

网络出版时间:2016-05-03 14:05 DOI:10.13207/j.cnki.jnwfufu.2016.06.011
网络出版地址:http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20160503.1405.022.html

氮素营养对欧洲鹅耳枥幼苗生长及光合特性的影响

钱燕萍^a, 祝遵凌^{a,b}

(南京林业大学 a 风景园林学院, b 艺术设计学院, 江苏 南京 210037)

[摘要] 【目的】比较不同氮素水平对欧洲鹅耳枥幼苗生长及光合特性的影响,以确定适宜的施氮量。【方法】以 1 年生盆栽欧洲鹅耳枥幼苗为试验材料,采用完全随机区组设计,设置不同氮素施用量(CK:0 mg/株;N₁:100 mg/株;N₂:200 mg/株;N₃:300 mg/株;N₄:400 mg/株)处理,氮肥按设计用量均分为 2 次施入,分析不同施氮处理下欧洲鹅耳枥幼苗苗高、地径、生物量及光合特性的变化规律。【结果】随着施氮量的增加,欧洲鹅耳枥幼苗苗高、地径、叶片数、叶面积、各部分生物量、比叶重、苗木质量指数均呈先上升后下降的趋势,且均在施氮量为 200 mg/株时达最大值;根冠比随氮素施用量的增加呈下降趋势,氮肥更有利于幼苗地上部分(主要为叶片)的生长。幼苗的光合参数与生长表现一致,净光合速率、蒸腾速率、气孔导度和叶绿素 a、b 及总量随氮素施用量增加均呈先上升后下降趋势,且均在施氮量为 200 mg/株时达最大值,而胞间 CO₂ 浓度呈先下降后上升趋势。生长指标中苗高、地径、叶片数、叶面积、总生物量、比叶重与质量指数间均呈显著正相关,光合指标中净光合速率、蒸腾速率、气孔导度间呈显著正相关,这 3 个指标与胞间 CO₂ 浓度均呈显著负相关。【结论】经一元二次方程回归分析,本试验条件下欧洲鹅耳枥幼苗适宜的施氮量为 177~241 mg/株。

[关键词] 欧洲鹅耳枥;氮素营养;生长特性;光合特性

[中图分类号] S792.159.05

[文献标志码] A

[文章编号] 1671-9387(2016)06-0071-08

Effects of nitrogen nutrition on growth and photosynthetic characteristics of *Carpinus betulus* seedlings

QIAN Yan-ping^a, ZHU Zun-ling^{a,b}

(a College of Landscape Architecture, b College of Arts & Design, Nanjing Forestry University, Nanjing, Jiangsu 210037, China)

Abstract: 【Objective】This experiment elucidated the effects of nitrogen nutrition on growth and photosynthetic characteristics of *Carpinus betulus* seedlings and confirmed the proper nitrogen fertilizer rate. 【Method】The growth and photosynthetic characteristics of one year old *Carpinus betulus* potting seedlings were investigated under different nitrogen fertilization levels (0, 100, 200, 300 and 400 mg/plant). The nitrogen was divided into 2 times to fertilize into the ground. 【Result】With the increase of nitrogen fertilization level, the height, ground diameter, number and area of leaves, biomass, SLW and QI increased at first but decreased after the peak at 200 mg/plant. The ratio of root to shoot decreased with the increase of nitrogen fertilization. The photosynthetic characteristics showed the same trend as the growth. The contents of P_n , T_r , G_s , chlorophyll a, chlorophyll b and total chlorophyll increased at first followed by decrease with the increase of nitrogen fertilization level. The C_i decreased at first before increasing. Growth indexes such as seedling height, ground diameter, leaf number, leaf area, total biomass, SLW showed significantly posi-

[收稿日期] 2014-10-29

[基金项目] 江苏省科技支撑计划项目(BE2012345);江苏省工程技术研究中心建设项目(BM2013478);江苏省六大人才高峰项目(NY-029);江苏省“青蓝工程”项目(2012);江苏高校优势学科建设工程项目(PAPD)

[作者简介] 钱燕萍(1988—),女,江苏丹阳人,在读博士,主要从事园林植物应用与栽培等研究。

E-mail:qianyanping705@163.com

[通信作者] 祝遵凌(1968—),男,河南固始人,教授,博士,主要从事园林植物应用与栽培等研究。E-mail:zhuzunling@aliyun.com

tive correlation with QI . The photosynthetic indicators P_n , T_r and G_s had significantly positive correlation with each other while they had significantly negative correlation with C_i . 【Conclusion】 Based on the linear relationships between growth and nitrogen levels, the proper nitrogen nutrition was 177—241 mg/plant.

