

## 不同氮素水平对茅苍术光合特性及生理指标的影响

陆奇杰, 巢建国\*, 谷巍, 张文明

南京中医药大学药学院, 南京210023

**摘要:** 以江苏道地药材茅苍术为试材, 采用盆栽实验方法, 研究不同氮素水平对茅苍术光合特性及生理指标的影响。结果表明: 在6个不同氮浓度处理下, 11 g·m<sup>-2</sup> (N)处理的茅苍术叶绿素含量、净光合速率( $P_n$ )、气孔导度( $G_s$ )和蒸腾速率( $T_r$ )较大, 胞间二氧化碳浓度( $C_i$ )较小, 超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)和过氧化物酶(POD)活性均保持较低水平, 且丙二醛(MDA)与游离脯氨酸(Pro)含量都较低。而低氮水平(0、3 g·m<sup>-2</sup>)和高氮水平(20 g·m<sup>-2</sup>)都会不同程度地减弱植株的光合作用, 但3种抗氧化酶活性会升高, 同时MDA与Pro含量也升高。这说明11 g·m<sup>-2</sup>是茅苍术生长发育较为合适的氮浓度, 而其余处理浓度会影响植物的光合作用, 使活性氧积累变多, 加速细胞膜脂过氧化作用, 细胞膜结构受到损伤, 从而影响茅苍术植株正常的生长。

**关键词:** 茅苍术; 氮素水平; 光合特性; 生理指标

任何植物的生长都少不了营养的供给, 氮(N)是植物生长发育的必需元素, 氮肥是农业生产中促产增收最重要的肥料, 但是氮素的过量摄入也会对植物造成严重伤害(王铖等2015)。有研究表明在低氮条件下, 植物的产量和品质均会由于光合作用的抑制, 从而受到影响(李强等2015)。植物的光合作用受到抑制会导致吸收的光能过剩, 从而产生过量的活性氧和丙二醛等膜脂过氧化物, 使植物体内活性氧代谢失衡, 破坏生物膜结构, 植物的光合能力显著下降(Shimoda 2012; Li等2013)。张珂等(2016)通过研究水氮互作对菘蓝光合生理影响发现, 在适宜的中氮水平下, 菘蓝的光合作用最强, 而低水平供氮会使菘蓝光合作用受到抑制。同时王强等(2012)研究发现中氮处理乌药幼苗的相对叶绿素含量也是最高的。氮素不仅会影响植物体内在的光合作用, 而且还通过影响体内一些重要的酶类控制植物的生理生化代谢, 进而对其生长发育和产量产生极大的影响(宁建凤等2008)。在低氮条件下, 高羊茅叶片中叶绿素含量降低。而超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)和过氧化物酶(peroxidase, POD)活性却显著增强(Shu等2015)。李娟娟等(2016)研究发现随着铵态氮比例的增加, 薄荷中可溶性糖含量变化不大而可溶性蛋白含量显著增加。

茅苍术为菊科植物茅苍术(*Atractylodes lancea*)的干燥根茎, 味微甘、辛、苦, 具有燥湿健脾、祛风散寒、明目之功。主治脘腹胀满、风湿痹痛、风寒感冒等(国家药典委员会2015)。现今茅苍术的野生资源日益枯竭, 由于茅苍术道地产区土壤

成分含量不一, 造成药效成分的积累变异较大, 药材质量参差不齐。无论是野生或是栽培的茅苍术, 土壤中氮元素的含量会对其产量和品质产生极大的影响。目前有学者研究发现低钾胁迫会造成茅苍术生长发育不良(周洁等2008), 对茅苍术生理方面的研究主要集中于高温及淹水胁迫(李孟洋等2015a, 2016), 而氮素对茅苍术光合及生理的影响研究还未见报道。故本实验以道地产区茅山镇的苍术作为实验材料, 研究了不同氮素水平对茅苍术光合特性及生理指标的影响, 以期丰富茅苍术受氮素影响的生理理论, 并为其种植区域的优质高效的施肥技术提供依据。

### 材料与方法

#### 1 实验材料

茅苍术种苗采集于江苏省句容市茅山镇, 按相关种植要求种植于南京中医药大学药用植物园苍术种质资源圃。经南京中医药大学中药资源与鉴定系巢建国教授鉴定为菊科植物茅苍术[*Atractylodes lancea* (Thunb.) DC.]。

#### 2 实验方法

实验于2016年4~5月在南京中医药大学药用

收稿 2017-02-03 修定 2017-08-13

资助 国家自然科学基金(81573520)、江苏省中药优势学科II期建设(ysxk-2014)、国家基本药物所需中药材种子种苗繁育基地建设项目(2014-茅苍术)、我国水生、耐盐中药资源的合理利用研究行业专项(201407002)、“六大人才高峰”高层次人才项目(2012-YY-009)和江苏省“333高层次人才培养工程”。

