

土壤耕层重构与灌水对棉田水分含量及棉花产量性状的影响

王树林 祁虹 王燕 张谦 冯国艺 林永增* 梁青龙 雷晓鹏

(河北省农林科学院 棉花研究所/农业部黄淮海半干旱区棉花生物学与遗传育种重点实验室,石家庄 050051)

摘要 为探明土壤耕层重构与灌水对棉花生育性状及产量的影响,采用随机区组设计,于2015和2016年在河北省农林科学院棉花研究所威县试验站设置5个处理,分别是CK(旋耕),常量底墒水($675\text{ m}^3/\text{hm}^2$);T1,旋耕,高量底墒水($1\ 200\text{ m}^3/\text{hm}^2$);T2,土壤耕层重构,高量底墒水;T3,土壤耕层重构,高量底墒水,花铃期超量灌水($1\ 800\text{ m}^3/\text{hm}^2$)模拟涝灾;T4,土壤耕层重构,高量底墒水,中后期不灌水;2016年降雨量偏大,各处理只灌底墒水。调查测定不同生育时期不同耕层土壤水分含量、棉花生育性状和产量性状。结果表明:T1在干旱年份(2015年)能提高籽棉产量,在多雨年份(2016年)增产效果不明显。耕层重构提高棉田土壤20 cm以下土层蓄水保墒与缓冲调节能力,在暴雨(模拟)条件下不致形成涝灾,在干旱条件下深层土壤水分上移供棉花生长需求。T2棉花苗期与蕾期生长慢,花铃期生长快,具有明显的后发优势,干旱年份(2015年)与多雨年份(2016年)分别较对照籽棉产量增加27.0%与8.7%,T4处理2年较对照分别增产14.6%与10.1%;T3与T2处理2年产量差异均不显著,表现出较强的耐涝能力。土壤耕层重构是棉田节水增产的有效耕作措施,具有抗旱耐涝作用,可有效提高棉花产量。

关键词 土壤耕层重构;灌水;土壤含水量;棉花;产量

中图分类号 S516.01

文章编号 1007-4333(2018)01-0027-10

文献标志码 A

Effects of restructuring tilth layer and irrigation on soil water content and cotton yield traits

WANG Shulin, QI Hong, WANG Yan, ZHANG Qian, FENG Guoyi,
LIN Yongzeng*, LIANG Qinglong, LEI Xiaopeng

(Cotton Research Institute/Key Laboratory of Biology and Genetic Improvement of Cotton in Huanghuaihai Semiarid Area of Ministry of Agriculture, Hebei Academy of Agriculture and Forestry Science, Shijiazhuang 050051, China)

Abstract To identify the effects of restructuring tilth layer and irrigation on soil water content and cotton development traits, five treatments were designed according to randomized block design at Wei County experimental station of the Cotton Research Institute of Hebei Academy of Agriculture and Forestry Science in 2015 and 2016. CK was rotary tillage with conventional irrigation amount ($675\text{ m}^3/\text{hm}^2$) before sowing. T1 was rotary tillage with high irrigation amount ($1\ 200\text{ m}^3/\text{hm}^2$). T2 was restructuring tilth layer with high irrigation amount ($1\ 200\text{ m}^3/\text{hm}^2$). T3 was restructuring tilth layer with high irrigation amount ($1\ 200\text{ m}^3/\text{hm}^2$) and excessive irrigation amount of $1\ 800\text{ m}^3/\text{hm}^2$ in boll stage simulating waterlogging. T4 was restructuring tilth layer with high irrigation amount ($1\ 200\text{ m}^3/\text{hm}^2$) and no irrigation in cotton growing period. In 2016, because of redundant rainfall all plots were irrigated with start water. Soil water content, cotton development traits in cotton growing stages and yield components were investigated. The results showed that T1 increased seed cotton yield in drought year (2015) but had no obvious effect in rainy year (2016) compared with CK. Restructuring tilth layer improved soil water conserving and adjusting ability for deep layers (below 20 cm layer) in cotton fields, which effectively avoided waterlogging in storm conditions, and in drought conditions soil water in deep

收稿日期: 2016-12-23

基金项目: 科技部支撑计划(2013BAD05B00); 河北省农林科学院科技创新工程项目(494-0402-YSN-A7VD)

第一作者: 王树林, 副研究员, 主要从事棉花栽培及生理生态研究, E-mail: 49947828@qq.com

通讯作者: 林永增, 研究员, 主要从事棉花栽培技术研究, E-mail: zaimei@sohu.com

layers moved up to meet the requirement of cotton growing. Cotton of restructuring tilth layer grew slowly at seeding and square stage, but grew quickly in boll stage with obvious late-development advantage. In drought year (2015) and rainy year (2016) seed cotton yield was increased by 27.0% and 8.7% for T2 compared with CK, and for T4 it was 14.6% and 10.1% respectively. There was no significant difference for seed cotton yield between T3 and T2 in two years, which showed that waterlogging tolerance of restructuring tilth layer was improved. Restructuring tilth layer was an effective measure to save water and increase yield with resistance to drought and waterlogging.

