



不同中耕措施对土壤水分与大豆产量的影响

黄炳林, 王孟雪, 金喜军, 张春宇, 张玉先, 胡国华

(黑龙江八一农垦大学 农学院, 黑龙江 大庆 163319)

摘要:为揭示不同中耕措施对土壤水分与大豆产量的影响,综合考虑中耕的深松深度,深松与培土时间、深松和培土次数,设置提前培土、提前深松、常规深松和常规培土4种不同中耕措施处理,研究不同中耕措施对土壤状况、水分含量及大豆生长发育及产量的影响。结果表明:深松较培土降低了土壤容重,降幅为3.1%~6.4%。深松提高了水分入渗率,进而提高了土壤的含水量与贮水量,提前深松、常规深松处理均显著高于常规培土处理的含水量,在苗期0~5 cm土层中较常规培土处理分别显著提高10.8%和19.1%,结荚期与成熟期的土壤含水量依旧显著高于常规培土处理。提前深松和常规深松处理的土壤贮水量均显著高于常规培土处理,在结荚期差异最大,分别较常规培土处理显著提高21.5%和16.3%。提前中耕或者深松均提高了叶面积指数,结荚期的提前培土、提前深松和常规深松处理较常规培土处理分别显著提高了28.5%、32.2%和22.7%。大豆前中期的株高表现为提前深松较常规培土处理显著提高,而后期差异不大。提前深松通过降低土壤容重和提高土壤含水量与贮水量,促使大豆叶面积指数和株高的增加,使得各器官的干物质积累更高,进而提高了大豆产量,最终提前深松的产量较常规培土处理提高8.7%。研究结果表明提前深松有助于该地区大豆产量的提高。

关键词:中耕;培土;深松;土壤含水量;产量

Effects of Different Intertillage Methods on Soil Moisture and Soybean Yield

HUANG Bing-lin, WANG Meng-xue, JIN Xi-jun, ZHANG Chun-yu, ZHANG Yu-xian, HU Guo-hua

(College of Agronomy, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing 163319, China)

Abstract: In order to reveal the effects of different intertillage measures on soil moisture and soybean yield. Considering the depth of subsoiling, time and frequency of subsoiling and ridge, we set four tillage methods, including advance ridge, advance subsoiling, conventional subsoiling and conventional ridge in this study. Measures to study the effects of different intertillage measures on soil condition, moisture content, growth and soybean yield. The results showed that subsoiling of the bulk density of soil decreased by 3.1% - 6.4% compared with that of the ridge. The moisture content of advance subsoiling and conventional subsoiling in each soil layer was significantly higher than that of conventional ridge at each stage. Advance subsoiling and conventional subsoiling were significantly higher than that of conventional ridge by 10.8% and 19.1% respectively in 0 - 5 cm soil layer at seedling stage. The soil water storage amount of advance subsoiling and conventional subsoiling was significantly higher than that of conventional ridge, with the largest difference in pod bearing stage, which was 21.5% and 16.3% higher than that of conventional ridge, respectively. Advanced subsoiling or ridge increased LAI, among which PT1, advance subsoiling and conventional subsoiling at pod stage significantly increased by 28.5%, 32.2% and 22.7% respectively compared with conventional ridge. Plant height in the early and middle stages of soybean was significantly increased in advance subsoiling compared with conventional ridge, while there was little difference in the later stages. By reducing soil bulk density and increasing soil moisture content and water storage advance subsoiling promoted the increase of soybean LAI and soybean height, resulting in higher dry matter accumulation in various organs, and finally increased the yield of soybean. Finally, the yield of advance subsoiling increased by 8.7% compared with that of conventional ridge. This research indicated that advanced subsoiling was helpful to the increase of soybean yield in this region.

Keywords: Intertillage; Ridge; Subsoiling; Soil moisture content; Yield

大豆(*Glycine max*)原产于我国,作为重要的轮作、间套作物,对提高土壤肥力、作物水分利用以及土壤养分的利用效率均有重大的生态意义^[1-2]。同时,土壤含水量对大豆的生长发育影响显著,大豆每形成1 g干物质约消耗700 g水^[3],水分亏缺时会影响根系的伸长与吸收^[4],对大豆株高与叶片产生不利影响,进而影响大豆产量的提高。有研究表

明,耕作措施与土壤水热特性、土壤质量变化等密切相关^[5],合理的耕作措施不仅可以协调土壤水、肥、气、热内部环境,还有助于提高土壤保水保墒的能力,最终达到增产与保护生态环境目的^[6-7]。前人的研究多关于播种前的耕作措施。Jorge等^[8]研究认为,免耕与少耕的土壤含水量较传统耕作显著提高,是深层土壤的储水起了主要作用。Haytham

收稿日期:2019-07-24

基金项目:现代农业产业技术体系建设专项(CARS-04-01A);黑龙江省自然科学基金(C2017049);黑龙江省农垦总局重点科研计划(HNK135-02-06)。

第一作者简介:黄炳林(1990-),男,硕士,主要从事大豆高产生理生态研究。E-mail: hblstart@163.com。

通讯作者:张玉先(1968-),男,博士,教授,博导,主要从事大豆高产生理生态研究。E-mail: zyx_lxy@126.com;

