

分根灌溉对干旱区棉花生长 干物质分配和产量的影响

王婷婷^{1,2}, 唐立松¹

(1. 中国科学院新疆生态与地理研究所, 新疆 乌鲁木齐 830011; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 本试验旨在观测分根灌溉(Partial Rootzone Irrigation, PRI)棉花能否在降低灌溉量的条件下维持一定的经济产量。田间实验的灌溉方式分为2种: 交替隔沟灌溉(Alternative Furrow Irrigation, AFI)、固定隔沟灌溉(Fixed Furrow Irrigation, FFI)和常规灌溉(Conventional Furrow Irrigation, CFI)。结果表明, 在降低30%灌溉量的条件下, 棉花籽棉产量略有减少, AFI和FFI的籽棉总产量分别为CFI的92%和84%, 但AFI比CFI的霜前花产量高出12%。PRI处理的棉花叶面积、株高及叶片、桃和茎的干物质量都低于CFI, 但单株平均桃数与CFI没有显著差异。在降低灌溉量的条件下, 由于霜前花价格比较高, AFI基本上能够维持棉花的经济产量不降低。

关键词: 分根灌溉; 棉花; 叶面积; 干物质量; 产量

中图分类号: S274.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2008)03-0210-06

基于根冠通讯理论, 国内外学者提出了分根灌溉(PRI)和调亏灌溉(RDI)的灌溉方式^[1~3]。研究表明, 分根灌溉和调亏灌溉应用于多种果树和作物都起到了较好的节水效果^[4~11]。美国早期的研究对棉花进行交替沟灌, 结果发现灌水量减少了23%, 皮棉产量比常规沟灌的还要好; 在5月和6月棉花的营养生长阶段, 交替沟灌抑制了旺盛的营养生长, 而对产量却没有产生影响^[12]。Stone和Nofziger^[13]建立了隔沟灌溉和常规沟灌条件下的棉花产量与灌水量之间的函数关系, 结果表明: 隔沟灌溉的水分利用效率比常规沟灌的高15%; 在观测到的最高产量水平上, 收获等产量的棉花采用隔沟灌溉省水达38%; 灌水量相同时, 采用隔沟灌溉可增产48%。一般地, 作物部分根系经受一定程度的水分胁迫, 能刺激根系的补偿功能, 在水分胁迫解除后即复水后引起补偿生长效应, 提高根系传导能力^[14]。棉花根系属于直根系, 其根系在土壤中分布均匀, 在分根灌溉条件下, 可保持棉花的部分根系始终处于水分胁迫状态, 刺激棉花根系产生水分胁迫信号, 进而控制叶片气孔开度, 减少植株蒸腾耗水。因此, 分根灌溉对棉花作物能起到良好的节水效果, 可在干旱缺水的棉花生产地区进一步研究和推广应用^[15]。

我们已有的研究表明^[16], 棉花生长季的黎明前叶水势在灌溉后达到最大值, 随后逐渐减小直至下

一次灌溉, 正午气孔导度也符合这一规律, 其中分根灌溉处理的棉花叶水势和气孔导度在一个灌溉周期内前期比常规灌溉稍低, 到末期则无显著差异; 在减少灌溉量的条件下, 分根灌溉处理的棉花产量比常规灌溉的产量并无显著减少。贾宏涛等^[17]在新疆针对覆膜棉花进行了膜下交替沟灌技术的研究和探讨, 研究发现棉花膜下控制性分根交替灌溉在产量基本不降低的情况下, 比全面均匀供水方式节水33%~70%。

新疆地处欧亚大陆腹地, 位于中国西北干旱区, 光照时间长, 热量丰富, 自然条件十分适宜棉花生长, 是我国最大的棉花产区, 2004年棉花种植总面积112.76万hm², 占全国种植面积的19.8%, 总产量172.25万t, 占全国棉花总产的27.7%(《2005中国新疆》, 新疆维吾尔自治区人民政府新闻办公室, 新疆维吾尔自治区统计局)。大面积的棉花种植需要耗费大量的水资源, 目前, 水资源是新疆棉花发展的主要限制因子, 因此研究并推广应用棉花节水灌溉技术对新疆节约农业用水、合理利用水资源、环境保护及经济生活各方面具有不可忽视的作用。

目前对新疆棉花分根灌溉的研究未见更多的报道, 本实验旨在从棉花生长表现和产量等方面检验在干旱区适当降低灌溉量的条件下, PRI的应用能否限制棉花的旺长, 维持棉花的产量和经济价值, 从而为新疆棉花节水灌溉技术的推广提供参考。

