

# 氮肥和种植密度对丹参光合特性日变化的影响

吕静霞, 王征宏\*, 魏 鑫, 都开彬, 刘会华, 乔 琦, 苗艳芳  
(河南科技大学 农学院, 河南 洛阳 471003)

**摘要:** 以紫花丹参为材料, 研究氮肥和种植密度对其光合特性日变化的影响, 以为丹参规范化种植提供理论依据。结果表明, 丹参叶片净光合速率呈现双峰曲线, 具有明显的光合“午休”现象, 在丹参光合“午休”期间, 气孔导度、蒸腾速率、大气  $\text{CO}_2$  浓度均下降, 光合有效辐射上升。高氮肥处理下, 丹参光合“午休”的主要限制因子是气孔导度,  $8 \times 10^4$  株/ $\text{hm}^2$  种植密度下丹参净光合速率较高; 而低氮肥处理下, 净光合速率受多个因子共同影响,  $10 \times 10^4$  株/ $\text{hm}^2$  种植密度下丹参净光合速率较高。同一种种植密度下, 高氮肥处理的丹参净光合速率均较低氮肥处理的高。由此说明, 氮肥和密度的互作对丹参净光合速率有明显影响, 在一定肥力范围内, 可以通过调整种植密度来替代施肥量, 以密补肥。

**关键词:** 丹参; 光合特性; 日变化; 种植密度; 氮肥

**中图分类号:** S158 S567 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-3268(2014)08-0097-05

## Effect of Nitrogen Fertilizer and Plant Density on Diurnal Variation of Photosynthetic Characteristics of *Salvia miltiorrhiza*

LÜ Jing-xia, WANG Zheng-hong\*, WEI Xin, DU Kai-bin,  
LIU Hui-hua, QIAO Qi, MIAO Yan-fang

(College of Agriculture, Henan University of Science and Technology, Luoyang 471003, China)

**Abstract:** In order to provide theoretical basis for normalized cultivation of *Salvia miltiorrhiza*, the effect of nitrogen fertilizer and plant density on diurnal variation of photosynthetic characteristics of purple flower *Salvia miltiorrhiza* was studied. The results showed that, the diurnal variation of net photosynthetic rate of *Salvia miltiorrhiza* presented double-apex curve, and had a phenomenon of photosynthetic “noon breaking”. During photosynthetic “noon breaking”, stomatal conductance, transpiration rate and air  $\text{CO}_2$  concentration decreased, but photosynthetically available radiation increased. Under high nitrogen fertilization condition, stomatal conductance was the main limiting factor affecting the photosynthetic “noon breaking” of *Salvia miltiorrhiza*, and net photosynthetic rate was higher in plant density of  $8 \times 10^4$  plants/ha. Under low nitrogen fertilization condition, net photosynthetic rate of *Salvia miltiorrhiza* was affected by several factors together, and net photosynthetic rate was higher in plant density of  $10 \times 10^4$  plants/ha. Net photosynthetic rate was higher under high nitrogen fertilizer condition

收稿日期: 2014-04-05

基金项目: 河南省科技攻关项目(122102110108); 河南科技大学博士基金项目(09001427)

作者简介: 吕静霞(1963-), 女, 河南洛阳人, 实验师, 主要从事植物资源开发与利用研究。E-mail: lvjingxia7777@163.com

\* 通讯作者: 王征宏(1976-), 女, 内蒙古阿尔山人, 副教授, 博士, 主要从事植物逆境生理研究。E-mail: zhwwzh@163.com

than that under low nitrogen fertilizer condition when the plant density was same. This result indicated that interaction between nitrogen fertilizer and plant density had significant effects on the net photosynthetic rate of *Salvia miltiorrhiza*. So, in a range of soil fertility amount, plant density can be regulated to compensate or substitute fertilization.

