



茅苍术对不同供磷水平的光合及生理响应

胡煜雯¹, 巢建国², 陆奇杰², 谷 巍², 张文明²

(1. 江苏省医疗器械检验所, 江苏 南京 210019; 2. 南京中医药大学 药学院, 江苏 南京 210023)

摘要:为指导茅苍术优质生产及合理施肥,以茅苍术试验材料,采用盆栽试验方法,设置6个不同供磷水平,研究其对茅苍术光合特性及生理指标的影响。结果表明:当供磷水平为 $15\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ 时,茅苍术叶片的净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)和蒸腾速率(T_r)值相对较高,胞间 CO_2 浓度(C_i)值、超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)、过氧化物酶(POD)活性和丙二醛(MDA)、脯氨酸(Pro)含量相对较低,植物体的生长状况良好。但供磷水平的过高或过低都使茅苍术叶片的光合作用受到抑制,其体内活性氧迅速积累加剧细胞膜脂过氧化程度,细胞内外渗透压遭到破坏,从而使3种抗氧化酶活性及MDA、Pro的含量显著上升,由此表明 $15\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ 应是茅苍术生长的最适需磷量。

关键词:茅苍术;供磷水平;光合特性;生理指标

磷是一种重要的植物营养元素,是核酸、磷脂和ATP等关键分子的组成部分,同时它也参与植物光合作用和能量代谢等重要生理过程,缺没有磷元素供应,植物就不能正常生长^[1-2]。但植物体内磷元素的过量也会抑制植物的光合作用,所以适量的磷素水平可以保证植株的良好生长^[3]。近年来国内外的许多学者针对不同磷素水平对植物光合特性,生理指标方面进行了一定的研究^[4-5],贺军军等^[6]发现施磷水平的过高或过低都会抑制橡胶幼苗叶片的光合作用与生理代谢。

茅苍术 *Atractylodes lancea* (Thunb.) DC. 为菊科多年生草本植物,其根茎入药具有燥湿健脾、祛风散寒、明目的功效^[7]。茅苍术道地产区于江苏句容茅山,由于这一地区的土壤成分含量不一,造成苍术药材的品质各有千秋,土壤中磷元素的含量显然会对其生长发育造成影响。目前已有学者研究了氮素^[8]及钾素^[9]对茅苍术生长发育和光合生理等方面的影响,但茅苍术对不同供磷水平的光合及生理响应还未见报道。因此,本试验以茅苍术作为供试材料,研究不同供磷水平对茅苍术光合特性及生理指标的影响,以期揭示茅苍术

的最适需磷量,并为其优质生产和合理施肥技术提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试材料茅苍术取自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.。

1.2 方法

1.2.1 试验设计 试验于2017年7-8月在南京中医药大学药用植物园内进行,采用盆栽试验方法。选取长势基本一致的5株茅苍术种植于圆形带托盘花盆中,盆直径23.5 cm,高17.0 cm,每个花盆装有晒干过筛后的砂土5 kg。采用随机区组试验方法,以蒸馏水为对照,设置6个不同供磷水平处理组,分别为0、5、10、15、20和 $25\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$,记为P0~P5,配置成霍格兰营养液,其改良配方见表1。之后分别对茅苍术植株进行浇灌,每个处理重复3次,处理后每隔7 d再次浇灌改良的霍格兰营养液。在处理0、7、14、21和28 d后,随机在每个处理组的不同植株上选取生长旺盛的3片功能叶于13:30-15:30进行茅苍术光合特性的测定,每次测定得到3个重复数据。在这些叶片上分别做好标记,在处理0、8、15、22和29 d后,于每株随机选取未做标记且生长旺盛的功能叶,混匀剪碎后进行生理指标的测定,每次测定得到3个重复数据^[8]。

1.2.2 测定指标及方法 光合参数:采用美国基因公司的LI-6400型便携式光合测定系统进行测定,

收稿日期:2018-08-20

基金项目:国家自然科学基金资助项目(81573520);江苏省中药资源产业化过程协同创新中心资助项目(ZDXM-3-24);江苏省中药优势学科II期建设资助项目(ysxk-2014);2017年中医药公共卫生服务补助专项资助项目(财社2017年66号)。

