



# 深松耕作对新疆绿洲棉田土壤特性及产量形成的影响

郭仁松,王 亮,崔建平,林 涛,郑子漂,玛依拉·玉素音,田立文

(新疆农业科学院 经济作物研究所/农业部荒漠绿洲作物生理生态与耕作重点实验室,乌鲁木齐 830091)

**摘 要** 为探讨深松耕作对新疆绿洲棉田土壤特性及产量形成的影响,在秸秆还田和常规翻耕条件下,以不深松棉田为对照(SST0),设置深松 30 cm(SST1)、40 cm(SST2)、50 cm(SST3)处理,研究不同深松深度下棉花关键生育期土壤指标变化及其产量形成特征。结果表明:深松能降低棉花生育期土壤体积质量、土壤紧实度,增加土壤含水率,同时使耕层土壤含盐量减小。与 SST0 相比,SST1、SST2、SST3 处理 0~60 cm 土层平均土壤体积质量降低 0.84%、3.94%、4.78%,土壤紧实度降低 1.84%、9.49%、16.57%。蕾期、花铃期 0~30 cm 土层土壤含水率以 SST2 最高,较 SST0 增加 31.00%、64.50%,而土壤含盐量变化则与之相反,以 SST2 最低,较 SST0 下降 11.10%、19.10%。深松显著促进了棉花中后期干物质积累,深松深度为 40 cm 时,干物质最大积累速率  $V_m$  和生长特征值 GT 达到峰值,SST1、SST2、SST3 产量较 SST0 提高 0.26%、18.20%、2.45%。综上所述,深松 40 cm 时效果较好,对新疆棉田土壤特性改善和产量提高有积极作用。

**关键词** 深松;土壤特性;产量;棉花

**中图分类号** S562;S222.29

**文献标志码** A

**文章编号** 1004-1389(2021)12-1804-08

棉花是新疆主要经济作物,种植区域集中、面积大,且作物种类单一,轮作倒茬困难,棉田连作现象严重<sup>[1]</sup>。长期连作可使棉田土壤质量下降,土壤结构变劣,易形成坚硬的犁底层,阻碍土壤水、气、热交换运输,从而抑制棉花产量提高<sup>[2-3]</sup>。深松能破除犁底层,疏松耕层以下深层土壤,且不翻转土层,在浅翻耕、旋耕及免耕区域的农田上应用广泛<sup>[4-5]</sup>。张丽等<sup>[6]</sup>研究表明,深松+秸秆还田能有效打破玉米田传统犁底层,使 10~30 cm 土壤体积质量显著降低 11.5%,土壤紧实度也较对照下降。李俊红等<sup>[7]</sup>研究发现双深松覆盖可提高土壤含水率和水分利用效率,作物干物质积累量增加,产量提高。刘卫玲等<sup>[8]</sup>研究认为,秋翻耕+夏深松土壤含水率提高 11.3%,冬小麦干物质积累量增加 28.2%。前人研究表明:深松能加厚耕层,增加土壤蓄水能力,促进作物根系向深层次土壤生长,提高作物中后期对土壤水分和养分的利用效率,促进作物产量形成<sup>[9-11]</sup>。但传统深松深度范围多在 20~35 cm,而生产上棉田翻耕深度已达到 30 cm 左右,且犁底层深度在 28~45 cm。

因此,研究适宜新疆绿洲连作棉田深松耕作深度是亟需解决的问题。本研究以新疆绿洲连作棉田为研究对象,设置不同深松耕作深度处理,探讨深松耕作对土壤特性及棉花产量形成的影响,旨为新疆绿洲连作棉田土壤环境改善提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验概况

试验于 2017 年 11 月—2018 年 10 月在新疆农科院阿瓦提县棉花综合试验基地进行。试验所在地是温带大陆性气候,典型的干旱区绿洲灌溉农业,降水稀少,年均降水量 46.7 mm,年均蒸发量 1 890.7 mm,年均气温 10.4℃,无霜期 211 d。试验田 0~30 cm 土层为中壤土,30~40 cm 土层为重壤土,40~60 cm 土层为黏土,犁底层厚度 12 cm,棉花连作年限 20 a 以上,为典型的连作棉田。耕层土壤有机质 6.7 g/kg,全氮 0.41 g/kg,碱解氮 31.5 mg/kg,速效磷 19.2 mg/kg,速效钾 123 mg/kg,供试棉花品种为‘新陆中 88 号’。

**收稿日期:**2021-03-24 **修回日期:**2021-07-14

**基金项目:**国家自然科学基金(31860358);农业部荒漠绿洲作物生理生态与耕作重点实验室开放课题(25107020-201804);国家重点研发计划(2017YFD0101605);国家棉花产业技术体系项目(CARS-15-50)。

