

小麦、玉米轮作制度下耕作方式对夏玉米 农田土壤物理性状的影响

刘淑梅¹, 曲晓燕², 张洪生¹, 姜 雯¹

(1. 青岛农业大学 农学与植物保护学院, 山东省旱作农业技术重点实验室, 山东 青岛 266109; 2. 烟台市莱山区农业站, 山东 烟台 264000)

摘要: 将冬小麦、夏玉米作为整体, 研究耕作定位试验(10种不同耕作措施)对山东省半湿润易旱区夏玉米季土壤物理性状的影响。耕作试验(第2年)结果表明:与玉米吐丝期和灌浆中期相比,收获期土壤含水量受耕作方式影响更显著,其中土壤表层0~20 cm 土层土壤含水量最高,耕作处理为 A_2B_2R (小麦季免耕+玉米季免耕+秸秆还田), 20~40 cm、40~60 cm 均为 A_1B_2R (小麦季旋耕+玉米季免耕+秸秆还田)最高。玉米吐丝期和收获期各土层温度均值(上午8时)为 A_3B_2R (小麦季深松+玉米季免耕+秸秆还田)和 A_1B_1R (小麦季旋耕+玉米季隔年旋耕+秸秆还田)耕作方式土壤温度最高,比对照(小麦季旋耕+玉米季免耕+秸秆不还田)增加0.4~0.6℃。处理 A_1B_2R 、 A_2B_2R 和 A_4B_2R (小麦季深耕+玉米季免耕+秸秆还田)表层0~20cm 土壤容重显著降低;小麦季深松和深耕(A_3B_2R 、 A_4B_2R)和小麦、玉米两季均深耕或深松(A_3B_3R 、 A_4B_4R)显著降低深层(40~60 cm)土壤容重,尤其是小麦、玉米两季均深耕或深松。因此小麦、玉米两季均免耕能显著降低表层土壤容重,增加表层含水量;而深耕、深松耕作方式主要影响深耕层土壤容重,其中小麦季、玉米季两季均深松或深耕效果好于小麦单季深松或深耕。

关键词: 深松; 深耕; 容重; 土壤含水量; 温度

中图分类号: S157 文献标识码: A 文章编号: 1000-7091(2013)06-0226-07

Effects of Tillage Managements in Wheat-maize Crop System on Soil Physical Properties in Summer Maize Season

LIU Shu-mei¹, QU Xiao-yan², ZHANG Hong-sheng¹, JIANG-Wen¹

(1. College of Agronomy and Plant Protection, Qingdao Agricultural University; Shandong Key Laboratory of Dryland Farming Technology, Qingdao 266109, China; 2. Laishan Agriculture Station, Yantai 264000, China)

Abstract: During wheat-maize whole season, with ten different tillage treatments, the effects of tillage managements on soil physical properties in summer maize season were studied. Compared with silking and mid-filling stage, the soil water content was more largely affected by tillage treatments, and the highest water content in the layer between 0~20 cm was found in A_2B_2R (No-tillage at either wheat season or at maize season + straw returning), and the highest water content in both 20~40 and 40~60cm were in A_1B_2R (Rotary tillage at wheat season + direct seeding maize + straw returning). The average soil temperatures of 0~60 cm at both silking and maturity stage were highest in A_3B_2R (Subsoiling tillage at wheat season + direct seeding maize + straw returning) and A_1B_1R (Rotary tillage at both wheat season and maize season + straw returning), and were 0.4~0.6℃ higher than that of control (Rotary tillage at wheat season + direct seeding maize + no straw returning). The bulk density in the 0~20 cm layer was decreased in treatments A_1B_2R , A_2B_2R and A_4B_2R (Deep tillage at wheat season + direct seeding maize + straw returning). A_3B_2R , A_4B_2R , A_3B_3R and A_4B_4R obviously decreased the deep layer (40~60 cm) soil bulk density, especially A_3B_3R and A_4B_4R . Therefore, no-tillage at either wheat season or at maize season could decrease the bulk density in the surface layer and increase the water content. However, the deep tillage or subsoiling tillage mainly decreases the deeper soil bulk density, especially deep tillage or subsoiling tillage at both wheat and maize season.

