

河北棉田复合种植模式水分利用比较研究

孙成钰,高旺盛,陈源泉,胡碧珍,师江涛,隋鹏

(中国农业大学农学与生物技术学院,北京 100193)

摘要:河北南部植棉区受麦玉两熟高耗水农作模式的影响,地下水位亏缺,生态恶化。受此影响,当地棉田在保证高效的同时也存在着节水或提高水分利用效率的需求。通过设计新型的棉田复合种植模式,从水分效益与经济效益2个方面对各种种植模式的水分利用情况进行比较分析,探讨不同种植体系的耗水规律,筛选出水分经济利用效率高、实现农田水分生态修复的棉花种植模式。研究表明:设计的5种植模式中辣椒/棉花间作的水分经济利用效率(EWUE)最高,达60.29元/(mm·hm²),其次为马铃薯/棉花间作。因此,辣椒/棉花间作与马铃薯/棉花间作是该区域具有推广可行性的2种棉田种植模式。5种棉田种植模式能够维持田间水分的周年平衡,其中辣椒/棉花间作能够对地下水资源起到较好的生态补偿作用。黑麦—棉花轮作模式和苜蓿/棉花间作模式在利用深层水分方面更具比较优势。

关键词:棉花;间作;种植制度;土壤水分;耗水规律

中图分类号:S344.3

文献标志码:A

论文编号:2011-0924

Water Use Efficiency Analysis of Different Cotton Multiple Cropping Pattern in Hebei Province

Sun Chengyu, Gao Wangsheng, Chen Yuanquan, Hu Bizhen, Shi Jiangtao, Sui Peng

(Agronomy and Biological Technology Institute, China Agricultural University, Beijing 100193)

Abstract: Under the high water consumption pressure of wheat–maize cropping pattern, the cotton production area in southern Hebei is facing groundwater deficit and ecological deterioration problems. For this reason, there is demand for the improvement of water use efficiency and enhancement in local cotton field. The purpose of this research was to evaluate and select the optimum cotton cropping system, which could improve water use efficiency, alleviate water stress and achieve ecological restoration of soil moisture. This research designed five cotton multiple cropping patterns, and adopted comparative analysis of water use efficiency in these cropping models. Results showed that: the pepper/cotton intercropping pattern gained the highest EWUE 60.29 yuan/(mm·hm²), followed by the potato/cotton intercropping pattern. Therefore, these two cotton planting patterns were suggested to be applied to practical cotton production. All the five cotton cropping patterns maintained the field annual water balance. The pepper/cotton intercropping pattern played a good role of ecological compensation in groundwater resource. The rye–cotton rotation pattern and alfalfa/cotton intercropping pattern had comparative advantage of deep water utilization.

Key words: cotton; intercropping; farming system; soil water; law of water utilization

0 引言

海河低平原区是中国重要的棉花生产基地之一^[1],

同时又是中国水资源短缺最严重的、生态环境最脆弱的地区之一。该区内人均占有水资源量660 m³,仅为

基金项目:“十一五”国家科技支撑计划“农田复合生物共生循环模式与技术研究”(2007BAD89B01);国家行业科技项目“现代农作制模式构建与配套技术研究及示范”(200803028);“公益性行业科研专项”(201103001)。

第一作者简介:孙成钰,男,1986年出生,黑龙江哈尔滨人,硕士,研究方向为节水高效种植制度。通信地址:100193北京市海淀区圆明园西路2号中国农业大学农学楼,E-mail:schycou@yahoo.cn。

通讯作者:隋鹏,男,1971年出生,辽宁人,副教授,研究方向为节水高效种植制度。通信地址:100193北京市海淀区圆明园西路2号中国农业大学农学楼,Tel:010-62734884,E-mail:suipengye@cau.edu.cn。

收稿日期:2011-04-01,修回日期:2011-06-07。

全国平均的23.6%^[2]。长期的地下水超采不但造成了地面沉降、地裂缝等地质问题,而且导致了严重的农业用水危机^[3]。水资源匮乏与不合理开采诱发的生态问题为海河低平原农业生产的可持续发展带来隐忧。因此,如何提高农业生产的水资源利用效率,协调用水矛盾,缓解水资源的供需失衡现状也成为了研究领域的热点问题^[4-5]。已有研究的分析结果表明,调整种植结构,扩大经济作物如棉花的种植面积是实现农业节水的重要途径^[6]。目前间套作种植模式与水分利用关系方面的研究大多集中在如小麦玉米等粮食作物之上^[7-11],而针对于棉田水分利用方面的研究则缺乏不同间套作模式之间的比较研究^[12-14]。因此,在现有棉田间套作复合种植的研究基础之上,结合海河低平原区棉田生产的实际情况设计了5种植植模式,以期寻找不同间作模式的田间耗水规律,提高棉田水分利用效率,从而有效发挥棉田间套作种植的经济、生态优势。