**第一作者:**郭仁松,男,副研究员,主要从事棉花栽培生理与耕作研究。E-mail:songgr08@163.com

**通信作者:**田立文,男,研究员,主要从事棉花高产栽培生理生态研究。E-mail:tianliwen@163.net

## 1.2 试验设计

试验采用单因素随机区组设计,在秸秆还田和常规翻耕条件下,以不深松棉田为对照(SST0),设置3个深松处理分别为30 cm(SST1)、40 cm(SST2)、50 cm(SST3),并在各处理的基础上将棉花秸秆全量粉碎还田,翌年播种前进行常规翻耕,即各处理分别为:SST0(秸秆还田+翻耕)、SST1(深松30 cm+秸秆还田+翻耕)、SST2(深松40 cm+秸秆还田+翻耕)、SST3(深松50 cm+秸秆还田+翻耕),共4个处理,3次重复,小区面积48.3 m<sup>2</sup>。深松在2017-11-25进行,采用弯刀式深松机(带有精准控制深度定位仪),深松后灌溉冬水。翻耕在2018-04-12统一进行,翻耕深度25 cm,各处理均翻耕前施基肥N:150 kg/hm<sup>2</sup>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:270 kg/hm<sup>2</sup>, K<sub>2</sub>O:75 kg/hm<sup>2</sup>。4月15日播种。棉花全生育期灌水总量为3 600 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>,随水追肥N:225 kg/hm<sup>2</sup>。采用2.05 m宽膜覆盖,1膜6行,棉花行距配置为:10 cm+66 cm,株距为11 cm,其他管理措施同大田。

## 1.3 测定指标及方法

1.3.1 土壤指标 在棉花生长关键期蕾期(6月15日)、花铃期(7月25日)、吐絮期(9月5日)取0~60 cm土层土样,每10 cm为一土层,取样1个,重复3次。采用环刀法测定土壤体积质量,烘干法测定土壤含水率,土壤电导率法测定土壤含盐量。利用SC-900土壤紧实度仪测定不同生育时期土壤紧实度。

1.3.2 干物质和产量 在棉花生长不同生育时期,取长势均匀的具有代表性植株6株,利用烘箱

120 ℃杀青30 min,调至80 ℃烘干至恒量,称量,全生育期取样6次,并用logistic方程模拟分析。棉花成熟吐絮后,每处理取吐絮棉铃50个,进行室内拷种,测定单铃质量、衣分,实数小区收获株数,实收小区产量记产。

## 1.4 数据处理

采用Microsoft Excel 2010、Suffer 8.0和DPS 7.05对试验数据进行统计分析和作图,不同深松处理之间差异显著性采用新复极差法,显著水平 $P<0.05$ 。

## 2 结果与分析

### 2.1 深松耕作对新疆绿洲棉田土壤体积质量的影响

由图1可知,蕾期0~60 cm土层深度内,各处理土壤体积质量随深度变化呈先增大后减小的趋势,不深松处理(SST0)土壤体积质量均明显高于其他深松处理,0~30 cm土层深度内,不同处理间土壤体积质量变化表现为SST2<SST3<SST1<SST0,30~60 cm土层,SST3处理土壤体积质量最小,SST2处理次之;进入花铃期后,各处理土壤体积质量有所增大,但处理间变化规律不同,整个土层深度内,土壤体积质量为SST2<SST3<SST1<SST0,不同的是30 cm土层以下,SST2和SST3处理土壤体积质量呈减小趋势,而SST1和SST0处理明显高于其他两个处理。吐絮期,0~30 cm土层各处理土壤体积质量变化规律同蕾期至花铃期变化趋势基本一致,在深层土体内,仅SST3处理土壤体积质量显著减小,而其他3个处理均呈增大变化趋势。从整

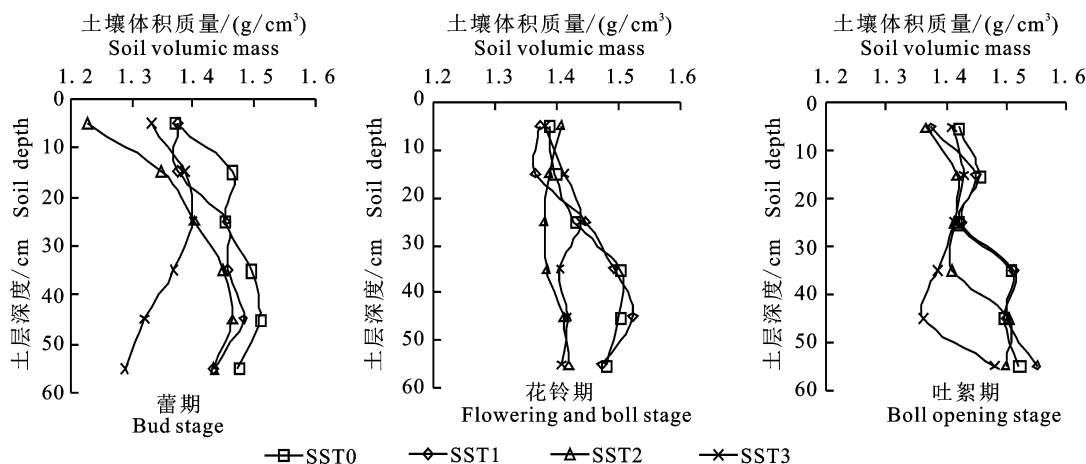


图1 深松耕作棉花不同生育期土壤体积质量

Fig. 1 Soil volumic mass at different growth stages of cotton under treatment of subsoiling

个生育期来看,0~60 cm 土层内,均以 SST0 处理土壤体积质量最大,且 0~30 cm 土层则以 SST2 处理土壤体积质量最小。与 SST0 相比,SST1、SST2、SST3 处理 0~60 cm 土层平均土壤体积质量降低 0.84%、3.94%、4.78%。由此说明,深松改变了棉田土壤结构,易创造深厚疏松的耕层土壤环境,随深松深度增加,土壤体积质量逐渐减小,并以 SST2 处理效果最好。

