

不同生境条件下黄芩光合日变化与环境因子的关系

邵玺文, 韩 梅, 韩忠明, 孔伟伟, 杨利民*

(吉林农业大学吉林省生态恢复与生态系统管理国家重点实验室, 吉林 长春 130118)

摘要: 在黄芩盛花期, 测临江、长春、洮南 3 个不同生境条件下黄芩 P_n 及环境因子的日变化, 对测得数据进行统计分析, 探讨黄芩 P_n 与环境因子的关系, 为吉林省黄芩规范化种植提供理论依据。结果表明, 3 个不同生境黄芩 P_n 日变化均呈不明显双峰曲线, 有轻微光合“午休”现象, 黄芩 P_n 中午降低均为气孔限制; 三地黄芩 P_n 与 PAR 均呈极显著正相关 ($p < 0.01$), 长春黄芩 P_n 与 Ca 呈极显著正相关 ($p < 0.01$), 洮南黄芩 P_n 与 RH 呈显著正相关 ($p < 0.05$); 3 个不同生境环境因子对 P_n 的直接作用由大到小分别为临江 $PAR > Ca > Ta > RH > T_L$, 长春 $Ta > RH > PAR > Ca > T_L$, 洮南 $PAR > RH > T_L > Ca > Ta$; 低的空气湿度是产生光合“午休”现象的重要生态因子; 临江高温高湿、长春大气 CO_2 浓度低、洮南相对湿度低是影响各生境黄芩 P_n 的主要环境因子; 对黄芩 P_n 影响是 PAR 、 Ta 、 RH 、 Ca 相互影响综合作用的结果, 在不同生境下, 发挥主导作用的环境因子不同。

关键词: 黄芩; 生境; 光合特性; 日变化; 环境因子

文章编号: 1000-0933(2009)03-1470-08 中图分类号: S567.23 文献标识码: A

Relationship between diurnal changes of photosynthesis of *Scutellaria baicalensis* and environmental factors in different habitats

SHAO Xi-Wen, HAN Mei, HAN Zhong-Ming, KONG Wei-Wei, YANG Li-Min*

Key Laboratory for Ecological Restoration and Ecosystem Management of Jilin Province, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(3): 1470 ~ 1477.

Abstract: During the flowering period, the diurnal changes of P_n of *Scutellaria baicalensis* and environmental factors in three different habitats (Linjiang, Changchun, Taonan) were measured, and the obtained data were analyzed to explore the diurnal changes of P_n and its relationship with environmental factors from three different ecological zones. The conclusion will provide the theoretical basis of physiology and ecology of photosynthesis for scale field cultivation of *S. baicalensis* in Jilin province. The results indicated that the diurnal changes of P_n of *S. baicalensis* in three different habitats showed a typical double-peak curve with a slight “midday depression of photosynthesis”, and the P_n reduction at noon originated from the co-effects of stomata factor. There was a significant ($p < 0.01$) positive relationship between the P_n and PAR in the three zones. The positive relationship was significant ($p < 0.01$) between the Ca and the P_n in Changchun, and significant ($p < 0.05$) between the relative humidity and the P_n in Taonan. The direct impact of environmental factors to P_n in three different habitats was the order of $PAR > Ca > Ta > RH > T_L$ in Linjiang, $Ta > RH > PAR > Ca > TL$ in Changchun, $PAR > RH > TL > Ca > Ta$ in Taonan. Low air humidity was an important ecological factor in determining the “midday depression of photosynthesis”. High temperature and humidity in Linjiang, low CO_2 concentration in Changchun, and low relative humidity in Taonan were the main environmental factors influencing the net photosynthetic rate of *S. baicalensis*, in which was affected by the integration and interactions of PAR , Ta , RH , and Ca . The dominant factor for the net photosynthetic rate of *S. baicalensis* was different in different habitats.

Key Words: *Scutellaria baicalensis*; habitat; photosynthesis; diurnal changes; environmental factors

基金项目: 吉林省科技发展计划重点资助项目(20050903); 省部共建国家重点实验室培育基地开放基金资助项目(DS2004220)

收稿日期: 200-00-00; **修订日期:** 200-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: ylmh777@126.com

