

亏缺灌溉与氮营养对小粒咖啡苗木生长及水分利用的影响

钟 原, 刘小刚, 耿宏焯, 张 彦, 杨启良, 杨具瑞
(昆明理工大学现代农业工程学院, 云南 昆明 650500)

摘 要: 采用盆栽试验, 设置了 4 个灌水水平: SI 充分灌水(75% ~ 85% θ_F)、DI₁ 轻度亏缺灌水(65% ~ 75% θ_F)、DI₂ 中度亏缺灌水(55% ~ 65% θ_F)和 DI₃ 重度亏缺灌水(45% ~ 55% θ_F)和 4 个施氮水平: 高氮(N_H)、中氮(N_M)、低氮(N_L)、无氮(N_N), 研究了亏缺灌溉和氮营养对小粒咖啡苗木的生长及形态指标和水分利用效率的影响。结果表明, 增加灌水或施氮能促进小粒咖啡生长, 提高各形态指标(株高、茎粗、叶面积和枝条长度)。与无氮处理相比, 施氮可使干物质累积总量提高 10.88% ~ 37.49%, 水分利用效率提高 24.73% ~ 33.01%。与重度亏缺灌水处理相比, 增加灌水可使干物质累积总量提高 68.01% ~ 141.90%, 水分利用效率提高 22.48% ~ 40.89%。低氮充分灌水处理可提高小粒咖啡苗木的形态指标, 获得较高的干物质累积和水分利用效率。

关键词: 亏缺灌溉; 氮肥; 小粒咖啡; 生长; 干物质累积; 水分利用
中图分类号: S274.1; S571.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2014)01-0089-05

Effect of deficit irrigation and nitrogen fertilizer on growth and water consumption of coffee arabica seedling

ZHONG Yuan, LIU Xiao-gang, GENG Hong-zhuo, ZHANG Yan, YANG Qi-liang, YANG Ju-rui
(Faculty of Modern Agricultural Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming, Yunnan 650500, China)

Abstract: The objective of this study was to explore the effect of water and nitrogen fertilizer on growth characteristics of plant with the tropical features, using pot experiment with four water treatments including SI sufficient irrigation (75% ~ 85% θ_F), DI₁ light deficit irrigation (65% ~ 75% θ_F), DI₂ medium deficit irrigation (55% ~ 65% θ_F), and DI₃ serious deficit irrigation (45% ~ 55% θ_F), and four nitrogen rates of high nitrogen (N_H), medium nitrogen (N_M), low nitrogen (N_L), and non-nitrogen (N_N). The influence of deficit irrigation and nitrogen nutrition on growth and water consumption of coffee arabica seedling were studied. Results showed that irrigation and nitrogen application was helpful to improve the growth and morphological index of coffee arabica such as plant height, basal stem, leaf area, and shoot length. Compared to the non-nitrogen treatment, nitrogen increased dry mass accumulation and water use efficiency by the range of 10.88% ~ 37.49% and 24.73% ~ 33.01%, respectively. Compared to the serious deficit irrigation treatment, irrigation increase increased dry mass accumulation and water use efficiency by the range of 68.01% ~ 141.90% and 22.48% ~ 40.89%, respectively. Low nitrogen combined with sufficient irrigation promote the growth of arabica coffee seedling, resulting in both higher dry mass accumulation and water use efficiency(WUE).

Keywords: deficit irrigation; nitrogen fertilize; coffee arabica; growth; dry mass accumulation; water use efficiency

适当的亏缺灌溉可以科学合理地利用水资源, 改善作物的品质。大量研究表明, 亏缺灌溉不仅适宜于果树, 也适宜于玉米、小麦、棉花、烟草等大田作物, 与充分灌溉相比, 亏缺灌溉具有一定的节水增产功效^[1-4]。水分和养分是限制干旱半干旱地区作物生产的主要因素, 科学合理地调节灌水量与施氮量可以使有限水氮产生良好的交互作用, 达到以肥调水、以水促肥的目的, 对于提高作物生产能力和节水