Keywords restructuring tilth layer; irrigation; soil water content; cotton; yield

棉花是河北省主要经济作物之一,主要分布在河北省中南部干旱半干旱地区,属黄河流域棉区,土壤耕作方式以旋耕为主^[1],常年旋耕导致棉田出现诸多问题,如犁底层变浅、土壤通透性降低,影响棉花根系下扎,同时土壤蓄水、供水能力下降^[2-4],棉花后期早衰、产量下降等^[5-7],为解决长期旋耕带来的诸多弊病,笔者根据多年研究,提出了一种新的土壤耕作方式——土壤耕层重构,即采用单铧主副旋转深翻犁(专利号 ZL 2016 2 0103412.2),由动力 160 kW 拖拉机带动一次完成将 0~20 与 20~40 cm 土壤互换并对 40 cm 以下土壤进行深松,试图通过土壤耕层的重新构建,解决棉田长期旋耕带来的弊病。土壤耕层重构与传统深翻相似,但又存在明显差别,与深翻相比,土壤耕层重构是将 20~40 cm 土壤完全覆盖在 0~20 cm 土层之上,可实现彻底灭除棉田杂草、显著降低病害、平衡土壤养分垂直分布的目的,而深翻难以对上下土层进行完全互换,同时土壤耕层重构技术可以将 40 cm 以下的土层进行松动,最深可达 70 cm,从而实现土壤蓄水保墒能力的大幅提高。由于土壤耕层重构后 20 cm 以下土层蓄水保墒能力提高,棉田抗旱耐涝能力均有显著增强,有利于提高自然降水利用率,减少灌溉用水,这对于适应华北平原水资源严重匮乏的现状以及国家提倡节水农业的要求具有重要意义。为进一步明确土壤耕层重构对棉田抗旱耐涝能力的影响,本研究设置了常规耕作与土壤耕层重构条件下不同灌溉制度的试验,调查棉花关键生育时期土壤水分含量、棉花生育性状及产量构成等指标,分析不同降雨年型土壤耕层重构技术的水分效应,以期对棉花节水灌溉提供理论支持。

1 材料与方法

1.1 试验地点

试验于河北省农林科学院棉花研究所威县试验站进行,试验田土壤为沙壤土,肥力中等,连作棉田,0~20 cm 土层含有机质 9.4 g/kg,全氮 0.655 g/kg,

速效磷 21.6 mg/kg,速效钾 163 mg/kg。试验田 0~100 cm (每 20 cm 为 1 层) 土壤容重分别为 1.45、1.44、1.40、1.34 和 1.36 g/cm³,田间最大持水量 0~20、20~40 和 40~60 cm 土层分别为 24.7%、25.0% 和 25.2%。

1.2 试验方法

试验于 2015 和 2016 年分别设置了大田试验,共 5 个处理,详见表 1。试验小区长 8 m,宽 7 m,面积 56 m²,3 次重复,小区之间设置 2.0 m 宽的隔离带,起 30 cm 高的田埂。

1.3 田间管理

2015 年 4 月 10 日进行土壤耕层重构处理,用铁锹先将 0~20 cm 土壤移至一处,再将 20~40 cm 土壤移至另一处,用铁锹铲松 40~55 cm 土壤,然后先回填 0~20 cm 土壤,再回填 20~40 cm 土壤。4 月 15 日所有小区灌底墒水,灌水前公顷撒施肥尔德复合肥($m(\text{N}) : m(\text{P}_2\text{O}_5) : m(\text{K}_2\text{O})$)为 15 : 13 : 17) 750 kg;4 月 23 日 CK 与 T1 处理用微耕机旋耕,所有小区统一耙耱后播种。2016 年 4 月 5 日进行土壤耕层重构,4 月 12 日施肥灌水,4 月 21 日旋耕、耙耱、播种。棉花品种采用冀杂 2 号,塑料地膜覆盖,地膜宽 90 cm,厚度为 0.008 mm,由播种机 1 次完成播种、覆膜和压土工序,大小行种植,大行距 95 cm,小行距 45 cm,棉花株距 22 cm,每小区种 10 行棉花;其他管理措施同大田。棉花生育期间降雨量见表 2,其中 2015 年属重度干旱年份,2016 年属多雨年份。

1.4 调查项目

1.4.1 土壤含水量

试验于 2015 年 4 月 25 日(播种后)、6 月 19 日(蕾期)、8 月 6 日(花铃期)、10 月 28 日(收获后),2016 年 4 月 23 日(播种后)、6 月 20 日(蕾期)、8 月 4 日(花铃期)、11 月 4 日(收获后)用烘干法按 0~20、20~40、40~60、60~80 和 80~100 cm 测定土壤含水量,每小区按 S 取样法取 5 个点,用土钻取土后混匀立即将样品放入铝盒,110 °C 烘干至恒重,计算土壤含水量^[8]。

表 1 试验处理
Table 1 Treatments

处理 Treatment	耕作方式 Tillage method	灌水量/(m ³ /hm ²) Irrigation amount					
		2015 年			2016 年		
		04-15	06-20	07-25	04-12	06-20	07-22
CK	旋耕 Rotary tillage	675	675	0	675	0	0
T1	耕层重构 Restructuring tilth layer	1 200	675	0	1 200	0	0
T2	耕层重构 Restructuring tilth layer	1 200	675	0	1 200	0	0
T3	耕层重构 Restructuring tilth layer	1 200	675	1 800	1 200	0	1 800
T4	耕层重构 Restructuring tilth layer	1 200	0	0	1 200	0	0

注:2015 年蕾期(6 月 20 日)除 T4 外,其它处理均灌水 1 次,2016 年蕾期降雨量偏大,各处理均未灌水。

Note: All plots except T4 were irrigated in square stage (20th June) in 2015, but in 2016 because of abundant rainfall in square stage all plots were not irrigated.