Key words: *Carpinus betulus*; nitrogen nutrition; growth characteristics; photosynthetic characteristics

施肥是培养优质苗木、提高苗木质量的关键技术环节之一^[1-2]。研究表明,施肥可以促进苗木生长及生理代谢,科学有效地改善土壤条件,避免土壤养分流失,提高苗木对逆境的适应性和成活率^[3-4]。氮是植物生长必需的矿质元素,是叶绿素、蛋白质、核酸等生命物质的重要组成因子^[5]。植物叶片大约有 75% 的氮素存在于叶绿体中^[6],其中 30%~50% 被分配给碳同化的关键酶——核酮糖-1,5-二磷酸羧化酶/加氧酶(Rubisco)^[7],还有一部分被用于光捕获和电子传递等相关蛋白的合成^[8]。因此,氮素直接或间接参与植物的生长发育与光合作用,且幼苗时期对氮素的需求最大^[9]。目前,国内外对植物的氮素需求和有效性的研究表明,不同植物的生长对氮素需求量及对氮肥施用量的反应表现不一致。如 Miller 等^[10]进行了不同家系云杉的氮肥试验,结果显示慢生家系的云杉对氮素吸收不足而速生家系的云杉对氮素吸收过量。Trubat 等^[11]、Jeyanny 等^[12]分别研究了氮素缺乏对黄连木(*Pistacia chinensis*)和科特迪瓦桃花心木(*Khaya ivorensis*)生长及养分含量等的影响,结果表明,氮素缺乏会降低黄连木和桃花心木地上生物量的积累,但对其根系生物量和根形态影响不大;氮素缺乏对植物生长及组织营养浓度影响较大。也有研究表明,施氮量达到一定程度时,植物的生长和光合能力对施氮反应不明显甚至受到抑制,随着供氮量的增加,桤木(*Alnus cremastogyne*)、闽楠(*Phoebe bournei*)、麻疯树(*Jatropha carcas*)、青冈栎(*Cyclobalanopsis glauca*)等幼苗的苗高、地径、生物量等指标均呈现先增加后降低的趋势^[13-16]。随着矿质营养理论的日益完善及引进栽培国外优良树种需求的增加,针对国外优良树种苗期施肥的研究逐渐增多,尤其是幼苗对氮素的需求已成为植物生理学和营养学、土壤学等学科的研究重点。但通过揭示不同氮素水平下苗木生长和光合特性的表现,从而利用回归分析确定氮素需求量,这在国内外优良树种的引种栽培研究中尚鲜有报道。

欧洲鹅耳枥(*Carpinus betulus*)为桦木科鹅耳枥属落叶阔叶乔木,广泛分布于欧洲地区,向东可达伊朗、土耳其^[17]。欧洲鹅耳枥树型优美、叶形秀丽、叶色入秋变黄,果穗奇特、枝叶茂密,观赏价值较高,

在欧洲广泛用于行道树、绿篱等,是重要的园林绿化及荒山造林树种。同时其木质坚硬,纹理细腻,可制木质器具^[18]。我国是鹅耳枥属植物的分布中心,引进欧洲鹅耳枥对完善鹅耳枥属种质资源、丰富我国色叶树种种类、增加园林观赏植物的多样性具有重要意义。然而,我国对鹅耳枥属植物的研究起步较晚,目前研究主要集中在系统分类、起源与演化、形态解剖和群落生态学等方面,关于栽培技术的研究很少。在对欧洲鹅耳枥进行大范围推广应用前,首先要解决的是幼苗培育问题,然而目前鲜有关于鹅耳枥属植物施肥的报道。因此,本研究用盆栽培土法研究不同氮素水平对欧洲鹅耳枥幼苗生长和生物量分配的影响,探讨欧洲鹅耳枥光合特性对不同氮素水平的响应规律,以便为欧洲鹅耳枥幼苗的培育及其在国内的繁殖栽培与推广提供参考。

1 材料与方法

1.1 供试材料

欧洲鹅耳枥种子由中国林木种子分公司从匈牙利进口,于 2012 年 3 月进行变温沙藏层积,4~5 个月,将发芽的种子播种于规格统一的育苗穴盘中。2013 年 3 月初挑选平均苗高 10 cm 左右的幼苗移至规格统一的塑料盆内进行缓苗,塑料盆上口径、下口径、盆高分别为 15,10,12 cm。每盆装入等量风干并消毒过筛的混合土 2 kg,每盆栽植幼苗 1 株,塑料盆下部放置托盘。供试盆栽土为黄壤土,pH 7.68,有机质 6.47 g/kg,全氮 0.398 g/kg,有效磷 9.21 mg/kg,速效钾 87.00 mg/kg。试验期间进行常规育苗管理,确保土壤湿度在 60% 左右。

1.2 试验设计

试验于 2013 年 6—10 月在南京林业大学风景园林学院实验教学中心进行,采用完全随机区组试验设计,氮肥施用量设 5 个水平,即 CK(0 mg/株)、N1(100 mg/株)、N2(200 mg/株)、N3(300 mg/株)、N4(400 mg/株)进行试验,所施的氮肥量为尿素的纯氮含量。以 30 株为 1 个重复,共重复 3 次。所需氮肥于 2013-06-15 和 2013-08-15 采用穴施法分 2 次施入,每个处理每次施肥量分别为 0,50,100,150,200 mg/株,施肥后浇透水。

1.3 测定指标与方法

1.3.1 生长指标的测定 于 2013-10-05 全部试验结束后,测量幼苗生长指标,每处理选取 20 株,重复 3 次。

(1)苗高、地径使用卷尺和游标卡尺测定。使用美国生产的 CI-203 激光叶面积仪对每株苗的每片叶进行扫描,计算每株苗的总叶面积。

(2)植物样品收获后,分根、茎、叶将样品于 105 ℃杀青,然后在 75 ℃烘箱中烘至恒质量,用天平称量并记录根、茎、叶各部分的干质量。地上部分干质量(g)=茎干质量(g)+叶干质量(g),总干质量(g)=茎干质量(g)+叶干质量(g)+根干质量(g),根冠比=根干质量(g)/地上部分干质量(g)。