1 材料与方 法

1.1 试验时间、地点

田间试验于2008年11月至2010年11月在河北省沧州市吴桥县前李村进行。试验地位于黑龙港流域中部,北纬37°50′ 东经116°30′。该区土壤类型为华北平原典型潮褐土,耕层以壤土为主。气候类型为大陆性季风气候,雨热同期,年均降雨量为562.3 mm,年均≥0℃积温4828℃,完全能够满足试验中所配置各种作物的生长条件^[15]。当地有多年种棉习惯,农户种棉

经验丰富,也为试验的顺利进行与将来的模式推广奠定了良好的基础。

1.2 试验材料

所用棉花品种为‘中35’,为当地棉花生产推广多年的成熟品种。所用其余作物品种分别为,马铃薯:‘鲁引1号’;花生:‘鲁花9号’;苜蓿:‘中苜1号’;黑麦:‘冬牧70’;辣椒:‘华椒1号’,皆为当地适应性好表现优异的栽培品种。

1.3 试验设计与方法

1.3.1 试验设计 实验中间作模式的作物配置涉及6种植植模式:苜蓿/棉花间作模式(al/co)、辣椒/棉花间作模式(pe/co)、花生/棉花间作模式(pn/co)、马铃薯/棉花间作模式(po/co)、黑麦—棉花轮作模式(ry-co)并以棉花单作种植模式(co ck)作为对照。其中2009年至2010年两年的实验设置为al/co、pe/co、po/co、ry-co和co ck,每种模式设55.5 m×12.0 m大区进行种植(文中简称大区),不设重复,取样时在大区地块的对角线上采用等距取样法取样,每种模式取3次重复;并于2010年春季播种时起设置小区试验设计对大区实验数据进行互补性验证,并增设pn/co模式。小区面积为5.0 m×8.0 m,每种模式3次重复,随机区组设计。各模式均于播前灌水60 mm,ry-co模式实际上相对于其他模式多60 mm灌水量。各模式的作物配置见表1,其余田间管理同当地种植习惯。

土壤水分测定方法为烘干法,即人工用土钻以每

表1 各棉田复合种植模式作物配置

种植模式	带宽/cm	棉花窄行行距/cm	棉花宽行行距/cm	作物X行距/cm	棉花与作物X行距/cm	每带棉花行数/行	每带作物X行数/行
co ck	130	50	80	—	—	2	—
ry-co	130	50	80	15	—	2	1
pn/co	170	50	120	30	45	2	2
pe/co	170	50	120	30	45	2	2
al/co	170	50	120	20	40	2	3
po/co	150	50	100	20	40	2	2

注:作物X是指每种复种模式中棉花对应的另一种作物。

20 cm为一个层次取0~200 cm土壤样品。测产取样为每种作物取1 m行长3次重复,后进行理论单产估算。

取样位点:鉴于棉田间作配置的考虑,试验中所提及的试验数据取样位点均为各个种植模式的棉花与棉花行间、棉花与对应间作物行间、间作模式对应间作物行间3个位点分别取样测定,并以3点平均值进行

比较以减少取样位点带来的误差。

取样时间:2009年各种种植模式的田间取样时间分别为:4月17日、6月21日、8月18日和10月29日;2010年各种种植模式的田间取样时间分别为:4月25日、6月14日、8月26日和11月5日。

1.3.2 计算方法 最终实验结果用SPSS 17.0统计软件进行分析。

$$\text{水分经济利用效率EWUE}(\text{元}/(\text{mm} \cdot \text{hm}^2)) = \frac{\text{经济效益}(\text{元}/\text{hm}^2)}{\text{耗水量}(\text{mm})}$$

