4	23.9ns ± 8.96	2.83a ± 0.31	2105ns ± 446.8	54.5a ± 17.23	0.06ab ± 0.01

2.5 RDA 排序

由 RDA 排序可知,辣木株高生长与叶片 P、N、chl_a、类胡萝卜素、光量子效率(Q)显著相关 ($P < 0.05$) ;地径生长与暗呼吸速率 (R_d)、光量子效率、最大光合速率显著相关 ($P < 0.05$) ;叶片钾含量与株高和地径的生长成负相关性(图3)。从生理指标与生长指标单因素解释效应来看, R_d 、叶片 P、光量子效率(Q)、chl_a、色素总量、叶片 N 含量共6个指标与株高、地径相关性呈显著水平,但将全部生理指标引入并对株高和地径进行因子解释时,发现仅有 R_d 、P、 L_{cp} 、 L_{sp} 4个因子与株高和地径呈显著解释效应(表4),可见,各项生理指标对株高和地径的数据解释存在显著的互作效应。

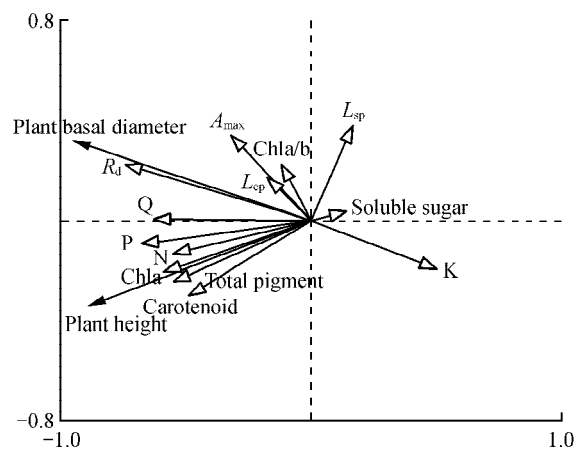


图3 辣木株高、地径与生理指标 RDA 排序

Fig. 3 Relationship between the ranking of plant height, ground diameter and physiological indexes of *M. oleifera*

表 4 解释变量单因素效应和多因素效应排序表

Table 4 The ranking of explanatory variables under simple term effects and conditional term effects

	SE	P		CE	P
RD	46.7	0.006	RD	46.7	0.004
P	38.7	0.01	P	18.1	0.014
Q	33.2	0.006	LCp	2.9	0.048
Chla	29.7	0.018	LSp	7.4	0.05
Total pigment	26.4	0.046	Carotenoid	7.1	0.112
N	25.7	0.034	Chla/b	4	0.166
K	21.4	0.074	Chla	3.7	0.172
Carotenoid	21	0.066	Q	3.6	0.136
Chlb	17.2	0.094	N	2.2	0.214
A_{max}	9.9	0.226	Soluble sugar	2.1	0.206
L_{sp}	3.9	0.516	Total pigment	0.5	0.414
L_{cp}	2.9	0.606	A_{max}	1.1	0.148
Chla/b	1.8	0.726	K	0.2	1
Soluble sugar	1.7	0.772			

注 SE. 单因素解释效应 CE. 环境因素解释效应

Note SE. Simple term effects CE. Conditional term effects

3 讨论

3.1 辣木植株生长及叶片养分含量变化对氮素水平的响应关系

N 的供应状况直接影响植物氮素的吸收利用及糖类代谢^[22]。随着氮素水平的增加,辣木高生长和增粗生长的速率呈先升高后下降的规律性变化,同时叶片养分含量也表现出相应的变化规律,这表明辣木幼苗在对氮素的吸收利用方面,存在着一定的阈值,试验结果显示,在施氮量达到 N_3 处理 ($30 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$) 水平时,株高、地径增长速率最大。之后,其增长速度会随着施氮量的增加而下降,此结论与五味子^[23] (*Schisandra chinensis*)、喜树^[24] (*Camptotheca acuminata*) 的相关研究结果相一致。植物在氮素代谢过程中,需要多种酶的调节,如硝酸还原酶和亚硝酸还原酶,这些调节酶在植物叶片中含量要远高于根系,所以,氮素被吸收后大部分运输到叶片中进行转化利用,同时也会有糖类物质的参与,因此,氮素供给对叶片中的理化指标产生影响。因此,通过 N、P 等指标也可以了解植物氮素的转化利用状况^[25~26]。