(3)根据整株叶片生物量和叶面积计算比叶重(Specific leaf weight, SLW),公式为:SLW(g/dm²)=叶干质量(g)/叶面积(dm²)。

(4)根据 Dickson 等 1960 年提出的苗木质量指数(QI)来衡量不同氮肥水平处理下欧洲鹅耳枥幼苗的苗木质量。QI 值越高表示苗木质量越好^[19]。其计算公式为:QI=苗木总干质量(g)/[苗高(cm)/地径(cm)+地上干质量(g)/地下干质量(g)]。

1.3.2 光合指标的测定 于 2013-08-25 08:00—11:00,采用 Ciras-2 便携式光合测定系统使用人工光源,选择向阳、生长均匀一致且部位相同的成熟叶

片测定叶片净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、蒸腾速率(T_r)和胞间 CO₂ 浓度(C_i)等光合生理指标,每个处理随机选取 5 株叶片完整的幼苗,每株选取 3 片相同部位的叶片,每叶重复测定 3 次。叶绿素的测定参照李合生^[20]的方法进行。

1.4 数据处理

用 Excel 2010 软件进行数据统计和图表绘制,用 SPSS 18.0 软件对试验数据进行方差分析、相关性分析和回归分析。

2 结果与分析

2.1 施氮量对欧洲鹅耳枥幼苗生长的影响

2.1.1 生长状况 由表 1 可知,欧洲鹅耳枥幼苗苗高、地径、叶片数、叶面积和比叶重随施氮量的增加均呈先升高后降低的趋势,且各施氮处理幼苗的上述指标均优于 CK,其中以 N2 水平时各指标的值均达到最大,分别为 CK 的 1.16,1.21,1.96,1.79 和 1.19 倍。

从表 1 还可以看出,N1 水平的地径、叶片数、叶面积显著高于 CK,而苗高、比叶重与 CK 差异不显著;N2、N3 水平的苗高、地径、叶片数、叶面积及比叶重均显著高于 CK;N4 水平的地径、叶面积显著高于 CK,而苗高、叶片数、比叶重与 CK 差异不明显。

表 1 不同施氮量下欧洲鹅耳枥幼苗生长状况的比较

Table 1 Comparison of growth of *Carpinus betulus* seedlings under different nitrogen levels

处理 Treatment	施氮量/ (mg·株 ⁻¹) N fertilizer rates	苗高/cm Height	地径/mm Ground diameter	叶片数/ (枚·株 ⁻¹) Leaf number	叶面积/cm ² Leaf area	SLW/ (g·dm ⁻²)
CK	0	15.77±1.18 b	3.11±0.09 d	8.33±0.58 c	96.04±6.75 e	0.335±0.012 c
N1	100	16.30±0.36 b	3.33±0.13 bc	12.33±2.08 b	133.14±8.21 c	0.356±0.012 bc
N2	200	18.23±0.32 a	3.77±0.03 a	16.33±1.53 a	172.16±11.18 a	0.397±0.010 a
N3	300	17.60±0.78 a	3.44±0.11 b	13.33±1.53 b	151.58±12.71 b	0.361±0.146 b
N4	400	16.20±0.26 b	3.19±0.12 c	9.67±1.15 c	114.68±5.75 d	0.348±0.010 bc

注:同列数据后标不同字母表示差异显著($P<0.05$)。下表同。

Note: Different lowercase letters indicate significant difference between treatments ($P<0.05$). The same below.

2.1.2 生物量 随着氮肥施用量的增加,欧洲鹅耳枥幼苗各部分的生物量均呈先升高后降低的趋势(表 2)。除 N4 水平的根系生物量外,其余各施氮处理各部分的生物量均大于 CK,且均在 N2 水平时达最大值,N2 处理的叶、茎和根系生物量分别为 CK 的 2.06,1.48 和 1.41 倍。

从各组分生物量占总生物量的比例来看,叶生物量占总生物量的比例最高,且随着氮肥施用量的增加呈先上升后下降趋势,其中以 N2 水平最高;茎生物量占总生物量的比例随着氮肥水平的增加呈先

下降后上升趋势,以 N2 水平的比例最低;根生物量占总生物量的比例随着氮肥施用量的增加呈逐渐下降趋势,以 N4 水平的比例最低;地上生物量的积累显著高于根系生物量。随着氮肥施用量的增加,根冠比呈逐渐下降趋势,以 N4 水平达最低值,且除 N3 与 N4 水平外,其余各施氮水平间的根冠比均达到差异显著水平。苗木质量指数随氮肥施用量的增加呈先上升后下降趋势,除 N4 水平与 CK 间差异不显著外,其余施氮处理的质量指数均显著高于 CK。由此可见,相比地下部分生物量的积累,施氮

更有利于将营养物质运输到欧洲鹅耳枥幼苗的地上部分,促进地上部分(尤其是叶片)的生长和总生物量的增加,从而导致根冠比下降。

表 2 不同施氮量下欧洲鹅耳枥幼苗各部分的生物量和苗木质量指数
Table 2 Biomass and *QI* of *Carpinus betulus* seedlings under different nitrogen levels