收稿日期: 2007-09-16

基金项目: 国家自然科学基金项目(40571031)

作者简介: 王婷婷(1982—), 女, 新疆乌鲁木齐市人, 在读硕士研究生, 主要从事植物生理生态研究。E-mail: yitutina@sina.com

通讯作者: 唐立松, E-mail: tangls@ms.xjb.ac.cn

1 材料与方法

1.1 实验区概况

田间实验于 2003 年在中国科学院阜康荒漠生态站(44°10'N, 87°45'E, H 461 m)进行,该站地处欧亚大陆腹地的干旱区,古尔班通古特沙漠南缘,多年平均降雨量约 150~160 mm,平均蒸发量约 2 100 mm,平均温度约 6.6℃。土壤类型主要为灰漠土,入渗率 200 mm/d,容重 1.45 g/cm³[18]。

1.2 实验设计

实验地大小为 100 m×100 m,分成 10 m×20 m 的样地,在样地之间设置 5 m 宽的保护行。灌溉分为 3 个处理:常规灌溉(CFI),即每次相邻两沟灌水量相等;固定沟灌(FFI),即相邻的两沟仅一沟灌水;交替沟灌(AFI),即两个相邻的灌水沟连续交替灌水,每个处理 6 个重复。犁地前,于土壤表面施(NH₄)₂HPO₄ 肥 450 kg/hm²,又于 6 月 24 日灌溉后追施一次尿素 300 kg/hm²。棉种(*Gossypium hirsutum* cv Xin K4)于 4 月 28 日播种(行距 35 cm,株距 10 cm)于两沟之间的垄上,每垄种 3 行。沟宽 70 cm。除灌水外,其他田间管理均与当地棉花常规管理相同。当 CFI 处理的棉花正午叶片出现萎蔫超过 50%时进行灌水,对于 AFI 和 FFI,灌溉时间与 CFI 一致,但灌溉量仅为 CFI 的 70%。灌溉时用直径 10 cm 的软管并在其末端安装水表以控制灌溉量。灌溉时间和灌溉量见表 1。

表 1 田间实验棉花的灌溉量(mm)

Table 1 Irrigation amount of field experimental cotton			
灌溉日期 Irrigation date (M-d)	CFI	AFI	FFI
04-14	120	84	84
06-25	150	105	105
07-08	120	84	84
08-01	120	84	84
08-24	90	63	63
合计 Total	600	420	420

1.3 取样及测定

1.3.1 土壤含水量测定 在两个灌溉沟及之间的垄上沿一条直线均匀地设置 4 个(CFI 处理)或 5 个(AFI 和 FFI 处理)样点来监测土壤含水量的动态变化(图 1)。取样间隔为 2 天,取样深度为 10~15 cm, 20~25 cm, 40~45 cm 和 60~65 cm,土钻直径 2.5 cm。土壤含水量(SWC)采用烘干(105℃)恒重法测定。

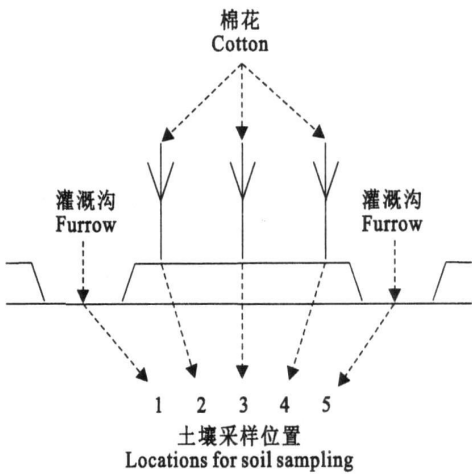


图 1 田间土壤样点分布

Fig.1 Plots of field soil

注:数字 1~5 表示测定土壤含水量的取样点。

Note: Numbers of 1~5 indicate the sampling locations for soil water monitoring.