第一作者简介:胡煜雯(1989-),女,硕士,中级工程师,从事医疗器械检测、生物学评价、中药资源研究。E-mail: kurenai@qq.com。

通讯作者:巢建国(1960-),男,硕士,教授,从事中药资源利用与品质评价等研究。E-mail: jgchao1016@163.com。

以开放式气路系统测量茅苍术的 P_n 、 G_s 、 T_r 和 C_i 值。

表 1 霍格兰营养液改良配方

Table 1 Improved formula of Hoagland nutrient solution

处理 Treatments	化合物用量/g Compound dosage				
	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	KNO_3	MgSO_4	NH_4NO_3	NaH_2PO_4
P0	0.8024	0.2020	0.4850	1.5056	0.0000
P1	0.8024	0.2020	0.4850	1.5056	3.3581
P2	0.8024	0.2020	0.4850	1.5056	6.7162
P3	0.8024	0.2020	0.4850	1.5056	10.0743
P4	0.8024	0.2020	0.4850	1.5056	13.4324
P5	0.8024	0.2020	0.4850	1.5056	16.7905

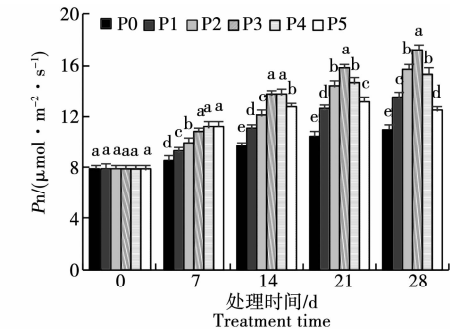
生理指标:SOD、CAT 活性采用南京建成生物
工程公司的试剂盒测定;POD 活性采用愈创木
酚法测定;MDA 含量采用硫代巴比妥酸法测定;
Pro 含量采用酸性茚三酮比色法测定^[10]。

1.2.3 统计分析 采用 Excel 2013 进行数据处
理及图表绘制,采用 IBM SPSS 22.0 进行各参数
间的多重比较。

2 结果与分析

2.1 不同供磷水平对茅苍术光合特性的影响

由图 1 可知,除 P5 组外其余处理组茅苍术叶
片的 P_n 值随着处理时间的延长而增加,P5 组的
 P_n 值在处理 21 d 后达到最大之后开始下降。处
理 28 d 后,P3 组 P_n 值上升幅度最大,相较于未
处理前增加了 116.92%;P0 组 P_n 值上升幅度最
小,相较于未处理前增加了 39.38%。



不同小写字母代表0.05水平差异显著(P<0.05),下同。
Different lowercase indicate significant difference at 0.05 level
(P<0.05),the same below.

图 1 不同供磷水平对茅苍术 P_n 的影响

Fig. 1 Effects of different phosphorus levels on
net photosynthetic rate of *A. lancea*

图 2 结果表明,随着处理时间的延长,不同供
磷水平下茅苍术叶片的 G_s 值基本呈不断上升的
趋势,说明不同供磷水平都能增加茅苍术叶片的
气孔开放程度。在 28 d 后,P0~P5 组的 G_s 值与

处理 0 d 时相比分别增加了 31.36%、66.24%、
86.41%、107.75%、96.84%和 68.47%。

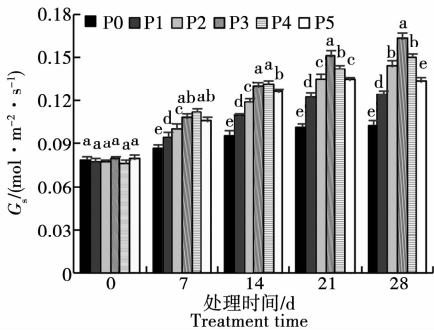


图 2 不同供磷水平对茅苍术 G_s 的影响

Fig. 2 Effects of different phosphorus levels on
stomatal conductance of *A. lancea*

由图 3 可知,不同磷素水平下各处理组茅苍
术叶片 T_r 值的变化趋势基本一致,除 P5 组外都
是随着处理时间的延长而增大。处理 28 d 后,
P3 组的 T_r 值最大为 1.749 $\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,与此
时最小的 P0 组相比增加了 64.75%,此时除了 P2
与 P4 组外,各处理组的 T_r 值都有显著性差异。