**Key words:** *Salvia miltiorrhiza*; photosynthetic characteristics; diurnal variation; plant density; nitrogen fertilizer

丹参(*Salvia miltiorrhiza*)系唇形科(Lamiaceae)鼠尾草属(*Salvia*)多年生草本植物,以根及根茎入药,对心绞痛、心肌梗塞和脑卒中等心脑血管疾病具有良好疗效,是我国传统大宗制药原料<sup>[1-2]</sup>。地处伏牛山区的豫西地区,具有特殊的地理环境、典型的自然条件和良好的生态环境,是丹参重要的优质生产基地之一。由于丹参生长适应性较强,当前药农种植技术简单、管理粗放,是导致丹参产量和质量不稳定的主要原因之一,所以丹参规范化种植势在必行。

不同植物有不同的光适应特性,研究植物光合日变化有助于阐明其冠层光合产物积累与环境的关系,也是分析环境因素影响植物生长与发育的重要手段<sup>[3]</sup>。栽植密度和施肥对植物的光合特性和产量都有较大的影响<sup>[4-6]</sup>。本研究通过探讨不同种植密度和氮肥对丹参光合特性日变化的影响,揭示丹参光合特性日变化对栽植密度和氮用量的响应,以期对丹参田间规范化种植提供理论依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验地概况

试验在河南科技大学试验农场(洛阳市)进行,试验用地是豫西地区常见的旱薄地,土壤为潮土,其基本理化性质见表1。施用肥料为:尿素(N 46%)、磷酸二铵(N 21%、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 52%)、硫酸钾(K<sub>2</sub>O 50%)。

表1 土壤基本理化性质

土层厚度/ cm	有机质/ %	全氮/ %	速效磷/ (mg/kg)	速效钾/ (mg/kg)
0~20	2.60	0.086	6.478	215
20~40	2.17	0.088	2.470	184

### 1.2 试验材料

供试材料为紫花丹参品种,试验种苗来自河南省洛阳市伊川县丹参生产基地。

### 1.3 试验设计

在每公顷施磷 90 kg、钾 90 kg 的基础上,设追施高氮(180 kg)、低氮(135 kg) 2 个处理;设 5 种植株密度:M1(8×10<sup>4</sup> 株/hm<sup>2</sup>)、M2(10×10<sup>4</sup> 株/hm<sup>2</sup>)、M3(12×10<sup>4</sup> 株/hm<sup>2</sup>)、M4(14×10<sup>4</sup> 株/hm<sup>2</sup>)、M5(16×10<sup>4</sup> 株/hm<sup>2</sup>)。

于 2009 年 4 月 7 日下午在河南科技大学试验地进行丹参种苗移栽,10 月底收获丹参。试验地田间管理同大田。

### 1.4 测定方法

于 2009 年 7、8 月份选择晴朗天气测定各项指标。选择大小均匀、长势一致的植株同一方位主茎顶部倒数第二成熟叶片,从 8:00 至 18:00,每 2 h 利用 LI-6400 便携式光合作用测定系统测定光合日变化,每次测量 3 株,每株测定 1 次。测定参数包括叶片净光合速率(Pn)、蒸腾速率(Tr)、气孔导度(Gs)、胞间 CO<sub>2</sub> 浓度(Ci)、光合有效辐射(PAR)、大气 CO<sub>2</sub> 浓度(Ca)等,测定时用缓冲瓶控制 CO<sub>2</sub> 浓度相对稳定。

### 1.5 数据处理

采用 Excel 2003 对数据进行处理,采用 Sigma-Plot 软件进行绘图,用 SPSS 统计软件对数据进行方差分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 大气环境因子的日变化

自然条件下丹参叶片的光合特性受光合有效辐射、CO<sub>2</sub> 浓度等多个环境因子的影响。由图 1 可知,大气光合有效辐射呈现单峰曲线,从 8:00 开始光合有效辐射逐渐增加,至 12:00 达到最大值,以后逐渐下降。大气 CO<sub>2</sub> 经过夜间富集 8:00 浓度较高,随后由于丹参叶片光合作用的消耗使大气中 CO<sub>2</sub> 浓度逐渐下降,到 16:00 降到最低点,16:00 后由于光合速率降低,大气 CO<sub>2</sub> 浓度开始回升。