收稿日期: 2013-09-22

基金项目: 国家“十二五”科技支撑计划子课题(2011BAD09B01); 粮食丰产科技工程项目(2011BAD16B09; 2012BAD04B05); 山东省“泰山学者建设工程”专项经费

作者简介: 刘淑梅(1987-), 女, 山东德州人, 在读硕士, 主要从事玉米高产生理研究。

通讯作者: 姜 雯(1972-), 女, 山东烟台人, 副教授, 博士, 主要从事作物高产生理研究。

Key words: Subsoiling tillage; Deep tillage; Soil bulk density; Soil water content; Soil temperature

山东省处于半湿润易旱地带,属于典型半旱地农业区。全省年均降水量 550 ~ 950 mm,且多集中在 7、8 月份,自然降水总量一季有余两季不足,水资源短缺且分配不均成为当地农业持续发展的重要限制因子。山东省主要种植制度为冬小麦、夏玉米一年两熟制,小麦、夏玉米周年一般耕作方式为小麦季旋耕,玉米季免耕直播。连续多年的常规耕作方式导致了土壤耕层变浅,土壤养水分库容减少,抗逆缓冲能力变差,造成作物产量低而不稳。不同耕作方式可以引起土壤固体、液体及气体三相物质的变化,从而改变土壤的微环境。因此,通过采取合理的土壤耕作措施改善土壤结构、扩大土壤水分养分库容,对于保障该地区玉米高产稳产、生产可持续具有重要意义。前人在耕作措施改善土壤结构、保土、节水等方面作了大量研究^[1-5]。免耕可减少土壤的扰动,有利于土壤团聚体的形成,保护土壤的孔隙,增加土壤的入渗量,提高土壤蓄水量,增加表层土壤容重但不影响深层土壤容重^[6-7],但雷金银等^[8]研究表明免耕措施使土壤表层土壤容重减少,次层土壤容重增加。另外有研究表明免耕措施由于具有良好的孔隙,容易导致土壤蒸发失水多^[9-10]。深松耕能打破犁底层,降低土壤容重和紧实度,创造疏松深厚的耕作层,提高了土壤蓄水量^[11-12]。秸秆覆盖减少土壤水分的无效蒸发,达到进多出少的有效保水效果^[13-14]。近年来也有研究指出长期单一土壤耕作均会产生不利的作物生长的条件,影响作物的生长发育^[15-18],而将不同耕作措施进行合理的组合和配置可减少单一耕作的缺点,但国内相关的研究较

少^[19]。本研究在前人研究的基础上,针对山东省半湿润易旱区水、土、气候资源特点,结合当地生产条件,将冬小麦和夏玉米两季耕作技术作为一体,采用旋耕、免耕、深松、深耕等多种耕作方式,并进行组合和配置,综合比较分析周年不同耕作措施对夏玉米不同生育期土壤水分、温度、容重等物理性状的影响,以期为实现山东省夏玉米高产稳产提供一定依据。

1 材料和方法

1.1 试验点概况

本试验为小麦、玉米轮作制度下耕作方式定位试验,于 2010 年 10 月,在青岛农业大学胶州试验站开始实行。试验站位处山东青岛胶州市位于胶州湾畔(N36°13'E150°25'),该区属于温带大陆季风气候,半湿润易旱区,土壤为砂姜黑土,有机质 13.8 g/kg,碱解氮 104.7 mg/kg,速效磷 25.6 mg/kg,速效钾 135 mg/kg。夏玉米生育期内降雨量约 474 mm,光照时数约为 596.4 h。

1.2 试验设计

本研究设耕作处理 10 个(表 1),每个处理 3 次重复,采用完全随机区组设计。每个小区面积为 330 m²试验田共占地 1 hm²,供试材料为当地主栽冬小麦品种青麦 6 号、夏玉米品种郑单 958。玉米为等行距栽培(行距 70 cm),密度为 8.25 万株/hm²。小麦季基肥碳酸氢铵 1 500 kg/hm²、复合肥(N:P₂O₅:K₂O = 15:24:6) 750 kg/hm²,不追肥。玉米季基肥控释肥 600 kg/hm²(沃夫特控释肥 N:P₂O₅:K₂O = 22:8:12),不追肥。