1.3.2 棉花生长状况的测定 棉花的生长以棉花株高和新生叶面积的增长为指标。每一处理选定 10 株棉花,每天测定其株高,同时选定 10 片叶片每天测定其长度和宽度,用叶片最大长度和最大宽度的乘积代表叶面积,计算其增长量。对每一处理各取 10 株棉花,统计蕾、花、铃单株总数,称为单株桃蕾数。每一处理 30 株棉花的总的吐絮铃于最后收获时计数。

1.3.3 干物质分配的测定 每天每一处理选择 10 株棉花将茎沿地表剪断,将棉花的叶片、桃(蕾、花、铃)和茎分离,置于烘箱中 105℃杀青 1 h, 75℃烘干 24 h 后称重,分别记录叶、桃、茎的干重。

1.3.4 产量的测定 在每个样地中心设置 2 m×2 m 的样块,从 9 月 15 日到 10 月 30 日人工摘收 4 遍棉花,其中前两遍于霜降之前进行,摘收的籽棉晒干恒重以计算单位面积的产量。

1.3.5 数据处理 数据分析采用 SAS 8.0(SAS Institute, Cary, NC, USA)中的一般线性模型(GLM)进行处理,处理的平均值由 P=0.05 时的 Tukey's studentised 极差检验中的最小显著性差异(MSD)进行分离。

2 结果与分析

2.1 土壤水分不均匀分布

每个处理在灌溉过程中 10~15 cm 土层的土壤含水量动态变化如图 2-1 所示。由图 2-1 可以看出,CFI 处理下不同样点的土壤在灌溉过程中的湿

润速度与水分消耗速度一致(图 2-1a), 而分根灌溉(PRI)则导致从湿润沟到干燥沟的土壤含水量不均匀分布(图 2-1b, 2-1c)。AFI 和 FFI 处理的灌溉量相当于 CFI 处理的 70%, 且仅灌溉一条沟, 因此, AFI 和 FFI 处理靠近灌溉沟的土壤在灌溉后土壤含水量高。直到下一次灌溉临近前, 相邻两沟的土壤才具有相似的土壤含水量。田间条件下, 土壤含水量的不均匀分布在整个 20 天的灌溉期中大约

持续 10 天。图 2-2 显示了在相同灌溉过程中 60~65 cm 土层的土壤含水量动态变化。其中, CFI (图 2-2a)中的 4 个样点的土壤含水量在整个灌溉期仅有微小变化。FFI(图 2-2b)和 AFI(图 2-2c)在此深度土壤含水量不太一致, 但比浅层土壤(10~15 cm)的土壤含水量分布均匀。在临近下一次灌溉时, 三个处理的土壤含水量也趋于一致。

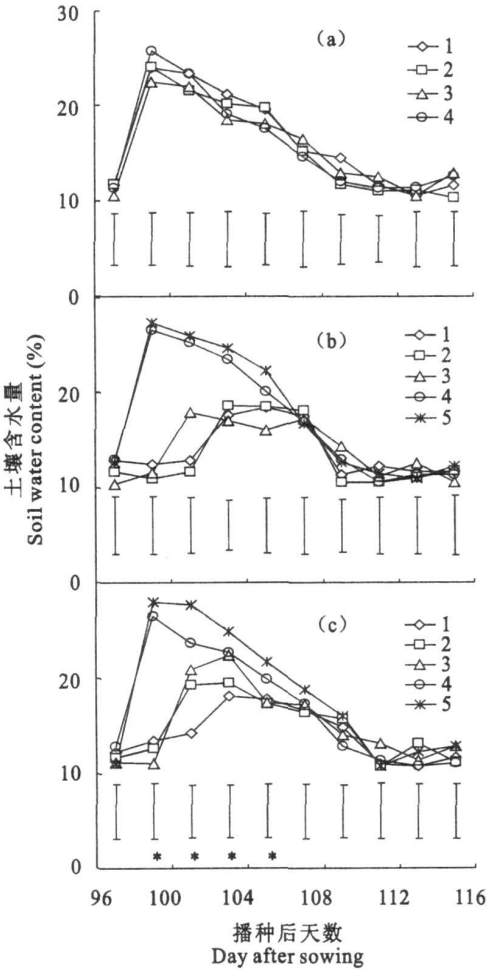


图 2-1 3 种灌溉处理下 10~15 cm 土层的土壤含水量分布

Fig.2-1 Soil water content between 10~15 cm

注:(a)CFI, (b) FFI, (c) AFI; 1-4 或 1-5 表示图 1 所示的取样点。图中的数据为 6 次取样的平均值, 竖线为 Tukey's studentised 极差检验的最小显著性差异(MSD), 星号表示 $P=0.05$ 时的显著性差异。

Note: (a)CFI, (b) FFI, (c) AFI; 1-4 or 1-5 indicate soil sampling locations. Points are means of six samples and vertical bars are the minimum significant difference (MSD) by Tukey's Studentised range test and the asterisks show significant differences at $P_{0.05}$ level.