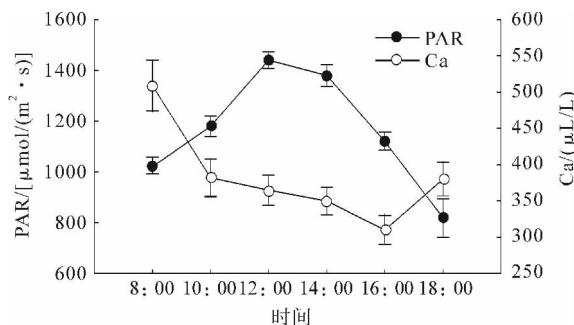


图1 PAR 和 Ca 的日变化

## 2.2 氮肥和种植密度对丹参叶片光合特征参数日变化的影响

2.2.1 净光合速率 不同施氮肥量和种植密度下丹参的净光合速率日变化均呈双峰曲线(图 2),存在明显的光合午休现象(12:00 左右),并分别在 10:00 和 14:00 达到第 1 个和第 2 个峰值,且第 1 个峰值明显高于第 2 个峰值。在同一种种植密度下,高氮肥处理的光合速率双峰值明显大于低氮肥处理的

双峰值。不同种植密度峰值大小呈现一定差异,高氮肥条件下,5 种植密度第 1 峰值净光合速率表现为  $M1 > M2 > M4 > M3 > M5$ (图 2A);低氮肥条件下(图 2B),5 种植密度第 1 峰值的大小依次是  $M2 > M3 > M4 > M1 > M5$ ,  $M5$  与其他 4 种植密度净光合速率有显著的差异( $P < 0.05$ ),其他 4 种差异不显著,第 2 峰值 5 种植密度下净光合速率日变化差异不显著。

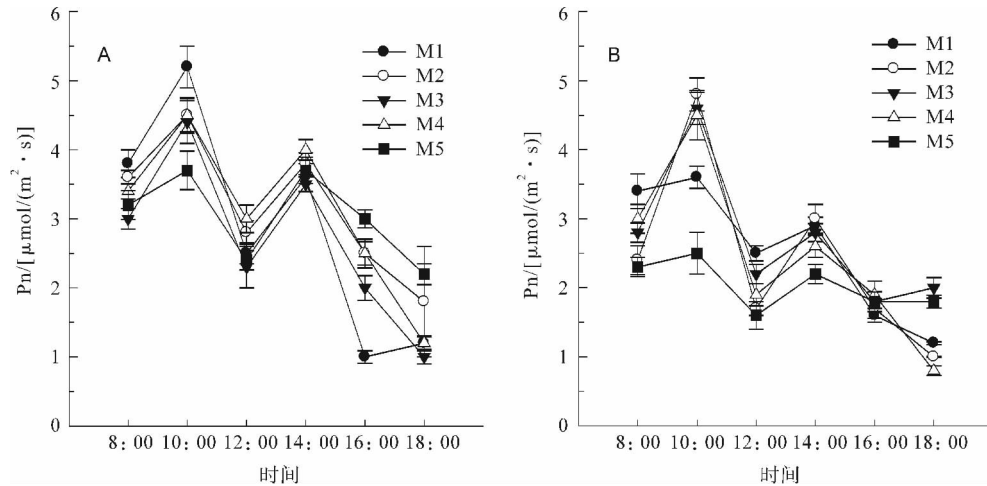


图 2 氮肥(高氮 A、低氮 B)和种植密度对丹参 Pn 的影响

2.2.2 蒸腾速率 由图 3 可知,不同施氮肥量和种植密度下丹参的蒸腾速率日变化均呈双峰曲线,分别在 10:00 和 14:00 达到第 1 个和第 2 个峰值。高

肥条件下,不同种植密度下丹参叶片蒸腾速率第 1 峰值表现为  $M5$  的最大(图 3A);在低肥处理下,  $M2$  的蒸腾速率在峰值处始终最大(图 3B)。