胡国华(1951-),男,博士,研究员,博导,主要从事大豆栽培生理和遗传育种研究。E-mail: hugh757@vip.163.com。

等^[9]研究认为,土壤堆积密度和锥度指数的增加也是免耕或少耕含水量上升的重要原因。同时,有报道指出免耕覆盖和秸秆全量还田显著提高土壤含水量,保水保墒作用较传统耕作更强^[10],因为免耕能改善土壤的水分渗透与和蒸散量,从而提高土壤含水量。苏丽丽等^[11]研究认为,土壤翻耕能有效打破犁底层并增加耕层厚度,较免耕更能提高土壤的通透性,从而提高土壤的蓄水能力,进而有利于土壤含水量的提高。有研究表明,地膜覆盖较传统耕作方式有效提高了土壤的水热效应,最终提高了大豆的产量^[12]。还有研究指出,深松能提高土壤含水量的同时,还能有效供给下季作物生长,显著提高土壤蓄水效率^[13]。

然而,关于播后的大田管理措施对土壤水分的研究相对较少,特别是因为免耕常常导致土壤硬实度加重,其产量往往低于翻耕,尤其在东北地区大豆耕作中存在多种中耕方式。本研究在翻耕的基础上结合不同的中耕措施,以研究不同耕作措施对土壤含水量和大豆生长的影响,以期为东北大田生产中的中耕措施的合理选用、大田土壤水分利用效率及大豆产量的大幅度提高等提供科学依据和理论支持。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验设在黑龙江省黑河市鹤山农场科技园

表 1 不同中耕措施处理设置

Table 1 Different intertillage methods

处理 Treatment	时期 Stage			
	播完后 4~5 d 4-5 d after the sowing	V2-V3	V4-V5	V6-V7
PT1	小培土		中培土	大培土
PT2	深松 25~30 cm		深松 30~35 cm + 中培土	大培土
PT3		深松 25~30 cm	深松 30~35 cm	大培土
PCK		小培土	中培土	大培土

1.3 方法

1.3.1 土壤采样和土壤容重的测量 于 2017 年玉米秋收后和 2018 年大豆成熟期进行土壤采样,测定土壤容重。在行间用 5 cm 直径的土钻采集 0~20 cm 的土壤,每个小区按“之字”形随机采 6 个点,去除作物秸秆残留和石块等,最后混匀放置封口袋并立即带回实验室。

1.3.2 土壤含水量分析

(1)土壤体积含水量测定:土壤的体积含水量使用南京能兆科技有限公司的温湿度仪(型号: NZ99-TWS-3)测定。仪器置于每个处理的第四条垄上,探针分别插入 5,15 和 25 cm 深的土层,实时监

(48°43'N~49°03'N, 124°56'E~126°21'E),试验区年均温度 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$,年有效积温为 2 000~2 300 $^{\circ}\text{C}$,无霜期 120 d 左右,属寒温带大陆性气候,雨季多集中在夏季,年降雨量 550 mm 左右。当地的土壤类型以黑土为主,耕地呈弱酸性,试验地 0~20 cm 土层基本理化性质为:土壤容重为 1.19 g·cm⁻³、碱解氮为 138.9 mg·kg⁻¹、速效磷为 20.79 mg·kg⁻¹、速效钾为 179.35 mg·kg⁻¹、有机质为 14.3 g·kg⁻¹、pH6.25。

1.2 试验设计

试验于 2017 年 10 月至 2018 年 10 月进行,于 2017 年秋收后翻耕整地,播种后在翻耕的基础上,从不同的深松深度、不同的深松与培土时间、不同的深松和培土次数进行综合考虑,设置提前培土(PT1)、提前深松(PT2)、常规深松(PT3)、常规培土(PCK)共 4 个处理(表 1)。小培土为中耕机培土刀宽度调为 20°~30°;中培垄为中耕机培土刀宽度调为 80°~90°;大培垄为中耕机培土刀宽度调为 110°~120°。PCK 为农村常用的 3 次培土模式。

选用当地主栽大豆品种黑河 43,于 2018 年 5 月 4 日与底肥一起播施,黑河 43 种子由北大荒种子分公司提供。每个行区 30 m,两垄行宽为 65 cm (8 行),小区面积 468 m²,3 次重复,于 2018 年 9 月 28 日收获。前茬作物是玉米,施肥量与当地施肥的水平一致:氮肥 54 kg·hm⁻²、P₂O₅ 67.5 kg·hm⁻²、K₂O 30 kg·hm⁻²,其它田间管理同当地生产。

测土壤含水量,每小时记录 1 次;选取大豆进入苗期、结荚期、成熟期后连续 7 d 的平均数据进行分析,分析其在各处理的 8:00 和 14:00 的含水量。

(2)土壤贮水量测定:土壤贮水量(mm)=土层厚度(cm)×质量含水量(%)×土壤容重(g·cm⁻³)×10^[14]。

1.3.3 大豆形态、干物质与产量分析

(1)大豆形态测定:于大豆苗期、开花期、结荚期、鼓粒期进行植株取样。每个处理挑取 5 株有代表性的大豆植株,3 次重复,测量株高,用 LI-3100 叶面积仪(美国 Li—COR 公司)测定叶面积,计算其叶面积指数:叶面积指数=叶片总面积/土地面积。

(2)干物质测定:各器官按茎、叶、籽粒、荚皮进行分解后在 105 ℃ 杀青 30 min,80 ℃ 烘至恒重,测量各器官干重。

(3)产量测定:在大豆成熟后期进行测产,每个处理挑取 1 m² 有代表性的植株,3 次重复;测定每株植株的单株粒数、单株荚数、主茎节数,大豆籽粒在 80 ℃ 烘至恒重,测定大豆单株粒重、百粒重,每个处理 3 次重复。

