

地面灌溉条件下高产棉田水肥耦合的产量效应

牛新湘¹, 许咏梅¹, 马兴旺^{1*}, 杨 涛¹, 王 斌¹, 郭 勇²

(1. 新疆农业科学院土壤肥料研究所, 新疆 乌鲁木齐 830091; 2. 新疆农业大学资源与环境学院, 新疆 乌鲁木齐 830052)

摘 要: 以中棉 43 号为材料, 采用“3414”方案, 在新疆沙雅新垦农场, 通过田间小区试验, 研究了地面灌溉条件下不同水肥耦合水平对棉花产量的影响, 并建立了棉花产量的水肥回归数学模型。结果表明: 不同水肥耦合水平对棉花产量都有显著影响; 各因素对棉花产量的效应顺序为: 施磷量>灌溉量>施氮量; 各因素间耦合效应顺序为: 氮、磷>氮、水>磷、水; 水肥调控的最佳组合为: 氮肥用量为 545.55 kg/hm², 磷肥用量为 199.8 kg/hm², 灌溉量为 6 429.3 m³/hm²。

关键词: 棉花; 地面灌; 水肥耦合; 产量

中图分类号: S562.062 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2009)01-0053-03

自 1975 年 Arnon 提出在旱地农业中, 植物营养的基本问题是如何在水分受限制的条件下, 合理施用肥料, 提高水分利用效率^[1], 旱地农田水肥耦合效应研究就一直为国内外许多研究者所关注。目前国内外有关水肥效应的研究进行得非常广泛和深入, 但大多集中于对小麦或其它作物的研究^[2~5], 而棉花的水肥耦合效应研究在滴灌条件下研究报道较多, 而在地面灌溉条件下对棉花与水肥关系的研究报道相对较少。冯绍元等^[6]初步探讨了滴灌棉田不同生育阶段的水肥需求特征; 郑重^[7]、梁智^[8]、胡顺军^[9]等分别在北疆、南疆特定的气候条件下进行了滴灌棉花的水肥耦合效应研究; 冯耀祖等^[10]分析了地面灌溉条件下中长绒陆地棉的水肥耦合效应。笔者通过对典型棉区高产田肥料产量效应的研究, 寻求获得高产的合理施肥量和灌水量, 旨在为新疆地面灌溉条件下棉田的科学施肥与灌水提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

2007 年试验于渭干河灌区沙雅县新垦农场 5 队进行。试验区属大陆性干旱区暖温带气候, 介于东经 82°48′45″~83°00′39″, 北纬 39°11′22″~41°17′30″之间。试验区降水稀少, 蒸发强烈, 夏季炎热, 冬季干冷, 春季干旱多风, 昼夜温差大, 日照时间长, 无

霜期长, 积温高, 光热资源丰富。供试土壤为砂壤土, 肥力水平中下, 有机质 4.319 g/kg, 全氮 0.5122 g/kg, 碱解氮 40.2 mg/kg, 速效磷 13.1 mg/kg, 速效钾 146.5 mg/kg。供试棉田前茬长绒棉产量 1 800 kg/hm², 是高产棉田。

1.2 试验设计

设计施 N 量、施 P₂O₅ 量、灌溉量(W)三因素、四水平, 采用“3414”方案。4 个水平的含义: 0 水平指不施肥, 灌溉量 2 700 m³/hm²; 2 水平指当地最佳施肥量, 灌溉量为 5 475 m³/hm²; 1 水平=2 水平×0.5; 3 水平=2 水平×1.5, 该水平为过量施用水平。所有小区 K₂O 用量均为 45 kg/hm²。试验增加一个 N₀P₀W₀K₂ 处理, 共计为 15 个处理, 2 次重复, 随机区组排列, 小区面积 40.8 m², 小区用水表控制灌水量, 小区单灌单排, 避免串灌串排; 各处理全生育期灌水 4 次, 分配比例均为 35%、35%、15%、15%。试验 P 肥、K 肥全部在春季翻耕时作为基肥施入, N 肥 60%作基肥, 25%作第一次随水追肥, 15%作第二次随水追肥。供试品种为陆地棉中棉 43 号, 播幅 1.4 m, 理论种植密度 225 000 株/hm²。具体设计方案见表 1。