3.2 叶片色素及光合指标对施氮量的响应关系

氮素是合成叶绿素和有关光合蛋白的重要成

分,也是光合物质代谢及植物生长的关键因素^[27]。施氮能提高叶绿素含量,促进类囊体蛋白及光合酶蛋白的增加和再分配,进而增强光合作用^[28~30],当氮素充足时,叶绿素的含量提高,光合作用也随之升高,进而植物的产量也得到提升,然而氮素缺乏或过量就会导致叶绿素含量、同化力合成、酶含量和活性下降^[31]。本研究表明,随着供氮水平增加,chl_a、类胡萝卜素、总色素含量显著提高,在 N_3 处理时,叶绿素及总色素含量达到最高,之后随着氮素水平的增加,色素含量呈下降趋势,此结果与前人的研究结论相一致,但最大净光合速率 (A_{max}) 和光饱和强度并没有与氮素水平的增加呈先升后降的变化规律,反而呈现为各处理间虽有高低波动,但差异不显著。这可能是由于当光强到达饱和点后,光照强度便不再是光合作用的限制条件,而此时影响光合作用的主要因子是二氧化碳浓度和温度,因此 A_{max} 和 L_{cp} 不能很好地反映氮素水平对光合作用的影响。不过,暗呼吸速率 (R_d)、光量子效率 (Q) 和光补偿点 (L_{cp}) 对氮素水平有着显著的响应关系,随着氮素水平的增加暗呼吸速率和光量子效率均呈上升趋势,表明随着氮素供给量的增加,在弱光条件,辣木呼吸代谢旺盛,且对光量子的吸收捕获能力增加;与此同时,光补偿点随着氮素水平增加呈先上升后下降的趋势,可见,随着氮素水平的增加辣木对弱光环境的适应能力有所增强。

4 结论

(1) 辣木幼苗生长速度随着施氮量的增加呈先上升后下降的趋势,在 $30 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$ (N_3) 时,辣木生长速度最快。

(2) 株高生长与叶片色素及叶片氮、磷含量显著正相关性 ($P < 0.05$), 地径与暗呼吸速率显著正相关,与叶片钾含量显著负相关。

(3) 施氮水平的增加有利于增强辣木对弱光环境的适应性。

参 考 文 献

1. Cassman K G, Kropff M J, Gaunt J, et al. Nitrogen use efficiency of rice reconsidered: What are the key constraints? [J]. Plant and Soil, 1993, 155 - 156(1): 359 - 362.
2. Crawford N M, Glass A D M. Molecular and physiological aspects of nitrate uptake in plant [J]. Trends in Plant Science, 1998, 3(10): 389 - 395.