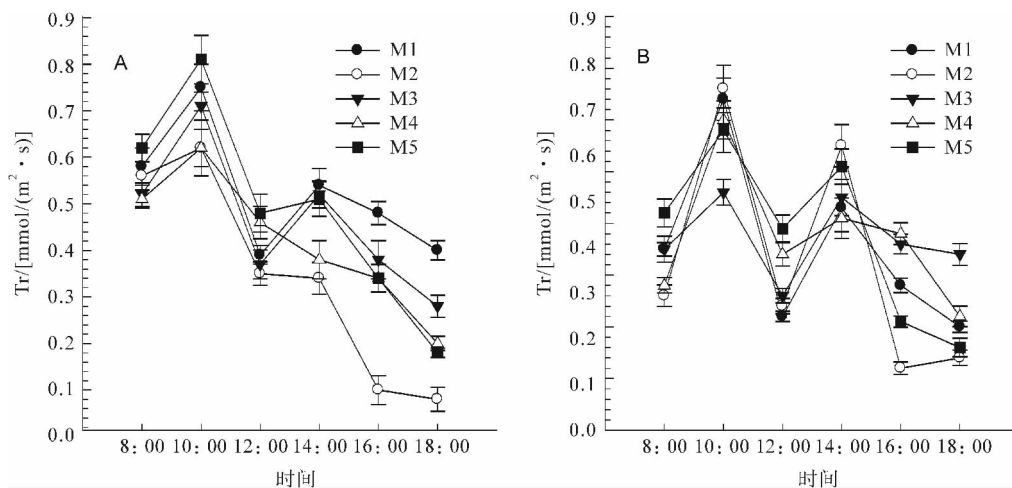


图 3 氮肥(高氮 A、低氮 B)和种植密度对丹参 Tr 的影响

2.2.3 气孔导度 气孔是植物与外界进行物质交换的大门,气孔导度很好地反映了气孔的开放程度。不同施氮肥量和种植密度下丹参叶片的气孔导度日变化曲线呈双峰型(图 4),但在日变化过程中双峰出现的时间和峰值大小却呈现出一定的差

异。气孔导度第 1 峰值均出现在 10:00,第 2 峰值出现在 14:00 至 16:00,且第 1 峰值较第 2 峰值高。以叶片气孔导度的第 1 峰值为例,高氮条件下  $M1$  的峰值最大(图 4A),而低氮条件下  $M2$  的峰值最大(图 4B)。

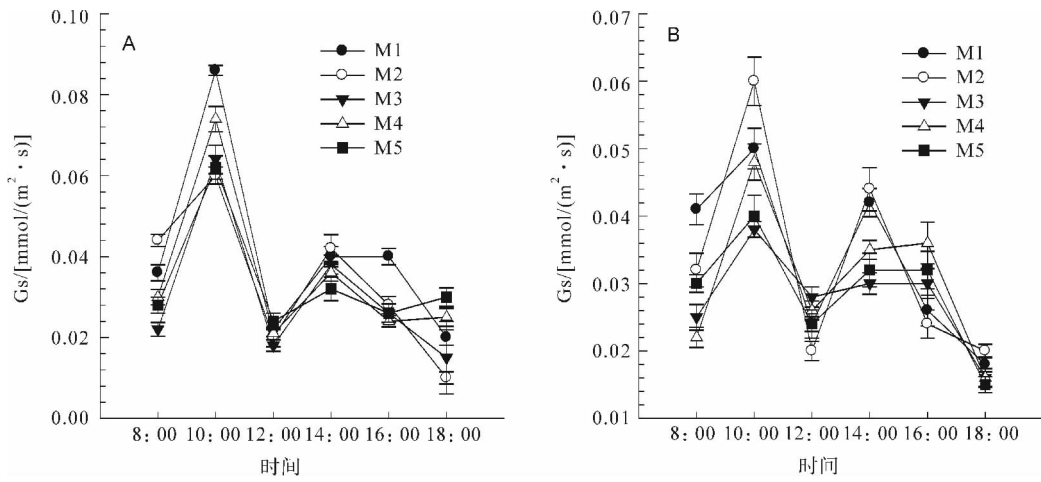


图 4 氮肥(高氮 A、低氮 B)和种植密度对丹参 Gs 的影响

2.2.4 胞间 CO<sub>2</sub> 浓度 胞间 CO<sub>2</sub> 是光合作用的主要原料之一,叶片胞间 CO<sub>2</sub> 浓度的变化可反映叶片进行光合作用的过程<sup>[7]</sup>。不同施氮肥量和种植密度条件下胞间 CO<sub>2</sub> 浓度日变化规律总体上呈现出“W”型(图 5)。胞间 CO<sub>2</sub> 浓度从 8:00 开始降低,分别在 10:00 或 12:00 时达到最低,因为在该