\* 通讯作者(E-mail: jgchaol016@163.com)。

植物园内进行,采用盆栽实验方法。选取长势相近的茅苍术植株种于塑料花盆中,盆直径为23.5 cm,高为17.0 cm,每个花盆中装烘干过筛后的砂土5 kg,并种植茅苍术5株。实验采用随机区组方法,以蒸馏水为对照组,共设6个N浓度水平,分别为N0 (0 g·m<sup>-2</sup>)、N1 (3 g·m<sup>-2</sup>)、N2 (7 g·m<sup>-2</sup>)、N3 (11 g·m<sup>-2</sup>)、N4 (15 g·m<sup>-2</sup>)和N5 (20 g·m<sup>-2</sup>),配置成霍格兰营养液。其改良配方为N1~N5组的Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·4H<sub>2</sub>O含量为0.8024 g, KNO<sub>3</sub>含量为0.2020 g; NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>含量各有不同, N1组为0.0197 g, N2组为0.5152 g, N3组为1.0104 g, N4组为1.5056 g, N5组为2.1248 g; N0~N5组的KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>含量为0.1360 g, MgSO<sub>4</sub>含量为0.4850 g。接着对茅苍术植株进行浇灌,每个处理重复3次,之后每隔7 d再次浇灌霍格兰营养液。分别在处理0、7、14、21和28 d,随机在每株茅苍术选取生长旺盛的2~3片功能叶,于14:00~16:00进行光合特性的测定,每次测定3个重复数据。在这些叶片上做好标记,分别在处理0、8、15、22和29 d,随机选取未做标记且生长旺盛的功能叶,剪碎混匀后进行生理指标的测定,每次测定重复3次。

### 3 测定指标及方法

#### 3.1 茅苍术光合特性的测定

叶绿素含量采用CCM-200 PLUS叶绿素测定仪(美国OP-TI-sciences公司)进行测定。采用LI-6400型便携式光合测定仪(美国基因公司)测定茅苍术的 $P_n$ 、 $G_s$ 、 $T_s$ 和 $C_i$ ,以开放式气路系统测量。

#### 3.2 茅苍术生理指标的测定

丙二醛(malondialdehyde, MDA)采用硫代巴比妥酸法测定(于金平等2014); SOD和过氧化氢酶(catalase, CAT)活性采用南京建成生物工程公司的试剂盒测定; POD活性采用愈创木酚法测定; 游离脯氨酸(Pro)含量采用酸性茚三酮比色法测定(陈建勋和王晓峰2015)。

### 4 统计分析

采用Microsoft Excel 2013进行数据处理及图表绘制,采用SPSS 19.0进行数据的多重比较。

## 实验结果

### 1 不同氮素水平对茅苍术光合特性的影响

由结果(图1)可知,随着处理时间的增加,不同氮素水平处理组的叶绿素含量均呈上升趋势,其

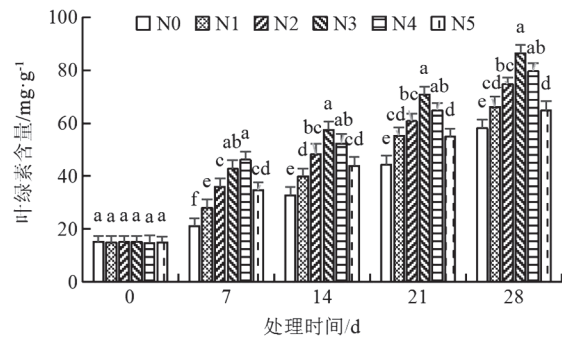


图1 不同氮素水平对茅苍术叶绿素含量的影响

Fig.1 Effects of different nitrogen levels on chlorophyll content of *A. lancea*

不同小写字母表示同一时间不同氮水平的差异显著( $P < 0.05$ ), 下图同此。

中以N3处理组的上升幅度最大, N0组上升幅度最小。与未处理前(0 d)相比,处理28 d的N0、N1、N2、N3、N4和N5组叶绿素含量各增加了284.77%、345.82%、395.56%、470.59%、442.40%和332.58%。

图2表明,在6组氮浓度处理下茅苍术叶片的 $P_n$ 变化差异显著,且随着处理时间的增加而升高。处理28 d后N3的 $P_n$ 最大,与N0、N1、N2、N4、N5处理相比分别增加了97.88%、59.76%、22.02%、8.96%、28.09%。在整个实验期间N0与N1处理下的 $P_n$ 差异均显著,而处理7~28 d, N3与N4组之间的 $P_n$ 值并无显著性差异。