收稿日期: 2013-06-07
基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51109102, 51009073); 云南省应用基础研究资助项目(2010ZC043); 云南省教育厅重点项目(2011Z035)和水利部公益项目(201101042)
作者简介: 钟 原(1987—), 男, 辽宁大连人, 在读硕士, 主要从事节水灌溉理论与新技术研究。E-mail: chans50@163.com。
通信作者: 刘小刚(1977—), 男, 甘肃镇原人, 副教授, 主要从事节水灌溉理论与新技术研究。E-mail: liuxiaogang666@qq.com。

节肥至关重要^[5-12]。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。云南的小粒咖啡(*Rubiacae*)具有产量高、咖啡豆粒品质优良、抗病等特点,但是经常受到土壤季节性干旱和营养不足的双重制约,灌水和施肥比较粗放,产量和品质得不到保证。如何克服土壤干旱对林果产生的不利影响,是一项重要的研究课题。国内对咖啡的研究主要集中在遗传育种、育苗技术、病虫害防治和田间管理、加工工艺等方面^[13-16],对咖啡不同种植区的土壤养分状况也有报道。国外关于水分对咖啡部分生理特性及生育期的调整、水肥处理对咖啡的生理生态方面有较多报道。主要针对影响咖啡生长、产量、品质的土壤水肥条件及环境因素如温度、光照、水分等进行研究,而对于反映亏缺灌水条件下氮营养对小粒咖啡苗木的生长特性、干物质累积分配及水分利用等方面还缺少系统研究。本文通过智能控制日光温室的盆栽试验研究亏缺灌溉和氮营养对小粒咖啡苗木的形态特征及水分利用的交互作用,探讨不同施氮和灌水对小粒咖啡苗木生长、干物质累积分配及水分利用效率的影响规律,为合理的水肥管理措施提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于 2012 年 4—12 月在昆明理工大学现代农业工程学院智能控制温室大棚内进行。供试小粒咖啡品种为卡蒂姆 P796,供试土壤为老冲积母质发育的红褐土,装土前将其自然风干过 2 mm 筛,按容重 $\gamma = 1.28 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 分层装填。小粒咖啡幼苗移栽后浇水至田间持水量,缓苗后挑选长势均一的咖啡幼苗再进行水氮处理。

试验设置 4 个灌水水平,即 SI 充分灌水(75% ~ 85% θ_F)、DI₁ 轻度亏缺灌水(65% ~ 75% θ_F)、DI₂ 中度亏缺灌水(55% ~ 65% θ_F)和 DI₃ 重度亏缺灌水(45% ~ 55% θ_F)。称重法控制灌水。4 个施氮水平,即高氮 N_H(0.60 g N·kg⁻¹干土)、中氮 N_M(0.40 g N·kg⁻¹干土)、低氮 N_L(0.20 g N·kg⁻¹干土)和无氮 N_N(0 g N·kg⁻¹干土)。P₂O₅ 和 K₂O 均为 0.40 g·kg⁻¹干土。氮肥选用尿素(分析纯)。施氮方式为随水灌入,分别在 5 月、7 月、9 月下旬等量追施。完全组合设计,共 16 个处理,3 次重复。

1.2 测定项目与方法

灌水处理后每月测定株高和茎粗 1 次。干物质质量包括地上和地下干物质质量,分别为茎、叶和根,根

系要用清水冲洗干净,并用卫生纸将根表面的水分吸干,保持 105℃ 杀青 30 min 后调温至 75℃ 烘为恒重,用百分之一天平称重。根冠比为作物地下部分与地上部分干重的比值;水分利用效率为总生物质量和总耗水量的比值。

1.3 数据分析与处理

采用 Microsoft Excel 2003 软件处理数据和制图,用 SPSS 统计软件的 ANOVA 和 Duncan($P = 0.05$)法对数据进行方差分析和多重比较,各图表中的数据均为平均值。

