

田间不同水肥管理下小粒咖啡的生长和光合特性*

蔡传涛¹ 蔡志全^{1*} 解继武² 周庆辉³ 曹坤芳¹ 姚天全¹ 王 华³(¹ 中国科学院西双版纳热带植物园, 昆明 650223; ² 中国科学院昆明分院, 昆明 650021; ³ 思茅地区科学技术局, 思茅 665000)

【摘要】 通过云南 5 年生田间小粒咖啡(*Coffea arabica*)进行 2 种施肥(低肥和高肥) 和在干季秸秆覆盖、滴灌、秸秆覆盖+ 滴灌、对照 4 种水分处理对植株生长和叶片光合特性影响的测定研究. 结果表明, 小粒咖啡一年生长周期中最高峰期在雨季始期, 次高峰期在雨季中期. 水分处理对生长高峰期株高和分枝长度的相对生长率没有显著作用, 高施肥量则加大了其相对生长率. 干季水分处理提高了叶片的 P_n 、 g_s 、 Tr 和 WUE, 而叶绿素的荧光特征没有受到影响. 在湿季, 高施肥量使叶片含氮量 P_n 增加, 对 g_s 和 Tr 的影响较小, 从而导致 WUE 提高. 高施肥量显著减小日间光抑制程度, 加大了光合机构的实际光化学效率和热耗散能力, 提高了对强光环境的适应性. 研究表明, 小粒咖啡需要高养分的投入和良好的水分管理, 湿季是小粒咖啡进行光合和生长的最优季节, 干季田间秸秆覆盖+ 滴灌的效果较好, 滴灌和秸秆覆盖的效果相近.

关键词 小粒咖啡 施肥 水分处理 生长 光合特性

文章编号 1001- 9332(2004) 07- 1207- 06 中图分类号 S152. 7, Q945. 11 文献标识码 A

Growth and photosynthetic characteristics of field grown *Coffea arabica* under different watering and fertilization managements. CAI Chuantao¹, CAI Zhiquan¹, XIE Jiwu², ZHOU Qinghui³, CAO Kunfang¹, YAO Tiantian¹, WANG Hua³ (¹ Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Kunming 650223, China; ² Kunming Branch of the Chinese Academy of Sciences, Kunming 650021, China; ³ Science and Technology Bureau of Simao City, Simao 665000, China). -Chin. J. Appl. Ecol., 2004, 15(7): 1207~ 1212.

Straw mulching and drip irrigation have been widely used for coffee production. In order to know if these techniques are suitable in Yunnan, five year old coffee plants were separated into 8 groups to grow in the field under 2 fertilization rates (low and high) and 4 watering regimes: dry straw mulching (M), drip irrigation (I), drip irrigation + straw mulching (MI) and control treatment (CK), and the effects of various watering and fertilization treatments on the growth and photosynthetic characteristics of *Coffea arabica* with the density of 4500 individuals per hectare were measured. The results showed that during one year's growth period, the coffee plants had two growth peaks, one was in May when the rainy season just begun, and the another was in August to September, the middle of rainy season. Higher fertilization promoted the relative height and length growth rates of the branches, but watering treatments hadn't significant effects on them. In dry season, watering significantly promoted the P_n , g_s , Tr and WUE, while water status had no significant influence on the internal fluorescence features of PSII. In wet season, high fertilized plants had a higher leaf nitrogen content and P_n than low fertilized plants, and P_n was positively correlated with leaf nitrogen content. In both seasons, higher fertilization increased the WUE regardless of the watering treatments. At the same time, the high fertilization treatment significantly alleviated diurnal photoinhibition, compaying with a higher energy utilization through photochemistry and a higher energy dissipation through xanthophyll cycle, which appears that high fertilized coffee plants have the mechanism to acclimate to strong light environment. All the results indicated that wet season is the optimum time for the photosynthesis and growth of *C. arabica*, and *C. arabica* needs a high fertilization investment and fine watering managements during its whole growth period. Among the three main made watering treatments, MI was the best, M and I had the nearly same effects but the former was more practical than the latter.

Key words *Coffea arabica*, Fertilization, Watering, Growth, Photosynthetic characteristics.

1 引 言

施肥是农作物获得高产的基本措施, 水资源匮乏是很多山区农业可持续发展的主要障碍因素. 如何提高水分利用效率, 合理减少对农作物的水分供给量, 而对其光合作用和产量的影响不大, 是节水农业研究的关键. 多年来, 水分和肥料对于不同农作物的生长和产量的影响已有大量报道^[3, 14, 22, 24], 对光

合作用机理的影响从深度和广度上也有深入的研究^[5, 19, 28]. 不同干旱胁迫强度和胁迫的时间引起作物光合作用下降的原因不同^[7, 19, 28], 田间干旱通常是缓慢渐进的, 作物对其反应明显不同于对实验室快速水分胁迫的反应^[7, 12]. 在生产实践中, 农作物

* 中国科学院 云南省合作项目(YK99005)和中国科学院“百人计划”资助项目.