2 结果与分析

2.1 棉田复合种植模式土壤水分消耗比较分析

2.1.1 田间水分利用的平衡分析 2009—2010年0~200 cm之间土体贮水量的追踪数据显示,试验所设5种棉田种植模式能够基本维持田间水分周年平衡(图1)。这种水分平衡是建立在自然降水量与田间蒸散量双重反向作用的基础之上的,所以是一种随时空变化而波动的动态平衡。对比2年的数据可知,田间水分维持基本平衡的同时,0~200 cm土体贮水量略有回补,5种模式的平均补偿率为7.65%。其中辣椒/棉花间作模式对土壤水分的补偿达56.9 mm,而春季耗水较高的马铃薯/棉花间作模式对土壤水分的补偿为

20.3 mm,并达到3.65%的周年补偿率。结果可以说明,只是针对华北地区的水分亏缺与地下水超采的现状而言,辣椒/棉花间作模式与棉花单作能够较好地补偿地下水,而黑麦—棉花和马铃薯/棉花种植模式的回补作用则稍差,苜蓿/棉花模式的回补作用居中。总体而言,5种植模式都能够缓解该地区农业用水压力,发展当地节水农业。根据对该组数据的分析可以预见,如果持续采用所设5种棉田种植模式,能够保证土壤水分的逐年盈余,在土壤水分经过多年积累达到一定贮存量之后,必然会形成有效重力水,对该区地下水资源起到回补作用,完成从超采到补充的根本性转变,从而实现农业生产对水资源的生态补偿。

