

施肥对小粒咖啡生长、光合特性和产量的影响^{*}

蔡志全^{**} 蔡传涛 齐 欣 姚天全

(中国科学院西双版纳热带植物园, 勐腊 666303)

【摘要】 采用田间实验, 研究了不同 N、P、K 匹配对 3 年生小粒咖啡生长、光合特性以及产量的影响。结果表明, N 的缺乏对小粒咖啡生长、光合特性和产量的影响最大, 其次为 K, 而 P 的影响相对较小。叶面喷施适量的微量元素(B、Zn)可明显增加产量。N、P、K 不同水平的匹配对小粒咖啡有不同的影响, N:P₂O₅:K₂O 的最佳匹配比例为 1:0.5:1。小粒咖啡需要高营养的投入, 而从投入-产出的效益分析表明, N、P₂O₅、K₂O 的合适用量分别为 100、50 和 100 g/株。小粒咖啡产量与单株分枝数和单株叶面积密切相关, 与最大净光合速率呈显著正相关, 但与苗高、地茎的相关性不显著。不同施肥处理对小粒咖啡黎明光化学效率影响不大, 但高的施肥量明显减轻咖啡的日间光抑制。

关键词 小粒咖啡 N、P、K 配比实验 生长 光合特性 产量

文章编号 1001-9332(2004)09-1561-04 中图分类号 S181 文献标识码 A

Effects of fertilization on the growth, photosynthetic characteristics and yield of *Coffea arabica*. CAI Zhiquan, CAI Chuantao, QI Xin, YAO Tianquan (*Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Mengla 666303, China*).—*Chin. J. Appl. Ecol.*, 2004, 15(9): 1561~ 1564.

Coffea arabica is a major economic plant in agriculture plantation in tropical and subtropical areas in the world. This paper reports the experimental results on the fertilization strategy in Yunnan, China. Effects of varied levels of nitrogen (N), phosphorus (P), potassium (K) nutrients on the growth, photosynthetic characteristics and yield in three-year old saplings of *C. arabica* with the density of 4 500 individuals per hectare were measured. In general, N is the most important factor influencing the growth, photosynthetic capacity and yield of *C. arabica*, followed by K and P, respectively. The yield can be improved through spraying appropriate amount of trace elements in the leaves. The optimum matching experiments in fertilization level of N:P₂O₅:K₂O is at the ratio of 1:0.5:1. The high yield of *C. arabica* need high nutrient demands, but the optimum amount of fertilizer of N, P₂O₅, K₂O is 100, 50, 100 g per individual according to the cost-benefits analysis. The yield of *C. arabica* was closely related with the numbers of branch, total leaf areas and maximum rate of net photosynthesis (A_{max}) among different treatments. Different fertilization strategy had no significantly effects on the photochemical efficiency in dawn, but all indicators showed that the higher-fertilized plants could significantly alleviate diurnal photoinhibition.

Key words *Coffea arabica*, N, P, K, Fertilization strategy, Growth, Photosynthesis, Yield.

1 引言

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, 从种植面积和咖啡豆产量来看, 云南咖啡已确立了在国内的主导地位。小粒种咖啡 (*Coffea arabica*) 具有产量高、咖啡豆粒品质优良、抗病等特点^[7,8,11], 再加上云南独特的自然条件形成了云南小粒咖啡品味的独特性, 在国际咖啡市场被评定为咖啡中的上品^[8]。咖啡作为热带亚热带一种主要的经济植物, 国内外关于其生长、产量以及品质分析已有研究报道^[1,7,8,11]。但长期以来, 国内对小粒咖啡的施肥一直是一种粗放的管理方式, 有关合理、经济的施肥方法的研究尚未见报道。本研究探讨不同营养元素(N、P、K)匹配对咖啡的生长、光合特性和产量的影响, 结合种植地咖啡土壤水热、肥力

状况, 主要明确 N、P、K 对小粒咖啡的相对重要性、最佳的匹配比例、合理的施肥量及影响小粒咖啡产量的生长和光合生理因子, 并初步探讨其间的关系。

2 研究地区与研究方法

2.1 研究地区概况

实验地位于云南省思茅市(22°6′N, 100°8′E)近郊绿洲咖啡有限公司的咖啡栽培地, 实验用地位于小山丘东南坡和东北坡, 坡度为 15°, 海拔 1 050 m。实验地的土壤为赤红壤, 东南坡 0~20 cm 土层 pH 5.3; 有机质含量为 2.19 g·kg⁻¹; 全 N 含量为 0.102 g·kg⁻¹; 全 P₂O₅ 含量为 0.085 g·kg⁻¹; 全 K₂O 含量为 2.55 g·kg⁻¹; 速效 N、P、K 分别为