* * 通讯联系人.

2003- 05- 06 收稿, 2003- 11- 05 接受.

如何获得较好的生长和产量, 还需对田间不同水肥条件下农作物的生长和光合作用进行探讨.

咖啡是世界三大饮料之一. 云南省引种咖啡有 100 多年的历史, 种植面积和产量已确立了在国内的主导地位^[18]. 云南咖啡种植地以山地、坡地为主, 其生长经常受到土壤干旱和营养不足的双重限制. 小粒咖啡(*Coffea arabica*)具有抗病、抗寒能力强和豆粒品质优良等特点, 且开花期、结果期很长, 结实力大, 产量较高^[18], 所需的营养投入也较高. 本实验中, 我们观察了田间不同水分和施肥管理下小粒咖啡植株的生长和光合特性, 结合种植地小粒咖啡土壤水热、肥力状况, 主要明确田间不同水肥处理对小粒咖啡生长和光合特性的影响, 弄清水肥对小粒咖啡光合特性作用的机制, 从而寻求合理的田间水肥管理措施, 指导田间科学地使用肥料和节水技术, 提高肥料和水分的利用效率, 保证小粒咖啡生产的可持续发展.

2 材料与方法

2.1 实验地概况

实验地位于云南省思茅市(22°6′N, 100°88′E)的近郊, 属南亚热带气候, 实验时期的月降雨量和平均月气温如图 1 (2002 年). 该地区干湿季分明, 干季(11~4 月)月降雨量在 65 mm 以下, 气温较低; 湿季(5~10 月)气温较高, 月降雨量在 150 mm 以上, 7、8 两月降雨量最高. 实验处理位于小山丘西南坡的小粒咖啡栽培地, 坡度为 12°, 海拔 1050 m. 实验地的土壤为赤红壤, 0~20 cm 土层 pH 值为 5.4; 有机质含量为 2.87 g·kg⁻¹; 全 N 含量为 0.169 g·kg⁻¹; 全 P₂O₅ 含量为 0.116 g·kg⁻¹; 全 K₂O 含量为 1.88 g·kg⁻¹; 碱解 N 145.1 mg·kg⁻¹, 速效 P、K 分别为 10.1 和 140.0 mg·kg⁻¹. 选择生长在同一水平阶上长势一致的 5 年生小粒咖啡为实验材料, 种植密度为 4 500 株·hm⁻².

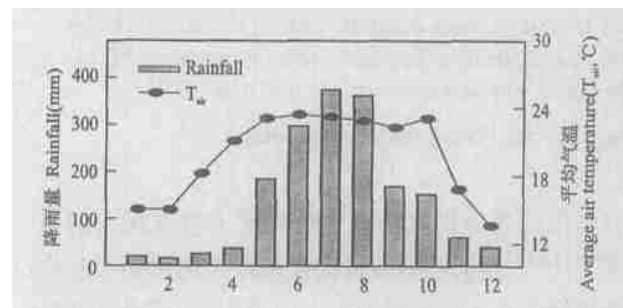


图 1 实验地降雨量和气温(2002 年)状况

Fig. 1 Condition of monthly rainfall and average air temperature of the studied site in 2002.

2.2 实验设计

实验设计分 A、B 两组施肥处理, B 组为小粒咖啡生产过程中实际采用的常规施肥措施, 即每株施油枯 300 g, 尿素 60 g, 复合肥 100 g, 土灰 1 kg. A 组为每株每次多追加 60 g

复合肥(N、P、K 比例为 1:1:1). 施肥分别于 3、6、9、12 月的下旬进行. 同时, 每组施肥处理中采用秸秆覆盖、滴灌、覆盖+滴灌和对照 4 种水分处理办法, 每组处理选择 10 株为一小区进行 1 种水分处理. 秸秆覆盖的具体方法为: 用水稻秸秆覆盖小粒咖啡根部, 宽 80 cm, 厚 6~8 cm; 滴灌方法为: 滴灌带的小孔密度为 3 个·m⁻¹, 每 10 d 滴 1 次, 每次从 8:00~10:00 滴 2 h, 滴水量为 3.8 L·孔⁻¹·h⁻¹. 施肥处理于 2001 年 12 月份开始, 水分处理时间为 2001 年 12 月中旬至 2002 年 4 月中旬.

2.3 分析、测定方法

土壤样品中的养分含量和叶片含氮量采用常规法分析^[20]. 用卷尺(精确度为 0.5 cm)测定小粒咖啡株高和分枝长度, 并计数分枝对数, 于 2002 年 3 月~2003 年 2 月每月初(1~3 日)进行测定. 相对生长率 RGR = (lnH_{t+1} - lnH_t)/t, 时间 t 以月计算.