处理 Treatment	施氮量/ (mg·株 ⁻¹) N fertilizer rates	地上生物量/(g·株 ⁻¹) Above-ground biomass			根系生物量/ (g·株 ⁻¹) Below-ground biomass	总生物量/ (g·株 ⁻¹) Total	根冠比 Root/Shoot	苗木质量指数 Quality index
		叶 Leaf	茎 Stem	总 Total				
CK	0	0.34±0.01 e (38.64%)	0.25±0.02 c (28.41%)	0.59±0.026 d (77.05%)	0.29±0.019 d (32.95%)	0.88±0.045 e	0.491±0.011 a	0.017±0.001 c
N1	100	0.49±0.02 c (43.36%)	0.29±0.01 b (25.66%)	0.78±0.028 c (69.02%)	0.35±0.015 b (30.98%)	1.13±0.040 c	0.449±0.012 b	0.022±0.001 b
N2	200	0.70±0.03 a (47.30%)	0.37±0.02 a (25.00%)	1.07±0.048 a (72.30%)	0.41±0.017 a (27.70%)	1.48±0.065 a	0.383±0.004 c	0.029±0.001 a
N3	300	0.58±0.02 b (46.03%)	0.36±0.01 a (28.57%)	0.94±0.009 b (74.60%)	0.32±0.013 c (25.40%)	1.26±0.013 b	0.340±0.015 d	0.023±0.001 b
N4	400	0.43±0.02 d (44.79%)	0.30±0.01 b (31.25%)	0.73±0.022 c (76.04%)	0.23±0.018 e (23.96%)	0.96±0.030 d	0.315±0.025 d	0.018±0.001 c

注:括号中百分数表示各组分生物量占总生物量的比例。
Note:The percentage in the bracket means the ratio of each component biomass to total biomass.

2.2 施氮量对欧洲鹅耳枥幼苗光合特性的影响

图 1 表明,随着氮肥施用量的增加,欧洲鹅耳枥幼苗的净光合速率(P_n)呈先上升后下降趋势,以 N2 水平下欧洲鹅耳枥的净光合速率最大,为 5.4 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,分别是 CK、N1、N3、N4 水平的 1.33,1.65,1.10 和 1.25 倍。方差分析结果表明,除 CK 与 N4 水平外,其余施氮水平间净光合速率的差异均达显著水平。

随着氮肥施用量的增加,欧洲鹅耳枥的气孔导度(G_s)也呈先上升后下降的趋势(图 2)。在 N2 水平时,欧洲鹅耳枥的气孔导度达最大值 130.7 $\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,是 CK、N1、N3、N4 水平的 1.43,1.51,1.14 和 1.31 倍。方差分析结果表明,除 CK 与 N1、N4 水平外,其余施氮水平间气孔导度差异显著。

随着氮肥施用量的增加,欧洲鹅耳枥的蒸腾速率(T_r)呈先上升后下降的趋势(图 3)。在 N2 水平时,欧洲鹅耳枥的蒸腾速率达最大值 3.52 $\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,为 CK、N1、N3、N4 水平的 1.43,1.56,1.16 和 1.28 倍。方差分析结果表明,除 CK 与 N1、N4 水平外,其余施氮水平间蒸腾速率差异显著。

随着氮肥施用量的增加,欧洲鹅耳枥的胞间 CO_2 浓度(C_i)呈先下降后上升的趋势(图 4)。在 N2 水平时,欧洲鹅耳枥的胞间 CO_2 浓度达最小值 293 $\mu\text{mol}/\text{mol}$,为 CK、N1、N3、N4 水平的 90%,88%,96%和 92%。方差分析结果表明,除 N1 与 N2 水平间胞间 CO_2 浓度差异显著外,其余施氮水平间差异均不显著。

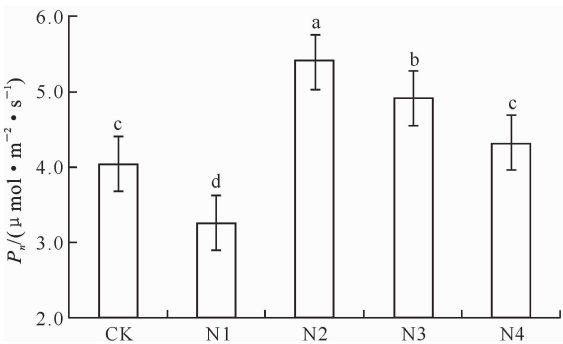


图 1 不同施氮量对欧洲鹅耳枥幼苗 P_n 的影响
Fig.1 P_n of *Carpinus betulus* seedlings under different nitrogen levels

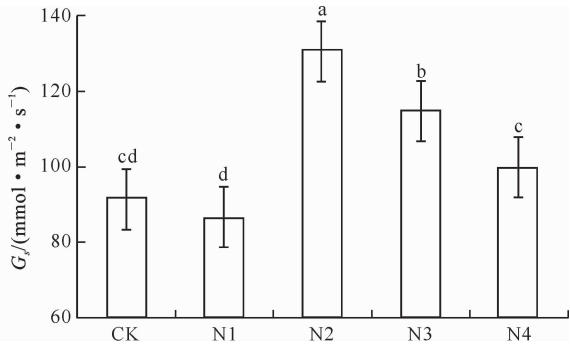


图 2 不同施氮量对欧洲鹅耳枥幼苗 G_s 的影响
Fig.2 G_s of *Carpinus betulus* seedlings under different nitrogen levels