^{*} 中国科学院西南知识创新基地基金项目和中国科学院、云南省合作资助项目(YK99005)。

^{**} 通讯联系人。

2003-07-18 收稿, 2003-12-02 接受。

122.4 mg•kg⁻¹、4.1 mg•kg⁻¹和 109 mg•kg⁻¹。东北坡 0~20 cm 土层 pH 5.2; 有机质含量为 1.56 g•kg⁻¹; 全 N 含量为 0.069 g•kg⁻¹; 全 P₂O₅ 含量为 0.044 g•kg⁻¹; 全 K₂O 含量为 1.44 g•kg⁻¹; 速效 N、P、K 分别为 95.1 mg•kg⁻¹、3.2 mg•kg⁻¹和 117.5 mg•kg⁻¹。选择生长在同一水平阶上长势一致的 3 年生小粒咖啡(卡蒂姆 P₇₉₆₃ 品种)为实验材料, 种植密度为 4 500 株•hm⁻²。实验前小粒咖啡苗高 115 cm, 地茎 3.4 cm。

2.2 实验设计

实验分 A、B、C 3 组进行施肥处理(表 1)。A、B 两组植株生长在东南坡, C 组植株生长在东北坡。每组处理选择 15 株小粒咖啡为一实验小区进行 1 种处理。实施方案: N: P₂O₅; K₂O (1:1:1) 的实际用量为每株 45 g N、45 g P₂O₅ 和 45 g K₂O (用所施尿素、普通过磷酸钙、硫酸钾的有效成分换算), 其它的施肥匹配依次按比例计算(表 1)。其中, 处理 C₂ 为生产过程中实际大面积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, 石灰 1 kg。其施肥 N、P、K 的量为折合营养元素的估计值。N、P、K 的施肥分别于 3、6、9 和 12 月的下旬进行。其中实验 B₅ 为在 12 月份对咖啡叶面加喷 0.25% 硼砂和硫酸锌溶液 3 次的处理。所有实验于 2000 年初开始, 连续两年。其中, A、B 两组实验前每小区施腐熟油枯 300 g/株为基肥。

表 1 不同配比的实验设计

Table 1 Experimental design of varied fertilization strategy

实验号 Experimental number	施肥处理 Treatment (g/plant)		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
A	1	1	0
	2	1	0
	3	0	1
B	1	1	1
	2	1	0.5
	3	1	0.5
	4	0.5	1
	5	1	1
C	1	1.1	0.56
	2	1.8	0.72
	3	2.2	1.1
	4	3.3	1.67

2.3 测定方法

土壤样品中的养分含量采用常规法分析^[9]。

表 2 N、P、K 对咖啡生长的影响

Table 2 Effect of N, P, K on the growth of *C. arabica*

实验号 Experimental number	苗高 Height (cm)	地茎 Stem diameter (cm)	分枝数 Branch numbers (No.)	平均分枝长 Length of each branch (cm)	单株叶面积 Total leaf area per individual (m ² /plant)
A	1 137.3±7.7a	4.2±0.16a	79.2±2.0a	45.1±5.8a	11.9±2.4a
	2 144.7±12.7b	4.25±0.22a	81.3±3.7b	46.7±5.5a	13.5±3.0b
	3 140.5±10.8a	4.18±0.23a	79.0±4.3a	39.6±5.0b	11.8±2.5a
B	1 154.8±9.3a	4.36±0.14a	84.5±3.5a	51.6±5.9a	14.2±1.9a
	2 156.3±7.2a	4.34±0.18a	86.1±5.4b	49.7±10a	14.1±2.3a
	3 153.8±11.9b	4.25±0.20a	88.0±4.2b	47.8±5.7b	13.7±3.1b
	4 150.2±7.5b	4.27±0.12a	86.3±7.1b	45.6±5.1b	13.1±2.8b
	5 158.7±9.0c	4.6±0.25b	91.5±6.1c	50.4±4.0a	14.5±3.3a
C	1 143.2±4.5a	4.23±0.19a	92.4±2.7a	51.7±5.4a	14.9±2.1a
	2 144.2±10.2a	4.19±0.22a	93.9±5.4a	52.2±5.7a	15.4±2.4a
	3 151.8±6.8b	4.26±0.16a	95.3±2.0b	54.3±5.2b	16.2±1.9a
	4 153.2±6.6b	4.32±0.19b	96.1±4.8b	55.2±6.1b	16.8±3.1b

同组处理间有相同字母的数据差异不明显 The data with the same letter in column of each treatment group did not differ significantly (P<0.05). 下同 The same below.