表 2 2015 和 2016 年棉花生育期内降雨量及其分布
Table 2 Rainfall and its distribution in cotton growing period of 2015 and 2016 mm

年份 Year	生育时期 Growth period					合计 Total
	04-28—05-13	05-14—06-13	06-14—07-13	07-14—08-13	08-14—10-23	
2015	81.8	17.0	20.6	125.7	38.0	283.1
2016	31.5	23.2	97.4	306.1	78.1	536.3

1.4.2 棉花生育性状

每小区固定 20 株,于 6 月 15 日调查棉花株高,7 月 15 日、8 月 15 日调查棉花株高、单株成铃数,9 月 10 日调查单株成铃数。收获期分 3 次收获固定 20 株棉花所有吐絮铃,测定单铃重与衣分,小区单独收获计产。

1.4.3 棉花地上部干物重

5 月 25 日(苗期)、6 月 17 日(蕾期)从每小区取 5 株棉花整株烘干,8 月 13 日(花铃期)和 9 月 10 日(收获期)从每小区取 3 株,于 105 °C 杀青,30 min,然后 85 °C 烘干至恒重测定干物质重。

1.5 数据分析

所有数据采用 Excel 2003 与 DPS 7.05 软件进

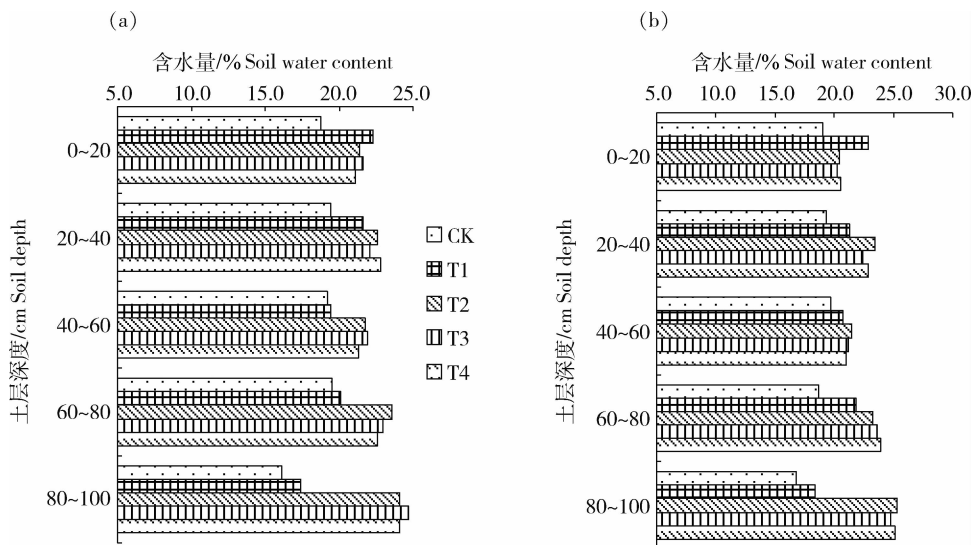
行分析作图。

2 试验结果与分析

2.1 土壤含水量

2.1.1 播种后土壤含水量

播种后土壤含水量测定结果显示(图 1),CK 不同土层含水量最低,T1 不同土层含水量均高于对照,而与 3 个土壤耕层重构处理相比,T1 表现出 0~20 cm 土层含水量高而 20 cm 以下含水量低的特点,2015 与 2016 年规律性一致。这一结果表明,耕层重构由于打破犁底层,显著增加下层土壤蓄水能力,而旋耕处理水分下渗受阻,大量积聚在土壤表层。



CK, 旋耕, 常量底墒水; T1, 旋耕, 高量底墒水; T2, 耕层重构, 高量底墒水; T3, 耕层重构, 高量底墒水, 花铃期超量灌水模拟涝灾; T4, 耕层重构, 高量底墒水, 中后期不再灌水。下同。

CK, Rotary tillage with conventional irrigation amount before sowing; T1, Rotary tillage with high irrigation amount; T2, Restructuring tilth layer with high irrigation amount; T3, Restructuring tilth layer with high irrigation amount, excess irrigation amount in boll stage simulating waterlogging; T4, Restructuring tilth layer with high irrigation amount, no irrigation in cotton growing period. The same below.

图1 2015(a)和2016(b)年棉花播种后不同土层土壤含水量

Fig. 1 Soil water content in different layers after sowing in 2015 (a) and 2016 (b)

2.1.2 蕾期土壤含水量

棉花播种后至开花前属于旱季,降雨量少而蒸发量大,土壤水分含量持续下降。蕾期测定结果显示(图2),2年T1与CK不同土层含水量趋近,表明播前多灌的水量已因地表蒸发(包括少量植株蒸腾)而消耗;2015年3个土壤耕层重构处理在0~20、20~40和40~60 cm土层水分含量高于对照,而在60 cm以下土层与对照差异减小,2016年0~

100 cm土层含水量耕层重构处理均高于对照,这是由于2015年棉花生长前期属于旱年份,播种后降雨量明显少于2016年,在干旱较重的情况下,土壤耕层重构处理深层土壤蓄积的水分上移,使上层土壤保持较高的含水量,增加了棉花的抗旱能力;而在降雨较多的2016年,耕层重构处理深层土壤水分较播种后下降很少,仍然起到蓄积水分的作用。