中药是中华文明的瑰宝,为人类健康做出了巨大贡献,而药用植物是传统中药资源最重要组成部分,长期以来,绝大多数种类一直以野生资源利用为主。随着我国中药产业的快速发展,对植物类药材的需求量也越来越大,野生资源已不能满足产业可持续发展的需求,为此,开展药用植物的栽培研究已成为当前的重要课题^[1]。黄芩(*Scutellaria baicalensis* Georgi)为唇形科多年生草本植物,以根入药,是我国传统常用大宗中药材之一。随着黄芩用量加大,人们对其过度挖采,加剧了黄芩资源的破坏,野生资源锐减。药用植物的驯化栽培可以有效地减轻人们野外采集对生态环境的破坏,是减轻野生资源压力,保护药用植物资源的最重要途径之一。近年来,黄芩栽培面积迅速扩大,栽培黄芩已成为我国黄芩药源的主要来源^[2]。环境条件的差异是影响药材生长发育、导致产量和品质差别的主要原因^[3]。在研究影响药材产量和质量的生态环境时,对中药材品种、栽培等可以控制的因素研究较多,而对气候等非可控环境因素对中药材产量和质量影响及其时空变化规律研究却远远不够^[4]。不同生境黄芩光合生理特性及其与环境因子关系的研究,尚未见文献报道。本文研究了吉林省临江、长春、洮南 3 个不同生境条件下黄芩光合日变化特性及其与环境因子的关系,旨在弄清不同生境影响黄芩光合作用的主要环境因子,为吉林省黄芩规范化种植提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

临江试验区(东部森林生态区)位于北纬 41°27′、东经 126°11′,年均气温 4.6℃,夏季最高气温历史极值 36.5℃,冬季最低气温历史极值 -42.2℃,年均降水量 883.4 mm,日照时数 2259 h,无霜期 140 d;长春试验区(中部台地平原农业生态区)位于北纬 43°48′、东经 125°25′,海拔 251m,年均气温 4.8℃,最高 39.5℃,最低 -39.8℃,年均降水量 568.5 mm,降水主要集中在 6~8 月份,这 3 个月的降水量占全年降水 70%,日照时数 2688 h,最热月(7 月份)平均气温 23℃;洮南试验区(西部草原、湿地生态区)位于北纬 45°19′、东经 122°49′,海拔 146 m,年均降水量 377.9 mm,降水集中在 7~8 月份,年均蒸发量 2083.3 mm,年均日照时数 3005.3 h,年均有效积温 3000.5℃,最高气温 40.2℃,最低气温 -33.3℃,无霜期 142 d。

1.2 试验设计

试验于 2005 年在吉林省东部临江市、中部长春市、西部洮南市 3 个不同生境同时展开。试验用黄芩种子来源于山西运城,5 月 15~20 日播种,在黄芩盛花期,观测自然条件下 3 个不同生境黄芩光合速率及其环境因子日变化,对测得数据进行统计分析。

1.3 测定方法

8 月 10~16 日黄芩盛花期,选择 1 晴天,用英国 PP Systems 公司生产的 TPS-1 便携式光合作用系统,测定光合速率和环境因子日变化,自 8:00~16:00 每隔 2 h 测 1 次,每次测 5 片叶,结果取平均值。由于黄芩叶片较小无法充满光合作用系统的叶室,测定前选择生长部位相同、大小一致、完全展开的成熟黄芩叶片挂牌标记,用 AM300 叶面积仪预先测定拟放入叶室部分的黄芩叶面积并输入光合系统中,系统根据叶面积大小自动计算出所测叶片净光合速率等数据。测定指标包括:黄芩叶片净光合速率(P_n , $\mu\text{molCO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)、气孔导度(G_s , $\text{mmolH}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)、蒸腾速率(Tr , $\text{mmolH}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)、胞间 CO_2 浓度(C_i , $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$)、光合有效辐射(PAR , $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)、大气 CO_2 浓度(Ca , $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$)、大气温度(T_a , $^{\circ}\text{C}$)、叶片温度(T_L , $^{\circ}\text{C}$)、空气相对湿度(RH , $\%$)等;气孔限制值($L_s = 1 - C_i/C_a$)计算方法参见文献^[5]。

1.4 数据处理

用浙江大学农业与生物技术学院唐启义教授研发的通用统计软件 DPS6.85 版本进行数据分析。

2 结果与分析

2.1 不同生境条件下黄芩光合作用日变化

2.1.1 黄芩叶片净光合速率日变化

植物光合作用是植物生产过程中物质积累与生理代谢的基本过程,也是分析环境因素影响植物生长和代谢的重要手段。一般条件下,栽培植物光合作用日变化均有规律可循,变化曲线呈双峰型或单峰型,单峰型中

午光合速率最高,双峰型上、下午各有一高峰^[5]。图1结果表明,临江、长春、洮南黄芩 P_n 日变化均呈轻微双峰曲线,中午均出现光合“午休”现象,临江较长春和洮南轻。

2.1.2 黄芩气孔导度日变化

由图2可知,临江、长春、洮南黄芩 G_s 日变化同黄芩 P_n 日变化趋势一致,呈轻微双峰曲线,临江黄芩 G_s 10:00~14:00 长时间保持较高水平。 G_s 受环境因子影响很大,适宜的光强有利于气孔开张,气孔阻力降低, G_s 增大,在土壤水分充足时,植物为避免高温灼伤叶片,将通过蒸腾作用带走叶片热量,增大气孔开度。