表 1 试验各个处理情况

Tab.1 The treatments in this experiment

试验处理代码 Codes	试验处理说明 The treatments details
CK	小麦季旋耕 + 玉米季免耕直播 + 秸秆不还田
A ₁ B ₂ R	小麦季旋耕 + 玉米季免耕直播 + 秸秆还田
A ₂ B ₂ R	小麦季免耕 + 玉米季免耕直播 + 秸秆还田
A ₃ B ₂ R	小麦季深松 + 玉米季免耕直播 + 秸秆还田
A ₄ B ₂ R	小麦季深耕 + 玉米季免耕直播 + 秸秆还田
A ₁ B ₁ N	小麦季旋耕 + 玉米季隔年旋耕 + 秸秆不还田
A ₁ B ₁ R	小麦季旋耕 + 玉米季隔年旋耕 + 秸秆还田
A ₂ B ₃ R	小麦季免耕 + 玉米季隔年深松 + 秸秆还田
A ₃ B ₃ R	小麦季深松 + 玉米季隔年深松 + 秸秆还田
A ₄ B ₄ R	小麦季深耕 + 玉米季隔年深耕 + 秸秆还田

注: A、B 字母分别表示小麦季和玉米季;下标 1~4,代表旋耕(15 cm)、免耕、深松(35 cm)、深耕(25 cm);R,作物秸秆还田;N,不还田。

Note: A, B. Indicates wheat, maize season, respectively; The lower 1~4, Rotary, no-tillage, subsoiling tillage and deep tillage, respectively; R, Straw returning; N, Without straw returning.

1.3 测定项目及方法

本试验土壤水分、土壤温度均分别于 2012 年玉米吐丝期、灌浆期(吐丝后 25 d)、收获期测定,其中土壤含水量的测定采用烘干法,采样深度为 60 cm,每层间隔 20 cm。土壤温度采用地埋深为 5、10、15、20、25 cm 的套装地温表,上午 8 时、下午 14 时测定。

玉米收获期用环刀法测定土壤容重,每个小区随机取 2 个采样点,采样深度为 60 cm,以 10 cm 为间隔。土壤孔隙度采用容重估算法计算。

在玉米收获期,每个小区取长 8 m、宽 2 m 测产,并随机取 20 穗带回考种,采用用 GAC2100 谷物水分速测仪测定籽粒含水量。

1.4 数据处理与分析

各处理间显著性差异分析采用 SPSS 数据处理系统(Duncan 新复极差法)。

2 结果与分析

2.1 不同耕作方式对土壤含水量的影响

土壤水分状况是衡量农田生产性能的重要土壤物理指标,表 2 结果表明,玉米吐丝期和灌浆期各土

层间水分含量差异不大,而收获期表层 0~20 cm 土壤含水量明显低于深层土壤。不同耕作措施间比较,玉米吐丝期 0~20 cm 和 20~40 cm 2 个土层耕作处理间土壤含水量差异均不显著,而 40~60 cm 土层有的差异显著,其中 A₄B₄R 和 A₃B₂R 间土壤含水量相差 1.42% ($P < 0.05$)。玉米灌浆期,各土层土壤含水量受耕作方式影响显著。在表层 0~20、20~40、40~60 cm 土层土壤含水量最低的处理分别为 A₃B₃R 和 A₄B₄R 处理、A₄B₄R 处理和 A₂B₃R 处理,而各土层中其他耕作处理间差异均不显著。玉米收获期,与前 2 个时期相比,土壤表层 0~20 cm 和深层 40~60 cm 土层土壤含水量受耕作方式影响更显著,最高处理和最低处理间土壤含水量分别相差达 2.86% 和 2.07%,而 20~40 cm 土层耕作处理间相差范围较小(在 1.86% 范围内),其中 0~20 cm 和 40~60 cm 土层土壤含水量最高耕作处理分别为 A₂B₂R 和 A₁B₂R,0~20 cm 土层土壤含水量最低的分别为小麦季和玉米季均耕作的 A₁B₁R、A₂B₃R、A₃B₃R 和 A₄B₄R; 40~60 cm 土层土壤含水量最低的为 A₂B₃R。