2 结果与分析

2.1 亏缺灌溉与氮营养对小粒咖啡苗木生长及形态指标的影响

表 1 表明,施氮量和灌水量分别对小粒咖啡苗木的株高、茎粗、叶面积、枝条长度及根冠比影响显著($P < 0.05$),而二者交互作用对茎粗和枝条长度影响不显著($P > 0.05$)。与 N_N 处理相比,增加施氮量能分别提高株高、叶面积、枝条长度 0.66% ~ 11.65%、47.39% ~ 72.59% 和 64.27% ~ 72.12%。与 DI₃ 处理相比,增加灌水可分别提高株高、茎粗、叶面积和枝条长度 14.87% ~ 34.35%、15.07% ~ 33.33%、65.56% ~ 137.76% 和 62.58% ~ 101.13%。茎粗和根冠比规律性一致,表现为 N_N 处理最大,N_L 次之,N_H 最小。与 DI₃ 处理相比,增加灌水量可降低根冠比 14.02% ~ 34.05%。N_HSI 处理的株高、叶面积和枝条长度分别是低氮重度亏缺灌水处理的 1.30、2.44 和 2.79 倍,这是由于增加施氮量和灌水量为小粒咖啡苗木的生长提供了较好的土壤养分及水分环境。

2.2 亏缺灌溉与氮营养对小粒咖啡苗木生物量累积分配及水分利用效率的影响

图 1 显示,施氮量和灌水量以及二者交互作用分别对小粒咖啡苗木各器官的干物质累积影响显著($P < 0.05$)。与 DI₃ 处理相比,增加灌水量可分别提高根、冠及干物质累积总量 34.79% ~ 113.56%、84.39% ~ 155.81% 和 68.01% ~ 141.90%。与 N_N 处理相比,增加施氮量可分别提高冠重和干物质累积总量 34.64% ~ 60.02% 和 10.88% ~ 37.49%。N_L 处理的根重最大,N_N 次之,N_H 最小。

统计表明(图 2),施氮量和灌水量及二者的交互作用对小粒咖啡苗木的耗水量影响显著($P < 0.05$)。其中 N_L 处理的耗水量最大,N_N 次之,N_M 最小,这主要是由于 N_L 处理的植株生长旺盛,蒸散耗水较多所致。与 DI₃ 处理相比,增加灌水可提高耗水量 28.93% ~ 73.35%。

表 1 亏缺灌溉与氮营养对小粒咖啡植株形态特征的影响

Table 1 Effect of deficit irrigation and nitrogen fertilizer on morphological characteristics of coffee arabica seeding

施氮 Nitrogen	灌溉处理 Treatments	株高/cm Plant height	茎粗/mm Basal stem	叶面积/m ² Leaf area	枝条长度/cm Shoot length	根冠比 Root/crown
N _H	SI	57.217 ± 2.425a	9.353 ± 0.646a	0.516 ± 0.001a	209.387 ± 26.765a	0.299 ± 0.002a
	DI ₁	48.567 ± 3.315b	8.667 ± 0.873ab	0.397 ± 0.01b	175.033 ± 15.102b	0.231 ± 0.01b
	DI ₂	45.333 ± 1.68c	8.140 ± 0.926c	0.314 ± 0.01c	152.217 ± 17.689bc	0.344 ± 0.014bc
	DI ₃	41.300 ± 0.346d	7.553 ± 1.006d	0.207 ± 0.009d	104.887 ± 19.106d	0.324 ± 0.015d
N _M	SI	56.910 ± 3.411ae	9.520 ± 0.418ae	0.475 ± 0.016e	197.617 ± 24.704ae	0.385 ± 0.013e
	DI ₁	50.000 ± 1.800bf	8.780 ± 0.995af	0.337 ± 0.026f	179.85 ± 18.004bf	0.318 ± 0.009f
	DI ₂	47.467 ± 4.016cg	8.700 ± 1.041cg	0.287 ± 0.008g	182.44 ± 9.529bg	0.251 ± 0.013fg
	DI ₃	36.783 ± 3.435dh	6.947 ± 1.661dh	0.147 ± 0.008h	91.670 ± 12.976dh	0.412 ± 0.011h
N _L	SI	60.067 ± 1.365i	9.840 ± 0.314ai	0.451 ± 0.018ai	201.500 ± 8.331ai	0.459 ± 0.018i
	DI ₁	57.650 ± 0.65j	10.380 ± 1.723aj	0.412 ± 0.017bj	167.703 ± 19.274bj	0.287 ± 0.009j
	DI ₂	51.517 ± 2.483k	8.987 ± 1.052ck	0.375 ± 0.023ck	160.387 ± 10.167bk	0.353 ± 0.02jk
	DI ₃	44.200 ± 1.709l	7.420 ± 0.284dl	0.220 ± 0.011dl	92.270 ± 16.361dl	0.551 ± 0.014l
N _N	SI	50.017 ± 5.625am	11.287 ± 0.682im	0.276 ± 0.015m	124.147 ± 23.001m	0.600 ± 0.012m
	DI ₁	49.167 ± 3.873bn	11.307 ± 0.919jn	0.201 ± 0.006n	81.733 ± 10.549n	0.679 ± 0.016n
	DI ₂	47.383 ± 3.351co	8.730 ± 0.31ko	0.220 ± 0.025o	97.227 ± 26.587no	0.535 ± 0.014no
	DI ₃	44.600 ± 1.937dp	8.087 ± 1.172lp	0.149 ± 0.001p	75.480 ± 20.906p	0.698 ± 0.011p