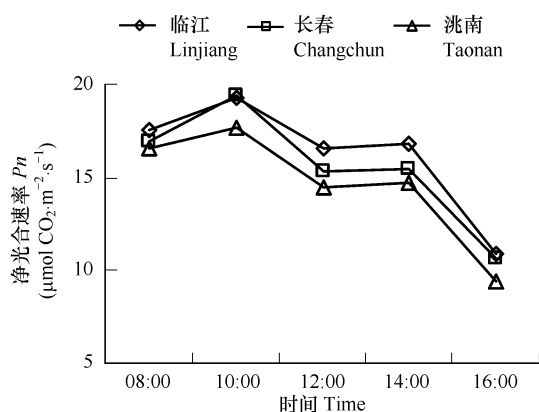


图1 不同生境条件下黄芩净光合速率日变化

Fig. 1 Diurnal changes of net photosynthetic rate of *S. baicalensis* in different habitats

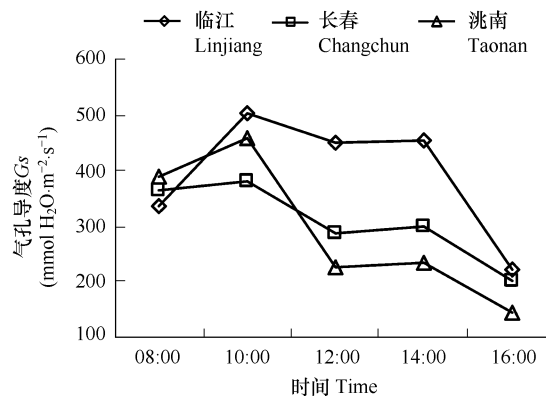


图2 不同生境条件下黄芩气孔导度日变化

Fig. 2 Diurnal changes of stomatal conductance of *S. baicalensis* in different habitats

2.1.3 黄芩蒸腾速率日变化

蒸腾是植物重要的生理过程,植物通过蒸腾作用运输矿物质、调节叶面温度、供应光合作用所需要的水分等,与植物净光合速率关系密切。由图3可知,临江、长春、洮南黄芩 Tr 日变化呈单峰曲线。临江土壤水分充足黄芩气孔开度大、 Tr 高。

2.1.4 黄芩胞间 CO_2 浓度日变化

由图4可知,临江、长春、洮南黄芩 C_i 日变化差别较大。临江黄芩 C_i 早晨高晚上低,中间呈平缓下降趋势,但在14:00出现一个微峰。长春和洮南黄芩 C_i 呈早晚高中间低的态势,最小值均在14:00,16:00升高。

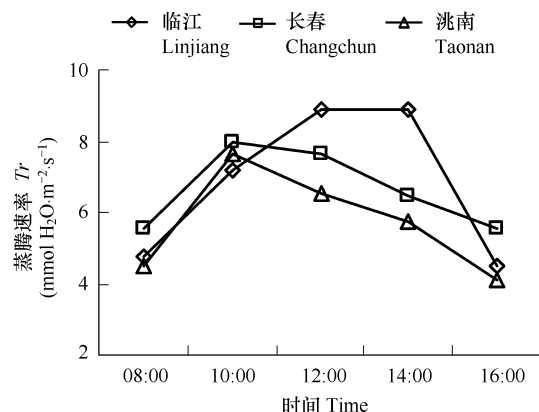


图3 不同生境条件下黄芩蒸腾速率日变化

Fig. 3 Diurnal changes of transpiration rate of *S. baicalensis* in different habitats

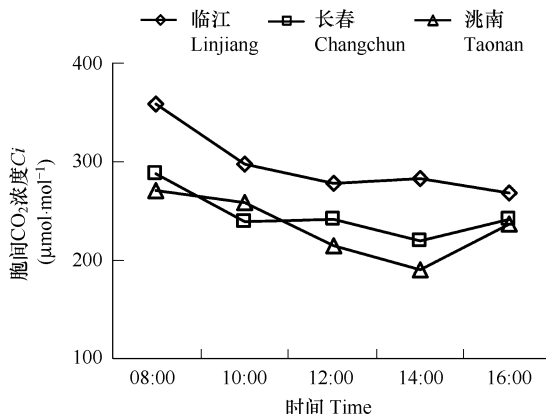


图4 不同生境条件下黄芩胞间 CO_2 浓度日变化

Fig. 4 Diurnal changes of intercellular CO_2 concentration of *S. baicalensis* in different habitats