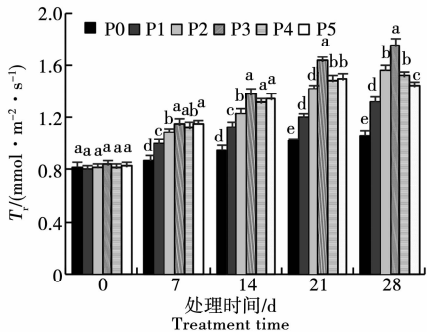


图 3 不同供磷水平对茅苍术 T_r 的影响

Fig. 3 Effects of different phosphorus levels on
transpiration rate of *A. lancea*

由图 4 可知,不同供磷水平下茅苍术叶片的

C_i 值随着处理时间的增加而上升,不同处理组上升的幅度不同,P0 组的 C_i 值上升幅度最大,P3 组的 C_i 值上升幅度最小。处理 28 d 后,P0 组的 C_i 值最大为 $1\,016.495\ \mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$,相较于其余处理组分别增加了 11.35%、27.49%、44.55%、33.93%和 17.84%,此时各处理组的 C_i 值都有显著性差异。

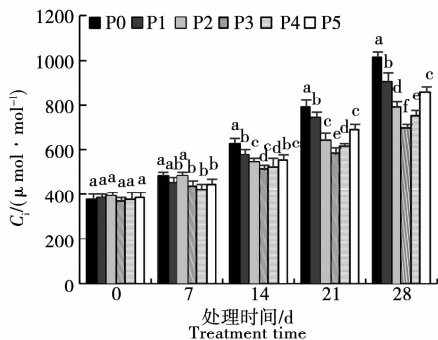


图 4 不同供磷水平对茅苍术 C_i 的影响

Fig. 4 Effects of different phosphorus levels on intercellular CO_2 concentration of *A. lancea*

2.2 不同供磷水平对茅苍术抗氧化酶活性的影响

不同供磷水平下茅苍术叶片中 SOD、CAT 和 POD 活性的变化趋势大体相同,随着处理时间的增加,茅苍术叶片中 3 种酶活性都会上升,但上升的幅度各有差异。

由图 5 可知,不同供磷处理 8 d 内各处理组的 SOD 活性差异不大,随着时间的延长 P0 组的 SOD 活性始终处于较高水平。处理 29 d 后,P0 组的 SOD 活性最大,为 $1\,632.165\ \text{U}\cdot\text{g}^{-1}\ \text{FW}$,比 SOD 活性最小的 P3 组增加了 39.95%,除 P2 与 P5 组外,各处理组的 SOD 活性都有显著性差异。

由图 6 可知,不同供磷水平下 P0 组的 CAT 活性上升幅度最大,而 P3 组的 CAT 活性上升幅度最小,两者在不同处理时间内都存在显著性差异。处理 29 d 后,各处理组的 CAT 活性与未处理时相比分别增加了 155.96%、127.89%、114.09%、78.23%、87.99%和 120.55%。

由图 7 可知,不同时间处理不同供磷水平下 P3 组的 POD 活性始终处于较低水平,处理 29 d 后其 POD 活性仍最低,相较于其余处理组分别下降了 27.55%、16.01%、8.94%、9.58% 和 14.84%,且与其余处理组的 POD 活性都有显著