由图3可知,氮素水平的不同使茅苍术叶片的气孔开放程度也不相同。实验前期各组之间差异不大,但随着实验的进行, N0~N3的 $G_s$ 值呈明显的

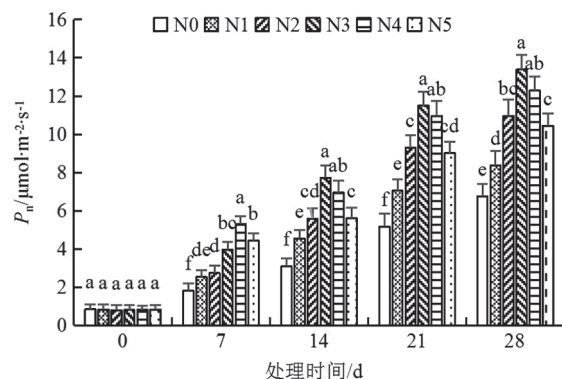


图2 不同氮素水平对茅苍术 $P_n$ 的影响

Fig.2 Effects of different nitrogen levels on net photosynthetic rate of *A. lancea*

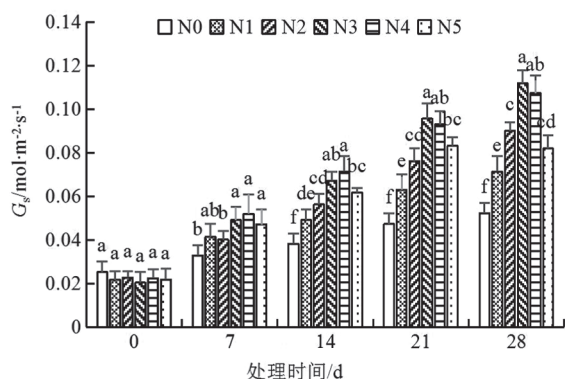


图3 不同氮素水平对茅苍术 $G_s$ 的影响  
Fig.3 Effects of different nitrogen levels on stomatal conductance of *A. lancea*

上升趋势。处理28 d的N5  $G_s$ 值与N3相比显著下降了26.79%; 同时N4的 $G_s$ 值比N3下降了9.82%, 但差异不太显著。

不同氮素水平下茅苍术叶片的 $T_r$ 变化趋势和 $G_s$ 相似(图4), 随着氮素水平的上升, 茅苍术叶片的 $T_r$ 也会随之先上升后下降。28 d的各处理浓度的 $T_r$ 值与0 d相比有明显增长, N3组的上升幅度最大, 增加了448.70%; N0组的上升幅度最小, 增加了106.88%。

由图5可以看出, 随着时间的增加, 茅苍术叶片的 $C_i$ 也持续增加。在整个实验期间N0组的 $C_i$ 值始终高于其他处理组; 在处理28 d, 达到了 $732.17 \mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ , 相较于其他处理组分别提高了10.46%、21.91%、43.88%、35.77%和17.69%, 而N3组和N4组上升幅度较小, 两组无显著性差异。

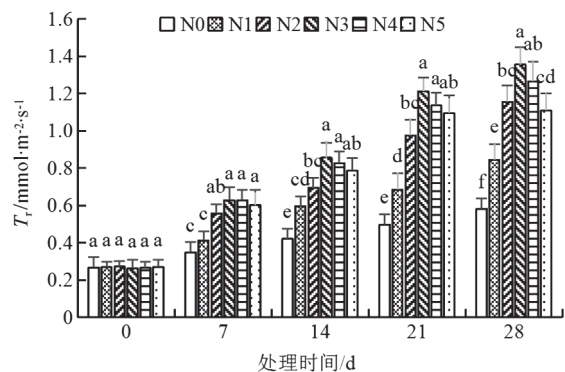


图4 不同氮素水平对茅苍术 $T_r$ 的影响  
Fig.4 Effects of different nitrogen levels on transpiration rate of *A. lancea*

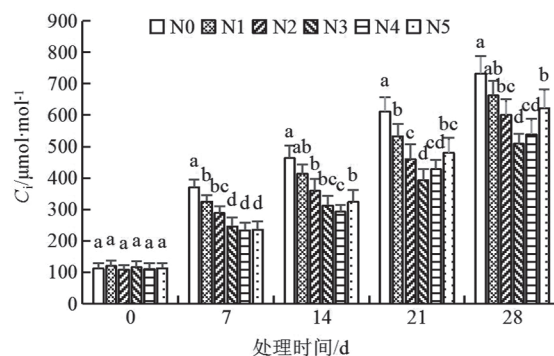


图5 不同氮素水平对茅苍术 $C_i$ 的影响  
Fig.5 Effects of different nitrogen levels on intercellular  $\text{CO}_2$  concentration of *A. lancea*

## 2 不同氮素水平对茅苍术抗氧化酶活性的影响

植物叶片中SOD、CAT和POD是几种重要的抗氧化酶, 其活性往往能反应植物叶片受外界环境影响的伤害程度。在不同氮素水平处理下茅苍术的SOD、CAT和POD活性都是稳步上升的, 而不同抗氧化酶活性的上升程度各不相同(图6~7)。