## 2.2 深松耕作对新疆绿洲棉田土壤紧实度的影响

新疆棉田经过长期连作存在坚硬的犁底层,犁底层土壤紧实度较高,阻碍棉花根系下扎和水分、养分运输。由图 2 可知,各处理土壤紧实度在不同生育期差异明显,蕾期 0~20 cm 土层土壤紧实度表现为 SST2>SST1>SST3>SST0,土层深度达到 30 cm 左右时,SST0 处理土壤紧实度

达到最大值,表现为 SST0>SST1>SST2>SST3,分别高 27.97%、54.88%、61.45%。花铃期 0~20 cm 土层以 SST0 土壤紧实度最高,且在 10~20 cm SST0 与其他处理差异显著,30 cm 以下土层与蕾期表现基本一致,但各处理间差异减小,SST0、SST1 土壤紧实度高于 SST2、SST3。吐絮期各处理土壤紧实度差异进一步减小,0~20 cm 平均值表现为 SST1>SST3>SST2>SST0,30 cm 以下土层表现为 SST0>SST1>SST2>SST3,分别高 9.20%、21.73%、36.52%。与 SST0 相比,SST1、SST2、SST3 处理 0~60 cm 土壤紧实度降低 1.84%、9.49%、16.57%。由此说明,深松处理对耕层土壤紧实度有一定影响,但规律性不明显,而耕层以下深层次土壤紧实度则随深松深度增加呈下降趋势。

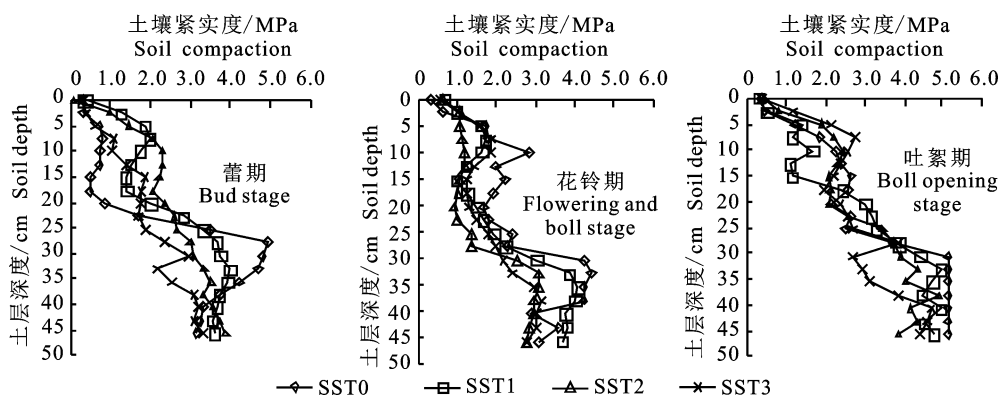


图 2 深松耕作棉花不同生育期土壤紧实度

Fig. 2 Soil compaction at different growth stages of cotton under treatment of subsoiling

## 2.3 深松耕作对新疆绿洲棉田土壤含盐量的影响

新疆棉田普遍存在次生盐碱化问题,棉田土壤含盐量的变化对棉花生长产生重要影响。如图 3 所示,蕾期至花铃期各处理土壤盐分含量变化规律基本一致,在 0~30 cm 土层,各处理土壤盐分含量变化规律表现为 SST2<SST3<SST1<SST0 处理,SST0 处理盐分浓度峰值出现在 20~30 cm 土层,而 30~60 cm 土层内,土壤盐分含量变化规律则表现为 SST0<SST1<SST2<SST3 处理,且 SST0 处理显著低于其他处理,随土层深度增加,深松处理土壤盐分浓度逐渐增大,土壤盐分被淋洗至深层土壤,且随深松深度增加,深层土壤盐分增大,这主要是由于不深松处理土壤紧实度大,盐分未能随水向深层淋洗,而深松处理打破了土壤犁底层,增大了土壤通透性,易于盐分随水向下移动,脱盐效果较好。至吐絮期,各处理土壤

含盐量明显增大,上层土体内土壤含盐量高于下层土壤含盐量,以 SST3 处理土壤含盐量较大,而深层土壤内则呈相反的变化规律,这可能是由于生育末期形成返盐的作用,且深松深度愈大返盐越强烈。综上表明,增加深松深度,可使土壤透性增大,有利于耕作层脱盐,且 SST2 处理可维持更低的安全盐分土壤环境。

## 2.4 深松耕作对新疆绿洲棉田土壤含水率的影响

由图 4 可知,棉花蕾期,在 0~30 cm 土层内,以 SST2 处理土壤含水率最高,SST0 处理土壤含水率最低,30 cm 土层以下,SST0 处理土壤含水率明显增大,其他处理土壤水分含量波动较大,这可能是由于深松打破土壤犁底层,深层土壤水分向上移动造成,而不深松处理由于犁底层的存在,下层土壤水分向上移动受阻,故含水量增加。进入花铃期,0~60 cm 土层,各处理间土壤水分含量变化差异更明显,且不同处理变化规律与蕾期

一致,30 cm 土层以上,处理间土壤含水率呈  $SST2 > SST3 > SST1 > SST0$ 。到吐絮期,各处理表层土壤含水率显著降低,随土层深度增加,土壤含水率逐渐增大,且仍以  $SST2$  处理土壤含水率最大。苗期、花铃期 0~30 cm 土层土壤含水率以  $SST2$  最高,较  $SST0$  增加 31.00%、64.50%。分析表明,在 0~30 cm 土层,各生育时期  $SST2$  处理土壤含水率显著高于其他处理, $SST0$  处理最