2.1.5 不同生境条件下黄芩气孔限制值日变化

Farquhar 等^[6]认为,影响 P_n 下降有气孔限制和非气孔限制两方面因素,气孔限制是 G_s 的下降,阻止了 CO_2 的供应;非气孔限制是叶肉细胞光合能力的下降,使叶肉细胞利用 CO_2 的能力降低,从而使胞间 CO_2 含量升高。一般用气孔限制值(L_s)和 C_i 变化方向作为判别依据和标准,其中 C_i 是关键指标,当 P_n 和 G_s 下降时,若 L_s 增大和 C_i 降低,则为气孔限制,若 L_s 减小和 C_i 增大或不变,则为非气孔限制^[5]。由图 5 可知,黄芩 P_n 下降原因在不同生境表现不同,临江 14:00 P_n 下降为非气孔限制,长春和洮南 16:00 P_n 下降为非气孔限制,不同生态区黄芩 P_n 中午降低均为气孔限制。

2.2 不同生境条件下环境因子日变化

2.2.1 空气相对湿度日变化

不同生境条件下空气相对湿度日变化见图 6,最大值在早晨,临江 RH 随温度升高下降幅度较大,最小值在 14:00,16:00 上升;长春 RH 最小值在 12:00,14:00 略有上升后保持平稳;洮南 RH 8:00~10:00 降幅较小,12:00 降到低值并保持到 16:00。临江、长春、洮南日均 RH 为 53%、38.2%、23.2%,临江与长春 RH 差异显著($p < 0.05$),临江与洮南 RH 差异极显著($p < 0.01$),随相对湿度下降, RH 与 P_n 相关系数增大,洮南相对湿度与黄芩净光合速率呈显著正相关($p < 0.05$),相对湿度可能是影响洮南光合速率主要环境因子。

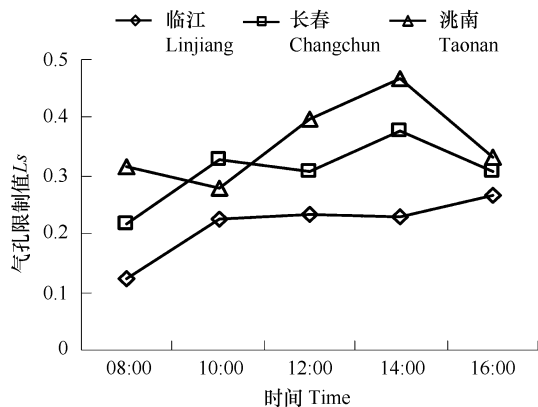


图 5 不同生境条件下气孔限制值日变化

Fig. 5 Diurnal changes of stomatal limiting value in different habitats

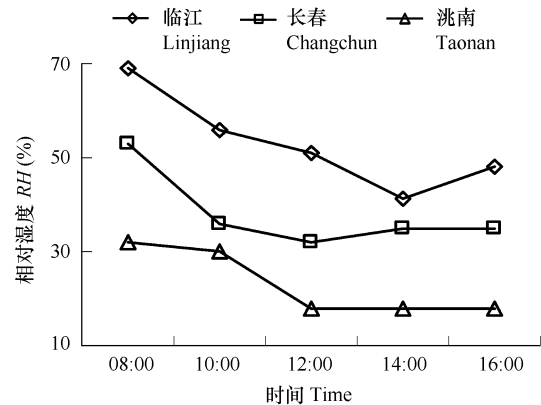


图 6 不同生境条件下相对湿度日变化

Fig. 6 Diurnal changes of relative humidity in different habitats

2.2.2 光合有效辐射和大气 CO_2 浓度日变化

植物光合作用日变化受各种环境因素影响,尤其是光照强度和温度的影响^[7],当植物叶片吸收的光能超过其利用能力时,就会引起叶片光合作用的光抑制^[8]。临江、长春、洮南 PAR 和 Ca 日变化见图 7,三地 PAR 均呈午间高峰型单峰曲线,三地黄芩 P_n 与 PAR 均呈极显著正相关($p < 0.01$)。 Ca 早 8:00 较高,然后下降,临江和洮南 Ca 降幅较大, Ca 日均值临江、长春、洮南分别是 377.8 、 355.1 、 $363.8 \mu mol \cdot mol^{-1}$,临江与长春 Ca 差异显著($p < 0.05$)。长春 Ca 较低,与黄芩 P_n 之间呈极显著正相关($p < 0.01$), Ca 可能是影响长春黄芩净光合速率的主要环境因子。

2.2.3 大气温度和黄芩叶片温度日变化

不同生境条件下温度日变化见图 8。中午温度高,呈单峰曲线变化,临江、长春、洮南最高气温分别是 $36.2^\circ C$ 、 $31.2^\circ C$ 、 $30.9^\circ C$,临江气温明显高于长春和洮南,差异显著($p < 0.05$)。叶片温度日变化除了受植物本身特性影响外,在一定程度上受叶片所处生境的光辐射强度、气温、大气相对湿度等的影响和制约^[9]。临江、长春、洮南日均叶温分别是 $32.4^\circ C$ 、 $29.3^\circ C$ 、 $28.9^\circ C$,临江叶温明显高于长春和洮南,差异显著($p < 0.05$)。3 个不同生境条件下叶片温度与大气温度均呈极显著正相关($p < 0.01$),说明叶片温度主要受气温影响。