1.4 数据分析

采用 Excel 2010 进行数据处理;采用 SPSS 17.0 的 Duncan's 法进行处理间的单因素方差分析;采用 Origin 2018 进行绘图。

2 结果与分析

2.1 不同中耕措施对土壤状况的影响

2.1.1 土壤容重 由表 2 可知,随着土层深度的增大,土壤容重亦相应升高。但不同中耕措施对不同土层深度的容重影响并不显著。在 0~30 cm 各土层中,各处理较 PCK 差异不显著,但是深松处理 (PT2、PT3) 均低于培土处理 (PT1、PCK),且 PT2 处理在大豆 V5 期较 PT3 多进行 1 次培土,同样表现出有提高土壤容重的趋势,这是因为深松能较好地疏松土层,从而打破犁底层,改善土壤团聚体机构,最终有利于降低土壤的容重。

表 2 不同中耕措施对土壤容重的影响

Table 2 Effects of different intertillage methods on soil bulk density (g·m⁻³)

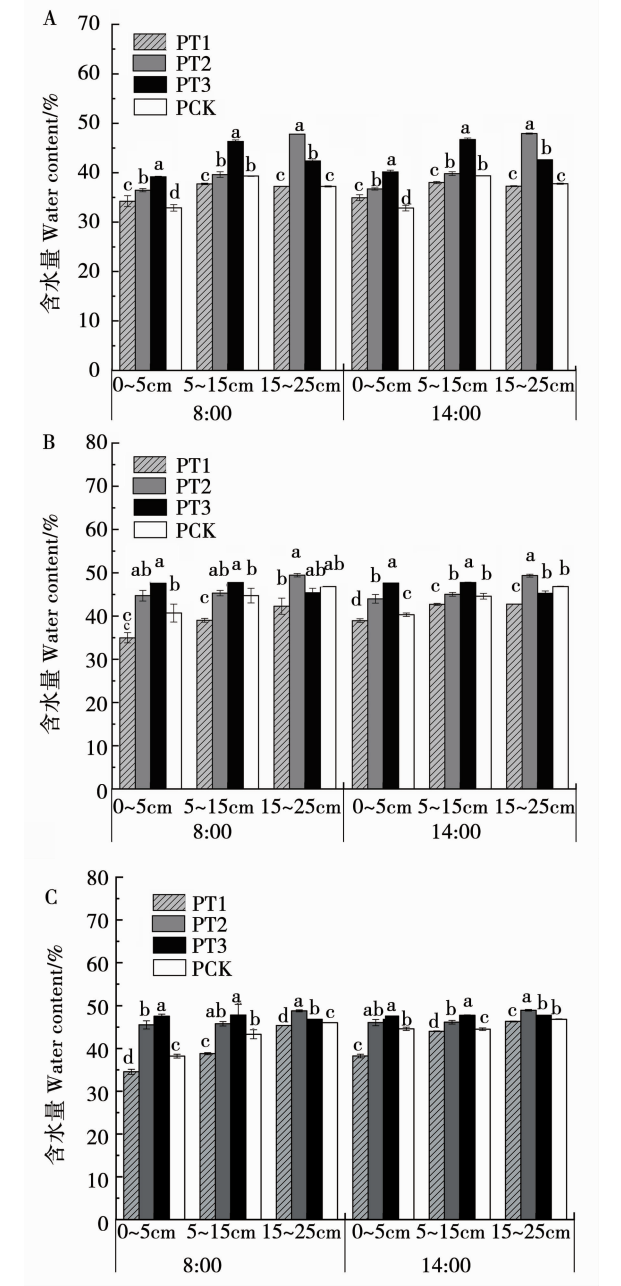
处理 Treatment	土层深度 Soil depth		
	0~10	10~20	20~30
PT1	1.15 ± 0.02 a	1.29 ± 0.02 a	1.39 ± 0.03 a
PT2	1.12 ± 0.01 a	1.25 ± 0.04 a	1.35 ± 0.06 a
PT3	1.09 ± 0.04 a	1.25 ± 0.02 a	1.32 ± 0.05 a
PCK	1.13 ± 0.05 a	1.29 ± 0.01 a	1.41 ± 0.03 a

同一列中数据后不同小写字母表示不同处理间差异达到 5% 显著水平。下同。

Different lowercase within a column indicate significant difference at 0.05 level. The same below.

2.1.2 土壤含水量 研究结果表明:土壤体积含水量受土壤的中耕方式影响显著,且从一天的两个时间段来看,土壤的含水量在各处理中均表现稳定,8:00 与 14:00 的变化基本一致,以下均以 8:00 为例进行分析。在苗期,0~5 cm 土层中的 PT1、PT2、PT3 较 PCK 分别显著提高 4.0%、10.8% 和 19.1%;PT2 在 5~15 cm 土层含水量依旧显著高于 PCK;在 15~25 cm 土层中,PT2、PT3 较 PCK 分别显著提高 28.3% 和 13.8% (图 1A)。在结荚期,0~5 cm 与 5~15 cm 变化趋势相似,其中 5~15 cm 土层的 PT3 较 PCK 分别提高 6.7%,达到显著水平;在 15~

25 cm 土层中,PT2 较 PCK 有所提高,但差异不显著 (图 1B)。在成熟期,各处理在 0~25 cm 各土层的变化趋势基本一致,PT2、PT3 较 PCK 均有不同幅度的提高,且在 0~15 cm 土层的差异幅度较大,其中在 0~5 cm 土层的 PT2、PT3 较 PCK 分别显著提高 19.1% 和 24.3%;随着深度增加,深松的提升效应则逐渐下降,但在 15~25 cm 土层中,PT2、PT3 较 PCK 依旧显著提高,分别提高 5.8% 和 1.7% (图 1C)。综上可知,深松有利于土壤含水量的提高,增强了土壤保墒蓄水的能力。



A: 苗期; B: 结荚期; C: 成熟期。
A: Seedling stage; B: Podding Stage; C: Maturity stage.