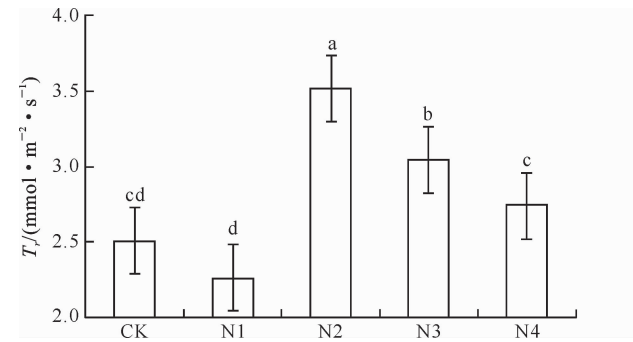


图 3 不同施氮量对欧洲鹅耳枥幼苗 T_r 的影响
Fig. 3 T_r of *Carpinus betulus* seedlings under different nitrogen levels

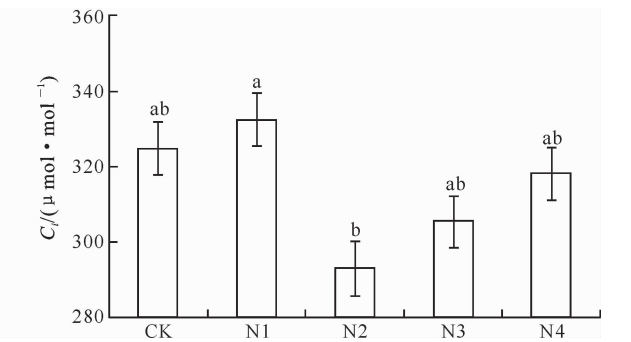


图 4 不同施氮量对欧洲鹅耳枥幼苗 C_i 的影响
Fig. 4 C_i of *Carpinus betulus* seedlings under different nitrogen levels

2.3 施氮量对欧洲鹅耳枥幼苗叶绿素含量的影响

由表 3 可知,随着氮肥施用量的增加,欧洲鹅耳枥幼苗叶绿素 a、叶绿素 b、叶绿素总量、叶绿素 a/b 均呈先升高后降低的变化趋势。除叶绿素 a/b 值在

N2 水平达到最大值但与 CK 差异不显著外,其余指标均在 N2 水平达最大值且与 CK 差异显著,叶绿素 a、叶绿素 b 和叶绿素总量分别较 CK 增加了 45.9%,41.8%和 44.6%。

表 3 不同施氮量下欧洲鹅耳枥幼苗的叶绿素含量

Table 3 Chlorophyll a, b and total chlorophyll of *Carpinus betulus* seedlings under different nitrogen levels

处理 Treatments	施氮量/ (mg · 株 ⁻¹) N fertilizer rates	叶绿素 a/ (mg · g ⁻¹) Chlorophyll a	叶绿素 b/ (mg · g ⁻¹) Chlorophyll b	叶绿素总量/ (mg · g ⁻¹) Total chlorophyll	叶绿素 a/b Chlorophyll a/b
CK	0	2.017±0.105 d	0.916±0.060 c	2.933±0.163 d	2.204±0.050 ab
N1	100	2.231±0.077 c	0.994±0.041 c	3.225±0.116 c	2.245±0.035 ab
N2	200	2.942±0.150 a	1.299±0.065 a	4.241±0.194 a	2.267±0.106 a
N3	300	2.435±0.097 b	1.156±0.079 b	3.590±0.175 b	2.111±0.064 b
N4	400	1.982±0.086 d	0.934±0.087 c	2.916±0.097 d	2.121±0.084 b

2.4 不同施氮量下欧洲鹅耳枥生长和光合指标间的相关性

对欧洲鹅耳枥幼苗的生长和光合指标进行相关性分析,结果(表 4)表明,生长指标中苗高、地径、叶片数、叶面积、总生物量、比叶重和质量指数间均呈

显著正相关,且苗高与气孔导度和蒸腾速率呈显著正相关,与胞间 CO₂ 浓度呈显著负相关。光合指标中净光合速率、蒸腾速率、气孔导度间呈显著正相关,这 3 个指标与胞间 CO₂ 浓度均呈显著负相关。

表 4 不同氮素水平下欧洲鹅耳枥生长和光合指标间的相关性分析

Table 4 Correlation analysis of *Carpinus betulus* seedlings under different nitrogen levels

指标 Index	苗高 Height	地径 Ground diameter	叶片数 Leaf number	叶面积 Leaf area	总生物量 Total biomass	根冠比 Root/ Shoot	SLW	QI	P_n	G_s	T_r	C_i
苗高 Height	1	0.951 **	0.935 *	0.960 **	0.962 **	-0.453	0.916 *	0.924 *	0.826	0.941 *	0.896 *	-0.912 *
地径 Ground diameter		1	0.982 **	0.967 **	0.989 **	-0.281	0.989 **	0.994 **	0.695	0.870	0.819	-0.819
叶片数 Leaf number			1	0.991 **	0.996 **	-0.295	0.960 **	0.990 **	0.595	0.796	0.728	-0.736
叶面积 Leaf area				1	0.991 **	-0.405	0.941 *	0.967 **	0.644	0.826	0.761	-0.774
总生物量 Total biomass					1	-0.308	0.962 **	0.989 **	0.661	0.842	0.780	-0.790
根冠比 Root/Shoot						1	-0.315	-0.213	-0.533	-0.508	-0.519	0.525
SLW							1	0.978 **	0.681	0.860	0.818	-0.807
QI								1	0.615	0.811	0.751	-0.752
P_n									1	0.958 *	0.977 **	-0.981 **
G_s										1	0.994 **	-0.995 **
T_r											1	-0.997 **
C_i												1

注: * 和 ** 分别表示 $P=0.05$ 和 $P=0.01$ 水平相关性显著。
Note: * and ** represent significant differences at $P=0.05$ and $P=0.01$, respectively.