土壤水分含量(Soil water content, SWC%) = (土壤鲜重 - 土壤干重)/(土壤鲜重) × 100, 土样烘干称重法测定. 环刀法测得实验地土壤的田间持水量(Field water holding capacity, FC%)为 23.1%.

选取植株顶端健康成熟叶片作光合特性的测定. 叶绿素 a 的荧光用便携式脉冲调制荧光仪 FMS 2(英国 Hansatech 公司)测定. 叶片暗适应 15 min 后用弱测量光测定初始荧光(F₀), 随后给一个强闪光(5 000 μmol·m⁻²·s⁻¹, 脉冲时间 0.7 s)测得最大荧光 F_m. 当荧光产量从 F_m 降到 F₀ 时, 打开作用光, 荧光恒定时测得稳态荧光(F_s), 再加上一个强闪光后测得 F_m'. 光系统 II(PS II)的原初光化学效率 F_v/F_m = (F_m - F₀)/F_m, 实际光化学效率 ΔF/F_m' = (F_m' - F_s)/F_m'. F_v/F_m 在正中午(13:00)和黎明(06:30)测定两次, ΔF/F_m' 在 10:00~11:00 测定一次. 叶片的净光合速率(P_n)、气孔导度(g_s)和蒸腾速率(Tr)由 Li 6400 光合作用分析系统(美国 Li COR 公司)在晴天上午 10:00~11:00 测定, 纪录这时光合参数稳定时值. 水分利用效率 WUE = P_n/Tr. 同时, 用光谱分析仪(UniSpec, 美国 PP 公司)测定小粒咖啡叶片的光反射率, 计算光化学反射指数(Photochemical reflectance index) PRI = (R₅₃₁ - R₅₇₀)/(R₅₃₁ + R₅₇₀), R₅₃₁、R₅₇₀ 分别为叶片在 530、570 nm 波长的反射值. 叶片日间叶黄素循环的实际热耗散能力用正中午(13:00)与黎明(06:30)时 PRI 的差值(ΔPRI)估算^[8]. 光合实验测定于 4 月初(干季)和 5 月底(雨季)晴天测定.

3 结果与分析

3.1 水肥处理对土壤水分状况和叶片含 N 量的影响

干季, 不同水肥管理下表层土壤水分含量为 13.3%~22.7%, 占田间持水量的 57.5%~98.2%, 施肥对土壤水分含量没有影响. 秸秆覆盖、滴灌和覆盖+滴灌措施明显提高了干季土壤的含水量. 在湿季, 土壤水分含量为 21.9%~23.8%, 占田

间持水量的 95% 以上, 施肥和干季水分处理对湿季土壤含水量没有影响, 土壤含水量受自然降雨的支配. 湿季小粒咖啡叶片含氮量主要受施肥量的影响, 高施肥量叶片含氮量明显比低施肥量的高, 干季水分处理对湿季叶片含 N 量没有影响(表 1).

表 1 不同水肥处理对土壤水分状况(地表 0~ 20 cm)和小粒咖啡叶片含 N 量的影响

Table 1 Effect of watering and fertilization treatments on soil water regime(20 cm depth) and leaf N content of *C. arabica*

实验样地 Experimental site	土壤含水量SWC(%)		叶片含氮量* LNC(g·kg ⁻¹)	
	干季DS	湿季WS		
A(高肥HF) 覆盖(M)	16.2(70.0)b	22.1(96.7)a	0.308a	
	滴灌(I)	18.8(72.7)b	22.7(98.3)a	0.311a
	覆盖+ 滴灌(MI)	22.7(98.2)a	23.2(100.4)a	0.312a
	对照(CK)	13.3(57.5)c	22.9(99.1)a	0.308a
B(低肥LF) 覆盖(M)	14.5(63.0)bc	22.3(96.5)a	0.235b	
	滴灌(I)	16.8(72.7)b	22.5(97.4)a	0.237b
	覆盖+ 滴灌(MI)	22.1(95.7)a	22.4(97.0)a	0.241b
	对照(CK)	13.6(58.8)c	22.0(95.3)a	0.234b

括号里的数据为占田间持水量的百分比 The data in parentheses are the percentages accounted for field water holding capacity. HF: High fertilization, LF: Low fertilization. M: Rice straw mulching, I: Drip irrigation, MI: Mulching+ Drip irrigation, CK: Control SWC: Soil water content, DS: Dry season, WS: Wet season. LNC: Leaf nitrogen contents. * 5月28日测定值 Measured in May 28. 同组处理间列有相同字母的数据差异不明显. The data (n= 3~ 5) with the same letter within columns did not differ significantly($P < 0.01$). 下同 The same below.