图 1 不同中耕措施对土壤含水量的影响
Fig. 1 Effects of different intertillage methods on soil moisture content

2.1.3 土壤贮水量 由图 2 可知:0~25 cm 土层受不同耕作措施影响显著。在大豆整个生育期,PT2 和 PT3(深松处理)的贮水量均显著高于 PT1 和 PCK(全培土处理),说明深松更有利于土壤的蓄水保墒;其中在苗期的 PT2 和 PT3 分别较 PCK 显著提高了 13.1% 和 7.6%,结荚期的 PT2 和 PT3 分别较 PCK 显著提高了 21.5% 和 16.3%,在成熟期的 PT2 和 PT3 分别较 PCK 提高 7.0% 和 8.5%。土壤的贮水量越高,说明土壤接纳水分能力越强,苗期 PT2 和 PT3 处理通过深松改善了土壤的水热特性,土壤贮水量的提高有助于植株的正常生长发育,并在结荚期达到了最大差异,这对大豆结荚有较大的积极意义。

2.2 不同中耕措施对大豆生长的影响

2.2.1 叶面积指数 由图 3 可知:在大豆的生育期内,不同耕作措施处理的 LAI 呈现出先增高后降低单峰曲线变化趋势,到结荚期达到最大值,并且在各生育期内 PT1、PT2、PT3 均表现出较高的水平,在结荚期尤为明显。在苗期 PT2 和 PT3 分别较 PCK 显著提高 41.7% 和 27.8%,说明深松对土壤环境的改善较培土更好,从而有利于提高根系对水分以及养分的吸收面积,进而促进了植株的生长发育,提高了大豆的 LAI,尤其 PT2 处理,对 LAI 提高

的幅度更大。进入开花期,各处理的 LAI 与苗期的变化趋势基本一致。在结荚期,各处理的 LAI 增幅达到最大,PT1、PT2 和 PT3 分别较 PCK 显著提高 28.5%、32.2% 和 22.7%,且 PT2 较各处理均显著提高(图 3)。在鼓粒期中,叶片出现枯黄与凋落,所以各处理的 LAI 降低,但 PT1、PT2 和 PT3 的 LAI 依旧保持较高水平,尤其是 PT2 处理,这对维持大豆叶片功能、制造光合产物有着积极意义。

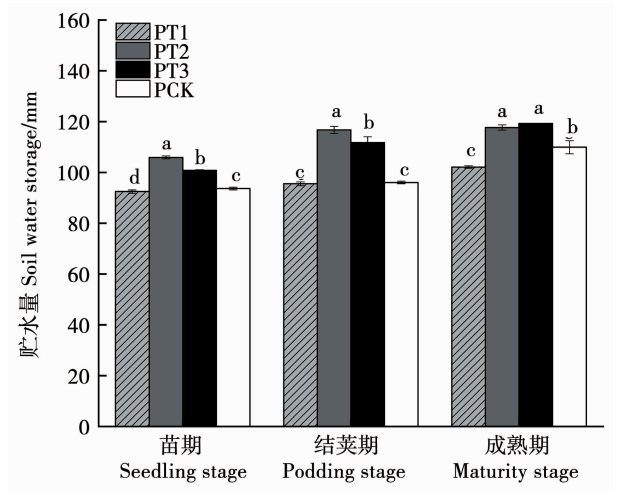


图 2 不同中耕措施对 0~25 cm 土层贮水量的影响
Fig. 2 Effects of different intertillage methods on water storage in 0-25 cm soil layer

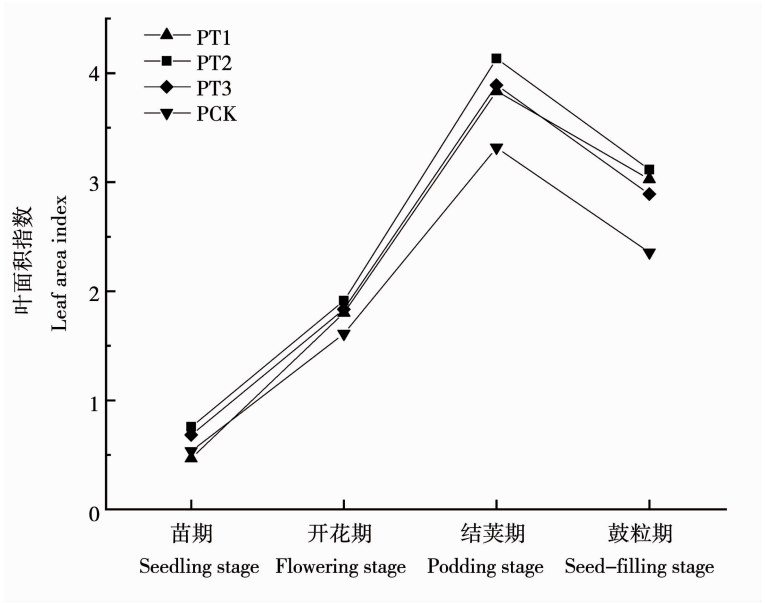


图 3 不同中耕措施对大豆叶面积指数的影响
Fig. 3 Effects of different intertillage methods on soybean LAI