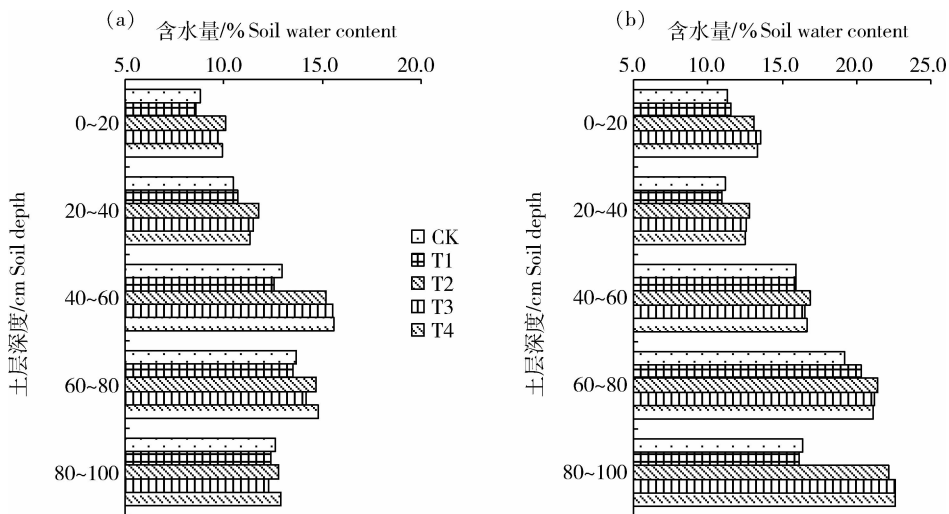


图2 2015(a)和2016(b)年棉花蕾期不同土层土壤含水量

Fig. 2 Soil water content in different layers in square stage in 2015 (a) and 2016 (b)

2.1.3 花铃期土壤含水量

2015 和 2016 年在花铃期均对 T3 超量灌水(相当于 180 mm 大暴雨)模拟涝灾,从土壤含水量结果(图 3)看,T3 处理不同土层含水量呈“上低下高”的趋势,在 40~60、60~80 和 80~100 cm 土层含水量

均明显高于 0~20 与 20~40 cm 土层,2 年趋势一致,表明在遇到大暴雨情况下土壤耕层重构处理水分可下渗蓄积在深层土壤中,一方面减轻由于涝渍可能形成的灾害,另一方面蓄积在深层土壤中的水分在遇到干旱时可上移供给棉花生长需求。

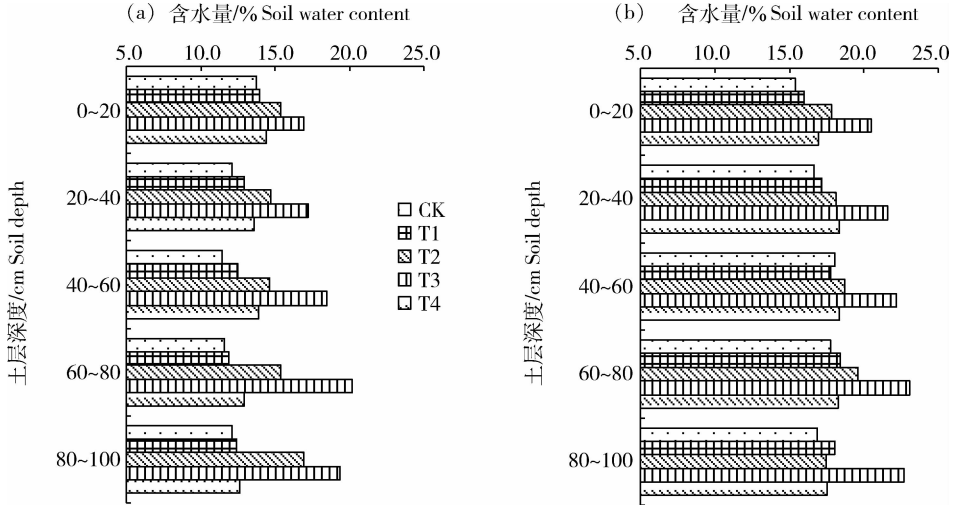


图 3 2015 年(a)和 2016 年(b)棉花花铃期不同土层土壤含水量

Fig. 3 Soil water content in different layers in boll stage in 2015(a) and 2016(b)

2.1.4 收获后土壤含水量

收获后土壤含水量 2015 年随土层深度增加而增加(图 4),其中 CK、T1 与 T4 在 0~60 cm 3 个土层内含水量差异不大,在 60~80 与 80~100 cm 土层 T4 低于 CK 与 T1, T2 处理各土层含水量低于 T3 而高于其他 3 个处理;2016 年由于收获期出现多次降雨,导致 0~20 cm 土层不同处理间差异不

大,但 40~100 cm 3 个土层含水量表现为 T3 最高,其次是 T2 与 T4,而 CK 与 T1 相差不大(图 4)。这一结果表明,土壤耕层重构对于深层土壤保蓄、调节水分效果明显,在 2015 年较为干旱的年份,T4 由于深层土壤水分上移供应棉花生长需求导致 60~100 cm 土层含水量降低,而在 2016 年生育期降雨偏多的条件下,40~100 cm 土层起到了蓄积水分的作用。