2 结果与分析

2.1 最优设计灌水量条件下氮肥效应

最优设计灌水量为 W₂(5 475 m³/hm²), 符合

收稿日期: 2008-04-06
基金项目: 科技部国家十一五科技支撑计划课题“棉花持续优质高效生产技术体系研究与示范”子课题(2006BAD21B02); 科技部国家十一五科技支撑计划“西北旱作物黄绵土及荒漠灌耕土区沃土技术模式研究与示范”子课题(2006BAD25B09); 新疆维吾尔自治区重大专项课题“棉花水肥高效利用技术研发”(200731133-2)
作者简介: 牛新湘(1975-), 女, 湖南澧县人, 硕士, 助理研究员, 主要从事保护性耕作技术和水肥管理研究。E-mail: niuxinxiang@21cn.com。
通讯作者: 马兴旺(1970-), 男, 宁夏隆德人, 博士, 研究员, 主要从事作物营养与施肥技术、水土资源利用与荒漠化防治、保护性耕作等方向的科研推广工作。E-mail: maxw@xaas.ac.cn。

灌水一致的有处理 2、处理 3、处理 4、处理 5、处理 6、处理 7、处理 11、处理 12 和处理 15,在此基础上,固定磷肥用量 2 水平(195 kg/hm²),分析氮肥用量与产量的相关性(图 1)。

表 1 水肥耦合效应设计方案(3414 设计)及皮棉产量
Table 1 The design of water-fertilizer coupling (3414) and lint cotton yield

试验编号 No.	处理 Treatments	N	P	W	氮肥 Nitrogenous fertilizer (kg/hm ²)	磷肥 Phosphate fertilizer (kg/hm ²)	灌水量 Irrigation quantity (m ³ /hm ²)	产量 Yield (kg/hm ²)
1	N ₀ P ₀ W ₀	0	0	0	0	0	2700	1124.55
2	N ₀ P ₂ W ₂	0	2	2	0	195	5475	1415.70
3	N ₁ P ₂ W ₂	1	2	2	210	195	5475	3200.10
4	N ₂ P ₀ W ₂	2	0	2	420	0	5475	2391.15
5	N ₂ P ₁ W ₂	2	1	2	420	97.5	5475	3261.00
6	N ₂ P ₂ W ₂	2	2	2	420	195	5475	3534.30
7	N ₂ P ₃ W ₂	2	3	2	420	292.5	5475	3311.70
8	N ₂ P ₂ W ₀	2	2	0	420	195	2700	2337.75
9	N ₂ P ₂ W ₁	2	2	1	420	195	2737.5	2621.10
10	N ₂ P ₂ W ₃	2	2	3	420	195	8212.5	3094.50
11	N ₃ P ₂ W ₂	3	2	2	630	195	5475	3761.85
12	N ₁ P ₁ W ₂	1	1	2	210	97.5	5475	3253.35
13	N ₁ P ₂ W ₁	1	2	1	210	195	2737.5	2649.60
14	N ₂ P ₁ W ₁	2	1	1	420	97.5	2737.5	2320.05
15	N ₀ P ₀ K ₂ W ₂	0	0	2	30	0	5475	1238.85

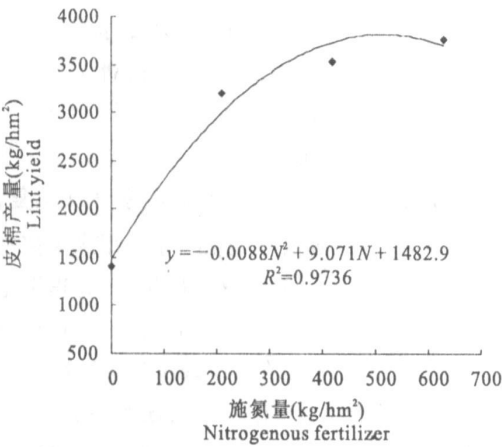


图 1 氮肥用量与产量的相关性

Fig. 1 The relativity between nitrogenous fertilizer and lint cotton yield

图 1 表明:在灌水量及磷肥用量一致的条件下,氮肥用量与产量之间符合二次曲线:
 $Y = -0.0088N^2 + 9.071N + 1482.9$
($R^2 = 0.9736, r = 0.9867^*$)