注:数据为平均值 ± 标准误(n = 3)。同列数据后标不同小写字母者表示差异(P < 0.05)显著。下同。

Note: The data in the table is the mean ± standard error. Different lowercase letters indicate significant difference at 0.05 level. The same as below.

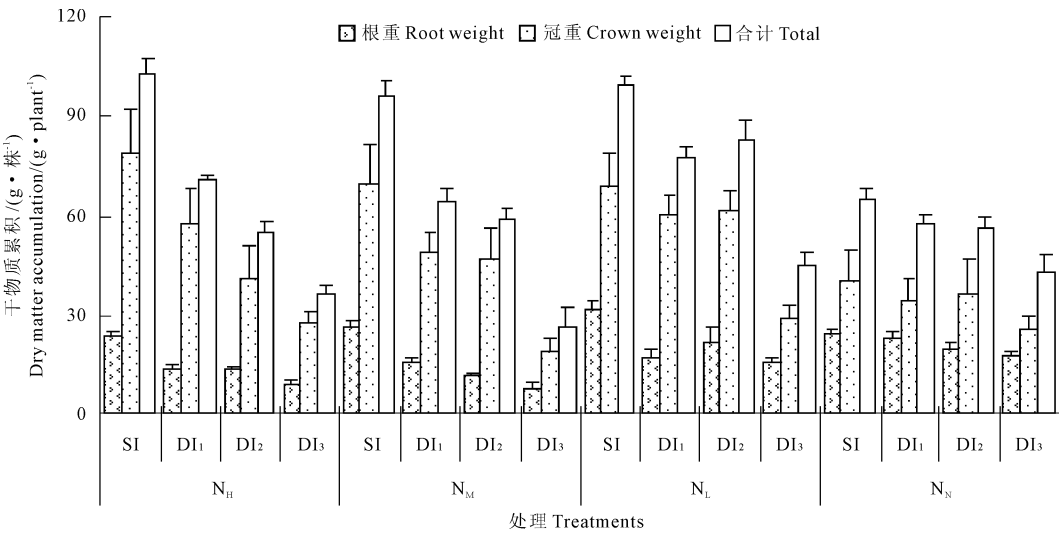


图 1 亏缺灌溉与施氮对小粒咖啡植株干物质累积及分配的影响

Fig.1 Effect of deficit irrigation and nitrogen fertilizer on dry mass accumulation and distribution of coffee arabica