3. 徐海军, 孙广玉, 张悦 等. 不同氮素形态比例对五味子幼苗生长特性的影响[J]. 植物研究 2010, 30(1) : 51 - 56.
Xu H J, Sun G Y, Zhang Y, et al. Effects of different nitrogen-form proportions on the growth of *Schisandra chinensis* seedlings[J]. Bulletin Botanical Research, 2010, 30(1) : 51 - 56.
4. 吴楚, 王政权, 孙海龙 等. 氮磷供给对长白落叶松叶绿素合成、叶绿素荧光和光合速率的影响[J]. 林业科学, 2005, 41(4) : 31 - 36.
Wu C, Wang Z Q, Sun H L, et al. Effects of different concentrations of nitrogen and phosphorus on chlorophyll biosynthesis, chlorophyll a fluorescence, and photosynthetic rate in *Larix olgensis* seedlings[J]. Scientia Silvae Sinicae 2005, 41(4) : 31 - 36.
5. 赵莹, 王秀伟, 毛子军. 不同氮素浓度下 CO₂ 浓度、温度对蒙古栎(*Quercus mongolica*) 幼苗叶绿素含量的影响[J]. 植物研究 2006, 26(3) : 337 - 341.
Zhao M, Wang X W, Mao Z J. The effect of CO₂ concentration and temperature on chlorophyll content of *Quercus mongolica* Fisch. under different nitrogen levels[J]. Bulletin of Botanical Research 2006, 26(3) : 337 - 341.
6. 刘闯, 胡庭兴, 刘文婷 等. 巨桉林草间作模式中牧草的耐阴生理适应性[J]. 应用生态学报 2008, 19(9) : 1911 - 1916.
Liu C, Hu T X, Liu W T, et al. Physiological bases of herbage shade-tolerance in *Eucalyptus grandis* and herbage inter-cultivated system[J]. Chinese Journal of Applied Ecology 2008, 19(9) : 1911 - 1916.
7. 刘昌芬, 李国华. 辣木的研究现状及其开发前景[J]. 云南热作科技 2002, 25(3) : 20 - 24.
Liu C F, Li G H. Actuality of study on *Moringa oleifera* and their exploitive foreground[J]. Journal of Yunnan Tropical Crops Science & Technology 2002, 25(3) : 20 - 24.
8. 贺银凤, 任安祥, 廖婉琴. 辣木酸奶的研制[J]. 保鲜与加工 2010, 10(5) : 40 - 43.
He Y F, Ren A X, Liao W Q. Study on the *Moringa oleifera* yogurt[J]. Storage and Process 2010, 10(5) : 40 - 43.
9. 段琼芬, 李迅, 陈思多, 等. 辣木营养价值的开发利用[J]. 安徽农业科学 2008, 36(29) : 12670 - 12672.
Duan Q F, Li X, Chen S D, et al. Development and utilization of nutritive value for *Moringa oleifera*[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2008, 36(29) : 12670 - 12672.
10. 李树荣, 许琳, 毛夸云 等. 添加辣木对肉用鸡的增重试验[J]. 云南农业大学学报 2006, 21(4) : 545 - 548.
Li S R, Xu L, Mao K Y, et al. The experiment of meat chicken growth by feeding with the fodder added with *Moringa oleifera*[J]. Journal of Yunnan Agricultural University 2006, 21(4) : 545 - 548.
11. Somali M A, Bajneid M A, Al-Fhaimani S S. Chemical composition and characteristics of *Moringa peregrina* seeds and seeds oil[J]. Journal of the American Oil Chemists' Society, 1984, 61(1) : 85 - 86.
12. 孔令芳, 宋雅迪, 陈艳林. 不同处理方法对辣木种子萌发及生长状况的影响[J]. 大理学院学报 2012, 11(4) : 48 - 49.
Kong L F, Song Y D, Chen Y L. Impact of different treatments on seed germination and growth of *Moringa oleifera* [J]. Journal of Dali University 2012, 11(4) : 48 - 49.
13. 林宗铿, 张汉荣, 陈振东. 辣木引种试种研究初报[J]. 福建热作科技 2014, 39(4) : 1 - 4.
Lin Z K, Zhang H R, Chen Z D. The preliminary report on study introduction and cultivation of *Moringa oleifera*[J]. Fujian Science & Technology of Tropical Crops, 2014, 39(4) : 1 - 4.
14. 杨焱, 刘昌芬, 龙继明. 不同栽培基质对辣木农艺性状的影响[J]. 热带农业科技 2014, 37(2) : 17 - 20.
Yang Y, Liu C F, Long J M. Effects of different media on agronomic traits of *Moringa oleifera*[J]. Tropical Agricultural Science & Technology 2014, 37(2) : 17 - 20.
15. 吕晓静, 任安祥, 王羽梅. 不同光照强度下辣木光合作用及其相关生理指标的日变化[J]. 植物生理学通讯 2009, 45(2) : 142 - 144.
Lü X J, Ren A X, Wang Y M. Diurnal variation of photosynthesis and related physiological index of *Moringa oleifera* at different light-intensities[J]. Plant Physiology Communications 2009, 45(2) : 142 - 144.
16. 杨焱. 喷施叶面肥对棚栽辣木生长和产量的影响[J]. 热带农业科技 2011, 34(3) : 25 - 27, 41.
Yang Y. The effect of different foliar fertilizers on growth and yield of *Moringa oleifera* in greenhouse[J]. Tropical Agricultural Science & Technology 2011, 34(3) : 25 - 27, 41.
17. 姚其盛. 气雾栽培条件下药食植物辣木生长及品质研究[D]. 广州: 广州中医药大学 2012.
Yao Q S. The research of aerosol cultivation on the growth and quality of medicinal and edible plant *Moringa oleifera* [D]. Guangzhou: Guangzhou University of Chinese Medicine 2012.
18. 邹琦. 植物生理生化实验指导[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995.
Zou Q. Experimental Guidebook to Plant Physiology and Biochemistry[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1995.
19. 鲍士旦. 土壤农化分析 3 版[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 12.