时间段净光合速率在逐渐升高,CO<sub>2</sub> 同化加快。10:00 或 12:00 之后胞间 CO<sub>2</sub> 浓度开始升高,分别在 14:00 或 16:00 达到第 2 个谷底,随后因净光合速率的减弱,植物对 CO<sub>2</sub> 的利用能力下降,同时呼吸作用所释放的 CO<sub>2</sub> 积聚在细胞间隙中,使胞间 CO<sub>2</sub> 浓度上升。

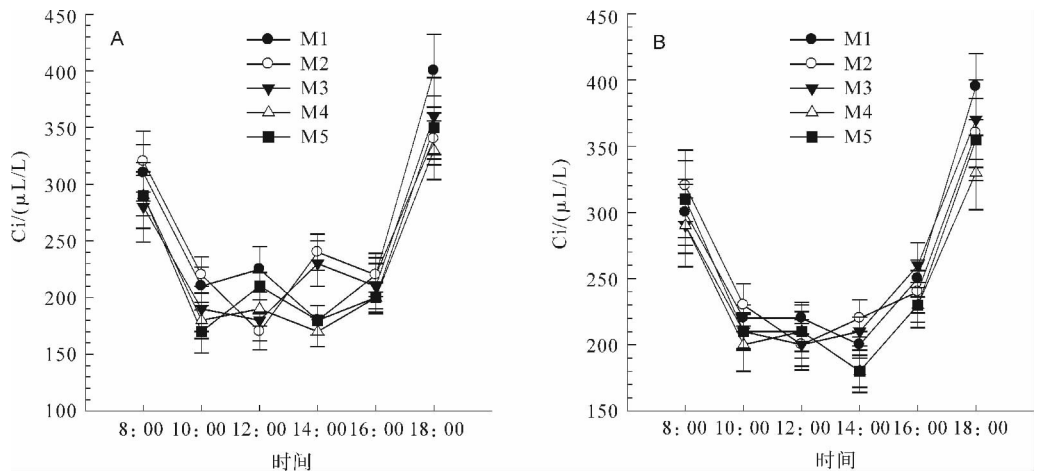


图 5 氮肥(高氮 A、低氮 B)和种植密度对丹参 Ci 的影响

### 2.3 光合特征参数的相关分析

丹参光合速率受多种光合特性指标的综合影响。从表 2 可知,在高氮肥条件下,丹参净光合速率

与气孔导度显著相关,蒸腾速率与光合有效辐射有极显著的相关关系。从表 3 可知,在低肥条件下,丹参净光合速率与其他几种光合特征参数之间存在一定的相关性,但是未达到显著水平,可见光合速率的大小是由多个因子共同决定的。

表 2 高氮肥处理 5 种植植密度下丹参叶片光合特征参数的相关分析

光合特征参数	Ci	Ca	Tr	Gs	PAR	Pn
Ci	1					
Ca	0	1				
Tr	0.05	0.03	1			
Gs	-0.68	0.33	-0.47	1		
PAR	0.46	0.21	0.92**	-0.49	1	
Pn	-0.79	0.56	-0.79	0.85*	-0.67	1

注: \*\* 表示  $P < 0.01$ , \* 表示  $P < 0.05$ 。

表 3 低氮肥处理 5 种植植密度下丹参叶片光合特征参数的相关分析

光合特征参数	Ci	Ca	Tr	Gs	PAR	Pn
Ci	1					
Ca	0	1				
Tr	-0.40	0.54	1			
Gs	0.20	0.04	-0.21	1		
PAR	-0.02	0.22	-0.81	-0.03	1	
Pn	-0.25	0.34	-0.44	0.78	0.38	1