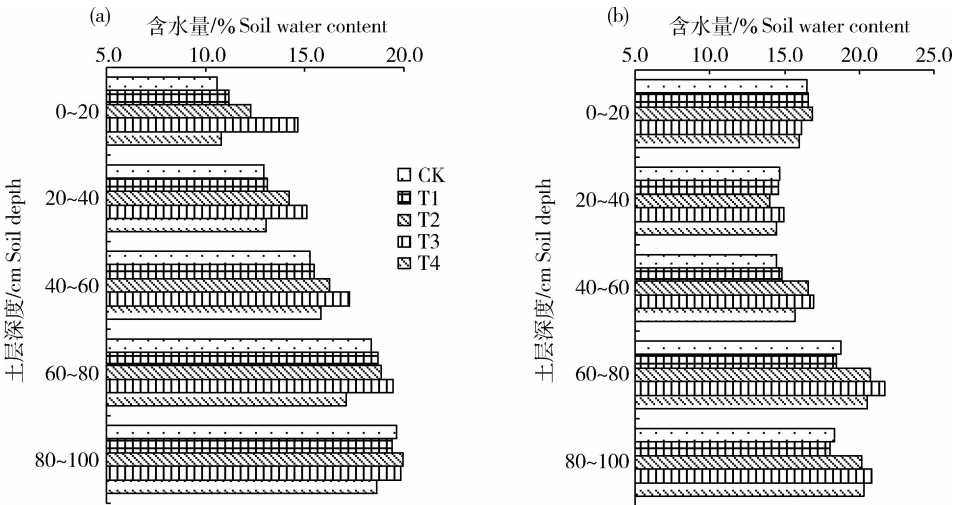


图 4 2015 年(a)和 2016 年(b)棉花收获期不同土层土壤含水量

Fig. 4 Soil water content in different layers in cotton harvest stage in 2015 (a) and 2016 (b)

2.2 不同处理棉花株高

6月15日株高结果显示(表3),2年均是T1高于CK,但差异不显著,而耕层重构3个处理株高显著降低,这可能是由于耕层重构后上层土壤养分、微生物活性降低,导致棉花前期生长偏慢;7月15日株高2015年以T2和T3最高,且显著高于其他3个处理,T4、T1与对照差异不显著,可见在干旱年份蕾期灌水条件下,土壤耕层重构处理(T2与T3)棉花长势明显好于旋耕处理,而蕾期不灌水耕层重构(T4)长势与蕾期灌水旋耕处理相差不大,表明其抗旱效果明显;8月15日株高结果与

7月15日相似,尽管处理T3超量灌水1次,但其株高与T2相差不大,未出现徒长现象,表明耕层重构耐涝能力提高;2016年7月15日株高T2、T3和T4之间差异不显著,对照株高最低,在蕾期均未灌水的条件下,耕层重构处理棉花长势明显好于旋耕处理,而旋耕高灌水量处理棉花长势好于常规灌水量,表明土壤水分供应状况对棉花长势影响较大;8月15日则以T3株高最高,且显著高于其他处理,由于T3超量灌水1次,且2016年花铃期降雨偏多,导致其长势偏旺,而T2与T4长势则相对稳健。

表3 2015和2016年不同处理棉花株高

Table 3 Plant height for different treatments in 2015 and 2016 cm

年份 Year	日期 Date	处理 Treatment				
		CK	T1	T2	T3	T4
2015	06-15	38.4 a	39.3 a	35.5 b	35.4 b	36.4 b
	07-15	83.0 b	86.8 b	100.5 a	101.4 a	84.6 b
	08-15	85.8 b	88.3 b	107.8 a	109.5 a	86.9 b
2016	06-15	31.2 a	31.5 a	28.5 b	28.3 b	27.1 b
	07-15	77.7 c	84.0 b	95.9 a	96.2 a	97.7 a
	08-15	82.9 c	85.5 c	104.3 b	111.4 a	105.0 b

注:同行数据后英文字母不同,表示在5%水平上差异显著。

Note: Values followed by the different small letters within a row are significant difference at the 0.05 level.

2.3 不同处理棉花“三桃”数量

“三桃”比例基本能够反映出棉花经济产量在时间进程上的分配关系^[9]。从表4中可以看出,2015年伏前桃数量CK和T1分别为3.8和3.6个,显著高于其他3个处理,耕层重构处理棉花前期长势偏弱的特点在生殖生长中进一步体现;而T1伏前桃数量低于CK,伏桃数高于常量底墒水处理,表明在干旱条件下高量底墒水有助于缓解前期棉花的受旱程度,而常量底墒水处理由于前期受旱,导致伏前桃数量增加而伏桃数量降低,这与李少昆等^[10]研究认为干旱具有明显抑制营养器官生长,促进同化物向生殖器官运输,使棉株过早地向生殖生长为中心转移相吻合。

2015年耕层重构T4伏前桃数量略低于灌水处理,但差异不显著;耕层重构T4伏桃数最高,秋桃数与旋耕处理持平,在干旱年份表现出了优质成铃比

例高的优势,而T3伏桃数略低而秋桃数最高,表明在干旱年份充足的水分供应条件下,后期长势强劲。

2016年“三桃”数量规律性与2015年基本一致,但2016年伏桃比例低而秋桃比例高,这是由于2016年中期降雨次数多且降雨量大导致棉花中部蕾铃脱落率高而形成的;T2与T4秋桃数量显著高于CK和T1,后发优势明显,T3由于土壤水分含量一直处于较高状态,长势偏旺,导致伏桃数量显著低于其他处理。

2.4 不同处理棉花干物质积累

根据2年试验结果(表5),苗期与蕾期地上部干物质积累T1高于CK,其中2015和2016年蕾期T1较CK分别高1.7和0.2g,花铃期2015年T1较CK高6.2g,差异达显著水平,2016年2处理间差异不显著;耕层重构3个处理(T2、T3和T4)干物质积累在苗期与蕾期均显著低于CK,2015年花