表 2 不同耕作方式对玉米不同生育期土壤含水量的影响

Tab.2 The effects of tillage treatments on the soil water content at different development stages

%

生育期 Development stage	土壤深度/cm Soil depth	不同耕作措施 Tillage treatments									
		CK	A ₁ B ₂ R	A ₂ B ₂ R	A ₃ B ₂ R	A ₄ B ₂ R	A ₁ B ₁ N	A ₁ B ₁ R	A ₂ B ₃ R	A ₃ B ₃ R	A ₄ B ₄ R
吐丝期 Silking	0~20	17.29a	16.95a	16.53a	16.81a	16.73a	17.49a	17.27a	16.89a	16.93a	17.36a
	20~40	17.07a	16.44a	16.76a	16.78a	16.91a	16.72a	16.50a	17.15a	17.81a	16.79a
	40~60	17.49abc	17.78abc	17.75abc	16.88c	18.20ab	17.15bc	17.78abc	17.35abc	17.33abc	18.30a
灌浆期 Mid-filling	0~20	15.25a	15.35a	14.88ab	14.79abc	15.00ab	14.57abc	14.57abc	14.88ab	13.98bc	13.83c
	20~40	15.12ab	15.44ab	14.84ab	15.20ab	15.91a	15.06ab	14.96ab	15.28ab	14.90ab	14.38b
	40~60	15.25ab	15.52ab	15.59ab	14.92ab	16.11a	15.27ab	15.86ab	14.65b	15.43ab	15.62ab
收获期 Maturity	0~20	14.51ab	14.17b	15.28a	13.07c	13.11c	14.08b	12.43c	12.85c	12.79c	12.42c
	20~40	15.31ab	15.55a	15.02ab	14.87ab	14.32bc	15.23ab	15.19ab	15.22ab	14.38abc	13.69c
	40~60	14.89bc	16.10a	14.42bc	14.94abc	14.71bc	14.77bc	15.31ab	13.93c	15.15abc	14.64bc

注:表中同一行(同深度土层)不同小写字母表示为 $P < 0.05$ 水平差异显著。表 3~6 同。

Note: The same horizontal column with the same letter are not different significantly at the 5% level. The same as Tab. 3~6.

2.2 不同耕作方式对土壤温度的影响

2.2.1 耕作方式对上午 8 时土壤温度的影响 土壤温度是土壤热特征的表现,是影响作物生长和土壤活性的重要因素。不同生育期比较,自吐丝期至收获期,随着生育期推进,各耕作措施土壤温度总体上均呈明显下降趋势(表 3)。不同耕作措施之间比较,玉米吐丝期除土层 5 cm 外,其他土层土壤温度受耕作影响显著,其中耕作处理间在土层 10 cm 处土温变化幅度最大(± 1.64 °C),其次为 5、20 cm 处,变化幅度均为 ± 1.5 °C。玉米灌浆期耕作处理间在土

层 25 cm 处土温变化幅度最大(± 1.93 °C),在土层 15 cm 处变化幅度最小(± 0.9 °C)。与对照处理相比,5 cm 处 A₁B₁N 和 A₄B₄R 处理土壤温度显著降低;15 cm 处 A₃B₂R、A₄B₂R、A₄B₄R 显著降低;20 cm 处 A₁B₁R、A₂B₃R 显著升高;25 cm 处 A₁B₂R、A₄B₂R 显著降低,其他与对照相比差异不显著。玉米收获期耕作处理间在土层 25 cm 处土温变化幅度最大(± 2.3 °C),其次为 5 cm 处,变化幅度均为 ± 1.67 °C。在土层 15 cm 处变化幅度最小(± 0.98 °C)。与对照处理相比,土壤温度在 5 cm 处 A₃B₂R 显著升高,