2.2.2 株高 如图4所示:各处理的株高在大豆各生育期呈现出先增高后平稳的单峰曲线变化趋势,在苗期即可看出差异,PT2处理由于提前进行深松提高了土壤含水量,有利于大豆根系生长,故PT2的株高增长幅度显著,较PCK显著提高了25.1%。在开花期,PT1、PT2和PT3较PCK显著提高了10.6%、10.1%和13.2%,说明深松较培土更助于

改善土壤环境,从而有助于大豆生长发育。在结荚期,大豆株高增幅达到峰值,除PT3的株高显著低于PCK与RCK外,各处理差异不显著,说明各处理在结荚期的株高增幅虽大,但处理间差异趋于平稳,这对生物量往籽粒转移有积极地意义,在鼓粒期,各处理的株高差异进一步变小并趋于稳定。

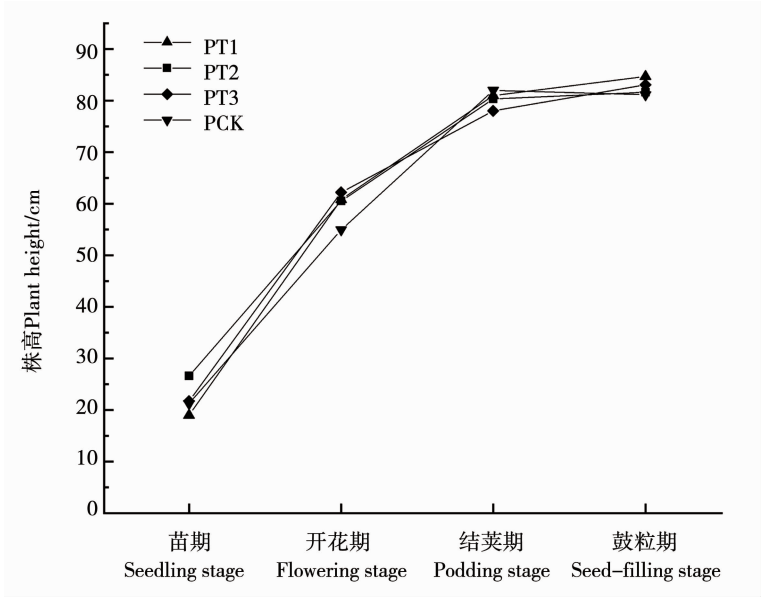


图4 不同中耕措施对大豆株高的影响

Fig. 4 Effects of different intertillage methods on soybean plant height

2.2.3 干物质 由表3可知:中耕措施对于干物质积累与分配影响并不显著。在苗期,PT1、PT2和PT3的茎干重较RCK有所提高,但并不显著,PT1、PT2和PT3的叶片干重较PCK分别显著提高36.5%、39.9%和26.5%,说明提前中耕(PT1和PT2)与深松(PT2和PT3)均可促进大豆叶片的生长发育,最后提高了叶片干重。进入结荚期,各处理的茎、叶以及籽粒干重差异均不显著,但PT2的叶片干重较

各处理的干重均有提高的趋势。进入成熟期后,各处理的茎、籽粒以及荚皮干重差异不显著,但PT1、PT2较PCK均显著提高,且PT2处理在各时期的干物质积累方面表现出最好提升效应,说明提前深松改善了土壤水热特性,促进了前期根系伸长及生长,为大豆的中后期生长发育打下良好基础,最终提高了各器官干物质的积累量。

表3 不同中耕措施对大豆干物质的影响

Table 3 Effects of different tillage practices on soybean dry matte (g)

生育期 Growth stage	处理 Treatment	茎干重 Dry weight of stem	叶干重 Dry weight of leaves	荚皮干重 Dry weight of pod skin	籽粒干重 Dry weight of seed
苗期 Seedling stage	PT1	3.58 ± 0.32 a	11.11 ± 1.83 a		
	PT2	4.12 ± 0.09 a	11.46 ± 0.57 a		
	PT3	3.59 ± 0.56 a	10.36 ± 0.88 a		
	PCK	3.58 ± 0.12 a	8.19 ± 0.31 b		
结荚期 Podding stage	PT1	21.26 ± 5.96 a	35.25 ± 7.40 a	4.21 ± 0.74 a	
	PT2	25.75 ± 3.44 a	41.33 ± 5.60 a	5.70 ± 1.59 a	
	PT3	25.22 ± 3.61 a	35.79 ± 4.38 a	3.66 ± 1.81 a	
	PCK	23.68 ± 3.97 a	34.84 ± 5.96 a	5.00 ± 1.82 a	

续表 3

生育期 Growth stage	处理 Treatment	茎干重 Dry weight of stem	叶干重 Dry weight of leaves	荚皮干重 Dry weight of pod skin	籽粒干重 Dry weight of seed
成熟期 Maturity stage	PT1	23. 70 ± 2. 26 a		16. 98 ± 2. 95 a	46. 80 ± 10. 47 a
	PT2	22. 22 ± 2. 68 a		18. 18 ± 1. 37 a	49. 85 ± 1. 17 a
	PT3	21. 23 ± 3. 23 ab		17. 45 ± 4. 50 a	44. 95 ± 6. 95 a
	PCK	14. 40 ± 1. 23 b		15. 51 ± 0. 58 a	43. 02 ± 2. 68 a

2.2.4 产量 如表 4 所示,不同耕作措施均会对大豆的农艺性状产生影响,从而影响大豆的产量。在大豆产量构成方面,各处理的主茎节数、单株粒数差异不显著;而 PT1 和 PT2 的单株荚数较 PT3 和 PCK 均显著提高,其中较 PCK 显著提高 13.6% 和 17.7%;PT1、PT2 和 PT3 的百粒重较 PCK 显著提高 14.6%、15.5% 和 6.1%,PT2 处理的单株粒重较各