### 3 结论与讨论

随着环境条件的不断变化,丹参光合速率在一天之内发生相应的变化。植物光合作用的日变化有正正规曲线型、平坦型、变动型和中午降低型4种类型<sup>[7]</sup>。本试验结果表明,在晴天条件下不同施氮量和种植密度下丹参叶片净光合速率日变化均表现为双峰曲线,具有明显的光合“午休”现象,这与大多数植物光合日变化趋势相同<sup>[8]</sup>。在丹参叶片净光合速率日变化过程中第1次峰值高于第2次峰值,由于强光和高温条件提高了植物叶片的光呼吸强度,增加了呼吸消耗,导致净光合速率下降,这是下午的峰值低于上午的一个重要原因<sup>[9]</sup>。蒸腾速率日变化呈双峰型,与薛永峰等<sup>[10]</sup>研究结果呈单峰型不同,这可能是由于午间的高光辐射和高温,使空气相对湿度明显降低,饱和蒸汽压差增大,丹参叶面部分气孔缩小或关闭,气孔导度变小,导致了蒸腾速率午间出现降低<sup>[11]</sup>。气孔导度的日变化与净光合速率日变化基本保持一致,呈双峰型,胞间CO<sub>2</sub>浓度日变化与净光合速率相反,呈“W”型。相关性分析表明,高氮肥处理5种植密度下丹参净光合速率“午休”的主要限制因子是气孔导度,而低氮肥处理下光合速率受多个因子共同影响。

不同施氮肥量和种植密度对植物光合特性日变化有较明显的影响<sup>[12-13]</sup>。本研究结果表明,同一种种植密度下,高氮施肥量丹参叶片的净光合速率明显高于低氮施肥量的叶片净光合速率,其原因可能是施氮提高了叶绿素含量,从而有助于捕获光能。合理的种植密度有助于提高作物群体光合性能并发挥品种增产潜力,获得高产<sup>[14]</sup>。本研究表明,高氮肥处理下,M1(8×10<sup>4</sup>株/hm<sup>2</sup>)种植密度下丹参净光合速率最高,说明在高氮肥条件下,随着种植密度增加,植物株距和行距缩小,植株对地力和光能等竞争过于激烈,不能满足生长,导致植株出现衰弱现象,从而降低了净光合速率;而低氮肥处理下,M2(10×10<sup>4</sup>株/hm<sup>2</sup>)种植密度下丹参净光合速率最高,说明氮肥和密度的互作对丹参净光合速率有明显影响,在一定肥力范围内,可以通过调整种植密度来替代

施肥量,以密补肥。

参考文献:

- [1] 钟国成,张力文,张利,等.不同叶型丹参光合特性研究[J].草地学报,2011,20(4):116-122.
- [2] Ji X Y, Tan B K, Zhu Y Z. *Salvia miltiorrhiza* and ischemic diseases[J]. Acta Pharmacologica Sinica, 2000, 21(12):1089-1094.
- [3] 江厚龙,张均,王瑞.不同海拔地区烤烟叶片光合特性的日变化特征[J].西北植物学报,2013,33(2):378-386.
- [4] 杨艳君,王宏富,郭平毅,等.施肥和密度对张杂谷5号光合特性及产量的影响[J].植物营养与肥料学报,2013,19(3):566-576.
- [5] 张喜峰,张立新,高梅,等.密度与氮肥互作对烤烟氮钾含量、光合特性及产量的影响[J].中国土壤与肥料,2013(2):32-36.
- [6] 柴仲平,王雪梅,孙霞,等.不同施肥处理对香梨膨果期光合特性的影响[J].水土保持研究,2013,20(2):151-155.
- [7] 樊慧敏,赵志军,程福厚,等.不同梨品种的光合特性研究[J].广东农业科学,2010(11):115-117.
- [8] 郭春燕,李晋川,岳建英,等.两种高质牧草不同生育期光合生理日变化及光响应特征[J].生态学报,2013,33(6):1751-1761.
- [9] 万素梅,贾志宽,杨宝平.苜蓿光合速率日变化及其与环境因子的关系[J].草地学报,2009,17(1):27-31.
- [10] 薛永峰,王建华,耿慧云,等.丹参光合日变化的研究[J].山东农业科学,2008(7):21-23.
- [11] Wise R R, Sparrow D H, Lopez O, et al. Biochemical regulation during the midday decline of photosynthesis in field grown sunflower[J]. Plant Science, 1991, 74:45-52.
- [12] 高素玲,苗丰,陈建辉,等.氮素水平对旱作小麦光合特性的影响[J].华北农学报,2013,28(4):169-173.
- [13] 吕丽华,陶洪斌,夏来坤,等.不同种植密度下的夏玉米冠层结构及光合特性[J].作物学报,2008,34(3):447-455.
- [14] 李娜娜,李慧,裴艳婷,等.行株距配置对不同穗型冬小麦品种光合特性及产量结构的影响[J].中国农业科学,2010,43(14):2869-2878.