性差异。

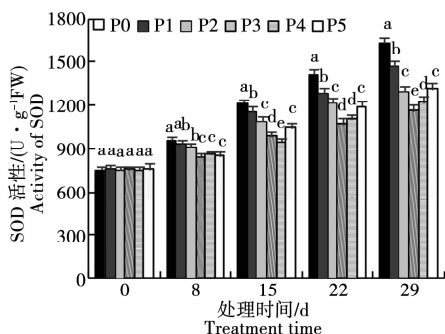


图 5 不同供磷水平对茅苍术 SOD 活性的影响

Fig. 5 Effects of different phosphorus levels on SOD activity of *A. lancea*

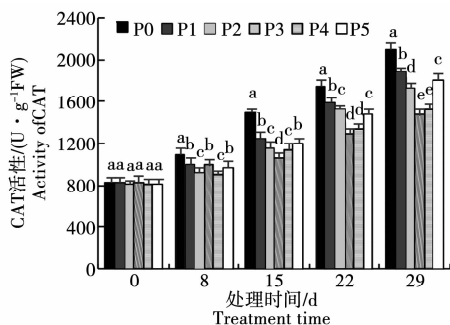


图 6 不同供磷水平对茅苍术 CAT 活性的影响

Fig. 6 Effects of different phosphorus levels on CAT activity of *A. lancea*

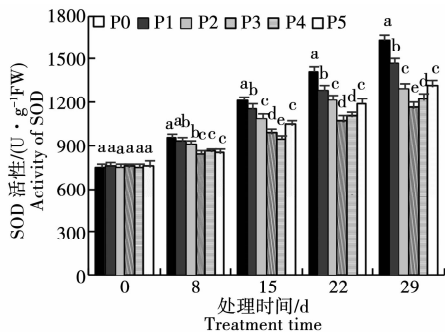


图 7 不同供磷水平对茅苍术 POD 活性的影响

Fig. 7 Effects of different phosphorus levels on POD activity of *A. lancea*

2.3 不同供磷水平对茅苍术 MDA 含量的影响

由图 8 可知,随着处理时间的增加,不同供磷水平下茅苍术叶片中 MDA 含量均有明显增加,并且都在处理 29 d 后达到最大值。其中 P0 组 MDA 含量上升幅度最大,29 d 后与其余处理组相比分别增加了 15.95%、28.37%、36.61%、30.42%和 19.30%。P3 组的 MDA 含量在处理 8 d 内稍高于 P4 与 P5 组,在之后的处理时间内

其 MDA 含量都处于较低水平。

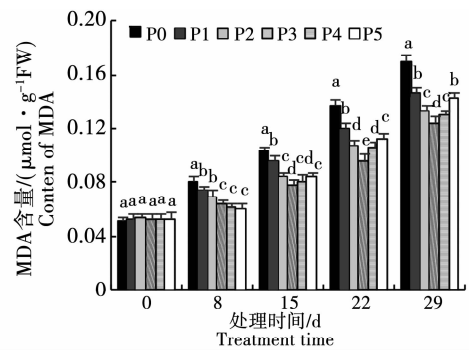


图8 不同供磷水平对茅苍术MDA含量的影响
Fig. 8 Effects of different phosphorus levels on MDA content of *A. lancea*

2.4 不同供磷水平对茅苍术Pro的影响

由图9可知,各供磷水平下茅苍术叶片中的Pro含量均呈逐渐上升的趋势。供磷处理8d内,P0组的Pro含量显著高于其余处理组,处理29d后,其Pro含量最大,为1 617.426 μg·g⁻¹·FW,与含量最低的P3组相比增加了25.70%,此时P0与P1组,P2与P5组,P3与P4组的Pro含量均无显著性差异。

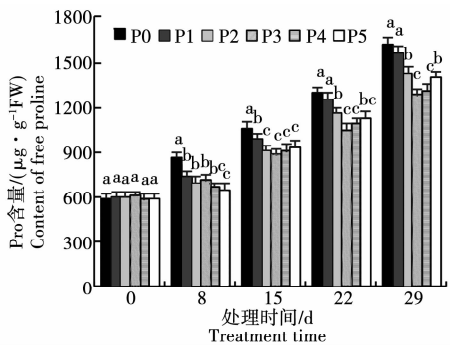


图9 不同供磷水平对茅苍术Pro含量的影响
Fig. 9 Effects of different phosphorus levels on Pro content of *A. lancea*

3 结论与讨论

光合作用是植物体生长发育的重要途径之一,植物体通过光合作用获得能量与营养物质,其强弱直接决定了植物生长发育的情况^[11]。影响光合作用的因素主要有气孔与非气孔因素两种,这两者的区别主要在于 P_n 、 G_s 值下降时, C_i 值的变化情况。若 C_i 值也随之下降则气孔因素是光合作用降低的主要因素,若 C_i 值反而上升则证明非气孔因素是主要原因^[12]。本研究的结果表明,处理后期当供磷水平处于较低水平时,茅苍术叶片的 P_n 、 G_s 、 T_r 值都较低,但 C_i 值较高。当供磷水