处理均有提高,其中 PT2 较 PCK 提高 16.3%。在产量方面,PT1 和 PT2 主要通过提高大豆的单株荚数、百粒重以及单株粒重提高产量,说明提前中耕有利于能大豆产量的提高,尤其是 PT2 提前进行深松提高幅度更大,较 PCK 提高 8.7%,表明提前深松对大豆农艺性状有积极影响,最终提高产量。

表 4 不同中耕措施对大豆产量与产量构成的影响
Table 4 Effects of different intertillage methods on soybean yield and yield composition

处理 Treatment	主茎节数 Node number	单株荚数 Pod number per plant	单株粒数 Seed number per plant	百粒重 100-seed weight/g	单株粒重 Seed weight per plant/g	产量 Yield/(kg·hm ⁻²)
PT1	12. 64 ± 1. 11 a	28. 39 ± 2. 84 a	67. 89 ± 9. 76 a	21. 41 ± 0. 62 a	10. 87 ± 1. 42 ab	3279. 08 ± 547. 85 a
PT2	12. 94 ± 0. 47 a	29. 42 ± 0. 44 a	68. 50 ± 6. 78 a	21. 58 ± 0. 15 a	12. 18 ± 0. 83 a	3324. 77 ± 306. 82 a
PT3	11. 45 ± 2. 53 a	24. 20 ± 1. 04 b	61. 49 ± 5. 54 a	19. 80 ± 0. 19 b	9. 88 ± 0. 22 b	3027. 89 ± 241. 18 a
PCK	11. 70 ± 1. 53 a	24. 99 ± 1. 01 b	59. 87 ± 2. 19 a	18. 67 ± 0. 23 c	10. 47 ± 0. 56 ab	3059. 32 ± 471. 32 a

3 讨 论

土壤水分既是土壤的重要组成部分,也是自然界水循环不可缺少的一部分^[15],土壤水含量的高低严重制约着作物产量的提高。土壤的含水量受土壤地形、土壤类型、种植的作物以及耕作方式等影响,其中土壤的耕作方式对土壤含水量的影响无疑是显著的^[16]。Andreas 等^[17]研究认为传统翻耕的水力传导率较大有利于提高土壤的含水量, Haytham 等^[9]则认为耕作能降低土壤压实,疏松的土层导致土壤的堆积密度和硬度降低,都有可能提高土壤的含水量和蓄水能力。深松能有效打破土壤犁底层与降低土壤紧实度,从而降低了土壤容重并提高了土壤总孔隙度,所以有利于土壤各层的水分、气体的流运动和交换,进而提高了土壤的含水量与贮水量。在本研究中,深松处理的体积含水量与贮水量显著高于培土处理,主要是因为深松能疏松土层,降低了土壤容重,从而改善了土壤的渗透性能,增强了土壤对雨水的接纳能力与贮存能力^[18-19],与张博文等^[20-21]研究结果相似。

不同的耕作措施主要通过改变土壤环境影响

植株的根系生长,从而影响植株的形态生长,最终影响产量的提高,因此适宜的耕作方式有利于大豆植株生长发育与产量的提高。有研究指出,深松通过打破犁底层,减少了根系穿透土壤的阻力,扩大了根系的生长空间^[22],对大豆的生长有积极的促进作用。尹斌等^[23]研究表明深松能提高作物叶面积指数及延缓叶片衰老,保证了后期“源”的持续。Raji 等^[24]认为提高大豆前期生长发育及叶面积指数,并在结荚期放缓营养生长,对大豆生殖生长与生物量往荚粒转移有重大意义。朱倩^[25]的研究同样表明,深松结合其它耕作措施能提高大豆的叶面积指数,并促进植物生长。本研究从大豆株高的动态变化角度验证了深松与提前培土均能促进大豆生长,使大豆提前长到合适株高后减缓生长速度,顺利进入结荚期,有助于光合产物往籽粒积累,从而提高产量。同时本研究结果表明,深松较培土处理更有利于大豆的生长,且提前深松处理由于提前深松的促进效果更显著,这是因为提前深松处理疏松了土壤耕层,提高了土壤前期的温度与含水量,从而更有利于大豆出苗发芽以及前期植株的生长发育,使得在同等时期中提前深松处理的植株形态

表现得更好,这对大豆的生物量积累有积极的影响。

干物质与产量是衡量耕作措施适宜与否最重要指标之一。有研究认为,耕作加深了耕层,改变了土壤团聚体结构^[26],土壤通透性的升高及容重的下降,促进了大豆的生长发育,提高了大豆的叶面积^[27],从而加强了大豆的光合作用,进而提高了大豆干物质的积累。本研究也同样表明在翻耕条件下,深松可提高大豆各器官干物质的积累,尤其是提前深松处理,说明播后提前深松能改善土壤的微环境,促进了大豆生长发育,而且有研究指出深松可延缓叶绿素的降解和保证了叶片长时间的光合作用,提高了干物质的积累量^[28]。同时本研究发现提前培土亦可促进大豆干物质的积累,进一步说明该地区适宜提前进行中耕。有研究指出,不同耕作措施对土壤密度影响显著,大豆产量随土壤密度增加而下降^[29],而深松往往会降低土壤的堆积密度,还可延缓叶片衰老,延长了叶片功能,促使大豆创造了更多的光合产物,从而有利于大豆产量的提高。深松还可改善土壤水热特性,使养分快速活化^[30],因而促使大豆的生长发育,最终提高了产量。同样,本研究中提前深松产量最高,提前培土处理次之,说明提前进行中耕有助于该地区土壤温湿度的提高,活化了土壤养分,为大豆生长发育提供了一个较好的环境,最终提高了产量。