在灌溉几天后, 表层的土壤含水量的不均匀分布表现明显, 而深层土壤含水量差异不大。临近下一次灌溉的一周内, 三个处理的土壤含水量分布没有明显差异。

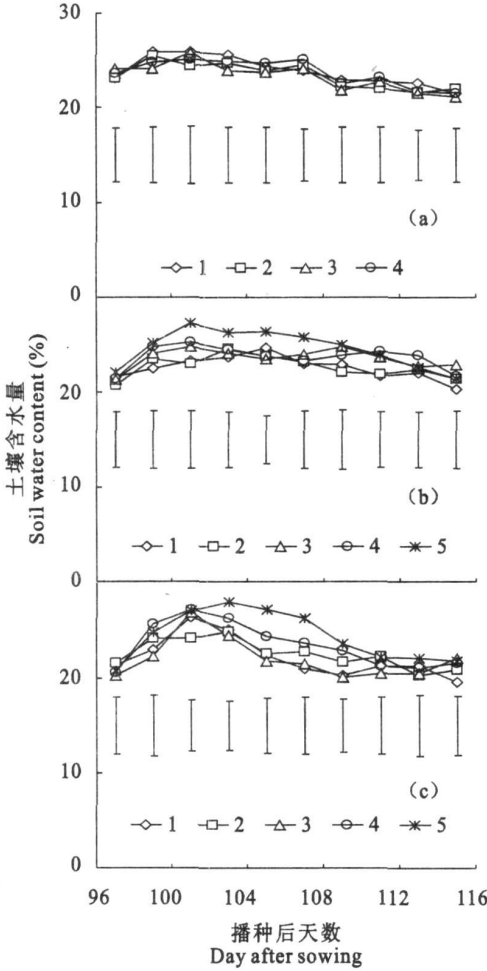


图 2-2 3 种灌溉处理下 60~65 cm 土层的土壤含水量分布

Fig.2-2 Soil water content between 60~65 cm

2.2 棉花生长变化

2.2.1 叶面积和株高的增加 实验中棉花的叶面积和株高增长如图 3 所示。在棉花生长过程中, 叶面积和株高不断增加, 但不同的灌溉方式叶面积和株高增加的速度和幅度有所区别。PRI 的两种处理

FFI 和 AFI 的单个叶片平均叶面积增长明显低于 CFI, AFI 的叶面积增长略高于 FFI 处理(图 3-1)。植株高度的增加显示, FFI 和 AFI 处理的植株高度

显著低于 CFI 处理的植株高度, AFI 处理的植株比 FFI 的植株高(图 3-2)。

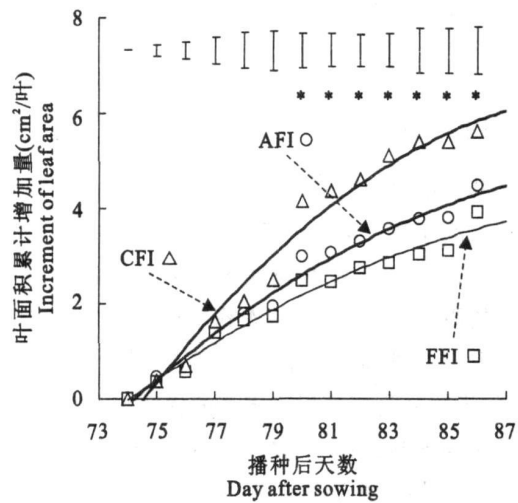


图 3-1 3 种处理单个叶片平均叶面积增长
Fig.3-1 Increment of leaf area

注:图中数据为每天 10 株植物的平均值,竖线为 Tukey's Studentised 极差检验的最小显著性差异(MSD),星号表示 $P=0.05$ 时的差异显著性。曲线是二元一次方程拟合的结果。
Note: Points are means of 10 samples and vertical bars are the minimum significant difference (MSD) by Tukey's Studentised range test and the asterisks show significant differences at $P_{0.05}$ level. Points are fitted with two order polynomial lines.

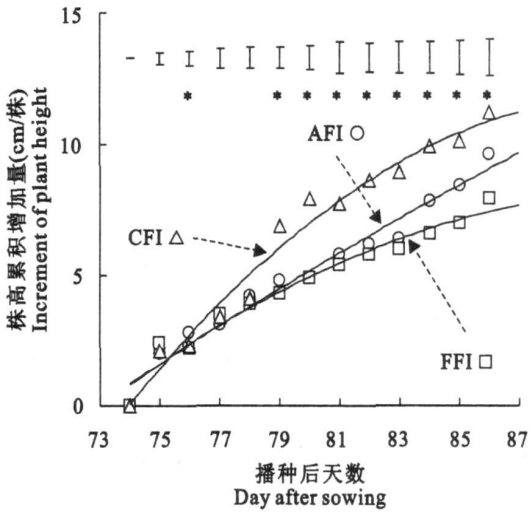


图 3-2 3 种处理单株棉花平均株高增长
Fig.3-2 Increment of plant height

2.2.2 棉花桃数的变化 图 4 表示三种处理下平均每株棉花的桃数(包括蕾、花、铃)变化,从该图可以看出,三种处理的单株平均桃数相差不多,CFI 处理的棉花桃数略高于 AFI 和 FFI 处理,三种处理之间无显著差异。