图6发现, 6组氮浓度处理下茅苍术叶片的SOD活性随着时间的增长呈上升趋势。到了第29天, N3处理组的SOD活性最低, 只有 $872.118 \text{ U}\cdot\text{g}^{-1}$  (FW), 其余处理组的SOD活性都比N3的高, 且变化趋势与处理8~22 d大致相同。

不同氮素水平处理下茅苍术叶片的CAT与POD活性的变化趋势同SOD一致(图7和8), 都是随着处理时间的增加活性不断增大, 且在29 d达到最大。处理29 d, N0~N3处理组之间CAT活性差异显著, N3与N4组无显著性差异; N3组的CAT活性最低,

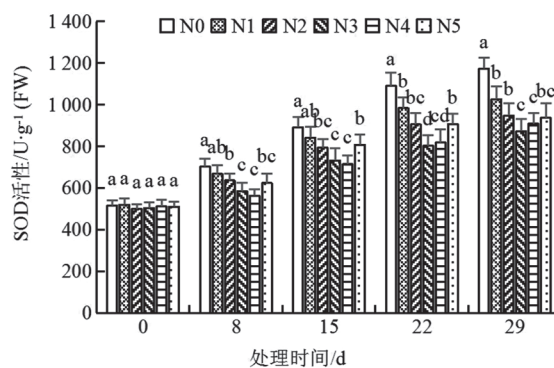


图6 不同氮素水平对茅苍术SOD活性的影响  
Fig.6 Effects of different nitrogen levels on SOD activity of *A. lancea*

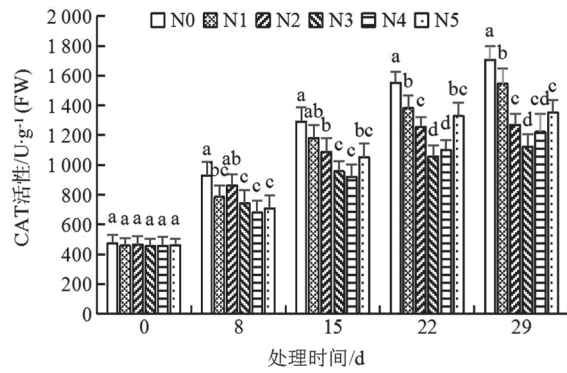


图7 不同氮素水平对茅苍术CAT活性的影响  
Fig.7 Effects of different nitrogen levels on CAT activity of *A. lancea*

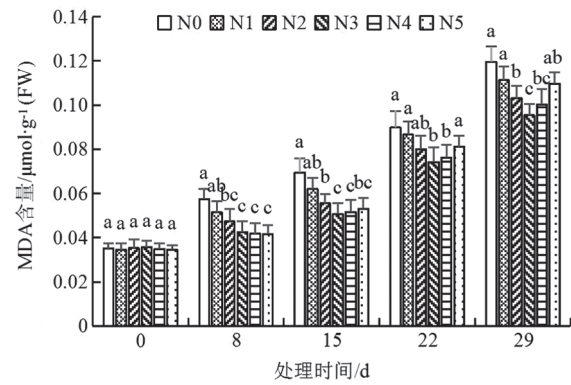


图9 不同氮素水平对茅苍术MDA含量的影响  
Fig.9 Effects of different nitrogen levels on MDA content of *A. lancea*

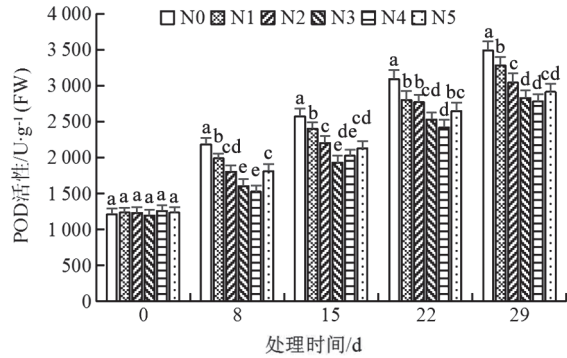


图8 不同氮素水平对茅苍术POD活性的影响  
Fig.8 Effects of different nitrogen levels on POD activity of *A. lancea*

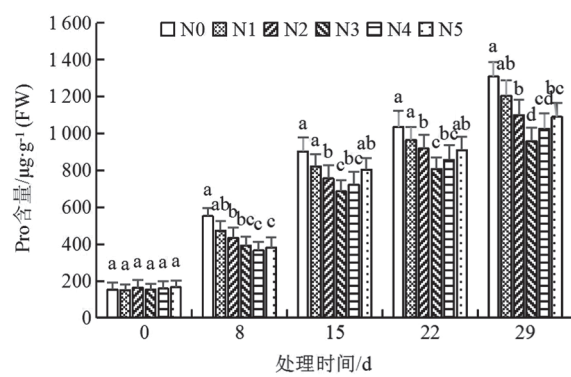


图10 不同氮素水平对茅苍术Pro含量的影响  
Fig.10 Effects of different nitrogen levels on Pro content of *A. lancea*