低,在 30~60 cm 土层, $SST0$  处理土壤含水率明显增大,深松处理有利于蓄水保墒,可提高深层土壤的水分利用率,以  $SST2$  处理保水性能最好。

## 2.5 深松耕作对新疆绿洲棉田棉花干物质积累的影响

不同处理棉花各生育时期的干物质积累情况如图 5,深松对棉花干物质积累量的影响主要表现在盛花期之后,呈现  $SST2 > SST3 > SST1 >$

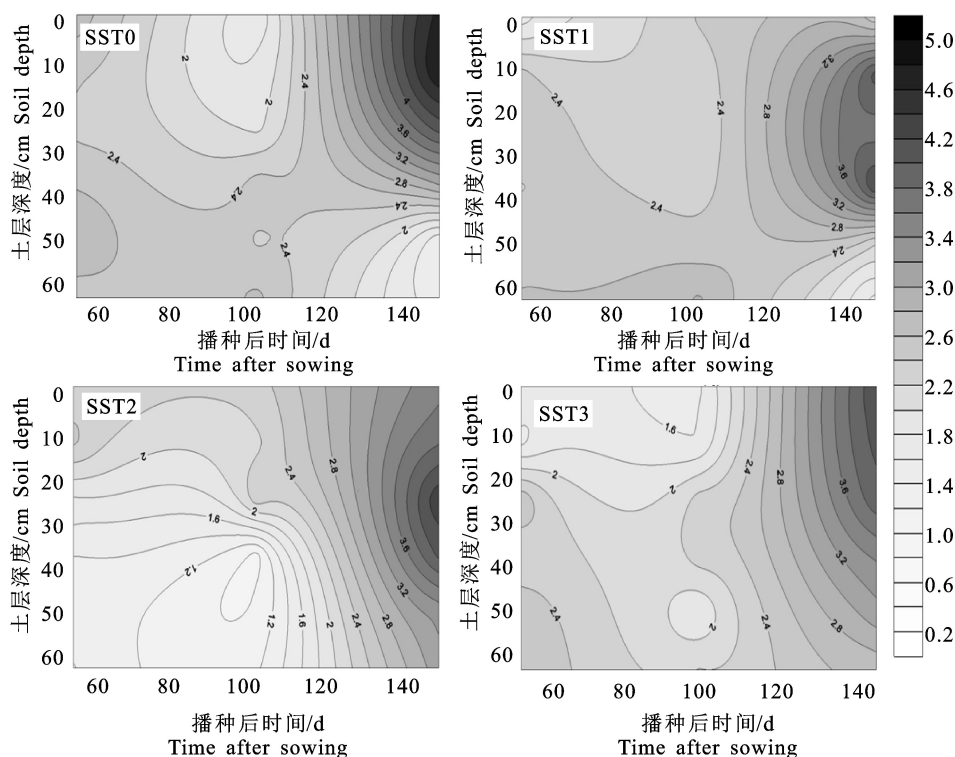


图 3 深松耕作棉花不同生育期土壤含盐量

Fig. 3 Soil salinity at different growth stages of cotton under treatment of subsoiling

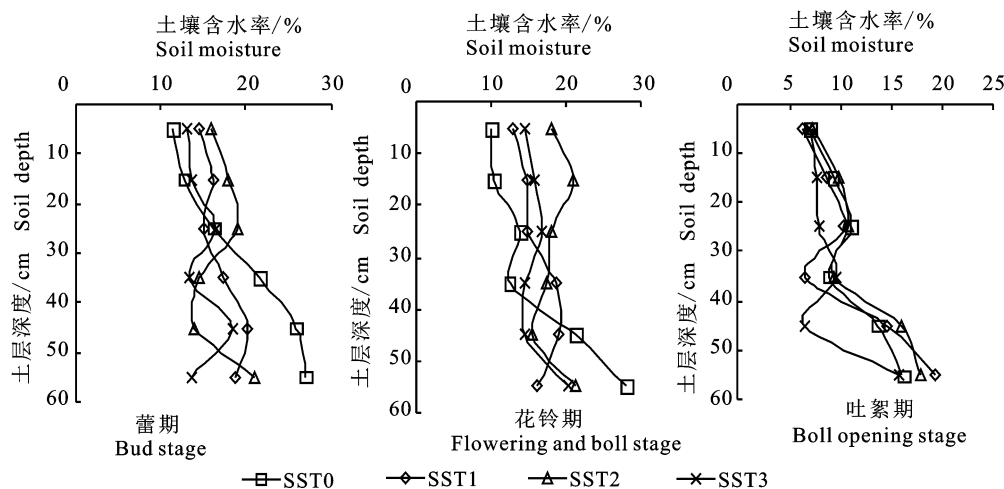


图 4 深松耕作棉花不同生育期土壤含水率

Fig. 4 Soil moisture at different growth stages of cotton under treatment of subsoiling

SST0,且各处理间差异显著( $P<0.05$ );SST2 处理干物质积累量显著高于其他处理,其他生育时期虽然各处理干物质积累量呈相同的变化规律,但差异不显著。表明适度深松有助于促进棉花单株干物质的形成,深松 40 cm 棉花各生育时期干物质积累量最高。

应用 Logistic 生长模型对各处理棉花的干物质积累过程进行拟合(表 1)。从棉花总干物质积累的动态变化来看,随深松深度的增加,单株干物质最大积累速率和生长特征值均呈现为先增大后