2.2.3 棉花地上部分干物质分配 三种处理的棉花地上部分干物质分配如表 2 所示。表中数据为 2003 年 7 月 21 日到 9 月 2 日一共 43 天棉花生长繁殖期单株平均干物质的分配,生殖器官指桃(蕾、花、铃),营养器官为叶和茎的和。由表 2 可以看出,CFI 的叶片、桃和茎的干物质质量都比 AFI 和 FFI 处理的高。CFI 的叶片干物质质量比 AFI 和 FFI 分别高 14% 和 12%,与 AFI 和 FFI 的叶片干物质质量在 $P=0.05$ 水平上具有统计学显著性差异。棉花桃的干物质质量 CFI 处理比 AFI 和 FFI 处理的分别高出 7% 和 8%。AFI 处理的桃干物质质量与 CFI 没有显著差异。茎干物质质量的数据显示,CFI 比 AFI 高出 14%,比 FFI 高出 8%,CFI 与 AFI 茎干物质的分配具有显著差异。从棉花地上部分营养生长与生殖生长的分配比例来看,营养生长与生殖生长占整个地上部分的比例相似,但 PRI 处理生殖生长所占的比例高于 CFI 处理,AFI 又略高于 FFI。即 AFI 和 FFI 生殖生长略占优势,而 CFI 营养生长略占优势。

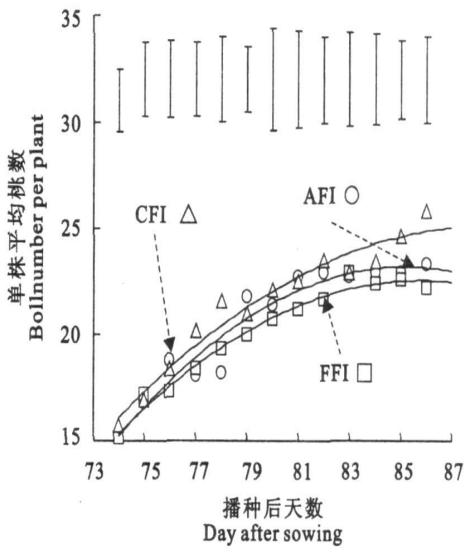


图 4 单株棉花平均开花桃数变化
Fig.4 Boll number per plant

注:图中数据为每天 10 株棉花的平均值,竖线为 Tukey's Studentised 极差检验的最小显著性差异(MSD)。曲线是二元一次方程拟合的结果。
Note: Points are means of 10 samples and vertical bars are the minimum significant difference (MSD) by Tukey's Studentised range test and the asterisks show significant differences at $P_{0.05}$ level. Points are fitted with two order polynomial lines.

表 2 棉花地上部分干物质质量分配

Table 2 Dry mass distribution of overground cotton

干物质 Dry mass	CFI	AFI	FFI
叶 Leaf(g)	13.42	11.70	11.96
茎 Stem(g)	11.66	10.16	10.70
桃 Boll(g)	24.25	22.65	22.36
营养器官(g) Nutrition organs	25.08	21.86	22.66
总量 Total(g)	49.33	44.51	45.02
繁殖/营养 Reproduction/Nutrition	0.97	1.04	0.99
繁殖/总量 Reproduction/Total	0.49	0.51	0.50

2.2.4 棉花产量所受影响 图 5 表示了采棉期单株平均吐絮铃数(图 5a)和最终的籽棉产量(图 5b)。

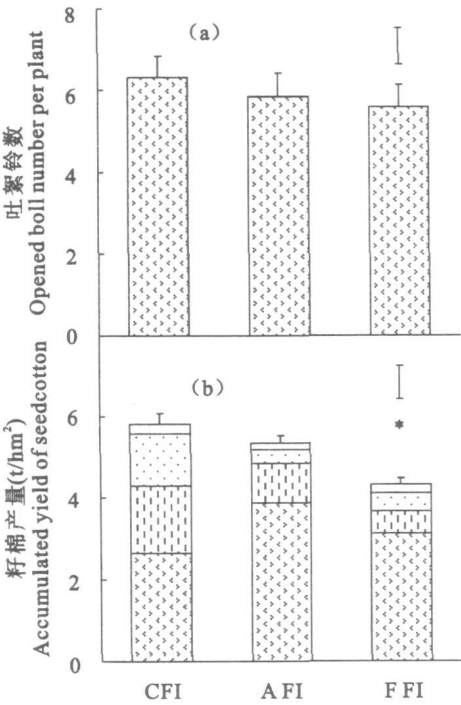


图 5 采棉期单株平均吐絮铃数(a)和最终籽棉产量(b)