是其他组的65.88%、72.75%、88.54%、91.97%和83.18%。随着时间进行,不同处理组的POD活性之间差异明显。N0组的POD活性始终最大,在处理29 d达到了3 490.986 U·g<sup>-1</sup> (FW),相较于其他处理组分别增加了6.36%、14.75%、23.49%、25.56%和19.85%。

### 3 不同氮素水平对茅苍术MDA含量的影响

由图9可以看出,各氮素水平下茅苍术叶片中的MDA含量持续升高,并且都在29 d达到峰值,与0 d相比各处理组MDA含量分别增加了240.48%、222.20%、191.55%、167.16%、187.38%和216.64%,N0组MDA含量的增加最为明显,而N3组的增长较缓慢,这两组MDA含量的差异显著。

### 4 不同氮素水平对茅苍术Pro含量的影响

由图10可知,6个氮素水平处理下茅苍术叶片中Pro含量均明显增加,且在29 d达到最大值,其中N0

处理组的Pro含量最高,达到了1 034.117 μg·g<sup>-1</sup> (FW);相对于其他处理组提高了8.57%、19.05%、36.53%、27.63%和20.02%。N3处理组Pro含量在处理8 d稍高于N4与N5组,之后缓慢增加,到29 d, N3组的Pro含量显著低于其他处理组,但与N4组的差异不大。

## 讨 论

光合作用是植物体赖以生存的重要生理过程,同时也是合成营养物质和获得能量的基本来源,植物体正是通过这一作用产生化学能来维持正常的生长(虞秀明等2016)。而叶绿素是和光合作用息息相关的重要色素,其含量反应光合作用的强弱(李孟洋等2015b)。一般认为影响植物光合作用的主要因素为气孔和非气孔限制。当植物叶片  $P_n$ 、 $G_s$ 和 $C_i$ 同时下降,说明 $P_n$ 的降低主要是由气孔

因素所致, 而 $P_n$ 和 $G_s$ 下降、 $C_i$ 升高则表明非气孔限制是 $P_n$ 降低的主要限制因素(Farquhar和Sharkey 1982)。本实验研究的结果显示, 随着氮浓度的降低, 茅苍术的 $P_n$ 、 $G_s$ 、 $T_r$ 均呈下降趋势, 而 $C_i$ 明显增加。蒋达波等(2015)研究了氮素胁迫对3个玉米品种光合及叶绿素荧光参数的影响, 其光合参数的变化趋势与本实验的研究基本一致。处理后期在氮浓度为 $11 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ 时, 茅苍术的叶绿素含量与 $P_n$ 、 $G_s$ 、 $T_r$ 值均达到最大, 说明这应是茅苍术生长较适宜的氮浓度。之后随着氮素水平的增加, 茅苍术的叶绿素含量与 $P_n$ 、 $G_s$ 、 $T_r$ 反而出现了下降, 而 $C_i$ 持续上升, 这表明过量的氮素反而对植物产生了毒害作用, 对植物的光合系统产生了抑制作用, 影响茅苍术光合作用主要因素为非气孔限制, 这与前人研究供氮水平对苦苣光合系统的影响结果基本一致(马亚东等2016)。

氧气是所有植物体维持生命活动的重要物质之一, 然而它在正常的代谢过程中也会产生活性氧, 活性氧被认为是有氧代谢有毒的副产品(Mittler 2002)。但是在逆境条件下植物体内产生大量的活性氧, 这些活性氧会使植物细胞发生过氧化作用, 从而严重损害细胞的质膜系统(刘会萍等2016)。抗氧化酶系统是植物遭受逆境胁迫重要的防御体系, 其中SOD、CAT、POD就是其中主要的抗氧化酶(杨舒怡等2016)。本实验的研究结果表明, 在氮处理浓度较低(0和 $3 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ )时, 植物体内的3种酶活性显著高于其他处理组浓度;  $11 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ 处理组的SOD、CAT、POD活性均保持较低水平, 说明此时植物产生的活性氧比较少。而氮浓度继续升高时, 此三种酶活性则再次升高, 表明植物体内的活性氧再次积累影响了内部的稳态。

MDA是植物体在逆境条件下膜脂过氧化的产物之一, 其含量的高低在一定程度上可以反映出植物的膜脂过氧化作用水平及膜结构的受损害程度(陈晶等2016)。本研究结果表明, 处理时间的延长会显著增加植物体内MDA含量, 不同氮浓度处理的MDA含量与酶活性的结果类似, 这应该是细胞体内活性氧的积累会加速细胞膜脂过氧化作用, 从而加速了MDA的产生, 所以 $11 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$  N处理的MDA含量较低, 而0与 $20 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$  N处理的含量相对较高。鲜开梅和刘慧英(2015)研究了不同氮素