减小的变化趋势,当深松 40 cm 时,积累速率和生长特征值(GT)达到最大,不进行深松处理的最大积累速率最小。各处理干物质积累进入快速增长期的起始日差异不大,SST0 处理持续期最长,随着深松深度的增加,快速积累持续期明显缩短。最大积累速率( $V_m$ )则表现为  $SST2>SST3>SST1>SST0$ 。综上表明,深松有利于加快干物质的快速积累量,缩短积累期。

2.6 深松耕作对新疆绿洲棉田产量的影响

由表 2 可知,深松处理促进了棉花产量形成,

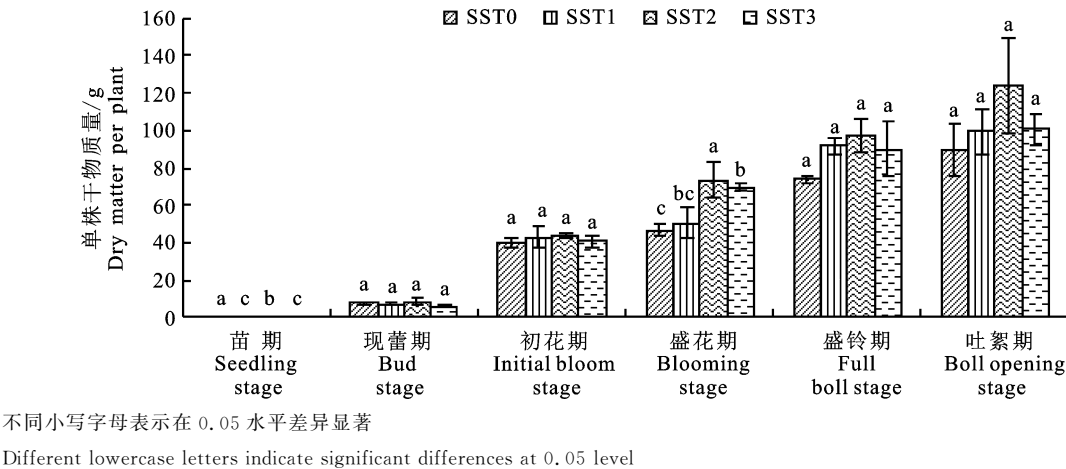


图 5 深松耕作棉花干物质积累

Fig. 5 Dry matter accumulation of cotton under treatment of subsoiling

表 1 棉花干物质积累的 Logistic 生长模型及相关参数

| 处理<br>Treatment | 模拟方程<br>Simulation equation             | $t_0$ /d | $t_1$ /d | $t_2$ /d | $\Delta t$ /d | $V_m$ /<br>(g/d) | GT    | $R^2$ |
|-----------------|-----------------------------------------|----------|----------|----------|---------------|------------------|-------|-------|
| SST0            | $y=94.7664/(1+e^{(3.7699-0.044050x)})$  | 86       | 56       | 115      | 60            | 1.04             | 62.40 | 0.962 |
| SST1            | $y=111.4546/(1+e^{(4.1273-0.056053x)})$ | 74       | 50       | 97       | 47            | 1.56             | 73.39 | 0.956 |
| SST2            | $y=132.0468/(1+e^{(4.2450-0.057901x)})$ | 73       | 51       | 96       | 45            | 1.91             | 86.95 | 0.985 |
| SST3            | $y=100.3495/(1+e^{(4.8845-0.076021x)})$ | 64       | 47       | 82       | 35            | 1.90             | 66.08 | 0.990 |

注:y. 干物质积累量;t. 出苗后时间; $V_m$ . 干物质积累最大速率; $t_0$ . 干物质积累达到最大速率的时间; $t_1$ . 干物质快速积累期起始时间; $t_2$ . 干物质快速积累期结束时间; $\Delta t$ . 快速积累期持续时间;GT. 最大干物质积累量的 65.8%; $R^2$ . 相关系数。

Note:y. Dry matter accumulation;t. Times after emergence; $V_m$ . Maximum rate of dry matter accumulation; $t_0$ . Times of maximum dry matter accumulation; $t_1$ . Starting time of dry matter rapid accumulation period; $t_2$ . End days of rapid dry matter accumulation period; $\Delta t$ . Duration of rapid accumulation period;GT. 65.8% of the maximum dry matter accumulation; $R^2$ . Correlation coefficient.

表 2 深松耕作棉花产量及产量因子

Table 2 Component factors and yield of cotton under treatment of subsoiling

| 处理<br>Treatment | 收获株数( $\times 10^4$ )<br>Number of<br>harvested plants | 单株结铃数<br>Boll number<br>per plant | 单铃质量/g<br>Boll mass | 衣分/%<br>Lint<br>percentage | 籽棉产量/<br>(kg/hm <sup>2</sup> )<br>Cotton yield | 皮棉产量/<br>(kg/hm <sup>2</sup> )<br>Lint yield |
|-----------------|--------------------------------------------------------|-----------------------------------|---------------------|----------------------------|------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| SST0            | 19.55 a                                                | 5.05 bc                           | 5.14 a              | 42.35 a                    | 5 074.59 b                                     | 2 149.09 b                                   |
| SST1            | 19.10 a                                                | 5.07 bc                           | 4.87 a              | 42.77 a                    | 5 088.03 b                                     | 2 176.15 b                                   |
| SST2            | 20.00 a                                                | 5.81 a                            | 5.16 a              | 43.66 a                    | 5 995.92 a                                     | 2 617.82 a                                   |
| SST3            | 19.10 a                                                | 5.51 ab                           | 4.94 a              | 41.98 a                    | 5 198.91 b                                     | 2 187.50 b                                   |

注:同列中不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。

Note:Different lowercase letters in the same column indicate significant differences at 0.05 level.