2.5 施氮量与欧洲鹅耳枥生长指标间的回归分析

已有研究表明,苗木生长指标与各种肥料的施用量之间为二次函数关系^[21]。因此,本研究将欧洲鹅耳枥幼苗生长指标与施氮量的关系拟合成一元二次回归方程,结果见表 5,然后根据回归方程推求合理的施氮量。根据各指标的理论最佳收获量的分析结果(表 5),可知苗高、地径、叶片数、叶面积的理论最佳收获量分别为 17.765 cm、0.361 cm、15.211 枚和 163.697 cm²,此时相应的施氮量分别为 224,

211,211 和 219 mg/株;叶片、茎、地上、根系生物量及总生物量的理论最佳收获量分别为 0.643, 0.359,1.002,0.386 和 1.382 g,此时相应的施氮量分别为 220,241,225,177 和 212 mg/株;比叶重和叶绿素总量的理论收获量分别为 0.381 g/dm²、3.896 mg/g,此时相应的施氮量为 214 和 206 mg/株。由此综合得出欧洲鹅耳枥幼苗的最佳施氮量应为 177~241 mg/株。因此,N2 水平是欧洲鹅耳枥幼苗生长的适宜氮肥用量。

表 5 施氮量与欧洲鹅耳枥生长指标间的回归分析

Table 5 Regression analysis of growth indexes of *Carpinus betulus* seedlings under different nitrogen levels

指标 Index	回归方程 Regression equation	决定 系数(R ²) R ² square	F 值 F value	每株理论 最佳收获量 Theoretical harvest	相应施氮量/ (mg·株 ⁻¹) Corresponding amount of N
苗高(y)与施氮量(x) Height(y) with N fertilizer rates(x)	y=15.468+20.548x-45.952x ²	0.579	8.258**	17.765 cm	224
地径(y)与施氮量(x) Ground diameter(y) with N fertilizer rates(x)	y=0.307+0.512x-1.214x ²	0.717	15.17**	0.361 cm	211
叶片数(y)与施氮量(x) Leaf number(y) with N fertilizer rates(x)	y=8.076+67.476x-159.524x ²	0.792	22.88**	15.211	211
叶面积(y)与施氮量(x) Leaf area(y) with N fertilizer rates(x)	y=92.719+648.825x-1482.762x ²	0.876	42.485**	163.697 cm ²	219
叶片生物量(y)与施氮量(x) Leaf biomass(y) with N fertilizer rates(x)	y=0.321+2.927x-6.643x ²	0.882	44.82**	0.643 g	220
茎生物量(y)与施氮量(x) Steam biomass(y) with N fertilizer rates(x)	y=0.239+0.999x-2.071x ²	0.820	27.317**	0.359 g	241
地上生物量(y)与施氮量(x) Above-ground biomass(y) with N fertilizer rates(x)	y=0.56+3.926x-8.714x ²	0.882	45.027**	1.002 g	225
根系生物量(y)与施氮量(x) Blow-ground biomass(y) with N fertilizer rates(x)	y=0.286+1.136x-3.214x ²	0.885	46.065**	0.386 g	177
总生物量(y)与施氮量(x) Total biomass(y) with N fertilizer rates(x)	y=0.845+5.061x-11.929x ²	0.880	43.825**	1.382 g	212
比叶重(y)与施氮量(x) SLW(y) with N fertilizer rates(x)	y=0.333+0.445x-1.038x ²	0.613	9.511**	0.381 g/dm ²	214
叶绿素总量(y)与施氮量(x) Total chlorophyll(y) with N fertilizer rates(x)	y=2.8+10.614x-25.702x ²	0.719	15.322**	3.896 mg/g	206

3 讨 论

3.1 施氮量对幼苗生长的影响

大量研究证实,在植物的生长、生理及代谢过程中,氮素具有十分重要的作用^[22-24]。在本试验设定的施氮量条件下,随着氮肥施用量的增加,欧洲鹅耳枥幼苗的苗高、地径、叶片数、叶面积、各部分生物量等生长指标均呈先上升后下降的趋势,当氮肥水平达 200 mg/株时,各指标均达最大值。除 N4 处理的根系生物量外,其余施氮处理的各生长指标均大于对照。说明在一定氮肥水平下,施氮能有效促进欧洲鹅耳枥幼苗的生长,但施用量超过一定程度时,其对幼苗生长的促进作用有所减弱,这与尹丽等^[15]、王力朋等^[25]、陈琳等^[26]的研究结果一致。

氮供应状况对碳同化物质的分配格局存在一定

影响^[27]。根冠比反映了幼苗各部分生物量的分配关系,是衡量植物对环境因子适应性的重要指标^[28]。欧洲鹅耳枥根冠比随氮肥施用量的增大呈减小趋势,表明其地上部分对氮素反应较为敏感,氮素的增加更有利于地上部分生物量的积累,从而提高幼苗的光合效益,这与饶龙兵等^[13]的研究结果一致。范志强等^[29]对水曲柳(*Fraxinus mandshurica*)的研究表明,其根冠比随施氮量的增加而上升。这可能是因为不同植物种类对氮素的利用存在一定差异,氮素的施用改变了植株地上和地下部分的碳分配格局。亦有研究认为,氮肥对根冠比影响不显著^[30],可能与施氮使地上和地下光合产物成比例增加或者与植物自身遗传特性有关。