Fig.5 Opened boll number per plant during harvesting(a), accumulated yield of seed cotton(b)

注:图中吐絮铃数的数据为 90 株棉花的平均值。籽棉产量的数据来自 6 个样地中 6 个样块(2 m×2 m)的平均值。

Note: Bars for opened bolls are means of 90 plants. Bars for seed cotton yields are means from six blocks(2 m×2 m).

图 5a 中尽管 CFI 的吐絮铃数高于 AFI 和 FFI 处理,但这种差异并不显著。最终的籽棉产量是 4 次摘花的总和,其中前两次于霜降前进行。总的籽棉产量 AFI 和 FFI 分别为 CFI 产量的 92%和 84%,仅 FFI 的产量明显低于 CFI 处理(图 5b)。由

于霜前花的棉纤维品质好、市场售价高,因此霜前花的籽棉产量比总产量更为重要。对比霜前花的籽棉产量,AFI 要高于 CFI 和 FFI 处理。CFI 和 FFI 处理的霜前花籽棉产量分别为 AFI 处理的 88%和 87%。在 5%置信水平时 AFI 处理的差异显著(图 5b)。

3 讨论

基于根冠通讯理论提出的 PRI,是一种既可维持适当的作物产量又能节约灌溉水的灌溉方法,很多实验证实 PRI 对不同地区的多种作物都是一种有效的灌溉方式,不论是农作物还是果树都能达到节水但不显著减产的良好效果^[4,8~11,19~30]。在干旱区,光照充足能够提高棉花的棉纤维品质,水资源的缺乏却限制棉花作物的大面积种植。本实验中在减少 30%的灌溉量的条件下 PRI 的应用维持了较高的籽棉产量,AFI 处理的籽棉产量比 CFI 处理仅减少了 8%,FFI 处理的籽棉产量减少了 16%,因此 AFI 是一种有效的节水灌溉技术,具有良好的应用前景。

PRI 造成作物根系受到水分胁迫,胁迫信号从根部传递到叶片,调节气孔导度,水分胁迫促使作物果实成熟时间提前。棉花在 PRI 处理下,部分根系遭受水分胁迫,这使得 AFI 和 FFI 处理的棉花大部分吐絮较早,由此能够在霜降前收获更多棉纤维,而霜前花的棉纤维一般品质好且市场售价高。实验中虽然 AFI 和 FFI 处理的籽棉总产量比 CFI 处理的低,但它们前两次(霜降前)采棉收获的籽棉总量高于(高出 12%)或等于 CFI 处理的产量,而霜前花比霜后花的价格要高出 15%~20%。因此,价格优势能够补偿棉花产量的略微减少,在总产量略微降低时维持甚至超出常规灌溉的经济价值。

棉花种植中普遍存在着中期旺长的问题,植株生长过旺、分枝增加、叶面积过大,营养生长与生殖生长比例失调,养分和水分供应不足,导致严重的蕾铃脱落,成熟期延迟,霜前花减少,籽棉衣分率和棉纤维质量下降。采取某种措施控制旺长,可以减少营养生长,增加生殖生长,提高对有限资源(如水分)的利用率,从而提高作物的经济产量。叶面积和株高是棉花生长发育的主要指标,其增长快慢能够衡量棉株的生长发育状况。棉花不同生育阶段叶面积和株高日增长量大小直接反映营养生长和生殖生长的协调程度^[15]。合理调整叶面积和株高的增长可以限制作物的营养生长,确保高产,提高作物水分利用效率。本实验中 PRI 处理的植株其叶片大小和

株高都小于 CFI 处理。地上部分干物质的分配 AFI 处理蕾的分配比例较高,而 CFI 处理则在叶片和茎等营养生长上分配比例较高。这是由于 PRI 产生的水分胁迫导致作物光合产物分配发生变化,叶片和茎的扩展受到限制。AFI 比 CFI 对于棉花的生殖生长和产量而言更有利。表明 PRI 可以限制棉花的旺长,这有可能节省常规田间管理为了控制棉花旺长而花费的人力、物力和财力。