2.3 不同生境条件下黄芩光合速率与环境因子的关系

临江、长春、洮南黄芩 P_n 与环境因子通径和相关分析结果见表 1 和表 2。在临江,环境因子中对 P_n 直接

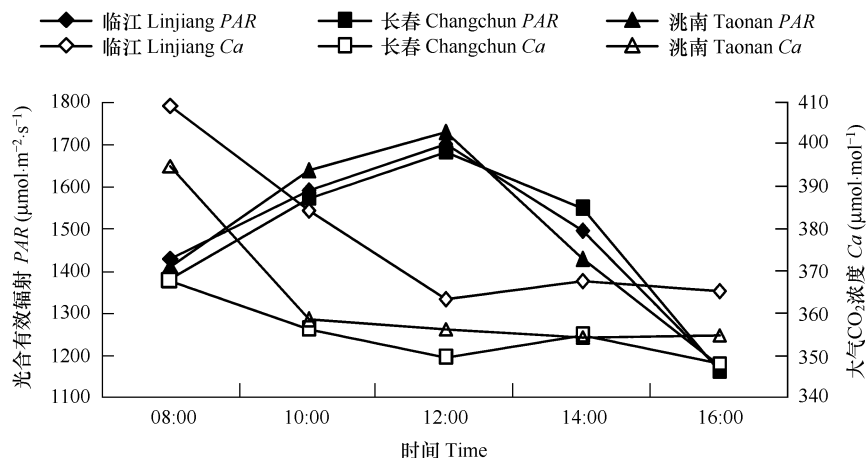
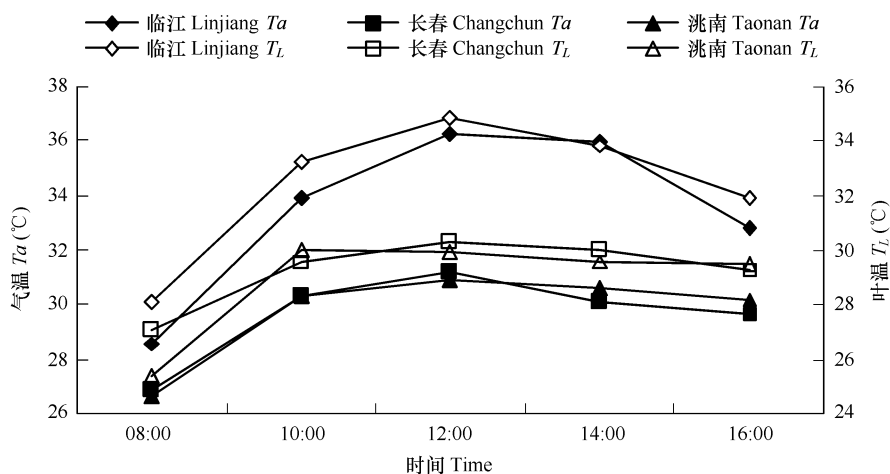
图7 不同生境条件下光合有效辐射与大气 CO₂ 浓度日变化Fig. 7 Diurnal changes of photosynthetic active radiation and air CO₂ concentration in different habitats

图8 不同生境条件下大气温度与叶片温度日变化

Fig. 8 Diurnal changes of air temperature and leaf temperature in different ecological regions

作用由大到小为 $PAR > Ca > Ta > RH > T_L$, 其中 PAR 与 P_n 呈极显著正相关 ($p < 0.01$); Ca 对 P_n 的直接作用较大, 但二者的相关系数较低, 可能是被 Ta 和 RH 的负作用掩盖了; Ta 与 P_n 相关系数较低, 可能是其直接作用被 Ca 和 T_L 的负作用所掩盖, 其原因可能是 Ca 较高导致 C_i 也较高, 影响蒸腾速率从而影响光合生理因子之间的协调性, Ta 高导致 T_L 升高, 影响与 P_n 有关酶的活性; T_L 和 RH 均为负作用, 表明临江测定期间温度高湿度大, 是 P_n 进一步提高的影响因子。7 月中旬以后, 临江黄芩根部出现褐色斑点, 严重的根部腐烂, 叶片干枯死亡, 吉林农业大学马贵龙教授鉴定为叶枯病, 是由于高温高湿引发的。可见临江高温高湿生境条件对黄芩生长发育有较大影响。