籽棉产量表现为  $SST2 > SST3 > SST1 > SST0$ , 分别较  $SST0$  高 18.20%、2.45%、0.26%。其中  $SST2$ 、 $SST3$  单株结铃数显著高于  $SST0$  ( $P < 0.05$ ),  $SST2$  单铃质量与衣分较  $SST0$  有所提高, 但差异不显著 ( $P > 0.05$ )。可见适当的深松可以提高棉田产量, 其中深松 40 cm 对提高棉花单株结铃数和产量的效果最显著。

### 3 讨论

#### 3.1 深松耕作对棉田土壤特性的影响

深松耕作措施可扰动深层次土壤, 且不翻转土层, 改善和调节土壤结构。新疆绿洲棉田种植区, 长期采用传统翻耕方式, 土壤粉质化加重, 土壤孔隙度减小, 土壤穿透阻力增加<sup>[12]</sup>。黄健等<sup>[13]</sup>研究表明随着土壤体积质量的增加, 土壤团粒结构逐渐丧失, 土壤结构紧密坚实, 土壤通透性能降低。Alamouti 等<sup>[14]</sup>发现与常规耕作相比, 深松可使 0~50 cm 土层深度土壤体积质量平均降低 0.14 g/cm<sup>3</sup>, 且在深度 32 cm 时对土壤体积质量影响最大。土壤紧实度与土壤体积质量呈正相关, 深松后耕层土壤孔隙度增加, 土壤紧实度较深松前下降 25.66%, 土壤通气状况改善<sup>[15]</sup>。本研究表明深松可显著降低新疆棉田土壤体积质量, 在 0~30 cm 土层土壤体积质量蕾期各处理差异明显, 以深松 40 cm 土壤体积质量最小。30~60 cm 土层土壤体积质量  $SST3$ 、 $SST2$  显著低于  $SST0$ 。0~60 cm 平均土壤紧实度表现为  $SST3 < SST2 < SST1 < SST0$ , 较  $SST0$  分别降低 16.57%、9.49%、1.84%。说明深松深度增加可有效疏松耕层以下土壤, 降低深层次土壤体积质量和土壤紧实度, 改善土壤结构。

深松可以改善土壤渗透性, 增加深层土壤蓄水量, 提高土壤水分利用率<sup>[16]</sup>。新疆棉田次生盐碱化问题突出, 盐分过高可通过渗透胁迫、离子毒害, 影响作物生长<sup>[17]</sup>。王新兵等<sup>[18]</sup>通过深松与浅旋耕作相比, 认为 0~20 cm 土壤含水率略降低, 20~50 cm 则显著增加 7.14%。秦都林<sup>[19]</sup>研究表明, 深松可降低蕾期和花铃期 0~40 cm 土壤含盐量。刘长江等<sup>[20]</sup>研究发现垄沟深松 40 cm 和中耕深松 30 cm 显著降低苏打盐碱化旱田有效耕层土壤含盐量。本研究表明深松 40 cm 显著提高蕾期、花铃期 0~30 cm 土层土壤含水率, 较对照增加 31.00%、64.50%, 30~60 cm 土层蕾期、花铃期土壤含水率则随深松深度增加而降低, 但

吐絮期以深松 40 cm 最高, 较对照增加 12.10%。蕾期、花铃期 0~30 cm 土壤含盐量以深松 40 cm 最低, 较对照下降 11.10%、19.10%, 吐絮期增加 4.30%。30~60 cm 土层土壤含盐量蕾期、花铃期以  $SST0$  最低, 深松处理间差异不明显, 吐絮期则  $SST0$  显著高于深松处理。可见, 深松 40 cm 使深层土壤水分向耕层运移, 保证棉花关键生育期土壤含水率维持在较高水平, 同时深松提高了冬灌水的压盐碱效果, 使棉花关键生育期耕层土壤含盐量维持较低水平, 利于棉花生长和产量形成。

#### 3.2 深松耕作对棉花产量形成的影响

深松增加了耕层深度, 促进根系对土壤水分与养分的吸收, 显著增加根系与地上部的干物质积累量<sup>[21]</sup>。秦都林<sup>[19]</sup>研究表明深松显著增加棉花花铃期干物质积累量, 进而使皮棉产量提高 16.10%, 产量增加主要是群体结铃数和铃质量增加 11.70% 和 7.30%, 对衣分无显著影响。本研究与前人研究结果基本一致, 深松 40 cm 时能显著促进棉花干物质积累量, 盛花期及以后干物质积累量显著高于其他处理, 深松 40 cm 使棉花干物质提早进入快速积累期, 同时最大速率 ( $V_m$ )、生长特征值 (GT) 显著高于  $SST0$ 。深松可显著提高籽棉产量, 深松 40 cm 时产量最高, 较对照增加 18.20%, 产量增加主要原因是单株结铃数提高, 较  $SST0$  增加 15.00%, 而单铃质量和衣分无显著差异。

### 4 结论

新疆绿洲棉田膜下滴灌条件下, 采用秋深松耕作方式, 可有效打破棉田长期耕作形成的犁底层, 疏松深层土壤, 增加耕层厚度, 降低棉花关键生长期土壤体积质量和土壤紧实度, 提高耕层土壤含水率, 使耕层土壤含盐量显著降低, 提高冬水的脱盐效果, 促进棉花花铃期干物质积累, 并最终提高棉花产量。现阶段新疆主产棉区长期连作模式的背景下, 采用深松 40 cm 打破犁底层, 改善土壤环境, 具有较好的增产效果和应用前景。