4 结 论

本实验通过对棉花生长表现和产量等结果的分析,得到如下几个结论:

1) 在棉花灌溉时减少 30%灌溉量的条件下, AFI 处理相对于 CFI 籽棉总产量略有减少,减少了 8%,FFI 比 CFI 籽棉总产量减少 16%,AFI 的产量与 CFI 的产量没有明显差异。

2) AFI 能够提高或维持霜前花籽棉产量及棉花作物的经济价值,比 CFI 霜前花籽棉产量高 12%,FFI 与 CFI 霜前花籽棉产量相当,因此 AFI 霜前花价格的优势能部分补偿总产量的略微减少。

3) AFI 可以有效地限制棉花的旺长,协调棉花的营养生长和生殖生长,对降低田间管理费用具有一定意义。

参 考 文 献:

- [1] Goodwin I, Jerie P. Regulated deficit irrigation: from concept to practice[J]. Aust. N. Z. Wine Ind., 1992, 5: 131—133.
- [2] Boland A M, Mitchell P D, Jerie P H. Effect of regulated deficit irrigation on tree water use and growth of peach[J]. J. Hort. Sci., 1993, 68: 261—274.
- [3] 康绍忠, 张建华, 梁宗锁, 等. 控制性交替灌溉——一种新的农田节水调控思路[J]. 干旱地区农业研究, 1997, 15(1): 1—6.
- [4] Kang S, Liang Z, Hu W, et al. Water use efficiency of controlled alternate irrigation on root-divided maize plants[J]. Agric. Water Manage., 1998, 38: 69—76.
- [5] Kang S, Liang Z, Pan Y, et al. Alternate furrow irrigation for maize production in arid area[J]. Agric. Water Manage., 2000, 45: 267—274.
- [6] Kang S, Hu X, Goodwin, I. et al. Soil water distribution, water use and yield response to partial rootzone drying under flood-irrigation condition in a pear orchard[J]. Scientia Horticulturae, 2002, 92: 227—291.
- [7] Kang S, Shi W, Cao H, et al. Alternate watering in soil vertical profile improved water efficiency of maize (*Zea mays*) [J]. Field Crops Res., 2002, 77: 31—41.
- [8] Kang S, Zhang J. Controlled alternate partial rootzone irrigation: its physiological consequences and impact on water use efficiency [J]. J. Exp. Bot., 2004, 55: 2437—2446.

- [9] Loveys B R, Stoll M, Dry P R, et al. Partial rootzone drying stimulates stress responses in grapevine to improve water use efficiency while maintaining crop yield and quality [J]. Australian Grapegrower and Winemaker Technical issue, 1998, 414: 108—114.
- [10] Stoll M, Loveys B, Dry P. Hormonal changes induced by partial rootzone drying of irrigated grapevine[J]. J. Exp. Bot., 2000, 51: 1627—1634.
- [11] Zegbe J A, Behboudian M H, Clothier B E. Partial rootzone drying is a feasible option for irrigating processing tomatoes[J]. Agric. Water Manage., 2004, 68: 195—206.
- [12] Kemper W D, Ruffing B J, Bondurant J A. Furrow intake rates and water management [J]. Trans of the ASAE, 1982, 25: 333—339, 343.
- [13] Stone J F, Nofziger D L. Water use and yields of cotton grown under wide-spread furrow irrigation[J]. Agric Water Manage., 1993, 24: 27—28.
- [14] 康绍忠, 潘英华, 石培泽, 等. 控制性作物根系分区交替灌溉的理论及试验[J]. 水利学报, 2001, 11: 80—86.
- [15] 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.
- [16] Li-Song Tang, Yan Li, Jianhua Zhang. Physiological and yield responses of cotton under partial rootzone irrigation [J]. Field Crops Research, 2005, 94: 214—223.
- [17] 贾宏涛, 罗立权, 苏刚. 新疆棉花膜下交替沟灌技术的可行性探讨[J]. 中国棉花, 2003, 30(7): 8—9.
- [18] 李述刚, 程心俊, 王周琼. 荒漠—绿洲农田生态系统[M]. 北京: 气象出版社, 1998.
- [19] Dry P R, Loveys B R. Factors influencing grapevine vigor and potential for control with partial root zone drying[J]. Aust. J. Grape Wine Res., 1998, 4: 140—148.
- [20] Kemper W D, Ruffing B J, Bondurant J A. Furrow intake rates and water management [J]. Trans of the ASAE, 1982, 25: 333—339, 343.
- [21] 史文娟, 康绍忠, 王全九. 控制性分根交替灌溉——常规节水灌溉技术的新突破[J]. 灌溉排水, 2000, 19(2): 32—35.
- [22] 段爱旺, 肖俊夫. 控制交替隔沟灌中灌水控制下限对玉米叶片水分利用效率的影响[J]. 作物学报, 1999, 25(6): 766—771.
- [23] 潘英华, 康绍忠. 交替隔沟灌溉水分入渗规律及其对作物水分利用的影响[J]. 农业工程学报, 2000, 16(1): 39—43.
- [24] 梁宗锁, 康绍忠, 邵明安, 等. 土壤干湿交替对玉米耗水特性及水分利用的影响[J]. 土壤学报, 2001, 38(3): 390—394.
- [25] 韩艳丽, 康绍忠. 根系分区交替灌水对玉米吸收养分影响的初步研究[J]. 农业工程学报, 2002, 18(1): 57—59.
- [26] Stone J F, Nofziger D L. Water use and yields of cotton grown under wide-spaced furrow irrigation[J]. Agri Water Manage., 1993, 24: 27—28.
- [27] Graterol Y E, Eisenhauer D E, Elmore R W. Alternate furrow irrigation for soybean production[J]. Agri Water Manage., 1993, 84: 133—145.