在长春, 环境因子中对黄芩 P_n 直接作用由大到小为 $Ta > RH > PAR > Ca > T_L$, 但在环境因子相互影响综合作用下, 各因子与 P_n 关系发生了较大变化。直接作用最大的 Ta 通过 Ca 、 T_L 、 RH 对 P_n 的作用均为负向, 导致 Ta 与 P_n 为负相关; RH 对 P_n 直接作用虽然较大, 但受 Ta 影响使其与 P_n 相关不显著; T_L 直接作用和相关系数均为负向, 表明叶温高也可能是影响 P_n 的主要环境因子; 环境因子中只有 PAR 和 Ca 与 P_n 呈极显著正相关 ($p < 0.01$)。

在洮南, 环境因子中对黄芩 P_n 直接作用由大到小为 $PAR > RH > T_L > Ca > Ta$ 。其中 PAR 与 P_n 呈极显著正相关 ($p < 0.01$); Ta 对 P_n 的直接作用和相关均为负向, RH 直接作用较大, 与 P_n 呈显著正相关 ($p < 0.05$),

表明高温低湿是影响洮南黄芩 P_n 的主要环境因子。

表 1 不同生境条件下环境因子通径系数

Table 1 Path coefficient of environmental factors in different habitats

生态区 Ecological region	环境因子 Environmental factor	直接作用 Direct effect	通过 Through $PAR(X_1)$	通过 Through $Ca(X_2)$	通过 Through $Ta(X_3)$	通过 Through $TL(X_4)$	通过 Through $RH(X_5)$
临江 Linjiang	$PAR(X_1)$	0.8602		-0.0171	0.3647	-0.3297	-0.0199
	$Ca(X_2)$	0.7502	-0.0196		-0.5577	0.4255	-0.3664
	$Ta(X_3)$	0.7026	0.4465	-0.5955		-0.5548	0.3282
	$TL(X_4)$	-0.5713	0.4964	-0.5587	0.6822		0.2804
	$RH(X_5)$	-0.4189	0.0408	0.6562	-0.5505	0.3825	
长春 Changchun	$PAR(X_1)$	0.6126		-0.0032	0.4456	-0.1568	-0.1782
	$Ca(X_2)$	0.4562	-0.0043		-0.8513	0.3704	0.6155
	$Ta(X_3)$	1.0023	0.2724	-0.3875		-0.3929	-0.6637
	$TL(X_4)$	-0.4538	0.2117	-0.3724	0.8677		-0.5679
	$RH(X_5)$	0.6862	-0.1591	0.4091	-0.9694	0.3756	
洮南 Taonan	$PAR(X_1)$	0.6391		-0.0081	-0.1032	0.0908	0.0343
	$Ca(X_2)$	0.0879	-0.0587		0.3444	-0.2582	0.236
	$Ta(X_3)$	-0.3624	0.1821	-0.0835		0.2627	-0.2309
	$TL(X_4)$	0.2787	0.2082	-0.0814	-0.3416		-0.2097
	$RH(X_5)$	0.3032	0.0723	0.0684	0.2759	-0.1928	

表 2 不同生境条件下环境因子的相关系数

Table 2 Correlation coefficient of environmental factors in different habitats

生态区 Ecological region	环境因子 Environmental factor	$PAR(X_1)$	$Ca(X_2)$	$Ta(X_3)$	$TL(X_4)$	$RH(X_5)$	P_n
临江 Linjiang	$PAR(X_1)$	1					
	$Ca(X_2)$	-0.02	1				
	$Ta(X_3)$	0.52 *	-0.79 **	1			
	$TL(X_4)$	0.58 **	-0.74 **	0.97 **	1		
	$RH(X_5)$	0.05	0.87 **	-0.78 **	-0.67 **	1	
	P_n	0.86 **	0.23	0.33	0.33	0.11	1
长春 Changchun	$PAR(X_1)$	1					
	$Ca(X_2)$	-0.01	1				
	$Ta(X_3)$	0.44 *	-0.85 **	1			
	$TL(X_4)$	0.35	-0.82 **	0.87 **	1		
	$RH(X_5)$	-0.26	0.90 **	-0.97 **	-0.83 **	1	
	P_n	0.72 **	0.59 **	-0.17	-0.31	0.34	1
洮南 Taonan	$PAR(X_1)$	1					
	$Ca(X_2)$	-0.09	1				
	$Ta(X_3)$	0.28	-0.95 **	1			
	$TL(X_4)$	0.33	-0.93 **	0.94 **	1		
	$RH(X_5)$	0.11	0.78 **	-0.76 **	-0.69 **	1	
	P_n	0.65 **	0.35	-0.23	-0.15	0.53 *	1

* 表示 $p < 0.05$, ** 表示 $p < 0.01$ * stand for significant levels at $p < 0.05$; ** stand for significant levels at $p < 0.01$