15 cm 处 A₃B₂R、A₄B₂R、A₁B₁R 显著升高,20 cm 处 A₂B₂R、A₂B₃R 显著降低,25 cm 处 A₃B₂R、A₁B₁R 显著升高,而 A₄B₂R、A₄B₄R 显著降低,其他与对照处理相比差异不显著,从均值来看,A₃B₂R 和 A₁B₁R 土壤温度最高,A₂B₃R 最低。

表 3 不同耕作方式对玉米不同生育期上午 8 时土壤温度的影响

Tab. 3 The effect of tillage treatments on the soil temperature(8 A. M.) at different development stage ℃											
生育期 Development stage	土壤 深度/cm Soil depth	不同耕作措施 Tillage treatments									
		CK	A ₁ B ₂ R	A ₂ B ₂ R	A ₃ B ₂ R	A ₄ B ₂ R	A ₁ B ₁ N	A ₁ B ₁ R	A ₂ B ₃ R	A ₃ B ₃ R	A ₄ B ₄ R
吐丝期 Silking	5	21.20a	21.40a	20.47a	21.73a	21.93a	20.90a	21.00a	20.73a	20.80a	21.00a
	10	20.10bc	20.97a	20.83abc	21.40a	21.43a	20.83abc	21.67a	21.40a	20.90ab	20.03c
	15	20.90b	21.77a	20.83b	21.67a	21.70a	21.67a	21.27ab	21.47ab	21.17ab	21.33ab
	20	21.15abc	21.13abc	21.23abc	21.70ab	20.63c	21.87ab	21.73ab	22.10a	21.43abc	20.83bc
	25	21.70ab	21.43ab	21.40ab	21.57ab	21.77ab	21.70ab	22.17a	21.57ab	22.00ab	21.20b
	平均	21.01	21.34	20.95	21.61	21.49	21.39	21.57	21.45	21.26	20.88
灌浆中期 Mid-filling	5	20.13a	19.57ab	20.00a	19.90a	19.50ab	18.93b	19.90a	19.67ab	19.53ab	18.93b
	10	19.20ab	19.53ab	19.07ab	19.50ab	19.77a	19.50ab	19.60ab	19.40ab	18.70b	19.53ab
	15	20.00a	19.77abc	19.90ab	19.40bcd	19.10d	19.70abc	19.63abcd	19.63abcd	19.70abc	19.27cd
	20	19.23cd	19.80bcd	19.23cd	19.60cd	19.07d	19.87bc	20.40ab	20.73a	19.23cd	19.50cd
	25	19.80ab	18.50c	20.43a	20.20a	18.63c	19.73ab	20.33a	19.60ab	19.10bc	19.10bc
	平均	19.67	19.43	19.73	19.72	19.21	19.55	19.97	19.81	19.25	19.27
收获期 Maturity	5	15.40bc	15.87abc	16.27ab	16.67a	15.65bc	15.00c	15.53bc	15.43bc	16.20ab	15.70bc
	10	15.37abcd	15.27bcd	14.67d	15.90abc	16.05ab	15.60abcd	15.47abcd	15.03cd	16.25a	15.25bcd
	15	15.57bcd	16.13ab	16.00abcd	16.45a	16.15a	16.00abcd	16.37a	15.47d	15.50cd	16.05abc
	20	16.47abc	15.57cde	15.43de	15.93bcde	16.35abcd	16.60ab	16.40abc	15.33e	15.90bcde	16.95a
	25	16.07b	15.93b	16.33b	16.93a	14.60d	16.20b	17.33a	16.30b	16.20b	15.25c
	平均	15.78	15.75	15.74	16.38	15.76	15.88	16.22	15.51	16.01	15.84