对方程求导,令 $\frac{\partial y}{\partial N} = 0$,求得 $N = 515.4$ 。

由方程可以获得,在施磷量 195 kg/hm²、灌水量 5475 m³/hm² 的条件下,最佳氮肥施用量为 515.4 kg/hm²,可获得的最大产量 3 813 kg/hm²。

2.2 最优设计灌水量条件下磷肥效应

在最优设计灌水量为 W₂(5 475 m³/hm²)条件下,固定氮肥用量 2 水平(420 kg/hm²)分析磷肥用量与产量的相关性(图 2)。

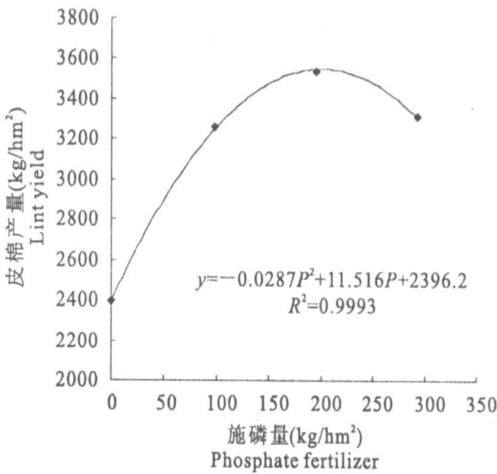


图 2 磷肥用量与产量的相关性

Fig. 2 The relativity between phosphate fertilizer and lint cotton yield

磷肥与产量相关性符合二次方程:
 $Y = -0.0287P^2 + 11.516P + 2396.2$
($R^2 = 0.9993, r = 0.9996^*$)

对方程求导,令 $\frac{\partial y}{\partial P} = 0$,求得 $P = 200.6$ 。

由方程可以获得,在施氮量 420 kg/hm^2 、灌水量 $5\,475\text{ m}^3/\text{hm}^2$ 的条件下,最佳磷肥施用量为 200.6 kg/hm^2 ,可获得的最大产量 $3\,549\text{ kg/hm}^2$ 。

2.3 最优施肥条件下不同灌水量对产量的影响

在固定氮肥用量 2 水平(420 kg/hm^2)、磷肥用量 2 水平(195 kg/hm^2)条件下,分析灌水量与产量的相关性(图 3)。

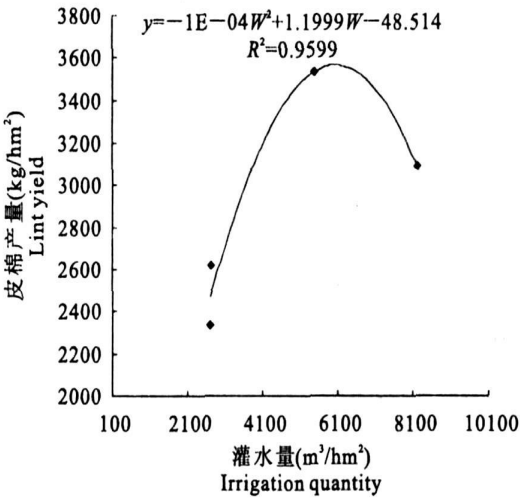


图 3 灌水量与产量相关性

Fig. 3 The relativity between irrigation quantity and lint cotton yield

灌水量与产量相关性符合二次方程:

$$Y = -1\text{E}-04 W^2 + 1.1999 W - 48.514$$
$$(R^2 = 0.9599, r = 0.9797^*)$$

对方程求导,令 $\frac{\partial Y}{\partial W} = 0$,求得 $W = 5999.5$ 。

由方程可以获得,在施氮量 420 kg/hm^2 、施磷量 195 kg/hm^2 条件下,最佳灌水量为 $5\,999.5\text{ m}^3/\text{hm}^2$,可获得的最大产量为 $3\,550.5\text{ kg/hm}^2$ 。