由表 2 可知,临江、长春、洮南 PAR 与 P_n 均呈极显著正相关($p < 0.01$),长春 Ca 与 P_n 呈极显著正相关($p < 0.01$),洮南 RH 与 P_n 呈显著正相关($p < 0.05$),表明在满足 PAR 条件下,长春大气 CO_2 浓度和洮南的空气相对湿度是影响 P_n 的主要环境因子。临江 PAR 与 Ta 呈显著正相关($p < 0.05$),与 T_L 呈极显著正相关

($p < 0.01$), 长春 PAR 与 T_a 呈显著正相关($p < 0.05$), RH 与 T_a 和 T_L 之间三地均为极显著负相关($p < 0.01$)。

3 讨论与结论

当叶片捕获的激发能超过碳同化的利用能力时, 过剩光能被耗散, 造成光能利用效率降低^[10], 使光合速率下降。本试验黄芩出现光合“午休”现象时, 临江 PAR 较高, 但临江光合“午休”现象最轻, 另外, 发生光合“午休”现象时, 三地 PAR 变化也不是很大, 因此, 光强不是导致光合中午降低的直接原因, 但它是引起一天中气温和湿度等变化的主要因素^[11], 间接影响光合作用。根据气孔限制理论及其判别依据和标准, 不同生境黄芩 P_n 中午降低均为气孔限制, 即气孔导度的下降, 阻止了 CO_2 的供应, 影响黄芩 P_n 。

一定温度范围内, 随着温度的升高, 光合速率增大, 温度与光合速率呈正相关^[12], 光合作用关键酶-Rubisco 的最适活化温度在 $25 \sim 30^\circ C$, 其活性的高低直接影响光合速率的大小^[13], 当叶片温度过高时会影响机体内的一些相关酶的活性, 不利于其光合作用的进行^[14], 同时, 光照和温度影响土壤水分供给状况, 对控制叶片气体交换也起着重要作用^[15]。湿度对光合速率影响的本质不仅是湿度影响气孔开度, 还可能直接影响叶肉细胞内光合关键酶-Rubisco 的活力^[16], 空气湿度间接影响叶片含水量。因此, 低的空气湿度是光合中午降低的重要生态因子^[17], 临江相对湿度最高, 其光合“午休”最轻也证明了这一观点。 CO_2 浓度升高提高植物光合速率, 减少蒸腾作用, 抑制植物的呼吸作用, 显著提高植物的水分利用效率, 增强植物抗逆性, 并能明显促进植物的生长, 增加生物量^[18]。

临江、长春、洮南 Ca 与 T_a 和 T_L 均呈极显著负相关($p < 0.01$), 与 RH 均呈极显著正相关($p < 0.01$)。因此, 一日之内, 任何一个环境因子变化, 光照、湿度、温度、 CO_2 浓度等因子都会随之发生变化, 而它们可能通过 Rubisco 活力和气孔导度等内部因子的作用, 使光合速率也随之改变^[19]。因此, 光合速率降低, 可能是由生态因子、生理因子和生化因子等多方面控制^[20], 而且在不同的环境条件下引起光合作用午间降低的原因也会不同^[6]。

临江、长春、洮南 3 个不同生境条件下黄芩净光合速率日变化均呈不明显的双峰曲线, 有轻微的光合“午休”现象, 黄芩 P_n 中午降低均为气孔限制, 低的空气湿度是光合中午降低的重要生态因子。三地黄芩 P_n 与 PAR 均呈极显著正相关($p < 0.01$); 长春大气 CO_2 浓度与黄芩 P_n 呈极显著正相关($p < 0.01$); 洮南相对湿度与黄芩 P_n 呈显著正相关($p < 0.05$)。

临江高温高湿, 长春叶温高及大气 CO_2 浓度低, 洮南高温低湿是影响黄芩净光合速率的主要环境因子。环境因子对黄芩净光合速率的影响是光合有效辐射、温度、相对湿度、大气 CO_2 浓度等相互影响综合作用的结果, 在临江、长春、洮南不同生境条件下发挥主导作用的环境因子不同。

References:

- [1] Yang L M, Han M, Zhang L X. Sustainable use of medicinal plant resources and its population ecology study and view. Journal of Jilin Agricultural University, 2006, 28 (4): 383–388.
- [2] Chen J, Yang S L, Cheng H Z. Primary study on the geographic variation of the feature of *Scutellaria baicalensis* growth. J Chin Med Mater, 2002, 25 (11): 777–778.
- [3] Li L Y, Xiao X H, He C S. Standardization of production and quality management of traditional Chinese medicinal materials. China J Chin Mater Med, 1999, 24 (12): 707–710.
- [4] Guo L P, Huang L Q. Ecological research on resources of Chinese herbal medicine. China J Chin Mater Med, 2004, 29 (7): 615–618.
- [5] Zou Q. Studies on physiological drought resistance of crop. Jinan: Shandong Science and Technology Press, 1994: 155–242.
- [6] Farquhar G D, Sharkey T D. Stomatal conductance and photosynthesis. Annual Review of Plant Physiology, 1982, 33: 317–345.
- [7] Zhang M N, Jiang L. The preliminary study on ecological characters of photosynthesis in rice. Journal of Anhui University Natural Science Edition, 1996, 20 (1): 88–94.
- [8] Pearcy R W. Sunflecks and photosynthesis in plant canopies. Annual Review of Plant Physiology, 1990, 41: 421–453.
- [9] He W X, Yi J, Li H M. Comparative study on daily change of photosynthesis rate of the rhizomatous grasses in milky ripe stage. Chin J Appl Ecol,

2004, 15(2):205—209.