水分利用效率是反映物质累积和水分利用的综合指标。统计表明(图 3),施氮量和灌水量及二者的交互作用对小粒咖啡植株的水分利用效率影响显著($P < 0.05$)。与 N_N 处理相比,增加施氮量可提高水分利用效率 24.73% ~ 33.01%。与 DI_3 处理相比,增加灌水可提高水分利用效率 22.48% ~ 40.89%。这说明 DI_3 处理不但抑制了植株的生长发育,也降低了水分利用效率,没有达到节水的效果。增加灌水可提高水分利用效率,其中 SI 处理不但能够保证小粒咖啡较旺的生长和较大的生物量累积,还能大幅度提高水分利用效率。 DI_1 处理虽然能促进小粒咖啡植株的生长,但没能使水分利用效率得到同步提高。其中 N_HSI 处理的水分利用效率最大,为 $3.01\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$,为 N_NDI_3 处理的 1.69 倍。

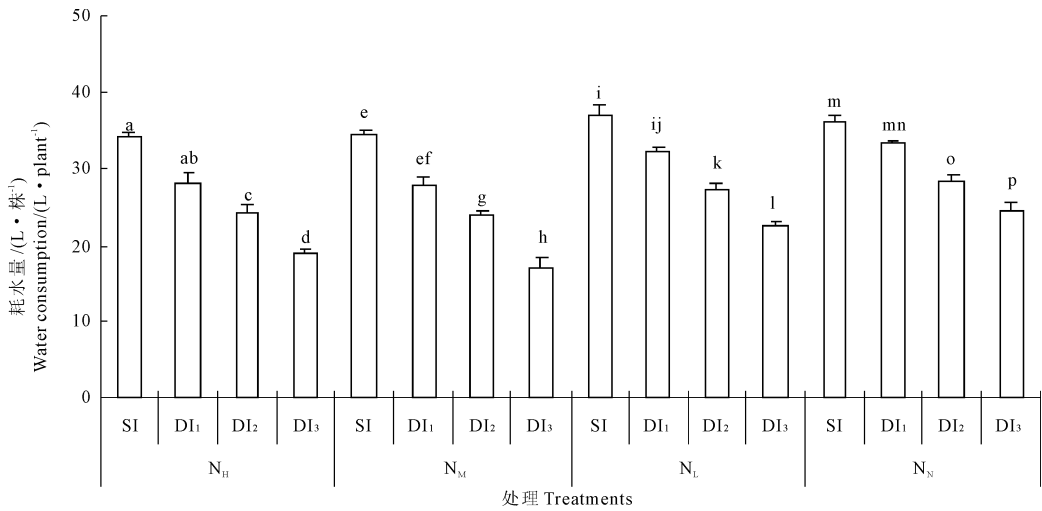


图 2 亏缺灌溉与施氮对小粒咖啡植株耗水量的影响

Fig.2 Effect of deficit irrigation and nitrogen fertilizer on water consumption of coffee arabica