2.4 氮磷肥与灌水量对产量的影响

2.4.1 水肥耦合效应的产量模型 以上分析均在固定两种因素条件下,分析变量与产量之间的关系,但在实际生产中常常存在两种甚至 3 种因素的交互作用,采用 DPS 软件能够对交互作用进行分析,获得方程。

$$Y = -677.81 + 0.5889 N + 11.1649 P + 1.0216 W + 0.013 NP + 0.012 NW - 0.0002 PW - 0.0098 N^2 - 0.0421 P^2 - 0.0001 W^2$$

$$(R = 0.9825^*) \tag{1}$$

其中:Y 为产量;W 为灌溉量,N 为 N 用量,P 为 P_2O_5 用量。

方差分析达显著水平($F = 12.336^*$)

(C) 方程检验表明: N^2 、 P^2 、 W^2 系数均达显著水

平,其中 N^2 、 W^2 达极显著水平。

2.4.2 水肥主效应 从方程(1)一次项的系数看,水、氮、磷对棉花产量的影响均是正效应,即在试验范围内随着灌溉量、施氮量和施磷量的增加,棉花产量增加。

从方程(1)一次项的系数的绝对值大小来看,主效应大小为 $P > W > N$,即施用单位磷素引起的棉花产量变化大于灌水、大于氮素。

2.4.3 水肥交互效应 从方程(1)看出,交互效应大小为 $NP > NW > PW$,即对棉花产量影响最大的交互效应是氮肥和磷肥的协同作用,其次是灌水与氮肥的协同作用,再次是灌水与磷肥的拮抗作用。灌水与肥料之间的交互效应主要是二者直接产生的协同或拮抗作用。

综合考虑三因素的交互作用,对方程(1)求解,获得棉花最大产量为 $3\,897.9\text{ kg/hm}^2$,最佳施肥量:纯氮 545.55 kg/hm^2 、纯磷 199.8 kg/hm^2 ,灌水量 $6\,429.3\text{ m}^3/\text{hm}^2$ 。

3 结论与讨论

1) 新疆高产棉田水、氮、磷对棉花产量的影响是正效应,尤其氮磷、水氮的交互作用是协同效应,水磷的交互作用却是拮抗效应,说明棉花生产中在水肥管理上必须要重视水肥耦合效应和水肥协同管理,才能提高水肥利用效率。

2) 高产棉田通过水肥协同管理提高产量的潜力是很大的,根据试验结果提出的水肥管理方案中氮肥用量和灌水量都高于当地推荐的最佳用量,产量也达到了新的水平。根据水肥耦合效应,中棉 43 号最大产量为 $3\,897.9\text{ kg/hm}^2$ 的水肥管理方案是:灌水量 $6\,429.3\text{ m}^3/\text{hm}^2$,氮素施用量 545.55 kg/hm^2 , P_2O_5 施用量 199.8 kg/hm^2 。

参考文献:

[1] Arnon I. Physiological principles of dry and crop production [A]. Gupta US. physiological aspects of dry and land farming [C]. New York: Universal Press, 1975, 3-124.

[2] 许振柱,于振文. 土壤干旱对冬小麦旗叶乙烯释放、多胺积累和细胞质膜的影响[J]. 植物生理学报, 1995, 21(3): 295-301.

[3] 党廷辉,郝明德. 黄土塬区不同水分条件下冬小麦效应与土壤氮素调节[J]. 中国农业科学, 2000, 33(4): 62-67.

[4] 王小彬,高绪科,蔡典雄. 旱地农田水肥相互作用的研究[J]. 干旱地区农业研究, 1993, 11(3): 6-13.

[5] 陈国良,穆兴民,贾恒义,等. 水肥对沙打旺产草量协同效应的初步研究[J]. 水土保持学报, 1992, 6(3): 73-78.