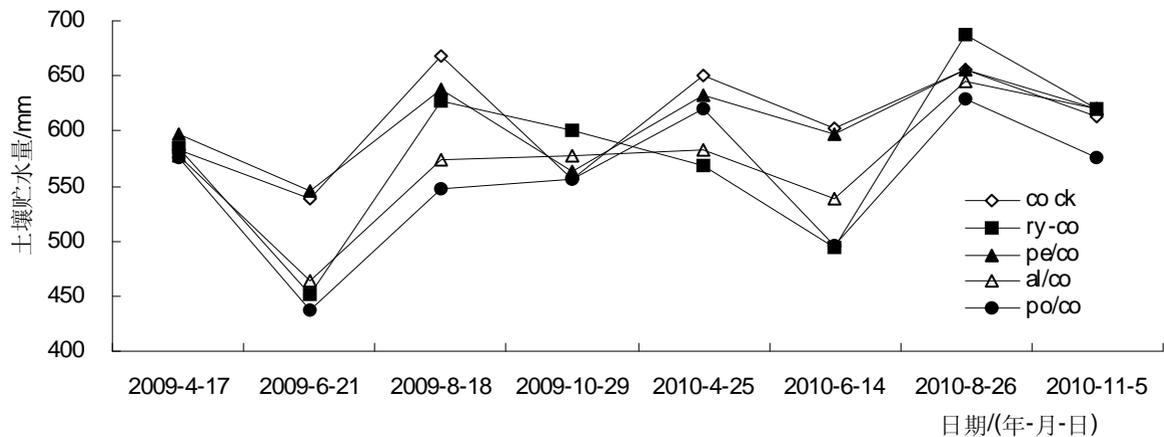


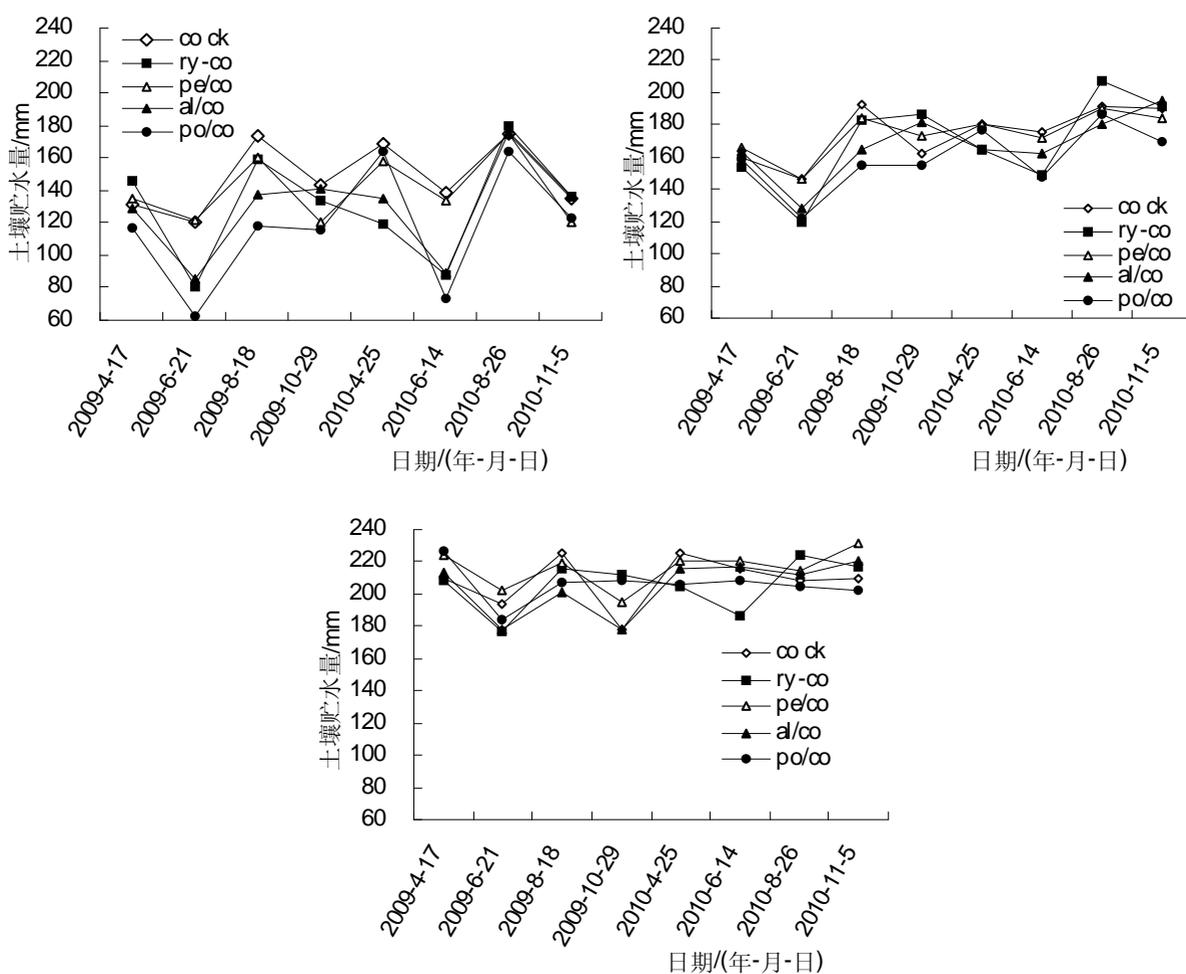
图1 不同种植模式0~200 cm土层贮水量周年变化

2.1.2 不同种植模式土壤贮水量的层次变化 不同模式耗水的层次波动与阶段性差异显著。如图2所示,在0~60 cm土层土壤贮水量波动范围最大的马铃薯/棉花间作模式土壤贮水量最大波幅达101.14 mm,在60~120 cm土层这个数据仅为63.51 mm,而在120~180 cm土层的贮水量振幅只有43.58 mm。这个现象与不同作物耗水的时空特点有关。从耗水时间来讲,不同作物吸水的峰值相差达3个月之久,作物的耗水时期不能与降水时期完全匹配便造成了土壤贮水量周年变动大的结果。

不同种植模式的土壤贮水量在各个土体层次的差异显著不同。5种模式在0~60 cm土层的土壤贮水量的差异显著,其中,马铃薯/棉花间作模式对该层次土壤水分的利用较多,而120~180 cm土体贮水量数据显示黑麦—棉花轮作模式和苜蓿/棉花间作模式在利用深层水分方面更具比较优势。这种现象与所配置作物的根系分布有关。由于间套作模式设计中对浅根作物与深根作物的搭配,使得这个体系能够更充分地利用

土壤水分,而体系的主要吸水层次,在土体中的分布自然会随着间套作作物的配置而有所不同,这就造成了不同间套作体系对不同土壤层次水分利用的差异。

2.1.3 不同时期各模式土壤含水量比较 于2010年增设的小区试验显示的土壤水分变化规律与大区试验结果大同小异,起到了相互验证的效果。如图3所示,对不同时期6种模式土壤水分含量的数据分析中可知,6月中旬(棉花苗期)各模式的土壤含水量差异明显大于其他月份,并且苜蓿/棉花间作模式、马铃薯/棉花套作模式和黑麦—棉花轮作模式的土壤含水量要小于棉花单作的对照模式;而辣椒/棉花间作模式和花生/棉花间作模式的土壤含水量则要高于对照。这个规律在0~60 cm土层即各种作物根系分布的主要区域适用。这个变化规律说明间作棉田的配置作物在播后至此期间的水分消耗呈现出了较大差异,也说明在雨季到来之前土壤含水量是6种模式中配置作物生长发育的主要限制因子。苜蓿/棉花间作模式、马铃薯/棉花套作模式和黑麦—棉花轮作模式中,配置作物的耗水高峰