3.2 水肥处理对小粒咖啡生长的影响

由图 2 可见, 一年实验末期(2003 年 2 月初), A 组比 B 组的植株高, A 组的 MI 处理的株高和分枝长度明显比其它大($P < 0.01$), 说明生长过程中一直良好的水肥条件显著增加小粒咖啡的高度和分枝长度生长. 除对照处理(CK) 外, B 组另 3 组水分处理在高度和分枝长度上的差异不显著($P < 0.01$), 说明在肥料不十分充足的条件下, 水分对小粒咖啡生长的影响较小. 对于分枝对数, 两种施肥 4 种水分处理间差异不显著.

同时, 从小粒咖啡的高度、平均分枝长度和分枝对数的生长率来看, 1 年实验周期中, 这 3 个生长指标的相对生长率在所有的水肥处理中都明显表现出出现时间一致的两个生长高峰(图 3): 5 月为生长最高峰期, 8 月和 9 月为次高峰(图 3). 在两个高峰期间, A 组比 B 组有较大株高和分枝长度的相对生长率, A、B 两组组内不同水分的处理没有显著改变相对生长率的大小, 这说明干季的水分措施不影响小粒咖啡生长高峰期的生长速率, 高施肥量能促进生长高峰期的生长速度. 而高峰期小粒咖啡侧枝的相对萌发率不受水分和肥料的影响. 综合生长指标看, 高施肥量处理(A 组) > 低施肥量处理(B 组), 4 种水分处理对生长指标的影响大小分别为滴灌+ 覆盖 > 滴灌 > 覆盖 > 对照.

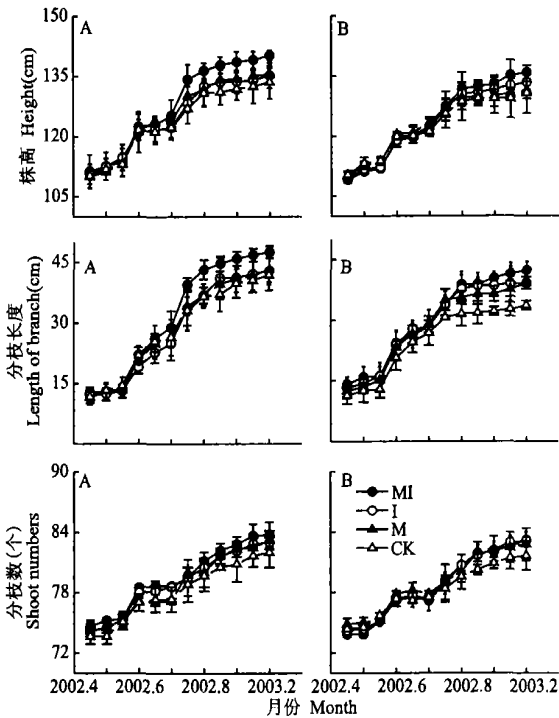


图 2 水肥处理对小粒咖啡生长的影响
Fig 2 Effect of watering and fertilization treatments on the growth of *C. arabica*.
A: 高肥处理 High fertilization treatment, B: 低肥处理 Low fertilization treatment. MI: 覆盖+ 滴灌 Mulching+ Drip irrigation, I: 滴灌 Irrigation, M: 覆盖 Mulching, CK: 对照 Control. 下同 The same below.

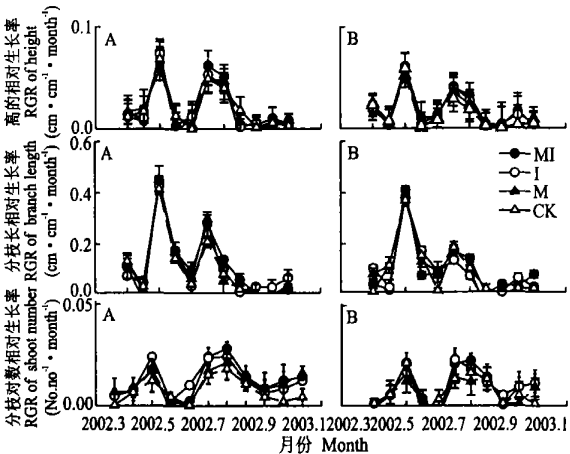


图 3 水肥处理对小粒咖啡相对生长率的影响
Fig 3 Effect of watering and fertilization treatments on the relative growth rate(RGR) of *C. arabica*.

3.3 水肥处理对小粒咖啡光合特性的影响

3.3.1 水肥处理对小粒咖啡光化学效率和热耗散能力的影响 干湿季小粒咖啡叶片黎明(06: 30)原初光化学效率(F_v/F_m)的值在 0.82~ 0.85 之间, 水肥措施对黎明光化学效率的值没有显著影响(表 2). 无论是干季还是湿季, 不同处理的小粒咖啡叶片 F_v/F_m 在晴天中午都发生较大程度的下降, 与黎明的 F_v/F_m 相比, 降低比例为 17.8%~ 24.5%, 干季