单株叶面积测定: 从小粒咖啡植株东南西北 4 个方位、上中下 3 个层次共选取 22~25 个枝条, 数出每枝条叶片数, 选 30~40 片叶用剪纸称重法计算平均叶面积。单株叶总面积= 每枝条平均叶片数×平均叶面积×单株枝条总数。

选取植株顶端健康成熟叶片作为光合特性的测定。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。光系统 II (PS II) 光化学量子效率 Fv/F_m = (F_m - F₀) / F_m。每个试验重复 6 次。

光合作用-光响应曲线用 Li6400 光合作用分析系统(美国 LICOR 公司) 测定。测定时叶温为 26±0.1℃, 叶室 CO₂ 浓度为 380±0.5 (用仪器自带的 CO₂ Mixer 控制)。在不同 PFD (1 300、1 200、1 150、1 100、1 000、500、200 和 0 μmol•m⁻²•s⁻¹) 下测定叶片的净光合速率, 每种光强下纪录净光合速率稳定时值, 根据光响应曲线求得最大净光合速率, 即光合能力。每个试验重复 3 次。光合响应曲线于施肥处理第 2 年 5 月中旬晴天 8:30~11:30 进行。此时正值咖啡生长旺季, 最高温度为 32℃, 最低温度为 12℃, 晴天较多, 最高光强可达 1 800 μmol•m⁻²•s⁻¹。

3 结果与分析

3.1 N、P、K 对小粒咖啡生长指标的影响

由表 2 可见, A 组中, 处理 2 的苗高、分枝数和单株叶面积最大, 与处理 1、3 有显著差异。处理 1、2 的平均分枝长最大。3 种处理间地茎的差异不显著。说明缺 N 对植株生长指标不利的影响最大, 其次为 K, 而 P 的影响相对较小。B 组中, 处理 5 的 6 个生长指标都较大, 说明小粒咖啡适当的叶面喷施 B、Zn 微量元素明显利于其生长。除处理 5 外, B 组处理 1、2 的苗高、平均分枝长和叶面积最高, 与处理 3、4 有明显差异。处理 1 的分枝数最小。而地茎的差异不明显, 说明 B 组中处理 1、2 对小粒咖啡的生长效果较好。C 组实验中, 处理 3、4 的苗高、分枝数、平均分枝长和叶面

积比处理 1、2 大, 存在显著差异. 4 种施肥措施对 6 种生长指标的影响大小分别为处理 C₄ ≥ 处理 C₃ > 处理 C₂ ≥ 处理 C₁. 说明随着 3 种养分施用量的增加, 小粒咖啡的生长状态有增大的趋势.

3.2 N、P、K 对小粒咖啡光合特性的影响

由表 3 可见, A 组的最大净光合速率明显低于 B 组 ($P < 0.01$). A 组中, 处理 3 的最大净光合速率较小, 与处理 1、2 有显著差异, 说明缺 N 对植株最大净光合速率有明显的不利影响, 而缺 P 和 K 对最大净光合速率的影响程度相似. B 组中, 处理 5 的最大净光合速率最大, 与其它有显著差异, 说明小粒咖啡适当的喷施 B、Zn 微量元素利于最大净光合速率的提高. 除处理 5 外, 处理 1、2 的最大净光合速率较高, 与处理 3、4 有明显差异, 说明处理 1、2 的小粒咖啡具有较强的光合能力. C 组实验中, 处理 3、4 的最大净光合速率比处理 1、2 大, 存在显著差异. 说明随着施肥量的增加, 小粒咖啡的光合能力有增大的趋势, 中高等施肥用量较好. 暗呼吸速率在 A 组中差

表 3 N、P、K 对咖啡光合特性的影响*
Table 3 Effect of N, P, K on the photosynthetic characteristics of *C. arabica*