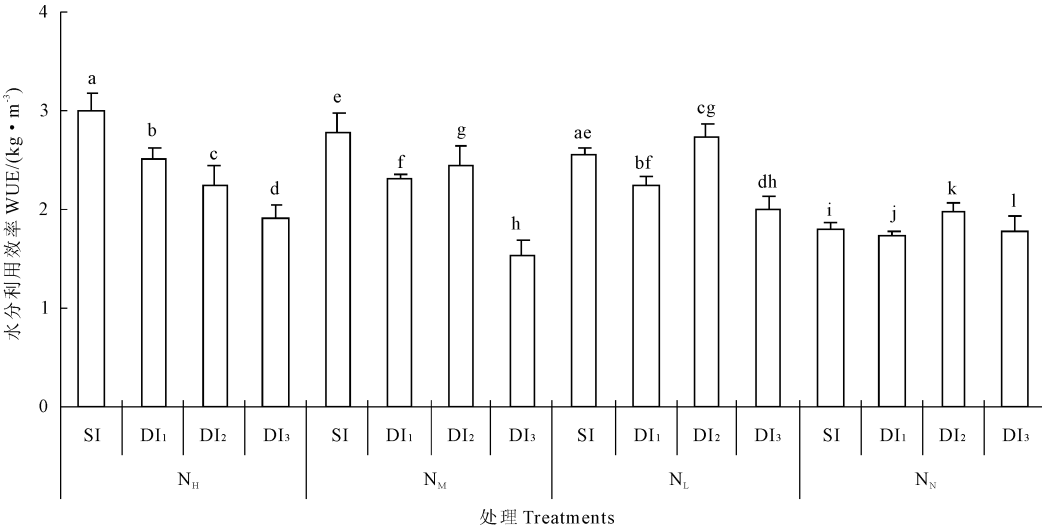


图 3 亏缺灌溉与施氮对小粒咖啡植株水分利用效率的影响

Fig.3 Effect of deficit irrigation and nitrogen fertilizer on water use efficiency of coffee arabica

3 讨 论

氮对植物生长发育的影响与土壤水分含量密切相关,并影响到植物的抗旱能力。有研究表明,在干旱环境下,氮肥能够通过改善植物光合能力,促进根系生长,增加根系碳水化合物的储藏,从而增强植物对干旱胁迫的耐性。然而过量氮肥引起叶片气孔关闭缓慢,叶片水分散失增加,土壤溶液浓度增大,影响植物对水分的吸收,导致植物生长缓慢,耐旱能力下降。杨建昌等^[17]研究表明,适当水分亏缺下,增施氮肥后水稻产量明显提高,而一定施氮条件下,供水后产量呈增加趋势,继续增加氮肥产量又将下降,氮肥与水分之间有互作效应,但高氮条件下充分供水并不利于产量的增加。张立新等^[18]在盆栽条件

下把玉米同时放在干旱胁迫和正常供水下比较,表明正常供水下氮的增产原因在于营养功能,而在干旱条件下主要在于提高了作物的抗旱效果。水分亏缺下施氮明显地提高干物质积累并缓解水分胁迫。正常供水下虽显示同一趋势,但施氮提高干物质和产量的幅度比水分亏缺条件下明显下降。蔡传涛等^[19]研究表明小粒咖啡在干季水分是影响光合和生长的主导因素,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;湿季土壤水分含量较高,施肥能提高 P_n 、WUE,肥力此时是主导因素。本研究发现,轻度和重度亏缺灌溉下由于土壤水分持续偏低植株生长受到明显的抑制,适当的提高施氮量后能促使作物的茎、叶生长,而过高的施氮量不利于小粒咖啡植株茎粗的生长。说明适宜的灌水量

和施氮量会促进茎叶增加,使植株生长健壮,一方面,有益于作物生物量的累积;另一方面,较大的叶面积增加了蒸腾量,减少了裸露地面面积,从而减少了蒸发量,因此也进一步提高了水分利用效率^[20-21]。整体而言,亏缺灌溉下的植株生长受到抑制,生物量明显低于充分灌水。而亏缺灌溉下增施氮肥和低氮条件下增加供水均能明显提高生物量和水分利用效率,这说明适宜的水分有利于土壤养分离子向作物根系的迁移,同时,施氮又可以促进作物对水分的吸收转运和利用。水分与氮素之间相互作用、相互影响,共同促进植物的生长。

4 结 论

由于小粒咖啡是一种对水肥要求很高的作物,所以水分供应不足抑制了其生长发育,增加灌水后可以显著提高小粒咖啡植株各形态指标,与 DI₃ 处理相比,增加灌水可使干物质累积总量提高 68.01% ~ 141.90%,水分利用效率提高 22.48% ~ 40.89%。适量的氮素供应可以缓解水分亏缺对小粒咖啡植株生长的不利影响,促进植株生长,提高植株对干旱胁迫的耐受和适应能力。与 N_N 处理相比,施氮可使干物质累积总量提高 10.88% ~ 37.49%,水分利用效率提高 24.73% ~ 33.01%。

水氮交互作用对小粒咖啡的干物质积累、耗水量以及水分利用效率影响显著。氮、水之间有一定的互补效应,即亏缺灌溉下增施氮肥和低氮条件下增加供水均能明显提高生物量和水分利用效率。从亏缺灌溉和施氮量的耦合效应看,低氮充分灌水处理的小粒咖啡苗木相比于其他处理能够获得较高的形态指标、干物质累积和水分利用效率。

参 考 文 献:

[1] 康绍忠,史文娟,胡笑涛,等.调亏灌溉对于玉米生理指标及水分利用效率的影响[J].农业工程学报,1998,14(4):82-87.