a: 0~60 cm 土层水分变化; b: 60~120 cm 土层水分变化; c: 120~180 cm 土层水分变化

图2 2009—2010年不同种植模式土壤水分变化

都在雨季之前,所以在这个时期对土壤水分的消耗较多,例如,马铃薯的全生育期耗水基本上都集中在4—6月份,黑麦为棉花的轮作前茬以及苜蓿的多年生特性都同样使得土壤水分消耗高峰早于对照。同理由于花生和辣椒播种较晚而且苗期耗水较少,所以苗期的土壤水分含量较高。对于苜蓿/棉花间作模式、马铃薯/棉花套作模式和黑麦—棉花轮作模式而言,尽管生长季前期的水分消耗较大,但是土壤水分并未低于萎蔫点。7月22日以后即棉花的蕾期、花铃期与吐絮成熟期的土壤含水量测定数据显示,这个时期的土壤水分已经得到了恢复并且能够持续维持在一个较高水平,说明尽管苗期的水分利用差异较大,但是全生育期来讲各模式都没有水分亏缺的问题,因此,在苗期也不必对水分消耗量大的模式做人为补充。而苗期土壤水分含量较低的模式则恰恰说明了这是一种可以利用田间土壤水分的棉田复合种植模式。

2.2 不同种植模式的水分利用效率分析

对大区5种模式耗水量的研究表明,黑麦—棉花模式的周年耗水量比对照高57.39 mm,可能与黑麦—棉花轮作大幅提高复种指数增加田间耗水周期有关。而马铃薯/棉花间作模式和辣椒/棉花间作模式的田间耗水表现略高于对照,表明由于间作作物对水分的竞争效应使得整个间作体系的耗水能力增加。而苜蓿/棉花间作模式的耗水量相对较低是因为苜蓿与棉花后期竞争作用过大,导致生物量增长受到影响从而降低了整个间作体系的水分消耗。

研究表明,辣椒/棉花间作模式、马铃薯/棉花间作模式、黑麦—棉花轮作模式的周年系统产值均高于单作棉花种植模式,其中辣椒/棉花间作模式的系统产值最高,达37295.95元/hm²。而数据显示苜蓿棉花种植模式的产值远远低于其他几种种植模式,原因是苜蓿生长第2年与棉花产生激烈竞争,使体系的整体生产