比湿季稍大, A 组降低的幅度明显小于 B 组($P < 0.05$), 说明小粒咖啡叶片一天中发生了明显的光抑制, 光抑制程度在干季比湿季大, 高施肥量比低施肥量小. 同时, 干季的实际光化学效率($\Delta F/F_m'$)和热耗散能力(ΔPRI)比湿季稍小, A 组的 $\Delta F/F_m'$ 和 ΔPRI 大于 B 组($P < 0.05$), 说明湿季比干季具有更大的实际光化学效率和热耗散能力, 高施肥量增加了小粒咖啡叶片的实际光化学效率和热耗散能力. 而 A、B 两组组内光抑制程度($1 - \% F_v/F_m$)、 $\Delta F/F_m'$ 和 ΔPRI 的值相差不大, 说明小粒咖啡光抑制程度、光化学效率和热耗散能力不受干季这几种水分措施的影响.

3.3.2 水肥措施对小粒咖啡气体交换参数的影响

对于 A、B 两组处理, 干季的净光合速率(P_n)低于湿

季, 为湿季的 52.1% ~ 73.8%. 在干季, A 组比 B 组的 P_n 值稍大, 高的施肥使 P_n 提高了 5.6% ~ 16.0%. 而 A、B 两组组内覆盖、滴灌等水分处理使 P_n 比对照处理提高了 24.1% ~ 56.0%, 同时也提高了气孔导度(g_s)、蒸腾速率(T_r)和水分利用效率(WUE). 在湿季, P_n 与这时叶片含 N 量呈一定程度的正相关($R^2 = 0.72$), A 组比 B 组的 P_n 高, A、B 两组组内的差异不显著($P > 0.05$). 这说明干季 P_n 受水分的影响大, 湿季的 P_n 主要受施肥量的影响. 干季时, 良好的水分条件下(MI 处理), P_n 最高, g_s 、 T_r 也显著比其它水分处理大. 而无论是干湿季, A、B 两组之间 g_s 和 T_r 没有显著差异, 但 A 组比 B 组的 WUE 高(表 3).

表 2 水肥处理对小粒咖啡光化学效率和耗散能力的影响
Table 2 Effect of watering and fertilization treatments on the photochemical efficiency and thermal dissipation efficiency in leaves of *C. arabica*

实验样地 Ex perimental site		黎明光化学效率 Fv/ Fm(06: 30)		1- % Fv/ Fm* (13: 00)		Δ F/ Fm' (10: 00)		Δ PRI [†] * (× 100)	
		干季 DS	湿季 WS	干季 DS	湿季 WS	干季 DS	湿季 WS	干季 DS	湿季 WS
A (HF)	覆盖 (M)	0. 825a	0. 826a	19. 1b	18. 9b	0. 51a	0. 52a	3. 1a	3. 4a
	滴灌 (I)	0. 823a	0. 831a	18. 9b	18. 1b	0. 52a	0. 55a	3. 5a	3. 6a
	覆盖+ 滴灌 (MI)	0. 832a	0. 843a	18. 5b	17. 8b	0. 53a	0. 57a	3. 5a	3. 7a
	对照 (CK)	0. 829a	0. 828a	21. 4ab	20. 5ab	0. 48ab	0. 52a	3. 4a	3. 3a
B (LF)	覆盖 (M)	0. 827a	0. 831a	23. 1a	22. 7a	0. 46b	0. 47b	2. 7b	2. 8b
	滴灌 (I)	0. 831a	0. 833a	22. 6a	22. 5a	0. 45b	0. 48b	2. 4b	2. 7b
	覆盖+ 滴灌 (MI)	0. 829a	0. 838a	23. 4a	21. 8ab	0. 48ab	0. 49ab	2. 8ab	2. 9b
	对照 (CK)	0. 819b	0. 828a	24. 2a	23. 5a	0. 45b	0. 46b	2. 3b	2. 6b

$\Delta F/F_m'$: 实际光化学效率 Actual photochemical efficiency, * 中午光化学效率比黎明降低的比率 The decreased rate of initial photochemical efficiency measured in midday compared to it in dawn, ** 中午与黎明光化学反射指数的差值 The difference of photochemical reflectance index between midday and dawn.

表 3 水肥措施对小粒咖啡气体交换参数的影响
Table 3 Effect of watering and fertilization treatments on the gas exchange parameters in leaves of *C. arabica*