#### 参考文献 Reference:

- [1] 徐文修, 罗明, 李大平, 等. 不同连作年限棉田土壤理化性质及微生物区系变化规律研究[J]. 干旱地区农业研究, 2014, 32(3): 134-138.
- XU W X, LUO M, LI D P, *et al.* Changes in soil physico-chemical properties and microflorae under long-term cotton

- continuous cropping[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2014, 32(3):134-138.
- [2] 侯 慧,董 坤,杨智仙,等.连作障碍发生机理研究进展[J]. *土壤*, 2016, 48(6):1068-1076.  
HOU H, DONG K, YANG ZH X, *et al.* Advance in mechanism of continuous cropping obstacle [J]. *Soils*, 2016, 48(6):1068-1076.
- [3] 张俊丽, Sikander Khan Tanveer, 薛 菁, 等.耕作方式对旱作农田土壤水热特性及夏玉米产量的影响[J]. *西北农业学报*, 2017, 26(10):1446-1452.  
ZHANG J L, SIKANDER K T, XUE Q, *et al.* Effects of different tillage systems on soil temperature and moisture in dryland field and summer maize yield[J]. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2017, 26(10):1446-1452.
- [4] 李 霞, 汤明军, 张东兴, 等.深松对土壤特性及玉米产量的影响[J]. *农业工程学报*, 2014, 30(23):65-69.  
LI X, TANG M J, ZHANG D X, *et al.* Effects of sub-soiling on soil physical quality and corn yield[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2014, 30(23):65-69.
- [5] 黄 明, 李友军, 吴金芝, 等.深松覆盖对土壤性状及冬小麦产量的影响[J]. *河南科技大学学报(自然科学版)*, 2006, 27(2):74-77.  
HUANG M, LI Y J, WU J ZH, *et al.* Effects of subsoiling and mulch tillage on soil properties and grain yield of winter wheat[J]. *Journal of Henan University of Science and Technology: Natural Science*, 2006, 27(2):74-77.
- [6] 张 丽, 张中东, 郭正宇, 等.深松耕作和秸秆还田对农田土壤物理特性的影响[J]. *水土保持通报*, 2015, 35(1):102-117.  
ZHANG L, ZHANG ZH D, GUO ZH Y, *et al.* Effects of subsoiling tillage and straw returning to field on soil physical properties[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2015, 35(1):102-117.
- [7] 李俊红, 姚宇卿, 吕军杰, 等.双深松覆盖对丘陵旱区土壤水分和作物产量的影响[J]. *河南农业科学*, 2013, 42(11):17-20.  
LI J H, YAO Y Q, LÜ J J, *et al.* Effect of double-subsoiling cover on soil water and crop yield in hill arid area[J]. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 2013, 42(11):17-20.
- [8] 刘卫玲, 程思贤, 吴 健, 等.深松(耕)时期与方式对砂姜黑土耕层改良及其冬小麦物质积累和养分吸收的影响[J]. *河南农业大学学报*, 2020, 54(3):392-399, 429.  
LIU W L, CHENG S X, WU J, *et al.* Effects of time and pattern of deep tillage (subsoiling) on topsoil improvement, biomass accumulation and nutrient absorption of winter wheat in lime concretion black soil[J]. *Journal of Henan Agricultural University*, 2020, 54(3):392-399, 429.
- [9] 温美娟, 王成宝, 杨思存, 等.深松和秸秆还田对甘肃引黄灌区土壤物理性状和玉米生产的影响[J]. *应用生态学报*, 2019, 30(1):224-232.  
WEN M J, WANG CH B, YANG S C, *et al.* Effects of sub-soiling and straw returning on soil physical properties and maize production in Yellow River irrigation area of Gansu, China[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2019, 30(1):224-232.
- [10] 崔建平, 程 强, 陈 平, 等.深松条件下滴灌频次对土壤理化指标及棉花产量的调节效应[J]. *水土保持学报*, 2019, 33(1):263-269, 276.  
CUI J P, CHENG Q, CHEN P, *et al.* Effects of drip irrigation frequency on soil physical and chemical indices and cotton yield under deep pine conditions[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2019, 33(1):263-269, 276.
- [11] 张瑞富, 杨恒山, 高聚林, 等.深松对春玉米根系形态特征和生理特性的影响[J]. *农业工程学报*, 2015, 31(5):78-84.  
ZHANG R F, YANG H SH, GAO J L, *et al.* Effect of subsoiling on root morphological and physiological characteristics of spring maize[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2015, 31(5):78-84.
- [12] 王 亮, 郭仁松, 吾买尔江·库尔班, 等.深松深度对南疆滴灌棉田水分利用效率与产量的影响[J]. *农业工程学报*, 2020, 36(20):144-152.  
WANG L, GUO R S, Wumej · kueb, *et al.* Effects of sub-soiling depth on water use efficiency and yield of cotton field under drip irrigation in south Xinjiang, China[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2020, 36(20):144-152.
- [13] 黄 健, 王爱文, 张艳茹, 等.玉米宽窄行轮作种植、条带深松、留高茬新耕作制对土壤性状的影响[J]. *土壤通报*, 2002, 33(3):168-171.  
HUANG J, WANG A W, ZHANG Y R, *et al.* Effects of new cropping system on soil properties of wide and narrow spacing maize rotation planting, strip deep loosening and leaving high stubble on the ground[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2002, 33(3):168-171.
- [14] ALAMOUTI M Y, NAVABZADEH M. Investigation of plowing depth effect on some soil physical properties[J]. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 2007, 10(24):4510-4514.
- [15] 王树林, 祁 虹, 王 燕, 等.耕层重构对连作棉田土壤理化性状及棉花生长发育的影响[J]. *作物学报*, 2017, 43(5):741-753.  
WANG SH L, QI H, WANG Y, *et al.* Effects of restructuring tith layers on soil physical and chemical properties and cotton development in continuous cropping cotton fields[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2017, 43(5):741-753.
- [16] JABRO J D, STEVENS W B, IVERSEN W M, *et al.* Tillage depth effects on soil physical properties, sugarbeet yield, and sugarbeet quality[J]. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 2010, 41(7):908-916.
- [17] 张少民, 白灯莎, 刘盛林, 等.覆膜滴灌条件下土地开垦年限对土壤盐分、养分和硝态氮分布特征的影响[J]. *新疆农业科学*, 2018, 55(11):2060-2068.  
ZHANG SH M, BAI D SH, LIU SH L, *et al.* Effects of land reclamation years on the distribution characteristics of soil salinity fertility and nitrate nitrogen under mulching drip irrigation[J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2018, 55(11):2060-2068.
- [18] 王新兵, 侯海鹏, 周宝元, 等.条带深松对不同密度玉米群体根系空间分布的调节效应[J]. *作物学报*, 2014, 40(12):2136-2148.  
WANG X B, HOU H P, ZHOU B Y, *et al.* Effect of strip subsoiling on population root spatial distribution of maize under different planting densities[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2014, 40(12):2136-2148.