水平对彩椒MDA含量的影响, 其变化趋势与本实验的研究结果相似。

渗透调节也是植物体抵御逆境胁迫的重要方式之一, 而其体内的Pro具有比较强的水合作用, 是最有效的渗透调节物质之一(李孟洋等2015a)。本文结果显示, 茅苍术叶片的Pro含量随着时间的延长不断升高, 且 $0 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$  N处理组上升的速度最快,  $11 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$  N处理组上升的速度最慢, 说明氮素水平的过低或过高都促进了茅苍术体内的渗透作用, 伴随着Pro含量的增加, 植物体受到伤害的程度也就越大。刘晓龙等(2015)研究了不同供氮水平下盐胁迫对水稻光合特性和某些生理特性的影响, 其对Pro含量的研究也从侧面反映出这一结论。

综上所述, 结合不同氮素水平对茅苍术光合特性及生理指标的影响, 中氮水平下( $11 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ )茅苍术植株的生长状况最好, 这与植物有较高的叶绿素含量、 $P_n$ 、 $T_r$ 、 $G_s$ 及较低的SOD、CAT、POD活性和MDA、Pro含量有关, 而低氮水平(0、 $3 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ )和高氮水平( $20 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ )都会不同程度地降低植株的光合作用, 且3种抗氧化酶活性升高, 同时MDA与Pro含量升高, 导致植物体遭受了不同程度的迫害, 影响植株的生长。

### 参考文献

- Chen J, Pang SQ, Zhao XL (2016). Effects of exogenous auxins on growth and antioxidation system in maize seedlings under cadmium stress. *J Plant Physiol*, (8): 1191–1198 (in Chinese with English abstract) [陈晶, 庞思琪, 赵秀兰(2016). 外源生长素对镉胁迫下玉米幼苗生长及抗氧化系统的影响. *植物生理学报*, (8): 1191–1198]
- Chen JX, Wang XF (2015). *Guidance of Plant Physiological Experiment*. Guangzhou: South China University of Technology Press, 24–74 (in Chinese) [陈建勋, 王晓峰(2015). *植物生理学实验指导*. 广州: 华南理工大学出版社, 24–74]
- Chinese Pharmacopoeia Committee (2010). *Chinese Pharmacopoeia (Vol.1)*. Beijing: Chinese Medical Science and Technology Press, 204 (in Chinese) [国家药典委员会(2015). *《中国药典》(一部)*. 北京: 中国医药科技出版社, 204]
- Farquhar GD, Sharkey TD (1982). Stomatal conductance and photosynthesis. *Ann Revi Plant Physiol*, 33 (33): 317–345
- Jiang DB, Zong XH, Li BX, Zong XF, Wang SG (2015). Effects of nitrogen stress on photosynthesis and chlorophyll fluorescence of maize. *J Southwest China Norm Univ (Nat Sci Ed)*, 40 (1): 135–139 (in Chinese with English abstract) [蒋达波, 宗秀虹, 李帮秀, 宗学风, 王三根(2015). 氮素胁迫对玉米光合及叶绿素荧光参数的影响. *西南师范大学学报(自然科学版)*, 40 (1): 135–139]