实验样地		净光合速率 Pn		气孔导度 g _s		蒸腾速率 T _r		水分利用效率 WUE	
Ex perimental site		干季 DS	湿季 WS	干季 DS	湿季 WS	干季 DS	湿季 WS	干季 DS	湿季 WS
A(HF)	覆盖(M)	3. 6b	5. 7a	0. 091b	0. 118a	2. 1b	2. 6a	1. 7ab	2. 2a
	滴灌(I)	3. 8ab	5. 8a	0. 097b	0. 114a	2. 2b	2. 8a	1. 9a	2. 1a
	覆盖+ 滴灌(MI)	4. 5a	6. 1a	0. 119a	0. 121a	2. 4a	2. 9a	1. 9a	2. 1a
	对照(CK)	2. 9bc	5. 5ab	0. 085c	0. 116a	2. 0c	2. 7a	1. 5bc	2. 0a
B(LF)	覆盖(M)	3. 3b	5. 0b	0. 088b	0. 117a	2. 2b	2. 7a	1. 5bc	1. 8b
	滴灌(I)	3. 6b	5. 3b	0. 092b	0. 113a	2. 3b	2. 9a	1. 6b	1. 8b
	覆盖+ 滴灌(MI)	3. 9ab	5. 4ab	0. 114a	0. 119a	2. 6a	2. 8a	1. 7ab	1. 9ab
	对照(CK)	2. 5c	4. 8b	0. 078c	0. 112b	1. 9c	2. 8a	1. 3c	1. 7b

P_n : Net photosynthetic rate($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), g_s : Stomatal conductance($\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), T_r : Transpiration rate($\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), WUE: Water use efficiency($\text{mmol}\cdot\text{mol}^{-1}$).

3.3.3 施肥和干季水分处理的相互作用 为了进一步说明水肥对小粒咖啡光合生理因素的影响, 施肥和干季水分处理对小粒咖啡的一些生理因素影响相互作用的双因素变量分析结果列于表 4. 水肥处理对干季 P_n 和 WUE 有显著的相互作用, 而 g_s 、 T_r 主要受水分影响, 水肥之间没有相互作用. 干季光化学参数主要受施肥量的影响, 水肥之间没有相互作用.

4 讨 论

一般认为, 水分亏缺对植物生长不利, 水分胁迫

表 4 水肥处理对小粒咖啡干季一些生理参数的双因素变量分析结果
Table 4 Results of two way ANONA for some physiological parameters of *C. arabica* in the dry season

参数 Parameter	变量来源 Source of variation		
	水分 Water	肥料 Fertilization	水 $\times$ 肥 W $\times$ F
净光合速率 P_n	*	*	*
气孔导度 g_s	*	Ns	Ns
蒸腾速率 T_r	*	Ns	Ns
水分利用效率 WUE	*	*	*
光抑制程度 $1 - \% F_v/F_m$	Ns	*	Ns
实际光化学效率 $\Delta F/F_m'$	Ns	*	Ns
光化学反射指数差值 ΔPRI	Ns	*	Ns

Ns 差异不显著 Not significant difference($P > 0.05$), * 差异显著 Significant difference($P < 0.05$)

引起植物光合作用的减弱是干旱条件下作物减产的一个重要原因^[10,19], 但不同植物在不同程度水分亏缺条件下碳同化与水分利用机制间存在差异^[26]. 有研究表明, 适度的水分亏缺能使有些农作物水分利用效率提高, 促进生长, 并可获得高产^[9]. 在干季, 对照组(CK)小粒咖啡土壤的含水量在田间持水量的58%左右(表1), 覆盖和滴灌使田间持水量可达70%以上, 属于中轻度的干旱. 中轻度的干旱显著降低小粒咖啡的 P_n 、 g_s 和 WUE, 说明小粒咖啡是属对干旱很敏感的作物, 所需土壤的含水范围比金矮生苹果(*Goldspur apple*)^[25]要高得多. 覆盖和滴灌等水分处理对小粒咖啡实际的光化学效率($\Delta F/F_m'$)、日间热耗散(ΔPRI)能力和光抑制程度影响不大, 说明中轻度的干旱没有影响小粒咖啡叶片叶绿素荧光特性, 叶片气孔的关闭是造成光合固碳能力下降的主要原因.

正常土壤水分条件下, 营养的缺乏常常造成植物光合速率和有关碳代谢酶类的活性降低^[9]. 干湿季小粒咖啡叶片黎明原初光化学效率(F_v/F_m)为0.82~0.85, 在正常健康叶片的光化学范围之内^[17]. 叶片最低含氮量为 $0.234 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ (B组CK), 也在小粒咖啡的营养亏缺最低限值以上^[21], 这说明本实验中两种施肥处理为小粒咖啡的正常生长、光合功能和产量提供了养分保证. 小粒咖啡一年中两个生长高峰期间分枝的萌发没有受到水肥的影响, 而高的施肥明显增加了湿季的净光合速率和生长高峰期株高和分枝长度的相对生长率, 说明小粒咖啡属于需高营养投入的作物. 因此, 如果仅在生长高峰期加大施肥量, 对节约成本, 促进咖啡的光合能力和生长, 进而获得高产是否有显著作用值得进一步探讨. 另外, 小粒咖啡原产地属于生长在遮荫或半遮荫的森林和河谷地带的荫生植物^[1], 对强光比较敏感. 由于种种原因, 实际生产中常常采用大面积无遮荫栽培, 这就对小粒咖啡的生存和正常的光合性能带来了挑战. F_v/F_m 的降低是植物光合作用光抑制的最明显的特征之一^[17]. 光抑制减少植物的碳积累^[17,27], 严重的光抑制还可能影响到植物的生存^[17]. 高施肥量使小粒咖啡 $\Delta F/F_m'$, $1 - \% F_v/F_m$ 降低(表2), 说明施肥增加了光化学效率和减轻了日间光抑制程度, 这与一些研究结果相一致^[4,18]. 有报道表明, 在受营养限制条件下(主要是N), 菠菜(*Spinacia oleracea*)^[16,23]、玉米^[11]、桉树(*Eucalyptus nitens*)^[4]热耗散能力增加, 小囊衣藤(*Clematis vitalba*)^[2]的热耗散能力受N影响较小. 本研究中,