(下转第 221 页)

Analysis of the spatial change of cultivated land and population
in Shaanxi Province based on GIS

XU Ying-xue, REN Zhi-yuan, WANG Min
(College of Tourism and Environment, Shaanxi Normal University, Xi'an, Shaanxi 710062, China)

Abstract: According to the statistical and survey data at provincial and county levels, the relative change index of the cultivated land and population in Shaanxi Province during the last 50 years are discussed based on GIS technology. Taking the conception and model of the regional gravity center and adopting the data collecting from 1953 to 2005, the cultivated land and population gravity centers are calculated and their dynamic evolvement is analyzed. At the same time, contrastive analysis is made of the dynamic evolvement tendencies of the two gravity centers. The results showed that the differences of spatial changes between cultivated land and population in Shaanxi Province are significant. However, the change distribution pattern is basically identical. There is little relative change in southern Shaanxi, while it is volatile in northern Shaanxi and central Shaanxi plain. The cultivated land gravity moves 11.67 km to northeast during the past 52 years, and the population gravity moves 17.35 km to northeast. The whole trends of them are alike and the distance between two canters of gravity pushes 6.29 km close. Relevance degree is not big between cultivated area and population, but the distributions of cultivated land and the population are to be highly related. The movement of the population gravity is one of the main reasons which cause the movement of the cultivated land gravity.

Keywords: cultivated land gravity center; population gravity center; developing evolvement

(上接第 215 页)

[28] Tsegaye T, Stone J F, Reeves H E. Water use characteristics of wided-spaced furrow irrigation[J]. Soil Sci Soc AMJ, 1993, 57: 240—245.

[29] Kang S, Zhang L, Hu X, et al. An improved water use efficiency for hot pepper grown under controlled alternate drip irrigation on partial roots[J]. Scientia Horticulturae, 2001, 89: 257—267.

[30] Dorji K, Behboudian M H, Zegbe J A. Water relations, growth, yield and fruit quality of hot pepper under deficit irrigation and partial rootzone drying [J]. Scientia Horticulturae, 2005, 104: 137—149.

Growth, dry mass and yield response of cotton under partial
rootzone irrigation in arid area

WANG Ting-ting^{1,2}, TANG Li-song¹
(1. Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Urumuqi 830011, China;
2. Graduate School, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: To investigate whether partial rootzone irrigation could save water and maintain economic yield, a field experiment on cotton under arid conditions was designed. Three treatments were applied as: alternative furrow irrigation (AFI), fixed furrow irrigation (FFI) and conventional furrow irrigation (CFI). The results showed that when the amount of irrigation was reduced by 30%, PRI (AFI and FFI) produced comparable numbers of opened bolls and yields of seed cotton. The seed cotton yields of AFI and FFI were 92% and 84% of that of CFI, respectively. The seed cotton yield before frost of AFI was 12% higher than that of CFI. PRI developed less leaf area, shorter plants and less dry mass of leaf, boll and stem than CFI, but the boll numbers per plant were not significantly different. The conclusion was that AFI could maintain comparable amount of seed cotton and maintain economic yield under less irrigation water.

Keywords: partial rootzone irrigation; cotton; dry mass; yield