- Li DD, Tian MY, Cai J, Jiang D, Cao WX, Dai TB (2013). Effects of low nitrogen supply on relationships between photosynthesis and nitrogen status at different leaf position in wheat seedlings. *Plant Growth Regul*, 70: 257–263
- Li JJ, Wang YM, Pan CX, Xiao YH, He JM (2016). Effects of different nitrogen forms and ratio on the content and the quality of peppermint essential oil. *J Plant Physiol*, 52 (2): 150–156 (in Chinese with English abstract) [李娟娟, 王羽梅, 潘春香, 肖艳辉, 何金明(2016). 不同氮素形态及配比对薄荷精油含量和品质的影响. *植物生理学报*, 52 (2): 150–156]
- Li MY, Chao JG, Gu W, Hou HR (2015a). Effects of high temperature stress on photosynthetic characteristics and physiological index of *Atractylodes lancea* in different producing areas. *Southern Agric*, 46 (9): 1651–1657 (in Chinese with English abstract) [李孟洋, 巢建国, 谷巍, 侯皓然(2015a). 高温胁迫对不同产地茅苍术光合特性及生理指标的影响. *南方农业学报*, 46 (9): 1651–1657]
- Li MY, Chao JG, Gu W, Hou HR (2015b). Effects of high temperature stress on chlorophyll fluorescence characteristics of *Atractylodes lancea* from different habitats. *J Plant Physiol*, 51 (11): 1861–1866 (in Chinese with English abstract) [李孟洋, 巢建国, 谷巍, 侯皓然(2015b). 高温胁迫对不同产地茅苍术开花前叶片叶绿素荧光特征的影响. *植物生理学报*, 51 (11): 1861–1866]
- Li MY, Chao JG, Gu W, Hou HR (2016). Physiological-biochemical response of *Atractylodes lancea* from different habitats to waterlogging stress and comprehensive evaluation of their waterlogging tolerance with TOPSIS approach. *Chin J Ecol*, 35 (2): 407–414 (in Chinese with English abstract) [李孟洋, 巢建国, 谷巍, 侯皓然(2016). 不同产地茅苍术对淹水胁迫的生理生化响应及耐淹性的TOPSIS综合评价. *生态学杂志*, 35 (2): 407–414]
- Li Q, Luo YH, Yu DH, Kong FL, Yang SM, Yuan JC (2015). Effects of low nitrogen stress on photosynthetic characteristics and chlorophyll fluorescence parameters of maize cultivars tolerant to low nitrogen stress at the seedling stage. *J Plant Nutr Fert*, 21 (5): 1132–1141 (in Chinese with English abstract) [李强, 罗延宏, 余东海, 孔凡磊, 杨世民, 袁继超(2015). 低氮胁迫对耐低氮玉米品种苗期光合及叶绿素荧光特性的影响. *植物营养与肥料学报*, 21 (5): 1132–1141]
- Liu HP, Hong CL, Li R, Dai ZX, Liu JW, Zhou J, Weng HX (2016). Effects of iodide ( $I^-$ ) on *Capsicum annuum* and tomato fruit quality and their antioxidant enzyme activities. *J Plant Physiol*, 52 (12): 1842–1850 (in Chinese with English abstract) [刘会萍, 洪春来, 李睿, 戴之希, 刘嘉伟, 周骏, 翁焕新(2016). 碘离子( $I^-$ )对辣椒和番茄果实品质及抗氧化酶活性的影响. *植物生理学报*, 52 (12): 1842–1850]
- Liu XL, Xu C, Xu KZ, Cui JJ, Zhang ZA, Ling FL, An JH, Wu ZH (2015). Effects of salt stress on photosynthetic characteristics and some physiological traits of rice varieties at different nitrogen levels. *J South China Agric Univ*, 36 (2): 6–12 (in Chinese with English abstract) [刘晓龙, 徐晨, 徐克章, 崔菁菁, 张治安, 凌凤楼, 安久海, 武志海(2015). 不同供氮水平下盐胁迫对水稻光合特性和某些生理特性的影响. *华南农业大学学报*, 36 (2): 6–12]
- Ma YD, Liu HY, Zhang XQ, Liu YP, Diao M (2016). Effect of different nitrogen levels on growth, photosynthetic characteristics and reactive oxygen scavenging capacity of *Cichorium endivia* L. *Nor Horticult*, (15): 21–26 (in Chinese with English abstract) [马亚东, 刘慧英, 张筱茜, 刘亚萍, 刁明(2016). 供氮水平对苦苣生长、光合特性及活性氧清除能力的影响. *北方园艺*, (15): 21–26]
- Mittler R (2002). Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends Plant Sci*, 7 (9): 405–410
- Ning JF, Zheng QS, Liu ZP, Shao J (2008). Effects of supplemental nitrogen on physiological characteristics of *Aloe vera* seedlings under NaCl stress. *J Plant Nutr Fert*, 14 (4): 728–733 (in Chinese with English abstract) [宁建凤, 郑青松, 刘兆普, 邵晶(2008). 外源氮对NaCl胁迫下库拉索芦荟生理特性的影响. *植物营养与肥料学报*, 14 (4): 728–733]
- Shimoda S (2012). Contribution of leaf nitrogen to photosynthetic gas exchange in contrasting rice (*Oryza sativa* L.) cultivars during the grain-filling period. *Photosynthetica*, 50 (3): 387–396
- Shu JH, Wu JH, Qin TY, Wang XI (2015). Research on physiological characteristics of tall fescue under nitrogen stress. *Agric Sci Tech*, 16 (9): 1837–1839, 1844
- Wang C, Yin LJ, Zhu RL (2015). Growth and physiological responses of *Leucobryum juniperoides* to different nitrogen stresses. *Guizhou Agric Sci*, 35 (4): 520–525 (in Chinese with English abstract) [王铖, 尹丽娟, 朱瑞良(2015). 桧叶白发藓对不同氮源胁迫的形态和生理响应. *广西植物*, 35 (4): 520–525]
- Wang Q, Jin ZX, Peng LQ (2012). Effects of nitrogen deposition on leaf physiological and ecological characteristics of *Lindera aggregata* seedlings. *Chin J Appl Ecol*, 23 (10): 2766–2772 (in Chinese with English abstract) [王强, 金则新, 彭礼琼(2012). 氮沉降对乌药幼苗生理生态特性的影响. *应用生态学报*, 23 (10): 2766–2772]
- Xian KM, Liu HY (2015). Effect of different nitrogen levels on the several physiological indicators and reactive oxygen removal system of color pepper. *Nor Horticult*, (4): 17–21 (in Chinese with English abstract) [鲜开梅, 刘慧英(2015). 不同氮素水平对彩椒几项生理指标及活性氧清除系统的影响. *北方园艺*, (4): 17–21]
- Yang SY, Chen XY, Hui WK, Ren Y, Ma L (2016). Progress in responses of antioxidant enzyme systems in plant to environmental stresses. *J Fujian Agric For Univ (Nat Sci Edn)*, 45 (5): 481–489 (in Chinese with English abstract) [杨舒怡, 陈晓阳, 惠文凯, 任颖, 马玲(2016). 逆境胁迫下植物抗氧化酶系统响应研究进展. *福建农林大学学报(自然科学版)*, 45 (5): 481–489]
- Yu JP, Yu S, Liang YW, Ni XJ, Ren QJ (2014). Effect of NaCl stress on some physiological indexes of *Fraxinus americana* seedling. *J Plant Resour Environ*, 23 (1): 110–112 (in Chinese with English abstract) [于金平, 俞珊, 梁有旺, 倪学军, 任全进(2014). NaCl胁迫对美国白蜡幼苗部分生理指标的影响. *植物资源与环境学报*, 23 (1): 110–112]
- Yu XM, Sun Q, Yao HJ, Wang Y (2016). Comparative photosynthetic characteristics of different *Hydrangea* L. varieties. *J Plant Physiol*, 52 (8): 1142–1150 (in Chinese with English abstract) [虞秀明, 孙强, 姚红军, 王焱(2016). 绣球属品种间光合特性的比较研究. *植物生理学报*, 52 (8): 1142–1150]