实验号 Experimental number		A_{max}	Rd	F_v/F_m (06:30)	1- % F_v/F_m (13:00) **
A	1	5.67 ± 0.45 a	0.89 ± 0.14 a	0.830 ± 0.021 a	30.5 ± 6.5 a
	2	5.71 ± 0.23 a	0.91 ± 0.17 a	0.833 ± 0.012 a	32.8 ± 4.7 a
	3	5.54 ± 0.37 b	0.85 ± 0.12 a	0.829 ± 0.023 a	36.8 ± 6.1 b
B	1	5.87 ± 0.41 b	1.04 ± 0.16 b	0.836 ± 0.011 a	22.4 ± 3.2 a
	2	5.89 ± 0.21 b	0.98 ± 0.25 b	0.838 ± 0.009 a	21.5 ± 4.6 a
	3	5.74 ± 0.16 c	0.94 ± 0.19 b	0.831 ± 0.023 a	23.7 ± 2.1 a
	4	5.67 ± 0.32 c	0.91 ± 0.21 b	0.832 ± 0.008 a	25.5 ± 5.4 b
	5	6.15 ± 0.2 a	1.33 ± 0.27 a	0.841 ± 0.011 b	16.7 ± 2.7 c
C	1	5.81 ± 0.22 a	0.90 ± 0.29 a	0.830 ± 0.014 a	23.5 ± 3.6 a
	2	5.93 ± 0.17 a	0.97 ± 0.20 a	0.835 ± 0.022 a	21.6 ± 5.1 b
	3	6.19 ± 0.25 b	1.06 ± 0.31 a	0.837 ± 0.016 a	19.6 ± 4.7 b c
	4	6.33 ± 0.21 b	1.33 ± 0.21 b	0.842 ± 0.013 b	16.1 ± 3.9 c

* A_{max} : 最大净光合速率 Maximum rate of net photosynthesis; Rd: 暗呼吸速率 Dark respiration. ** 中午光化学效率比黎明降低的比率 The decreased rate of photochemical efficiency measured in midday compared to it in dawn.

表 4 N、P、K 对咖啡产量(鲜重)的影响
Table 4 Effect of N, P, K on the yield (fresh weigh) of *C. arabica*

实验号	A			B					A			
Ex perim- ental number	1	2	3	1	2	3	4	5	1	2	3	4
产量 Yield (kg/株)	3.37a (0.51)	3.45b (0.27)	3a (0.17)	3.75b (0.23)	3.9c (0.37)	3.79b (0.37)	3.53a (0.45)	4.11d (0.37)	4.43a (0.6)	5.25b (0.17)	5.77c (0.26)	6.15d (0.31)

括号内数据为标准差 The data in parentheses are the standard deviation (n= 12~ 15).

3.4 影响小粒咖啡产量的因子分析

在形态性状上, 小粒咖啡产量与株高、地茎的相关性不显著, 而与分枝数和单株叶面积有较为显著的相关性(表 5). 另外, C 组处理中小粒咖啡的产量最高, 但其植株比 B 组矮, 说明咖啡的适当矮化途径是可行的.

光合作用是农作物干物质积累和产量的基础.

异不显著. B 组中, 处理 5 的暗呼吸速率较大. C 组中, 除处理 4 外, 其它处理间差异也不显著, 说明暗呼吸速率对施肥处理的变化比最大净光合速率低.

不同的施肥处理小粒咖啡叶片黎明(06:30)光化学效率的值在 0.82~ 0.85 之间, 在正常健康叶片的光化学范围之内^[2]. 光化学效率降低是植物光合作用光抑制的最明显的特征之一^[2,10]. 光抑制减少植物的 C 积累^[10,12], 严重的光抑制还可能影响到植物的生存^[2]. 由于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. 本实验中, 不同处理的小粒咖啡叶片光化学效率在中午都发生较大程度的下降, 降幅为 16.1% ~ 36.8%, 表明小粒咖啡一天中发生了明显的光抑制. 光抑制程度在 A 组、B 组(除处理 5 外)、C 组间差异显著 ($P < 0.05$), 其顺序为 A 组 > B 组(除处理 5 外) > C 组. 在 C 组中, 光抑制程度随施肥量的增加而减轻.

3.3 N、P、K 对小粒咖啡产量的影响

N、P、K 3 组施肥措施(除 B₅ 外)对小粒咖啡的产量有显著差异 ($P < 0.01$) (表 4). 在某一营养元素缺乏情况下, 处理 1 和 3 最低, 即 N、K 的缺乏对产量的影响比 P 大. 喷施叶面微量元素显著增加小粒咖啡的产量. N、P、K 不同的比配对产量有一定的影响. 其中, B 组处理 2 的产量稍高. 另外, 随着施肥量的增加, 小粒咖啡单株咖啡豆粒的鲜重一直增加, 其中中等施肥的处理(C₃)比低等(C₁)增产 30.2%, 而高量施肥(C₄)比中等条件增加了 6.6%. 从投入产出的效益分析来看, 以 2001 年肥料和咖啡豆的市场价计算, 处理 C₃ 比处理 C₂(常规措施)可获得明显收益, 而处理 C₄ 的净经济效益比处理 C₃ 低. 另外, 从高施肥量可能对环境造成污染来考虑, 中等施肥量(处理 C₃)是最佳的选择.