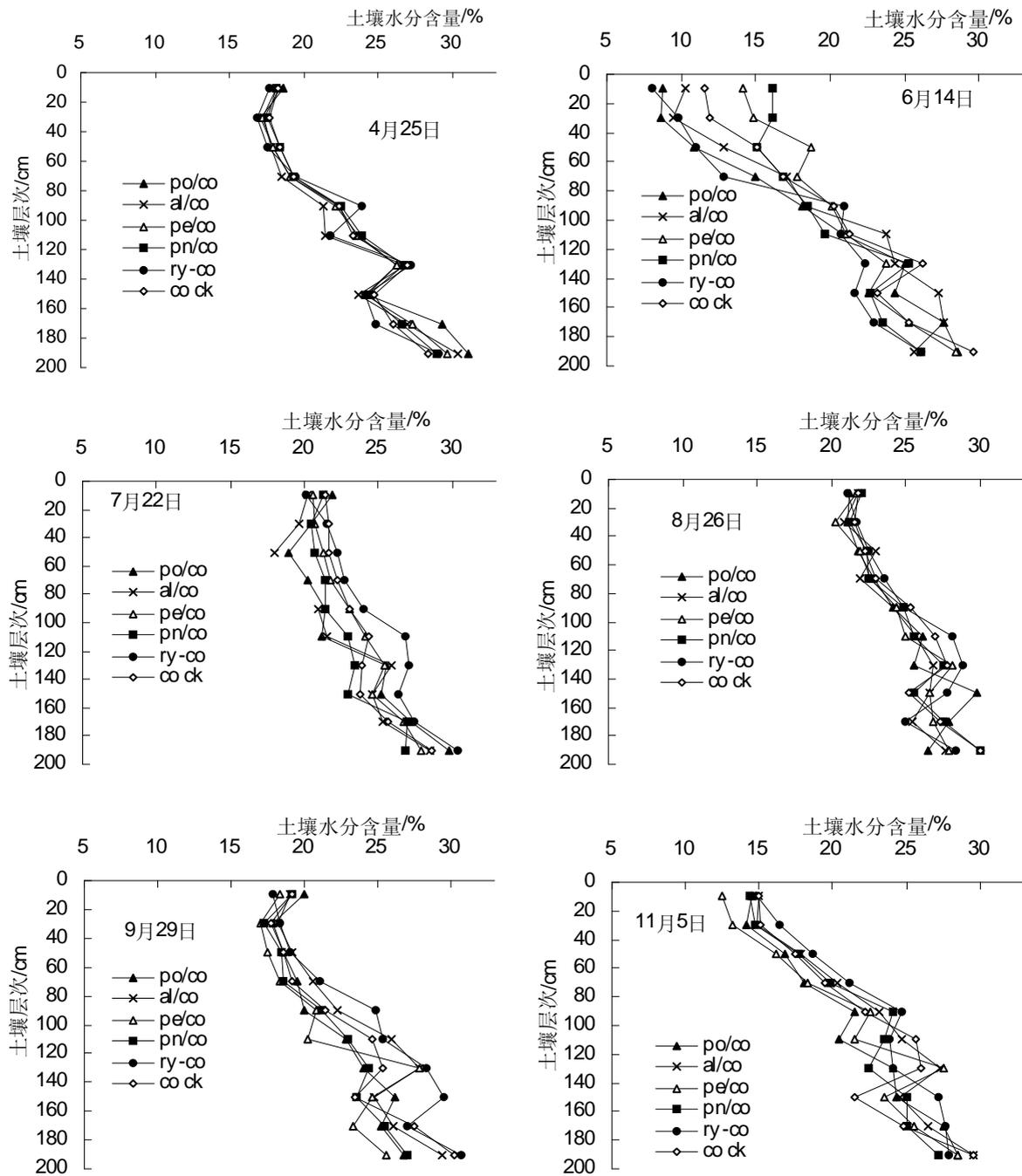


图3 2010年棉田不同种植模式土壤含水量变化

力明显下降,另外,苜蓿生长旺季地上部分茂密,严重影响棉田的通透性也是促使棉花早衰减产的重要原因。从耗水量上来讲,由于黑麦是利用冬闲田提高棉田复种指数,因此,黑麦—棉花轮作体系的耗水量显著高于另外4种模式,而另外4种模式也因配置作物迥异而使得耗水量有较大差异。度量单位耗水量的生产力指标还要参考经济水分利用效率(*EWUE*),*EWUE*能够将产值与耗水量2个指标综合考虑,具有更科学的比较意义。如表2所示,不同种植模式的经济水分利用

效率的排序依次为辣椒/棉花模式>马铃薯/棉花模式>黑麦—棉花模式>单作棉花>苜蓿/棉花模式。

3 结论与讨论

花铃期是棉花生长中耗水量最大的时期,也是棉花产量和品质形成的关键生育期,日均耗水量达 $5 \text{ m}^{3/6}$ 。大量研究表明,棉花花铃期干旱对棉花的生长影响最大,导致成铃率降低,铃重减轻,衣指、衣分降低,纤维变短等现象^[17-18]。因此,这一阶段亦为棉花的水分敏感期,不容易实现人为水分调整^[19]。而吐絮成熟期田间

表2 不同棉田种植模式的水分利用效率

种植模式	系统产值 (yuan/hm ²)	耗水量 /mm	EWUE (元)/(mm·hm ²)
co ck	27066.24c	614.82c	44.02d
ry-co	34016.70b	672.21a	50.60c
al/co	17849.64d	607.64d	29.38e
pe/co	37295.95a	618.64c	60.29a
po/co	35134.43b	629.67b	55.80b

注:表中数据所用到的农产品价格都以当地市场5年均价来计算,以减除年际价格波动带来的数据失真。而实测数据为2009年与2010年平均值。表中不同的字母表示5%水平上差异显著性。