平达到15 g·m⁻²时,茅苍术叶片的 P_n 、 G_s 、 T_r 值都达到最大值,这说明此浓度应是茅苍术进行光合作用较为适宜的磷素水平。随着供磷水平进一步加大时,茅苍术叶片的 P_n 、 G_s 、 T_r 值呈不同程度的下降趋势,但 C_i 值却会随之上升,这表明供磷过多反而会抑制茅苍术体内的光合系统,非气孔因素是导致光合作用降低的主要因素,这与姜宗庆等^[13]研究薄壳山核桃光合特性对磷素响应所得到的结果相似。

在逆境条件下,植物体内会产生大量的活性氧,而植物体自身抵御活性氧的伤害存在一套精密而又复杂的防御体系。植物会通过提高抗氧化酶活性来分解活性氧以维持自身的正常代谢,其中主要包括SOD、CAT和POD^[14]。本研究结果显示,供磷水平低于10 g·m⁻²或超过20 g·m⁻²时,茅苍术叶片中3种抗氧化酶活性会显著上升,这说明低磷或高磷处理都会使茅苍术叶片中活性氧代谢失衡,植物体通过提高这3种酶活性来缓解活性氧带来的伤害。而当供磷水平为15 g·m⁻²时,茅苍术叶片中SOD、CAT和POD活性均较低,说明此时其活性氧的产生与分解处于相对稳定的状态。廉华等^[15]研究了磷素对甜瓜幼苗生理指标的影响,其CAT与POD活性的变化趋势与本研究结果相似。

磷是组成植物生物膜结构磷脂双分子层的主要元素之一。供磷水平的大小必然会影响到植物体的细胞膜结构。MDA是植物细胞膜脂过氧化的重要产物,它的含量能体现细胞膜结构的损伤程度和膜脂过氧化水平^[16]。本研究结果表明不同供磷水平下茅苍术叶片中的MDA含量差异较大,和抗氧化酶变化结果相似,低磷和高磷水平下茅苍术叶片中MDA含量较高,而在15 g·m⁻²处理下其MDA含量保持在较低水平,这说明活性氧过量产生会使细胞膜脂过氧化作用加剧从而促进MDA的产生。

植物体中的游离Pro是植物体内不可缺少的成分之一,它充当植物渗透调节物质,以及在调节细胞氧化还原势等方面起重要作用,植物通过增加体内的Pro含量来维持细胞内外的渗透压^[17]。本研究结果发现,相较于15 g·m⁻²处理组供磷水平的过高或过低都会显著增加茅苍术叶片中的Pro含量,这说明低于或高于一定量磷素水平的会破坏茅苍术叶片内外的渗透平衡,植物体通过生成Pro来对渗透压进行调节从而减外界环境带

来的伤害。秦晓佳等^[18]通过研究发现低磷逆境下,马尾松针叶 MDA 含量以及游离脯氨酸含量均增加,此结果与本研究一致。

综上所述,通过整体分析茅苍术对不同供磷水平的光合及生理响应表明,15 g·m⁻² 应是茅苍术的最适需磷量,在此浓度下茅苍术 P_n 、 G_s 、 T_r 值相对较高,SOD、CAT、POD 活性和 MDA、Pro 含量相对较低,植物体的生长状况良好。但供磷水平的过高或过低都会抑制茅苍术叶片的光合作用,促使活性氧的生成,增加 3 种抗氧化酶及 MDA 的含量及破坏细胞内外渗透压使 Pro 的含量上升,这时植株正常的生长发育受到了显著的影响。

参考文献:

- [1] Schachtman D P, Reid R J, Ayling S M. Phosphorus uptake by plants: From soil to cell[J]. Plant Physiology, 1998, 116 (2): 447-453.
- [2] 张阳锋, 杨锦昌, 尹光天, 等. 供磷水平对米老排苗木生长及养分状况的影响[J]. 热带亚热带植物学报, 2016, 24 (6): 603-608.
- [3] 吴一群, 林琼, 颜明娟, 等. 不同磷素水平对番茄生长及养分吸收的影响[J]. 中国农学通报, 2017, 33 (9): 74-77.
- [4] 樊卫国, 王立新. 组荷尔脐橙幼树对不同供磷水平的光合响应[J]. 果树学报, 2012, 29 (2): 166-170.
- [5] Atif M J, Shaukat S A, Ali S S Z. Effect of different levels of phosphorus on growth and productivity of pea (*Pisum Sativum* L.) cultivars grown as off-season under Rawalakot Azad Jammu and Kashmir conditions[J]. Journal of Recent

Advance in Agriculture, 2014, 2 (6): 252-257.