4 结 论

通过对4种不同中耕措施的研究分析得出,提前深松、常规深松处理降低了不同土层深度的容重,故而有利于土壤水分的入渗,提高了土壤的含水量与贮水量的提高,由于时间的推移以及土层深度的加深,深松效果逐渐减弱,苗期15~25 cm土层的提前深松和常规深松处理较常规培土处理显著提高28.3%和13.8%,后期差异减小。提前深松、常规深松处理的土壤贮水量均显著高于提前培土处理、常规培土处理。提前培土、提前深松、常规深松处理较培土的叶面积指数均有提高,以提前深松处理最为显著。提前深松处理在大豆生育期的前中期的株高高于其它处理,后期差异不大,这对大豆的生物量往籽粒转移有重大的意义。最后,深松通过降低土壤容重与提高土壤含水量与贮水量,促使了大豆叶面积指数的提高与株高变长,使得各器官的干物质在翻耕处理中更高,最终提高了大豆的产量,尤其是提前深松较常规培土处理提高了8.7%,说明该地区适宜提前进行深松,从而有助于大豆产量的提高。

参考文献

- [1] Ren D L, Liu X Y, Wang R. Benefit of yield increasing of spring soybean by film mulching[J]. Journal of Shani Agricultural Sciences, 2006, 34(1): 35-37.
- [2] 李丽君,高聚林,武向良,等. 不同覆膜方式对大豆田水分动态及利用效率的影响[J]. 大豆科学, 2008, 27(2): 262-266. (Li L J, Gao J L, Wu X L L, et al. Effects of different film mulching methods on water dynamics and utilization efficiency of soybean fields[J]. Soybean Science, 2008, 27(2): 262-266.)
- [3] 闫春娟,宋书宏,王文斌,等. 不同降雨条件对不同耐旱型大豆根系的影响[J]. 大豆科学, 2018, 37(2): 209-214. (Yan C J, Song S H, Wang W B, et al. Effects of different rainfall conditions on the root system of different drought-tolerant soybean[J]. Soybean Science, 2018, 37(2): 209-214.)
- [4] 闫春娟,王文斌,孙旭刚,等. 干旱胁迫对大豆根系发育影响初报[J]. 大豆科学, 2012, 31(6): 924-926, 931. (Yan C J, Wang W B, Sun X G, et al. Effect of drought stress on soybean root development[J]. Soybean Science, 2012, 31(6): 924-926, 931.)
- [5] 庞绪,何文清,严昌荣,等. 耕作措施对土壤水热特性和微生物生物量碳的影响[J]. 生态学报, 2013, 33(4): 1308-1316. (Pang X, He W Q, Yan C R, et al. Effects of tillage measures on soil hydrothermal characteristics and microbial biomass carbon[J]. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(4): 1308-1316.)
- [6] 邱野,王瑄. 耕作模式对坡耕地土壤水分和大豆产量的影响[J]. 农业工程学报, 2018, 34(22): 128-137. (Qiu Y, Wang X. Effects of tillage patterns on soil moisture and soybean yield in sloping land[J]. Journal of Agricultural Engineering, 2018, 34(22): 128-137.)
- [7] Sarkar S, Paramanick M, Goswami S B. Soil temperature, water use and yield of yellow sarson (*Brassica napus* L. var. *glaucra*) in relation to tillage intensity and mulch management under rainfed lowland ecosystem in eastern India[J]. Soil and Tillage Research, 2007, 93(1): 94-101.
- [8] Jorge L, Daniel P B, Jorge á F, et al. Long-term analysis of soil water conservation and crop yield under different tillage systems in Mediterranean rainfed conditions [J]. Field Crops Research, 2016, 189(15): 59-67.
- [9] Haytham M S, Constantino V, Miguel á M, et al. Short-term effects of four tillage practices on soil physical properties, soil water potential, and maize yield[J]. Geoderma, 2015, 237-238: 60-70.
- [10] Dan T, Lynne C B, Christian T, et al. Crop production and soil water management in conservation agriculture, no-till, and conventional tillage systems in Malawi[J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2015, 212(20): 285-296.
- [11] 苏丽丽,李亚杰,徐文修. 耕作方式对土壤理化性状及夏大豆产量的影响分析[J]. 干旱地区农业研究, 2017, 35(3): 43-48, 58. (Su L L, Li Y J, Xu W X. Analysis of effects of tillage methods on soil physical and chemical properties and summer soybean yield [J]. Agricultural research in Arid Regions, 2017, 35(3): 43-48, 58.)
- [12] 曾芳荣,殷文,张小红. 不同覆膜方式对旱地大豆农田土壤水热特征及产量的影响[J]. 西北农业学报, 2017, 26(7):