铃期 T4 处理干物质质量显著低于 T2 与 T3, 收获期 T3>T2>T4, 差异均达显著水平; 2016 年花铃期 3 个耕层重构处理间干物质积累差异均不显著。由此可见, 旋耕条件下增加底墒灌水量在干旱年份对棉花前期生长具有一定的促进作用, 而在多雨年份

则影响不大, 而土壤耕层重构后水分可以蓄积在中下层, 在干旱年份蕾期不灌水的条件下棉花生长仍好于常规旋耕处理, 而在 2016 年由于水分为非限制性因子, 耕层重构 3 个处理间棉花干物质积累无显著差异。

表 4 2015 和 2016 年不同处理棉花“三桃”数量

Table 4 Number of three bolls for different treatments in 2015 and 2016

年份 Year	处理 Treatment	伏前桃 Pre-summer boll	伏桃 Summer boll	秋桃 Autumn boll
2015	CK	3.8 a	7.9 c	1.3 c
	T1	3.6 a	8.6 ab	1.4 c
	T2	3.3 b	8.9 a	3.0 b
	T3	3.3 b	8.2 bc	4.1 a
	T4	3.1 b	9.3 a	1.7 c
2016	CK	3.1 a	6.1 a	2.8 b
	T1	3.2 a	6.2 a	2.9 b
	T2	2.6 b	5.9 a	4.0 a
	T3	2.7 b	5.5 b	4.2 a
	T4	2.6 b	6.2 a	4.1 a

注: 表中同列数据后英文字母不同, 表示在 5% 水平上差异显著。下表同。

Note: Values followed by the different small letters within a column are significant difference at the 0.05 level. The same below.

表 5 2015 和 2016 年不同处理棉花地上部干物质积累

Table 5 Dry matter accumulation above ground of different treatments in 2015 and 2016 g

年份 Year	处理 Treatment	苗期 Seedling stage	蕾期 Square stage	花铃期 Boll stage	吐絮期 Boll open stage
2015	CK	1.0 a	10.4 a	108.2 d	168.2 d
	T1	1.1 a	12.1 a	114.4 c	171.7 d
	T2	0.7 b	8.3 b	135.9 a	199.6 b
	T3	0.7 b	9.0 b	131.3 a	217.5 a
	T4	0.7 b	8.8 b	125.7 b	188.7 c
2016	CK	1.2 a	13.9 a	126.8 b	182.3 b
	T1	1.3 a	14.1 a	123.5 b	186.4 b
	T2	0.8 b	10.4 b	142.4 a	209.5 a
	T3	0.9 b	10.1 b	146.8 a	211.3 a
	T4	0.9 b	10.3 b	149.3 a	205.7 a

2.5 产量与产量构成

由表6结果可知,2015年T1处理单株铃数、单铃重、籽棉产量与皮棉产量较对照分别增加4.6%、

1.9%、8.4%和8.9%,2016年则分别是2.5%、2.0%、2.8%和1.7%,2016年增产幅度明显低于2015年。

表6 2015和2016年不同处理棉花产量及产量构成

Table 6 Yield components and yields for different treatments

年份 Year	处理 Treatment	单株铃数 Boll per plant	单铃重/g Boll weight	衣分/% Lint percentage	籽棉产量/ (kg/hm ²) Seed cotton yield	皮棉产量/ (kg/hm ²) Lint yield
2015	CK	13.0 c	5.3 b	41.0 a	3 628 c	1 487 c
	T1	13.6 bc	5.4 b	41.2 a	3 931 bc	1 620 b
	T2	15.2 a	5.7 a	40.3 a	4 607 a	1 857 a
	T3	15.6 a	5.7 a	39.0 a	4 744 a	1 850 a
	T4	14.1 b	5.5 ab	40.3 a	4 159 b	1 676 b
2016	CK	12.0 c	5.0 a	39.8 a	3 208 b	1 277 b
	T1	12.3 bc	5.1 a	39.4 a	3 297 b	1 299 ab
	T2	12.5 ab	5.2 a	38.9 a	3 488 a	1 357 a
	T3	12.4 bc	5.2 a	38.3 a	3 443 a	1 319 a
	T4	12.9 a	5.2 a	39.3 a	3 531 a	1 388 a

2015年T2与T3籽棉产量分别较对照提高30.8%与27.0%,主要原因是单株铃数与单铃重显著提高,T4籽棉产量增幅也达到14.6%;衣分不同处理间则差异不显著。2016年耕层重构3个处理间(T2、T3和T4)籽棉产量与皮棉产量差异均不显著,但较对照分别增加8.7%、7.3%和10.1%,产量的增加主要来源于单株铃数的提高,单铃重与衣分间差异不显著。

由此可见,旋耕增加底墒灌水量在干旱年份有一定的增产作用,但增产幅度显著低于耕层重构,而在多雨年份未表现出增产效果;T4在不同降雨年份均表现出显著的增产效果,耕层重构在干旱年份补充1次灌水的T2具有大幅增产作用,T3多雨年份产量与耕层重构其他2个处理差异不大,表现处理较强的耐涝能力。

3 讨论

棉田长期采用旋耕技术导致犁底层变厚变浅,土壤渗水能力下降,即便增加底墒灌水量,水分也多蓄集在上层土壤中,而棉花苗期植株水分需求量小,大量水分通过地表蒸发而浪费,因此对棉花产量难