3.2 施氮量对幼苗光合特性的影响

氮素与植物的光合作用息息相关。本研究表

明,欧洲鹅耳枥幼苗的净光合速率、蒸腾速率、气孔导度及叶绿素含量均随氮素施用量增加呈先上升后下降的趋势,这与前人对闽楠^[14]、广宁红花油茶(*Camellia semiserrata* Chi.)^[31]等的研究结果相一致。可能是由于氮素积累过多影响了幼苗对P、Mg等矿质元素的吸收,导致其代谢受阻;或者是由于参与碳同化的RuBP羧化酶的数量和活性降低及CO₂由细胞进入叶绿体时受阻^[4,32],造成光合作用减弱,进而降低了净光合速率和生物量积累,从而阻碍了幼苗的生长。

4 结 论

欧洲鹅耳枥幼苗的生长、光合特性相关指标随着氮肥施用量的增加呈先上升后下降的变化趋势,即遵循“报酬递减规律”。本试验条件下,欧洲鹅耳枥幼苗最适施氮量为200 mg/株。依据不同氮素水平下各生长、光合特性指标的一元二次方程回归分析结果,得出适宜欧洲鹅耳枥幼苗生长的氮素用量为177~241 mg/株。当然,施肥效果还与肥料的类型、施肥的方式及外界环境等因素密切相关。因此,今后将以此试验结论为基础,进一步探讨氮肥的施肥方法以及逆境条件下氮肥对幼苗生长的影响等,为欧洲鹅耳枥的大范围推广奠定基础。

[参考文献]

- [1] Albaugh T J, Allen H L, Dogherty P M, et al. Long term growth responses of loblolly pine optimal nutrient and water resource availability [J]. *Forest Ecology and Management*, 2004, 192 (1): 3-19.
- [2] Jeyanny V, Abrasip A G, Rasidah K, et al. Effects of macronutrient deficiencies on the growth and vigour of *Khaya ivorensis* seedlings [J]. *Journal of Tropical Forest Science*, 2009, 21(2): 73-80.
- [3] Salifu K, Timmer V. Optimizing nitrogen loading of *Picea mariana* seedlings during nursery culture [J]. *Canadian Journal of Forest Research*, 2003, 33(7): 1287-1294.
- [4] 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(8): 1015-1021.
- [5] 武维华. 植物生理学 [M]. 北京: 科学出版社, 2008: 117-176. Wu W H. *Plant physiology* [M]. Beijing: Science Press, 2008: 117-176. (in Chinese)
- [6] Cechin I, de Terezinha F F. Effect of nitrogen supply on growth and photosynthesis of sunflower plants grown in the greenhouse [J]. *Plant Science*, 2004, 166(5): 1379-1385.
- [7] Grassi G, Meir P, Cromer R, et al. Photosynthetic parameters in seedlings of *Eucalyptus grandis* as affected by rate of nitrogen supply [J]. *Plant Cell and Environment*, 2002, 25(12): 1677-1688.
- [8] 郭盛磊, 阎秀峰, 白冰, 等. 供氮水平对落叶松幼苗光合作用的影响 [J]. *生态学报*, 2005, 25(6): 1291-1298. Guo S L, Yan X F, Bai B, et al. Effects of nitrogen supply on photosynthesis in larch seedlings [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(6): 1291-1298. (in Chinese)
- [9] Kimmins J P, Blanco J A, Seely B, et al. Forecasting forest futures: a hybrid modelling approach to the assessment of sustainability of forest ecosystems and their values [M]. London: Earthscan, 2010.
- [10] Miller B D, Hawkins B J. Nitrogen uptake and utilization by slow and fast-growing families of interior spruce under contrasting fertility regimes [J]. *Canadian Journal of Forest Research*, 2003, 33(6): 959-966.
- [11] Trubat R, Cortina J, Vilagorsa A. Plant morphology and root hydraulics are altered by nutrient deficiency in *Pistacia lentiscus* (L.) [J]. *Trees*, 2006, 20(3): 334-339.
- [12] Jeyanny V, Ab Rasip A G, Wan Rasidah K. Effects of macronutrient deficiencies on the growth and vigor of *Khaya ivorensis* seedlings [J]. *Journal of Tropical Forest Science*, 2009, 21(2): 73-88.
- [13] 饶龙兵, 李霞, 段红平, 等. 不同供氮水平对4种桉木幼苗生长的影响 [J]. *林业科学研究*, 2012, 25(2): 246-253. Rao L B, Li X, Duan H P, et al. Growing responses of four exotic alder seedling under different nitrogen concentrations [J]. *Forest Research*, 2012, 25(2): 246-253. (in Chinese)
- [14] 王东光, 尹光天, 邹文涛, 等. 氮素营养对闽楠幼苗生长及光合特性的影响 [J]. *林业科学研究*, 2013, 26(1): 70-75. Wang D G, Yin G T, Zou W T, et al. Effects of nitrogen loading on growth and photosynthetic characteristics of *Phoebe bournei* seedlings [J]. *Forest Research*, 2013, 26(1): 70-75. (in Chinese)
- [15] 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. Yin L, Hu T X, Liu Y A, et al. Effect of nitrogen application rate on growth and leaf photosynthetic characteristics of *Jatropha curcas* L. seedlings [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(17): 4977-4984. (in Chinese)
- [16] 陈秋夏, 王金旺, 郑坚, 等. 不同施氮水平对青冈栎容器苗的形态和生理特性影响 [J]. *中国农学通报*, 2011, 27(28): 28-35. Chen Q X, Wang J W, Zheng J, et al. Effects of nitrogen on morphological and physiological characteristics of *Cyclobalanopsis glauca* container seedlings [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2011, 27(28): 28-35. (in Chinese)
- [17] 祝遵凌, 金建邦. 鹅耳枥属植物研究进展 [J]. *林业科技开发*, 2013, 27(3): 10-14.
- [18] Zhu Z L, Jin J B. Research progress on *Carpinus* plants [J]. *China Forestry Science and Technology*, 2013, 27(3): 10-14. (in Chinese)
- [19] Furlow J J. The genera of Betulaceae in the southeastern U-