两种施肥均在正常施肥量以上, 高的施肥使小粒咖啡一天中 ΔPRI 增加, 说明高的施肥增加了对光能的热耗散能力, 改善了光合机构的性能, 促进了小粒咖啡长期适应强光的机制. 高营养可以提高植物的 g_s ^[15], 也有使 g_s 降低的报道^[13]. 本研究中, 在湿季(水分良好), 高施肥量对 g_s 和 T_r 影响小, 而促进了 P_n 的提高(表3), 这可能与高施肥量增加了小粒咖啡光合酶的活性有关. WUE 的提高是由于施肥提高 P_n , 较 g_s 和 T_r 大的结果. 干季时, 小粒咖啡水肥对 P_n 和 WUE 具有明显的交互作用, 这与大多数实验室控制条件和野外营养和水分具有协同作用的结论相同^[3,10,14]. 而实际上, 测定时环境条件的变化往往掩盖了水肥胁迫对气体交换的这种效果. 同时, 小粒咖啡的两个生长高峰期都在湿季, 湿季比干季有更高的净光合速率、实际光化学效率和耗散能力, 光抑制程度较小, 说明湿季是小粒咖啡进行光合碳固定和生长的最优季节.

因此, 可以认为, 小粒咖啡属于对水肥需求很高的农作物. 在干季, 水分是影响光合和生长的主导因素, 覆盖和灌溉能提高净光合速率, 这时施肥与水分处理对光合速率和水分利用效率有明显的相互作用; 湿季土壤水分较高, 施肥能提高 P_n 、WUE, 肥力此时是主导因素. 干季田间采取秸秆覆盖+滴灌能取得较好效果, 在有条件的地区是一种良好的措施. 秸秆覆盖和滴灌具有相似的作用, 而从技术成本和秸秆覆盖还能培肥改良土壤, 促进养分资源的再利用^[29]等来分析, 秸秆覆盖要优于滴灌, 具有较强的实用性.

参考文献

- Barros RS, Maestri M, Rena AB. 1995. Coffee crop ecology. *Tropic Ecol*, **36**: 1~19
- Bungard RA, McNeil D, Morton JD. 1997. Effects of nitrogen on the photosynthetic apparatus of *Clematis vitalba* grown at several irradiances. *Aust J Plant Physiol*, **24**: 205~214
- Chen H-S (陈洪松), Shao M-A (邵明安), Zhang X-C (张兴昌). 2003. Effect of soil water and fertilizer on soybean yield on loess slopeland. *Chin J App Ecol* (应用生态学报), **14**(2): 211~214 (in Chinese)
- Dugald CC, Beadle CL, Hovenden MJ. 2003. Interactive effects of nitrogen and irradiance on sustained xanthophyll cycle engagement in *Eucalyptus nitens* leaves during winter. *Oecologia*, **134**: 32~36
- Ephrath JE, Manari A, Bravda BA. 1990. Effects of moisture stress on stomatal resistance and photosynthetic rate in cotton (*Gossypium hirsutum*) L. Control level of stress. *Field Crop Res*, **23**: 117~131
- Evans JR. 1983. Nitrogen and photosynthesis in flag leaf of wheat. *Plant Physiol*, **72**: 297~302
- Flexas J, Escalona JM, Medrano H. 1999. Water stress induces different levels of photosynthesis and electron transport rate regulation in grapevines. *Plant Cell Environ*, **22**: 39~48
- Gamon JA, Suragus JS. 1999. Assessing leaf pigment content and activity with a reflectometer. *New Phytol*, **143**: 105~117