(下转第 61 页)

Effects of application of fertilizer on soil and growth of the replanted apple in Weibei highland orchard

FAN Hong-ke¹, DU Zhi-hui², WU Dai-yan³, LEI Xin-le⁴

- (1. Department of Horticulture, Agricultural College, Shihezi University, Shihezi, Xinjiang 832003, China;
2. College of Horticulture, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;
3. Shaanxi Saizhong Biological Science and Technology Co., Weinan, Shaanxi 714000;
4. Plant Protection Station of Weinan, Weinan, Shaanxi 714000, China)

Abstract: With the purpose of resolving the problem of apple replant by means of fertilizing, an experiment was carried out in a pot and field at the Baishui Apple Station of Northwest A&F University in 2006~2007 to study the effects of P fertilizer, and Saizhong—28 on the soil nutrients, microorganisms, soil saplings, root activity, plant height and leaf area of young trees. The results showed that the effects of Saizhong—28 treatments (500 g per tree) were significant in improving soil nutrients, enzyme, ameliorating soil microbial population structure, and promoting plant growth, which was similar to that in the non—continuous cropping fields. Under the treatment of Saizhong—28(250 g per tree)plus P fertilizer (500 g per tree and 1000 g per tree), the function of reducing replanted hazards were comparatively increased, and the most determined items were relatively higher than that of CK, but the effect was limited. Taking soil effect and apple growing factors into account, the apple replant problem could be resolved partly by means of Saizhong—28 treatments(500 g per tree).

Key words: apple; replant problem; fertilization effect; P fertilizer; Saizhong—28

(上接第 55 页)

[6] 冯绍元, 黄冠华, 王风新, 等. 滴灌棉花水肥耦合效应的田间试验研究[J]. 中国农业大学学报, 1995, 3(6): 59—62.

[7] 郑 重, 马富裕, 慕自新, 等. 膜下滴灌棉花的水肥耦合效应及其模式研究[J]. 棉花学报, 2000, 12(4): 198—201.

[8] 梁 智, 周 勃, 马兴旺, 等. 滴灌施肥条件下长绒棉水肥耦合效应分析[J]. 中国棉花, 2004, 31(8): 6—7.

[9] 胡顺军, 田长彦, 王 方, 等. 膜下滴灌棉花水肥耦合效应研究初报[J]. 干旱区资源与环境, 2005, 19(2): 192—195.

[10] 冯耀祖, 张 炎, 马海刚, 等. 地面灌溉条件下中长绒陆地棉的水肥耦合效应[J]. 中国农学通报, 2007, 23(4): 445—448.

[11] 杨金钰, 马兴旺, 牛新湘, 等. 南疆灌淤土区冬小麦水肥耦合效应研究[J]. 新疆农业科学, 2007, 44(S1): 175—178.

Yield effects of water-fertilizer coupling on high-yield cotton under surface irrigation

NIU Xin-xiang¹, XU Yong-mei¹, MA Xing-wang¹, YANG Tao¹, WANG Bin¹, GUO Yong²

- (1. Institute of Soil and Fertilizer Research, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi, Xinjiang 830091, China;
2. College of Resources and Environment, Xinjiang Agricultural University, Urumqi, Xinjiang 830052, China)

Abstract: Based on the design of “3414”, with the cotton variety of Zhongmian No. 43 as test material in Shaya County, the coupling effects of water and chemical N, P fertilizers and water on cotton yield were studied, and a regressive mathematical model was set up based on the cotton yield by quadratic regression analysis. The results showed that all test coupling levels of water and chemical fertilizers had significant effects on cotton yield. The yield-increasing effect of test factors was in the order of P application rate > irrigation amount > N application rate, while the coupling effect of water and chemical fertilizers was in the sequence of N and P > N and water > P and water. For cotton yield, the optimum irrigation amount and application rates of chemical fertilizers were 545.55 kg/hm² of N and 199.8 kg/hm² of P and 6429.3 m³/hm² of water.

Key words: cotton; surface irrigation; coupling of water and fertilizer; yield