- [19] 秦都林. 滨海盐碱地棉花秸秆还田和深松对土壤理化性质及棉花产量品质的影响[D]. 山东泰安: 山东农业大学, 2017.
- QIN D L. Effects of cotton stalk returning and subsoiling on soil physico-chemical properties and cotton yield and fiber quality in coastal saline-alkali soil[D]. Tai'an Shandong: Shandong Agricultural University, 2017.
- [20] 刘长江, 李取生, 李秀军. 深松对苏打盐碱化旱田改良与利用的影响[J]. 土壤, 2007, 39(2): 306-309.
- LIU CH J, LI Q SH, LI X J. Effect of deep tillage on amel-

ioration and utilization of soda-alkaline upland fields[J]. *Soils*, 2007, 39(2): 306-309.

- [21] 李 荣, 侯贤清. 深松条件下不同地表覆盖对马铃薯产量及水分利用效率的影响[J]. 农业工程学报, 2015, 31(20): 115-121.
- LI R, HOU X Q. Effects of different ground surface mulch under subsoiling on potato yield and water use efficiency [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2015, 31(20): 115-123.

## Effects of Subsoiling on Soil Characteristics and Yield Formation of Cotton Field in Oasis Area of Xinjiang

GUO Rensong, WANG Liang, CUI Jianping, LIN Tao,  
ZHENG Zipiao, Mayila • Yusuyin and TIAN Liwen

(Institute of Economic Crops, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory of Crop Physiological Ecology and Tillage of Desert Oasis, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Urumqi 830091, China)

**Abstract** In order to investigate the effect of subsoiling on soil characteristics and yield formation of cotton field in oasis area of Xinjiang, no subsoiling cotton field was taken as control (SST0), under subsoiling treatments of 30 cm (SST1), 40 cm (SST2) and 50 cm (SST3), soil indexes and yield formation characteristics at key growth stages of cotton under different subsoiling depths were studied under the conditions of straw returning to field and conventional tillage. The results showed that subsoiling could reduce soil bulk density and soil hardness, increase soil water content, and decrease soil salt salinity in plough layer. Compared with SST0, under treatments of SST1, SST2, SST3, the average soil bulk density at 0—60 cm soil layer decreased by 0.84%, 3.94%, 4.78%, respectively, and the soil hardness decreased by 1.84%, 9.49%, 16.57%, respectively. At the 0—30 cm soil layer of bud stage and flowering and boll stage, SST2 had the highest soil moisture content, increasing by 31.00% and 64.50% compared with SST0, while the change of soil salt salinity was opposite. SST2 was the lowest, decreasing by 11.10% and 19.10% compared with SST0. When the subsoiling depth was 40 cm, the maximum dry matter accumulation rate  $V_m$  and growth characteristic value GT reached the peak, and the yield of SST1, SST2, SST3 increased by 0.26%, 18.20%, 2.45%, respectively, compared with SST0. In conclusion, 40 cm of subsoiling is better, has positive effect on improvement of soil properties and yield of cotton in Xinjiang.

**Key words** Subsoiling; Soil properties; Yield; Cotton

**Received** 2021-03-24

**Returned** 2021-07-14

**Foundation item** National Natural Science Foundation of China (No. 31860358); Open Research Project of Key Laboratory of Crop Physiological Ecology and Tillage of Desert Oasis, Ministry of Agriculture and Rural Affairs (No. 25107020-201804); National Key R&D Plan (No. 2017YFD0101605); State Cotton Industry Technology System (No. CARS-15-50).

**First author** GUO Rensong, male, associate research fellow. Research area: cotton cultivation physiology and farming. E-mail: songgr08@163.com

**Corresponding author** TIAN Liwen, male, research fellow. Research area: cotton cultivation physiology and ecology. E-mail: tianliwen@163.net

(责任编辑: 史亚歌 Responsible editor: SHI Yage)