- nited States [J]. Journal of the Arnold Arboretum, 1990, 71(1): 1-67.
- [19] 喻方圆, 周景莉, 洪香香. 林木种苗质量检验技术 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2008: 88-123.
Yu F Y, Zhou J L, Fu X X. The inspection technology of quality on seeds and seedlings [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2008: 88-123. (in Chinese)
- [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: 134-138.
Li H S. Principles and techniques of plant physiological biochemical experiment [M]. Beijing: Higher Education Press, 2000: 134-138. (in Chinese)
- [21] 王玉杰, 张大克. 多元肥料效应函数模型的优化方法 [J]. 生物数学学报, 2002, 17(1): 74-77.
Wang Y J, Zhang D K. Optimization method of the function for multiple fertilizer effect [J]. Journal of Biomathematics, 2002, 17(1): 74-77. (in Chinese)
- [22] Heiskanen J, Lahti M, Luoranen J, et al. Nutrient loading has a transitory effect on the nitrogen status and growth of out-planted Norway spruce seedlings [J]. Silva Fennica, 2009, 43(2): 249-260.
- [23] 王慧娟, 孟月娥, 赵秀山, 等. 不同施肥水平对茶条槭生长及光合生理特性的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2008, 14(5): 1023-1026.
Wang H J, Meng Y E, Zhao X S, et al. Effects of different fertilization levels on growth, photosynthesis and physiological characteristics of *Acer ginnala* [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2008, 14(5): 1023-1026. (in Chinese)
- [24] 张华林, 彭彦, 谢耀坚, 等. 两种氮肥施用对尾巨桉轻基质容器苗生长的影响 [J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2014, 38(1): 53-58.
Zhang H L, Peng Y, Xie Y J, et al. Effects of two nitrogen application methods on growth of *Eucalyptus urophylla* × *E. grandis* container seedlings cultivated with light media [J]. Journal of Nanjing Forestry University(Nat Sci Ed), 2014, 38(1): 53-58. (in Chinese)
- [25] 王力朋, 李吉跃, 王军辉, 等. 指数施肥对楸树无性系幼苗生长和氮素吸收利用效率的影响 [J]. 北京林业大学学报(自然科学版), 2012, 34(6): 55-62.
Wang L P, Li J Y, Wang J H, et al. Effects of exponential fertilization on seedling growth and nitrogen uptake and utilization efficiency of *Catalpa bungei* clones [J]. Journal of Beijing Forestry University(Nat Sci Ed), 2012, 34(6): 55-62. (in Chinese)
- [26] 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.
Chen L, Zeng J, Xu D P, et al. Effects of exponential nitrogen loading on growth and foliar nutrient status of *Betula alnoides* seedlings [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2010, 46(5): 35-40. (in Chinese)
- [27] Farrar J F, Jones D L. The control of carbon acquisition by roots [J]. New Phytologist, 2000, 147(1): 43-53.
- [28] Poorter H, Nagel O. The role of biomass allocation in the growth response of plants to different levels of light, CO₂, nutrients and water: a quantitative review [J]. Australian Journal of Plant Physiology, 2000, 27(6): 595-607.
- [29] 范志强, 王政权, 吴楚, 等. 不同供氮水平对水曲柳苗木生物量、氮分配及其季节变化的影响 [J]. 应用生态学报, 2004, 15(9): 1497-1501.
Fan Z Q, Wang Z Q, Wu C, et al. Effect of different nitrogen supply on *Fraxinus mandshurica* seedling's biomass, N partitioning and their seasonal variation [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2004, 15(9): 1497-1501. (in Chinese)
- [30] 周修任, 杨鹏鸣. 不同施肥对黄栌幼苗的影响 [J]. 西北林学院学报, 2010, 25(6): 99-101.
Zhou X R, Yang P M. Effects of different fertilizer on seedlings *Cotinus coggygria* var *cinerea* [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2010, 25(6): 99-101. (in Chinese)
- [31] 丁晓纲, 刘喻娟, 张应中, 等. 氮素营养对广宁红花油茶幼苗生长及光合特性的影响 [J]. 中国农学通报, 2012, 28(34): 22-26.
Ding X G, Liu Y J, Zhang Y Z, et al. Effects of nitrogen nutrition on seedling growth and photosynthesis characteristics of *Camellia semiserrata* Chi. [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2012, 28(34): 22-26. (in Chinese)
- [32] Nakaji T, Fukami M, Dokiya Y, et al. Effects of high nitrogen load on growth, photosynthesis and nutrient status of *Cryptomeria japonica* and *Pinus densiflora* seedlings [J]. Trees, 2001, 15(8): 453-461.