- 1090-1098. (Zeng F R, Yin W, Zhang X H. Effects of different film mulching methods on soil hydrothermal characteristics and yield of upland soybean fields [J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2017, 26(7): 1090-1098.)
- [13] 李娟, 葛磊, 曹婷婷, 等. 有机肥施用量和耕作方式对旱地土壤水分利用效率及作物生产力的影响[J]. *水土保持学报*, 2019, 33(2): 121-127. (Li J, Ge L, Cao T T, et al. Effects of organic fertilizer application and tillage methods on soil water use efficiency and crop productivity in dry land[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2019, 33(2): 121-127.)
- [14] 郭兆元, 黄自立, 冯立孝. 陕西土壤[M]. 北京: 科学出版社, 1992:56-57. (Guo Z Y, Huang Z Z, Feng L X. *Shaanxi soil* [M]. Beijing: Science Press, 1992: 56-57.)
- [15] Alan R, Konstantin Y V, Govindarajulu S, et al. The global soil moisture data bank[J]. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 2000, 81(6): 1281-1299.
- [16] Haghighi F F, Gorji M, Sharifi F. Temporal variability of soil water content and penetration resistance under different soil management practices[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2019, 74 (2): 188-198.
- [17] Andreas S, Gernot B, Peter S, et al. Temporal dynamics of soil hydraulic properties and the water-conducting porosity under different tillage[J]. *Soil & Tillage Research*, 2011, 113: 89-98.
- [18] 刘立晶, 高焕文, 李洪文. 玉米-小麦一年两熟保护性耕作体系试验研究[J]. *农业工程学报*, 2004(3): 70-73. (Liu L J, Gao H W, Li H W. Experimental study on conservation tillage system of maize and wheat two crops a year[J]. *Journal of Agricultural Engineering*, 2004(3): 70-73.)
- [19] Ramakrishna A, Hoang M T, Suhas P W, et al. Effect of mulch on soil temperature, moisture, weed infestation and yield of groundnut in northern Vietnam[J]. *Field Crops Research*, 2005, 95(2-3): 115-125.
- [20] 张博文, 杨彦明, 李金龙, 等. 连续深松对黑土水热酶特性及细菌群落的影响[J]. *生态学杂志*, 2018, 37(11): 3323-3332. (Zhang B W, Yang Y M, Li J L, et al. Effects of continuous subsoiling on temperature, water content, enzyme activity and bacterial community in black soil[J]. *Journal of Ecology*, 2018, 37 (11): 3323-3332.)
- [21] Verhulst N, Govaerts B, Verachtert E, et al. Conservation agriculture, improving soil quality for sustainable production systems? [M]// *Advances in Soil Science: Food Security and Soil Quality*. America: CRC Press, 2001:137-208.
- [22] 秦红灵, 高旺盛, 马月存, 等. 两年免耕后深松对土壤水分的影响[J]. *中国农业科学*, 2008, 10(1): 78-85. (Qin H L, Gao W S, Ma Y C, et al. Effects of subsoiling on soil moisture under no-tillage 2 years later[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2008, 10(1): 78-85.)
- [23] 尹斌, 高聚林, 王志刚, 等. 高产春玉米灌浆期碳氮积累、转运及叶片衰老特性对深松深度的响应[J]. *玉米科学*, 2014, 22(2): 98-103. (Yin B, Gao J L, Wang Z G, et al. Response on carbon-nitrogen accumulation and transportation and leaf senescence characters of high yield spring maize by subsoiling depth in filling stage[J]. *Maize Science*, 2014, 22(2): 98-103.)
- [24] Raji I Y, John C S, Donald G B, et al. Growth analysis of soybean under no-tillage and conventional tillage systems[J]. *Growth Analysis of Soybean under No-Tillage and Conventional Tillage Systems*, 1999, 91(6): 928-933.
- [25] 朱倩. 不同耕作措施对夏大豆籽粒产量和生理特性的影响[D]. 洛阳: 河南科技大学, 2014. (Zhu Q. Effects of different tillage measures on grain yield and physiological characteristics of summer soybean[D]. Luoyang: Henan University of Science and Technology, 2014.)
- [26] 陈传信, 唐江华, 罗家祥, 等. 复播大豆光合特性、干物质积累分配及产量对土壤耕作方式的响应[J]. *新疆农业大学学报*, 2016, 39(2): 94-99. (Chen C X, Tang J H, Luo J X, et al. Response of photosynthetic characteristics, dry matter accumulation and distribution and yield to soil tillage methods in multi-seeded soybean[J]. *Journal of Xinjiang Agricultural University*, 2016, 39(2): 94-99.)
- [27] 唐江华, 苏丽丽, 李亚杰, 等. 不同耕作方式对复播大豆光合特性、干物质生产及经济效益的影响[J]. *应用生态学报*, 2016, 27(1): 182-190. (Tang J H, Su L L, Li Y J, et al. Effects of different tillage methods on photosynthetic characteristics, dry matter production and economic benefits of replanted soybean[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2016, 27(1): 182-190.)
- [28] 张玉先, 罗奥, 祁倩倩, 等. 不同耕作措施对大豆光合特性和产量影响[J]. *土壤通报*, 2010, 41(3): 672-677. (Zhang Y X, Luo A, Qi Q Q, et al. Effects of different tillage measures on photosynthetic characteristics and yield of soybean[J]. *Chinese Soil Bulletin*, 2010, 41(3): 672-677.)
- [29] Pereira J O, Melo D de, Richard G, et al. Yield of soybean crop in function of soil compaction affected by tillage system on oxisol of subtropical region[J]. *Australian Journal of Crop Science*, 2018, 12(2): 227-234.
- [30] 金喜军, 曲春媛, 张玉先, 等. 中耕措施对土壤温度和水分含量及大豆产量的影响[J]. *黑龙江农业科学*, 2015(6): 18-22. (Jin X J, Qu C Y, Zhang Y X, et al. Effects of intertillage measures on soil temperature, moisture content and soybean yield [J]. *Heilongjiang Agricultural Science*, 2015(6): 18-22.)