以起到决定作用,本试验中在2015年干旱年份,高量底墒水处理对棉花前期的生长有一定的促进作用,棉花产量也有所提高,但增产幅度明显低于耕层重构处理,2016年多雨年份则未表现出增产效果。

传统深翻(松)技术能够提高土壤贮蓄降水的的能力^[11-12],减少地表蒸发^[13],提高水分利用效率^[14-15],但其深翻(松)深度一般在25~35 cm,对土壤深层(40 cm以下)蓄水能力的影响较小,且在小麦、玉米上研究较多。本试验针对土壤耕层重构下不同灌水制度的的研究结果表明,耕层重构后大幅度提升了土壤蓄水保墒能力,灌水(或遇雨)后水分可以迅速下渗到中下层土壤蓄积起来,即便遇到强降雨(本试验中采用花铃期超量灌水模拟强降雨),由于下层土壤蓄水能力大幅提升,也不致形成涝灾,当遇到干旱胁迫时,深层土壤水分上移,供给棉花生长需求。因此,土壤耕层重构提高了土壤水分缓冲的能力。

棉花属于较耐旱的大田作物,但水分仍对棉花生育性状及产量有重要影响^[16-18]。本试验中2015年属于重度干旱年份,土壤耕层重构蓄水保墒能力得到充分体现,表现出了突出的增产效果;土壤耕层重构条件下棉花生育期不灌水处理较旋耕高量底墒

水处理在伏桃数、地上部干物质积累、产量等方面具有明显的促进作用,主要原因是其中下层蓄积的水分可在蕾期干旱较重时上移供给棉花生长需求,推迟了干旱胁迫的发生时间,进入7月份后随着雨季来临,干旱胁迫随之解除,棉花进入快速生长期,这也是其伏桃数明显偏高的原因;在重度干旱年份,土壤水分是棉花产量的主要影响因素,土壤耕层重构条件下蕾期加灌一水表现出了极显著的增产效果。2016年属于多雨年份,水分对棉花产量的影响减小,也导致土壤耕层重构对棉花生育性状及产量的影响降低,棉花增产幅度明显减小,而土壤耕层重构后中后期不再灌水处理表现出较好的增产效果;耕层重构耐涝效果在本试验中也得到了体现,尤其是在2016年多雨年型花铃期超量灌水处理并未形成涝灾,棉花产量与其他耕层重构处理差异不显著。

4 结 论

土壤耕层重构是提高棉田蓄水保墒能力的有效耕作措施,具有抗旱耐涝功能,可在减少1次蕾期灌水的情况下实现节水增产,在重度干旱年型蕾期追灌一水具有更加突出的增产效果。

参考文献 References

[1] 杨雪,逢焕成,李轶冰,任天志,董国豪,郭智慧,王湘峻.深旋松耕作法对华北缺水土壤壤质黏土物理性状及作物生长的影响[J].中国农业科学,2013,46(16):3401-3412
Yang X, Pang H C, Li Y B, Ren T Z, Dong G H, Guo Z H, Wang X J. Effects of deep rotary sub-soiling tillage on the physical properties and crop growth of the sticky loamy soil in North China[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2013, 46(16): 3401-3412 (in Chinese)

[2] 吴玉红,田霄鸿,池文博,南雄雄,闫小丽,朱瑞祥,同延安.机械化保护性耕作条件下土壤质量的数值化评价[J].应用生态学报,2010,21(6):1468-1476
Wu H Y, Tian X H, Chi W B, Nan X X, Yan X L, Zhu R X, Tong Y A. Numerical evaluation of soil quality under different conservation tillage patterns[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2010, 21(6): 1468-1476 (in Chinese)

[3] 郑丽萍,徐海芳.犁底层土壤入渗参数的空间变异性[J].地下水,2006,28(5):55-56
Zheng L P, Xu H F. Spatial variability of the bottom of ploughed stratum[J]. *Ground Water*, 2006, 28(5): 55-56 (in Chinese)

[4] 冯跃华,邹应斌, Roland J Buresh, 许桂玲, 敖和军, 王淑红. 免耕直播对一季晚稻田土壤特性和杂交水稻生长及产量形成的

影响[J]. 作物学报, 2006, 32(11): 1728-1736
Feng Y H, Zou Y B, Roland J Buresh, Xu G L, Ao H J, Wang S H. Effects of no-tillage and direct broadcasting on soil physical and chemical properties and growth and yield formation in hybrid rice[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2006, 32(11): 1728-1736 (in Chinese)

[5] 李亚兵, 毛树春, 王香河, 韩迎春, 刘伟, 王国平, 范正义. 棉花早衰程度诊断数码图像数字化指标的研究[J]. 棉花学报, 2006, 18(3): 2006, 18(3): 160-163
Li Y B, Mao S C, Wang X H, Han Y C, Liu W, Wang G P, Fan Z Y. Study on the parameters of digital images of diagnosis on cotton premature senescence grade[J]. *Cotton Science*, 2006, 18(3): 160-163 (in Chinese)

[6] 张海娜, 张香云, 李俊兰, 崔淑芳, 金卫平, 王广恩. 棉花早衰相关研究进展[J]. 棉花学报, 2010, 22(3): 279-284
Zhang H N, Zhang X Y, Li J L, Cui S F, Jin W P, Wang G E. Research progress of premature senescence in cotton [J]. *Cotton Science*, 2010, 22(3): 279-284 (in Chinese)