- Zhang K, Wang YR, Zhao YL, Tang XQ, Wang Y (2016). Effects of water and nitrogen interaction on photosynthetic physiology of *Isatis indigotica* and quality of medicinal material. *Chin J Ecol*, 35 (12): 3279–3285 (in Chinese with English abstract) [张珂, 王艺蓉, 赵宇隆, 唐晓清, 王雨(2016). 水氮互作对菘蓝光合生理及药材质量的影响. *生态学杂志*, 35 (12): 3279–3285]
- Zhou J, Guo LP, Huang LQ, Zhang YQ, Han XL (2008). Effect of low-potassium stress on growth of *Atractylodes lancea* and components of its essential oil. *Chin Tradit Herbal Drugs*, 39 (10): 1548–1552 (in Chinese with English abstract) [周洁, 郭兰萍, 黄璐琦, 张永清, 韩小丽(2008). 低钾胁迫对苍术生长发育及挥发油的影响. *中草药*, 39 (10): 1548–1552]

## Effects of different nitrogen levels on photosynthetic characteristics and physiological indexes of *Atractylodes lancea*

LU Qi-Jie, CHAO Jian-Guo\*, GU Wei, ZHANG Wen-Ming

College of Pharmacy, Nanjing University of Chinese Medicine, Nanjing 210023, China

**Abstract:** Jiangsu authentic medicine *Atractylodes lancea* was used as material to study the effect of different nitrogen levels on photosynthetic characteristics and physiological indexes by pot experiment. The results showed that, under six treatments with different concentrations of nitrogen, the chlorophyll contents, net photosynthetic rate ( $P_n$ ), stomatal conductance ( $G_s$ ) and transpiration rate ( $T_r$ ) were higher with treatment of  $11 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \text{ N}$ , and intercellular carbon dioxide concentration ( $C_i$ ) was lower, while the activities of superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT) and peroxidase (POD) were maintained at a low level, and MDA and free proline contents were both low. However, low nitrogen level ( $0, 3 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \text{ N}$ ) and high nitrogen level ( $20 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \text{ N}$ ) all weakened the photosynthesis of the plants to different extents, but the activities of three kinds of antioxidant enzymes increased, while the same to MDA and free proline contents. These indicated that  $11 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$  was the suitable nitrogen concentration for the growth and development of *A. lancea*, but the other treatments affected the photosynthesis of plants, increased the accumulation of reactive oxygen species, accelerated the membrane lipid peroxidation, and damaged the cell membrane structure, thus affecting the normal growth.

**Key words:** *Atractylodes lancea*; nitrogen level; photosynthetic characteristics; physiological indexes

Received 2017-02-03 Accepted 2017-08-13

This work was supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 81573520), The Second Phase of Construction of Advantageous Subjects of Traditional Chinese Medicine in Jiangsu Province (Grant No. ysxk-2014), the National Essential Medicines Required Seeds and Seedlings Breeding Base Construction Projects (Grant No. 2014-Atractylodes lancea), China's Aquatic, Salt-Resistant Traditional Chinese Medicine Rational Use of Resources Industry Special (Grant No. 201407002), "Six Talent Peak" High-Level Talent Project (Grant No. 2012-YY-009), and Jiangsu Province "333 High-Level Personnel Training Project" Funding.

\*Corresponding author (E-mail: jgchao1016@163.com).