土壤水分充盈,一般没有水分亏缺问题^[20]。对于华北平原而言,春季降水量较小,传统棉花种植技术多于苗期或播前进行灌溉,而对棉花苗期水分利用的研究表明,苗期的适当干旱不会对产量造成很大的影响,而且还能起到促进棉苗根系下扎,提高棉花抗逆能力的作用,有利于形成棉田合理的群体结构并提高水分利用效率^[21]。研究中的6种棉田复合种植模式的耗水呈现出阶段性不平衡,耗水差异大并且多集中于苗期。因此,笔者建议在马铃薯/棉花间作模式和黑麦—棉花轮作模式的播前适当灌溉,以保证苗期充足的供水量,其灌水量可参考当地棉花单作种植模式。而对于辣椒/棉花间作模式则可适当减少前期灌水量,从而提高经济水分利用效率。

尽管试验中5种模式均能维持水分的周年平衡,但是综合考虑耗水量与EWUE指标,并结合试验地棉花生产实际情况,笔者建议推广辣椒/棉花间作、马铃薯/棉花套作种植模式。而在用水矛盾相对缓和的地区也可适当推广黑麦—棉花种植模式。

从水分利用方面对5种棉田种植模式做了相对详细地比较分析,然而决定某一种种植模式的优劣,是一个系统化问题,在考虑到经济效益、生态效益的同时还要密切注意其他方面,如劳动力投入量、农民接受程度等社会因素。因此,进一步的研究可以根据试验地的具体情况增加影响棉田种植模式适应性的相关指标,以便对棉田种植制度的改进给出更加科学的系统化的建议。

参考文献

[1] 朱启荣.中国棉花主产区空间布局变迁研究[D].北京:中国农业大

学,2005:17-22.

- [2] Shearer T R. A numerical model to calculate land subsidence applied at Hangu in China[J]. Engineering Geology,1998,49(2): 85-93.
- [3] 李世雄,李守定,郜洪强.河北平原地裂缝分布特征及成因机制研究[J].工程地质学报,2006,14(02):178-183.
- [4] 张广华,金文君.浅谈地下水资源评价[J].内蒙古水利,1999,3: 43-44.
- [5] 郭华强.黑龙港低平原旱作农业区节水模式综述[J].中国农技推广,2008,24(6):31-33.
- [6] 陶佩君,王娜,周志军,等.河北省黑龙港地区农业节水技术及其应用选择分析[J].农业科技管理,2008,27(2):34-37.
- [7] 刘浩.间作条件下作物根系吸水规律研究[D].北京:中国农业科学院,2006:1-11.
- [8] 申正化.晋中旱地不同间作模式下作物产量与水分效应研究[D].北京:中国农业科学院,2008:1-7.
- [9] 杨友琼,吴伯志.作物间套作种植方式间作效应研究[J].中国农学通报,2007,23(11):192-196.
- [10] 叶优良.间作对氮素和水分利用的影响[D].北京:中国农业大学,2003:1-11.
- [11] 李向东,杨铁钢,李彦鹏,等.麦棉多作套种循环农业模式的发展演变与效应分析[J].中国农学通报,2010,26(19):294-299.
- [12] 柴卫东.黑龙港棉花类型区棉椒间作施肥的经济效益及水分利用率研究[J].江西农业大学学报,2005,27(5):662-666.
- [13] 孔德平,王增池,肖云清.棉花天鹰椒间作施肥的效应研究[J].华北农学报,2008,23:302-304.
- [14] 王正功,李林.棉田间作套种制度研究进展[J].湖南农业科学,2009, 08:37-44.
- [15] 张利,范文良.棉花耗水规律研究[J].河北农业科学,1994,03:20-21.
- [16] 杨静,申贵芳.棉花花铃期的管理措施[J].中国棉花,2003,07:33-38.
- [17] 刘瑞显,郭文琦,陈兵林.棉花花铃期短期干旱下氮素对干物质及氮素累积分配的影响[J].西北植物学报,2008,28(6):1179-1187.
- [18] Ahmet Ertek, Riza Kanber. Effects of different drip irrigation programs on the boll number an shedding percentage and yield of cotton[J]. Agricultural Water Management,2003,60(1):1-11.
- [19] Donald F Wanjura, Dan R Upchurch, James R Mahan, et al. Cotton yield and applied water relationships under drip irrigation[J]. Agricultural Water Management,2002,55(3):217-237.
- [20] McMichael B L, Hesketh J D. Field investigations of the response of cotton to water deficits[J]. Field Crops Research,1982(5): 319-333.
- [21] 肖俊夫,刘祖贵,孙景生.不同生育期干旱对棉花生长发育及产量的影响[J].灌溉排水,1999,18(01):23-27.