表 5 小粒咖啡产量与生长和光合因子的相关性系数
Table 5 Coefficient index between the yield and the growth parameters and photosynthetic characteristics

	苗高 Height	地茎 Stem diameter	分枝数 Branch number	平均分枝长 Length	叶面积 Leaf area	最大净 光合速率 A_{max}	暗呼吸 速率 Rd
R	0.57	0.12	0.90*	0.68	0.94**	0.87*	-0.51

* $P < 0.05$; ** $P < 0.01$.

作物产量与光合作用的强弱有关,但作物的光合生产力涉及到光合产物的消耗(呼吸)、运转与分配和作物的开花结实等因素的影响,以及光合速率测定的瞬时性,作物产量和光合速率并不一定有显著的相关性^[5,6,13]。本研究中,不同施肥处理的小粒咖啡生长旺季的最大净光合速率与产量之间呈显著正相关,与一些农作物的研究结果相一致^[3,4],说明生长旺季小粒咖啡光合能力的大小可以作为间接评价咖啡产量高低的指标。

4 结 论

N 对小粒咖啡的影响最大,其次为 K,而 P 的影响相对较小。适当的叶面微量元素施肥有利于小粒咖啡生长、光合能力的提高,从而达到增产效应。小粒咖啡需要高营养的投入,其产量与单株分枝数、叶面积和最大净光合速率密切相关,而与苗高、地茎和平均分枝长的相关性不显著。高施肥量明显减轻日间光抑制。对小粒咖啡生长、光合特性和产量的综合结果以及结合投入-产出的效益分析表明,N:P₂O₅:K₂O 最佳匹配比例为 1:0.5:1,N、P₂O₅、K₂O 的合适用量分别为 100、50 和 100 g/株。据此实施施肥管理,可以获得小粒咖啡的高产、稳产。

参考文献

- 1 Barros RS, Maestri M, Rena AB. 1995. Coffee crop ecology. *Trop Ecol*, **36**: 1~ 19

- 2 Demmig-Adams B, Adams III W W. 1992. Photoprotection and other responses of plants to high light stress. *Ann Rev Plant Physiol Plant Mol Biol*, **43**: 599~ 626
- 3 Faville MJ, Silvester WB, Green TGA. 1999. Photosynthetic characteristics of three asparagus cultivars differing in yield. *Crop Sci*, **39**: 1070~ 1077
- 4 Gardner FP, Pearce RB, Mitchell RL. 1985. Photosynthesis. Physiology of Crop Plants. Ames: Iowa State University Press. 3~ 30
- 5 Gifford RM, Evans LT. 1981. Photosynthesis, carbon partitioning and yield. *Ann Rev Plant Physiol*, **32**: 485~ 509
- 6 Lawlor DW. 1995. Photosynthesis, productivity and environment. *J Exp Bot*, **46**: 1449~ 1461
- 7 Long Y-M (龙乙明), Wang J-W (王剑文), Xie J-W (谢继武). 1993. Relationship between the cultivate environment and growth and yield of coffee. *Acta Bot Yunnanica* (云南植物研究), **16**(3): 24~ 29 (in Chinese)
- 8 Long Y-M (龙乙明), Wang J-W (王剑文). 1997. *Yunnan Coffea arabica* L. Kunming: Yunnan Science Press. (in Chinese)
- 9 Lu R-K (鲁如坤). 1999. Soil Agrochemistry Analysis Methods. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press. 12~ 489 (in Chinese)
- 10 Ögren E, Stenström M. 1990. Estimation of the effect of photoinhibition on the carbon gain in leaves of a willow canopy. *Planta*, **181**: 560~ 567
- 11 Wang J-W (王剑文), Long Y-M (龙乙明), Li G-H (李光华). 1996. The preliminary study on the relationship between growth, leaf nutrient and yield of *Coffea arabica* L. *Trop Plant Res* (热带植物研究), **37**(2): 40~ 43 (in Chinese)
- 12 Werner C, Ryel RJ, Correia O. 2001. Effects of photoinhibition on whole plant carbon gain assessed with a photosynthesis model. *Plant Cell Environ*, **24**: 27~ 40
- 13 Zelitch I. 1982. The close relationship between net photosynthesis and crop yield. *BioScience*, **32**: 796~ 802

作者简介 蔡志全,男,1973 年生,硕士,助理研究员,主要从事植物生理生态学研究,发表论文 10 多篇. Tel: 0691-8716732; E-mail: czq@xtbg.org.cn