- [6] 贺军军, 姚艳丽, 林清火, 等. 不同施磷水平对橡胶幼苗光合与生理代谢的影响[J]. 热带农业科学, 2016, 36 (4): 1-4.
- [7] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2015: 161.
- [8] 陆奇杰, 巢建国, 谷巍, 等. 不同氮素水平对茅苍术光合特性及生理指标的影响[J]. 植物生理学报, 2017, 53 (9): 1673-1679.
- [9] 周洁, 郭兰萍, 黄璐琦, 等. 低钾胁迫对苍术生长发育及挥发油的影响[J]. 中草药, 2008, 39 (10): 1548-1552.
- [10] 陈建勋, 王晓峰. 植物生理学实验指导[M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2015: 24-74.
- [11] 张文明, 巢建国, 谷巍, 等. 酸雨胁迫下茅苍术的光合及生理响应[J]. 南方农业学报, 2017, 48 (7): 1167-1172.
- [12] Farquhar G D, Sharkey T D. Stomatal conductance and photosynthesis[J]. Annual Review of Plant Physiology, 1982, 33: 317-345.
- [13] 姜宗庆, 李成忠, 汤庚国. 薄壳山核桃光合生理特性对磷素响应的研究[J]. 北方园艺, 2018 (1): 19-22.
- [14] 李孟洋, 巢建国, 谷巍, 等. 高温胁迫对不同产地茅苍术光合特性及生理指标的影响[J]. 南方农业学报, 2015, 46 (9): 1651-1657.
- [15] 廉华, 王萌, 马光恕, 等. 磷素对甜瓜幼苗期生理指标的影响[J]. 北方园艺, 2015 (23): 14-17.
- [16] 高乐, 何鹏, 吴炳孙, 等. 不同磷水平对橡胶树幼苗保护酶活性和膜脂过氧化物的影响[J]. 热带农业工程, 2014, 38 (5): 1-4.
- [17] 白院生, 葛海香, 韩玉林, 等. 轮叶狐尾藻对水体重金属铅污染的耐性研究[J]. 北方园艺, 2018 (1): 104-109.
- [18] 秦晓佳, 丁贵杰. 低磷胁迫对不同种源马尾松幼苗的影响[J]. 林业科技, 2012, 37 (3): 1-5.

Photosynthesis and Physiological Responses of *Atractylodes lancea* to Different Phosphorus Supply Levels

HU Yu-wen¹, CHAO Jian-guo², LU Qi-jie², GU Wei², ZHANG Wen-ming²

(1. Jiangsu Institute of Medical Device Testing, Nanjing 210019, China; 2. College of Pharmacy, Nanjing University of Chinese Medicine, Nanjing 210023, China)

Abstract: In order to guide the high quality production and reasonable fertilization, *Atractylodes lancea* was used as experimental material, with the potting experiment method, six different levels of phosphorus supply were set to study their effects on photosynthetic characteristics and physiological indexes of *A. lancea*, so as to provide a theoretical basis for the quality production and reasonable fertilization techniques of *A. lancea*. The results showed that, when the phosphorus supply level was 15 g·m⁻², the net photosynthetic rate (P_n), stomatal conductance (G_s) and transpiration rate (T_r) of *A. lancea* were relatively high. While the intercellular CO₂ concentration (C_i) values, activities of superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT), peroxidase (POD) activity were relatively low, and contents of malondialdehyde (MDA), proline (Pro) were both low. The growth of plant was good. However, the high or low level of phosphorus supply inhibited the photosynthesis of the leaves of *A. lancea*, the rapid accumulation of active oxygen in the body added to the degree of cell membrane lipid peroxidation, and the osmotic pressure inside and outside the cells was destroyed. As a result, the activities of three antioxidant enzymes and contents of MDA and Pro increased significantly. It indicated that 15 g·m⁻² should be the most suitable amount of phosphorus for the growth of *A. lancea*.

Keywords: *Atractylodes lancea*; phosphorus supply level; photosynthetic characteristics; physiological indexes