- [10] Müller P, Li X P, Niyogit K K. Non-photochemical quenching. A response to excess light energy. *Plant Physiology*, 2001, 125: 1558—1566.
- [11] Zhang J X. Studies on photosynthetic characteristics of black amber plum cultivar. *Journal of Fruit Science*, 2005, 22(1): 84—86.
- [12] Li C M, Pu X M, Ma S W, *et al.* Preliminary study on diurnal variations of the photosynthetic efficiency of plastic mulching cultivation on fodder sugar beet (*Beta vulgaris*) in alpine region. *Journal of Northwest University for Nationalities (Natural Science)*, 2005, 26(1):46—48.
- [13] Salvucci M E, Portis A R, Ogren W L. Light and CO₂ response of ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase activation in arabidopsis leaves. *Plant Physiol*, 1986, 80:655—659.
- [14] Jiang G M. Temperature and determine of plant. *Plants*, 1998, (1): 30—31.
- [15] Yang C, Yang L. Plasticity of clonal modules of *Leymus chinensis* in response to different environments. *Chin J Appl Ecol*, 1998, 9(3):265—268.
- [16] Weng X Y, Jiang D A. Regulation of Rubisco activity and diurnal changes of photosynthetic rate in rice by ecology factors. *Journal of Zhejiang University (Agric & Life Sci.)*, 2002, 28(4):387—391.
- [17] Raschke K, Resemann A. The midday depression of CO₂ assimilation in leaves of *Arbutus unedo* L.: diurnal changes in photosynthetic capacity related to changes in temperature and humidity. *Planta*, 1986, 168:546—558.
- [18] Pritchard S G, Ju Z L, Santen E V, *et al.* The influence of elevated CO₂ on the activities of antioxidative enzymes in two soybean genotypes. *Australian Journal of Plant Physiology*, 2000, 27:1061—1068.
- [19] Lan Y, Woodrow I E, Mott K A. Light-dependent changes in ribulose bisphosphate carboxylase activase activity in leaves. *Plant Physiol*, 1992, 99: 304—309.
- [20] Xu D Q, Shen Y G. Diurnal variations in the photosynthetic efficiency in plants. *Acta Phytophysiol Sin*, 1997, 23(4): 410—416.

参考文献:

- [1] 杨利民, 韩梅, 张连学. 药用植物资源的可持续利用及其种群生态学研究展望. *吉林农业大学学报*, 2006, 28(4):383~388.
- [2] 陈君, 杨世林, 程惠珍. 不同种源黄芩生长发育特性初步观察. *中药材*, 2002, 25(11):777~778.
- [3] 李隆云, 肖小河, 贺承山. 论中药材生产质量管理规范化. *中国中药杂志*, 1999, 24(12):707~710.
- [4] 郭兰平, 黄璐琦. 中药资源的生态研究. *中国中药杂志*, 2004, 29(7):615~618.
- [5] 邹琦. 作物抗旱生理生态研究. 济南: 山东科学技术出版社, 1994. 155~242.
- [7] 张明农, 江力. 水稻光合特性的初探. *安徽大学学报(自然科学版)*, 1996, 20(1):88~94.
- [9] 何文兴, 易津, 李洪梅. 根茎禾草乳熟期净光合速率日变化的比较研究. *应用生态学报*, 2004, 15(2):205~209.
- [11] 张吉祥. 黑琥珀李光合特性的研究. *果树学报*, 2005, 22(1):84~86.
- [12] 李春鸣, 蒲小鹏, 马姝雯, 等. 高寒地区地膜覆盖栽培饲用甜菜光合日变化初探. *西北民族大学学报(自然科学版)*, 2005, 26(1):46~48.
- [14] 蒋高明. 植物的温度及测定. *植物杂志*, 1998, (1):30~31.
- [15] 杨持, 杨理. 羊草无性系构件在不同环境下的可塑性变化. *应用生态学报*, 1998, 9(3):265~268.
- [16] 翁晓燕, 蒋德安. 生态因子对水稻 Rubisco 和光合日变化的调节. *浙江大学学报(农业与生命科学版)*, 2002, 28(4):387~391.