- 9 Jensen M E. 1972. Water consumption by agriculture plant. In: Korzowski T, eds. *Water Deficit and Plant Growth*. New York: Academic Press. 1~ 22
- 10 Jones JW, Zur B, Bennett JM. 1986. Interactive effects of water and nitrogen stresses on carbon and water exchange of corn canopies. *Agric For Meteorol*, **38**: 113~ 126
- 11 Khamis S, Lamaze T, Lemoine Y, et al. 1990. Adaptation of the photosynthetic apparatus in maize leaves as a result of nitrogen limitation. Relationships between electron transport and carbon assimilation. *Plant Physiol*, **94**: 1436~ 1443
- 12 Lascano HR, Antonicelli GE, Luna CM, et al. 2001. Antioxidant system response of different wheat cultivars under drought: field and *in vitro* studies. *Aust J Plant Physiol*, **28**: 1095~ 1102
- 13 Lima JD, Mosquim PR, DaMatta FM. 1999. Leaf gas exchange and chlorophyll fluorescence parameters in *Phaseolus vulgaris* as affected by nitrogen and phosphorus deficiency. *Photosynthetica*, **37**: 113~ 121
- 14 Liu Z-X (刘作新), Zheng Z-P (郑昭佩), Wang J (王建). 2000. Effect of interaction between water and fertilizer on wheat and maize semiarid region of western Liaoning. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **11**(4): 540~ 544 (in Chinese)
- 15 Livingston NJ, Guy D, Sun ZJ, et al. 1999. The effects of nitrogen stress on the stable carbon isotope composition, productivity and water use efficiency of white spruce (*Picea glauca* (Moench) Voss) seedlings. *Plant Cell Environ*, **22**: 282~ 289
- 16 Logan BA, Demmig Adams B, Rosenstiel TN, et al. 1999. Effect of nitrogen limitation on foliar antioxidants in relationship to other metabolic characteristics. *Planta*, **209**: 213~ 220
- 17 Long SP, Humphries S, Falkowski PG. 1994. Photoinhibition of photosynthesis in nature. *Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol*, **45**: 633~ 662
- 18 Long Y-M (龙乙明), Wang J-W (王建文). 1997. *Yunnan Coffea arabica* L. Kunming: Yunnan Science and Technology Press. (in Chinese)
- 19 Lu G-M (卢从明), Zhang Q-D (张其德), Kuang T-Y (匡廷云). 1994. Advances in studies on effects of water stress on photosynthesis. *Chin Bull Bot* (植物学通报), **11**(suppl.): 9~ 14 (in Chinese)
- 20 Lu R-K (鲁如坤). 1999. *Soil Agrochemistry Analysis Methods*. Beijing: China Agricultural Science & Technology Press. 12~ 489 (in Chinese)
- 21 Moraes FRP. 1981. Adução do cafeeiro. Macronutrientes e Adução orgânica. In: Malvota E, Yamada T, Guidolin JA eds. *Nutrição e Adução do Cafeeiro*. Instituto da Potassa & Fosfato, Instituto Internacional da Potassa, Piracicaba. 77~ 89
- 22 Shen S-M (沈善敏), Yu W-T (宇万太), Chen X-M (陈欣明), et al. 1998. Contribution of fertilization development in food production and its geographic differentiation. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **9**(4): 386~ 390 (in Chinese)
- 23 Verhoeven AS, Demmig Adams B, Adams WW III. 1997. Enhanced employment of the xanthophylls cycle and thermal energy dissipation I. Spinach exposed to high light and N stress. *Plant Physiol*, **113**: 817~ 824
- 24 Wang J-C (王甲辰), Liu X-J (刘学军), Zhang F-S (张福锁), et al. 2002. The effect of different soil mulch materials on the growth and yield of rice. *Acta Ecol Sin* (生态学报), **22**(6): 922~ 929 (in Chinese)
- 25 Wang K-Q (王克勤), Wang B-R (王斌瑞). 2002. The effect of soil moisture upon net photosynthetic rate of the Goldspur apple tree. *Acta Ecol Sin* (生态学报), **22**(2): 206~ 214 (in Chinese)
- 26 Wang M (王森), Dai L-M (代力民), Ji L-Z (姬兰柱), et al. 2002. Effect of soil moisture status on some eco physiological indexes of dominant tree species in the pine broadleaf forest of Changbai Mountain. *Chin J Ecol* (生态学杂志), **21**(1): 1~ 5 (in Chinese)
- 27 Wemer C, Ryel R J, Correia O. 2001. Effects of photoinhibition on whole plant carbon gain assessed with a photosynthesis model. *Plant Cell Environ*, **24**: 27~ 40
- 28 Xue S (薛崧), Wang P-H (汪沛洪), Xu D-Q (许大全). 1992. Effects of water stress on CO₂ assimilation of two winter wheat cultivars with different drought resistance. *Acta Phytophysiol Sin* (植物生理学报), **18**(1): 1~ 7 (in Chinese)
- 29 Sun J (孙进), Xu Y-C (徐阳春), Shen Q-R (沈其荣), et al. 2001. Effects of rice straw mulch and water retain agent on soil properties and crop yield. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **12**(5): 731~ 734 (in Chinese)

作者简介 蔡传涛,男,1964年生,硕士,助理研究员.主要从事农业生态和区域开发的研究,发表论文10余篇. Tel: 0871-5191248 E-mail: caict@xtbg.ac.cn