[7] 代建龙, 董合忠, 李维江, 唐薇. 棉花早衰的表现及其机理[J]. 中国农学通报, 2008, 24(3): 210-214
Dai J L, Dong H Z, Li W J, Tang W. Performance and mechanisms of premature senescence in cotton [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2008, 24(3): 210-214 (in Chinese)

[8] 劳家桢. 土壤农化分析手册[M]. 北京: 农业出版社, 1988: 123-133
Lao J C. *Manual of soil agro-chemical analysis* [M]. Beijing: Agriculture Press, 1988 (in Chinese)

[9] 王树林, 祁虹, 张谦, 王志忠, 林永增, 李智峰, 周永萍. 不同熟性棉花品种在冀南棉区的适应性分析[J]. 河北农业科学, 2011, 15(5): 9-10, 64
Wang S L, Qi H, Zhang Q, Wang Z Z, Lin Y Z, Zhou Y P. Adaptability of different maturity cotton varieties in South Hebei province[J]. *Journal of Hebei Agricultural Sciences*, 2011, 15(5): 9-10, 64 (in Chinese)

[10] 李少昆, 陈天茹, 肖璐, 黄文华, 左文平, 张旺峰, 汪朝阳. 不同时期干旱胁迫对棉花生长和产量的影响 I. 棉花受旱减产原因分析[J]. 石河子大学学报: 自然科学版, 1999, 3(3): 178-182
Li S K, Chen T R, Xiao L, Huang W H, Zuo W P, Zhang W F, Wang C Y. Effect of drought stress on growth and lint yield of cotton at different growing stages I. The causes analysis of cotton yield reducing under drought stress [J]. *Journal of Shihezi University: Natural Science*, 1999, 3(3): 178-182 (in Chinese)

[11] 吕军杰, 姚宇卿, 王育红, 王海洋, 张宪初. 不同耕作方式对坡耕地土壤水分及水分生产效率的影响[J]. 土壤通报, 2003, 34(1): 74-76
Lv J J, Yao Y Q, Wang Y H, Wang H Y, Zhang X C. Effects of soil tillages on soil moisture in slop land[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2003, 34(1): 74-76 (in Chinese)

[12] 邓妍, 高志强, 孙敏, 赵维峰, 赵红梅, 李青. 夏闲期深翻覆盖对

- 旱地麦田土壤水分及产量的影响[J]. 应用生态学报, 2014, 25(1):132-138
- Deng Y, Gao Z Q, Sun M, Zhao W F, Zhao H M, Li Q. Effects of deep plowing and mulch in fallow period on soil water and yield of wheat in dryland[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2014, 25(1):132-138 (in Chinese)
- [13] 王小彬, 蔡典雄, 金轲, 吴会军, 白占国, 张灿军, 姚宇卿, 吕军杰, 王育红, 杨波, Roger Hartmann, Donald Gabriels. 旱地麦田夏闲期耕作措施对土壤水分有效性的影响[J]. 中国农业科学, 2003, 36(9):1044-1049
- Wang X B, Cai D X, Jin K, Wu H J, Bai Z G, Zhang C J, Yao Y Q, Lv J J, Wang Y H, Yang B, Roger H, Donald G. Water availability for winter wheat affected by summer fallow tillage practices in sloping dryland[J]. *Scientia Agricultural Sinica*, 2003, 36(9):1044-1049 (in Chinese)
- [14] 韩秀峰, 梁继业, 闫海, 陈加利, 陈伊里. 大垄深翻耕作对土壤水温条件的影响[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(23):10063-10065
- Han X F, Liang J Y, Yan H, Chen J L, Chen Y L. Effects of big ridge subsoiling cultivation on condition of moisture and temperature in soil [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2008, 36(23):10063-10065 (in Chinese)
- [15] 尹宝重, 张永升, 甄文超. 海河低平原渠灌区麦田深松的节水增产效应研究[J]. 中国农业科学, 2015, 48(7):1311-1320
- Yin B Z, Zhang Y S, Zhen W C. Effects of sub-soiling tillage on wheat field water-saving and yield-increasing in canal irrigation district of haihe lowland plain [J]. *Scientia Agricultural Sinica*, 2015, 48(7):1311-1320 (in Chinese)
- [16] 胡晓棠, 陈虎, 王静, 蒙晓斌, 陈福宏. 不同土壤湿度对膜下滴灌棉花根系生长和分布的影响[J]. 中国农业科学, 2009, 42(5):1682-1689
- Hu X T, Chen H, Wang J, Meng X B, Chen F H. Effects of soil water content on cotton root growth and distribution under mulched drip irrigation [J]. *Scientia Agricultural Sinica*, 2009, 42(5):1682-1689 (in Chinese)
- [17] 张宏芝, 罗宏海, 张亚黎, 张旺锋. 不同土壤水分条件下棉花库源比变化对产量形成的调节效应[J]. 棉花学报, 2013, 25(2):169-177
- Zhang H Z, Luo H H, Zhang Y L, Zhang W F. Regulation effects of sink source ratio on yield formation of cotton under different soil moisture contents with under-mulch-drip irrigation [J]. *Cotton Science*, 2013, 25(2):169-177 (in Chinese)
- [18] 张建华, 李迎春. 水分影响棉花发育进程的初步研究[J]. 干旱区资源与研究, 1997, 11(4):62-67
- Zhang J H, Li Y C. Study of water impact on cotton development stage[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 1997, 11(4):62-67 (in Chinese)

责任编辑: 吕晓梅