- Bao S D. Soil and agricultural chemistry analysis :3rd ed [M]. Beijing :China Agriculture Press 2000 :12.
20. 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京 :高等教育出版社 2000.
Li H S. Principles and techniques of plant physiological biochemical experiment [M]. Beijing : Higher Education Press 2000.
21. 王秀伟, 毛子军. 7 个光响应曲线模型对不同植物种的实用性[J]. 植物研究 2009 29(1) :43 - 48.
Wang X W ,Mao Z J. Practicability of 7 light responsive curve models to different plant species[J]. Bulletin of Botanical Research 2009 29(1) :43 - 48.
22. Ingestad T ,Agren G I. The influence of plant nutrition on biomass allocation[J]. Ecological Applications ,1991 ,1 (2) :168 - 174.
23. 徐海军, 孙广玉, 周志强, 等. 氮素水平对五味子幼苗生长的影响[J]. 国土与自然资源研究 2011 (1) :71 - 73.
Xu H J ,Sun G Y ,Zhou Z Q ,et al. Effects of different nitrogen-levels on growth of *Schisandra chinensis* seedlings[J]. Territory & Natural Resources Study 2011 (1) :71 - 73.
24. 匡鹤凌. 氮素水平对喜树生长、生理及喜树碱产量的影响[D]. 南京 :南京林业大学 2016.
Kuang H L. Influence of nitrogen levels on the growth and camptothecin content of *Camptotheca acuminata* seedlings [D]. Nanjing :Nanjing Forestry University 2016.
25. 陈雅君, 闫庆伟, 张璐, 等. 氮素与植物生长相关研究进展[J]. 东北农业大学学报 2013 44(4) :144 - 148.
Chen Y J ,Yan Q W ,Zhang L ,et al. Research progress on nitrogen and plant growth[J]. Journal of Northeast Agricultural University 2013 44(4) :144 - 148.
26. 李孟春. 氮素对两种杨树生理生化特性及木材品质的影响[D]. 杨凌 :西北农林科技大学 2012.
Li M C. N utilization and wood structure changes in fast- and slow-growing *Populus* species under nitrogen fertilization[D]. Yangling :Northwest A&F University 2012.
27. Evans J R. Photosynthesis and nitrogen relationships in leaves of C₃ plants[J]. Oecologia ,1989 78(1) :9 - 19.
28. Cruz J L ,Mosquim P R ,Pelacani C R ,et al. Photosynthesis impairment in cassava leaves in response to nitrogen deficiency[J]. Plant and Soil 2003 257(2) :417 - 423.
29. 杨铁钊, 林彩丽, 丁永乐, 等. 不同基因型烟草对氮素营养响应的差异研究[J]. 烟草科技 2001(6) :32 - 35.
Yang T Z ,Lin C L ,Ding Y L ,et al. Study on response of different tobacco genotypes to nitrogen nutrition[J]. Tobacco Science & Technology 2001(6) :32 - 35.
30. 段巍巍, 李慧玲, 肖凯, 等. 氮肥对玉米穗位叶光合作用及其生理生化特性的影响[J]. 华北农学报 2007 22 (1) :26 - 29.
Duan W W ,Li H L ,Xiao K ,et al. Effects of nitrogen fertilizer on photosynthesis and its physiological and biochemical characteristics in ear-leaf of maize[J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica 2007 22(1) :26 - 29.
31. 曹翠玲, 李生秀, 苗芳. 氮素对植物某些生理生化过程影响的研究进展[J]. 西北农业大学学报 1999 27(4) :96 - 101.
Cao C L ,Li S X ,Miao F. The research situation about effects of nitrogen on certain physiological and biochemical process in plants[J]. Acta Universitatis Agriculturae Boreali-Occidentalis ,1999 27(4) :96 - 101.