[2] 孟兆江,贾大林,刘安能,等.调亏灌溉对冬小麦生理机制及水分利用效率的影响[J].农业工程学报,2003,7(4):66-69.

[3] 刘小刚,张富仓,杨启良,等.调亏灌溉与氮营养对玉米根区土壤水氮有效性的影响[J].农业工程学报,2010,26(2):135-141.

[4] 史文娟,康绍忠,宋孝玉.棉花调亏灌溉的生理基础研究[J].干旱地区农业研究,2004,9(3):91-95.

[5] Li X, Liu F, Li G, et al. Soil microbial response, water and nitrogen use by tomato under different irrigation regimes[J]. Agricultural Water Management, 2010,98(3):414-418.

[6] Jensen C R, Adriano B, Finn P, et al. Deficit irrigation based on drought tolerance and root signaling in potatoes and tomatoes[J]. Agricultural Water Management, 2010,98(3):403-413.

[7] Tiago P S, Carlos M L, Lucilia M R, et al. Effects of deficit irrigation strategies on cluster microclimate for improving fruit composition of Moscatel field-grown grapevines[J]. Scientia Horticulturae, 2007,112(3):321-330.

[8] Abrisqueta J M, Mounzer O, Alvarez S, et al. Root dynamics of peach trees submitted to partial rootzone drying and continuous deficit irrigation[J]. Agricultural Water Management, 2008,95(8):959-967.

[9] Wolfram S, Somchai O, Martin H, et al. Yield and fruit development in mango (*Mangifera indica* L., cv. 'Chok Anan') under different irrigation regimes[J]. Agricultural Water Management, 2009,96(4):574-584.

[10] Topcu S, Kirda C, Dasgan Y, et al. Yield response and N-fertilizer recovery of tomato grown under deficit irrigation[J]. European Journal of Agronomy, 2007,26(1):64-70.

[11] Gutierrez B F H, Thomas G W. Phosphorus nutrition and water deficits in field-grown soybeans[J]. Plant and Soil, 1998,207(1):87-96.

[12] Shahnazari A, Ahmadi S H, Laerke P E, et al. Nitrogen dynamics in the soil-plant system under deficit and partial root-zone drying irrigation strategies in potatoes[J]. European Journal of Agronomy, 2008,28(2):65-73.

[13] 杜华波.云南咖啡产业可持续发展探讨[J].中国热带农业,2007,14(5):15-17.

[14] 郭容琦,罗心平,李国鹏,等.云南小粒咖啡产业发展现状分析[J].广东农业学,2009,44(3):209-211.

[15] 李维锐.云南咖啡产业发展现状及今后发展对策[J].热带农业科技,2009,32(1):26-29.

[16] 何永彬,朱 彤,卢培泽.云南干热河谷特色农业开发[J].山地学报,2002,20(4):445-449.

[17] 杨建昌,王志琴,朱庆森.不同土壤水分状况下氮素营养对水稻产量的影响及其机理机制的研究[J].中国农业科学,1996,29(4):58-66.

[18] 张立新,李生秀.氮、钾、甜菜碱对减缓夏玉米水分胁迫的效果[J].中国农业科学,2005,38:1401-1407.

[19] 蔡传涛,蔡志全,解继武,等.田间不同水肥管理下小粒咖啡的生长和光合特性[J].应用生态学报,2004,15(7):1207-1212.

[20] 杜太生,康绍忠,胡笑涛,等.根系分区交替滴灌对棉花产量和水分利用效率的影响[J].中国农业科学,2005,38(10):2061-2068.

[21] 单立山,李 毅,张希明,等.不同灌溉量条件下乔木状沙拐枣蒸腾耗水特性的研究[J].自然资源学报,2012,27(3):440-449.