表 4 不同耕作方式对玉米不同生育期下午 14 时土壤温度的影响

Tab. 4 The effect of tillage treatments on the soil temperature(14 P. M.) at different development stage ℃											
生育期 Development stage	土壤 深度/cm Soil depth	不同耕作措施 Tillage treatments									
		CK	A ₁ B ₂ R	A ₂ B ₂ R	A ₃ B ₂ R	A ₄ B ₂ R	A ₁ B ₁ N	A ₁ B ₁ R	A ₂ B ₃ R	A ₃ B ₃ R	A ₄ B ₄ R
吐丝期 Silking	5	25.00bcd	25.55abcd	24.70cd	26.17ab	25.53abcd	25.07bcd	24.63cd	24.30d	25.70abc	26.53a
	10	23.40ab	23.35ab	23.97ab	24.73a	23.40ab	23.83ab	23.13b	23.80ab	24.30ab	23.80ab
	15	22.67c	23.10abc	23.10abc	23.60a	22.70c	23.27abc	22.80bc	23.00abc	23.40ab	23.43ab
	20	21.77bc	22.05bc	21.67bc	24.05a	20.95c	22.50b	22.03bc	22.77b	22.50b	22.37b
	25	21.90a	21.50a	22.40a	22.37a	22.17a	21.53a	21.93a	22.40a	22.17a	22.00a
	平均	22.95	23.11	23.17	24.18	22.95	23.24	22.90	23.25	23.61	23.63
灌浆中期 Mid-filling	5	24.93a	24.03ab	24.40ab	24.17ab	23.17b	24.07ab	24.60ab	23.83ab	25.03a	23.40b
	10	23.17a	22.10ab	22.63a	21.00b	21.73ab	23.07a	22.30ab	22.30ab	22.00ab	22.33ab
	15	21.83bcd	21.40cde	22.03bc	21.20de	20.93e	22.50b	21.40cde	21.37cde	23.80a	20.77e
	20	20.37bc	20.40bc	20.33bc	20.50bc	20.20c	20.83abc	21.73a	20.43bc	21.47ab	20.13c
	25	20.23ab	19.23b	20.83a	20.30ab	19.73ab	20.20ab	20.20ab	19.97ab	19.60b	19.27b
	平均	22.11	21.43	22.04	21.43	21.15	22.13	22.05	21.58	22.38	21.18
收获期 Maturity	5	20.83a	21.13a	21.57a	20.37a	20.03a	21.47a	20.43a	21.13a	21.40a	20.35a
	10	19.30a	19.07a	18.73a	19.67a	18.83a	19.43a	18.60a	19.03a	20.10a	19.10a
	15	18.23a	18.40a	18.10a	18.80a	17.87a	18.47a	18.20a	18.00a	17.80a	18.30a
	20	18.00a	17.17a	16.60a	17.57a	16.97a	17.80a	17.95a	17.00a	17.35a	18.15a
	25	16.57abc	16.70abc	17.27abc	16.93abc	15.93c	17.45ab	17.90a	16.90abc	17.15abc	16.10bc
	平均	18.59	18.49	18.45	18.67	17.93	18.92	18.62	18.41	18.76	18.40

2.2.2 耕作方式对下午 14 时土壤温度的影响 自玉米吐丝期至收获期,随着生育期推进,土壤温度呈明显下降趋势;随着土层深度的增加土壤温度也明显降低,而且变化幅度明显大于上午 8 时(表 4)。不同耕作措施之间的比较,其中玉米吐丝期,除土深 5 cm 外,其他土层土壤温度受耕作影响显著,其中耕作处理间在土层 5 cm 和 20 cm 处土温变化幅度最大,分别为 ±2.23 ℃ 和 ±3.1 ℃,其次为 10 cm 处,变化幅度均为 ±1.6 ℃。与对照处理相比,土层 5 cm 和 20 cm 处,分别为 A₄B₄R 和 A₃B₂R 耕作处理

土壤温度增加显著,其他与对照相比没有显著差异。玉米灌浆期,各土层温度受耕作方式影响均显著,变化幅度均大于 $\pm 1.5^{\circ}\text{C}$ 。与对照处理相比,土层 5 cm 和 15 cm 处 A_4B_2R 和 A_4B_4R 处理土壤温度均显著降低,土层 10 cm 处 A_3B_2R 显著升高,15 cm 处 A_3B_3R 显著增加,20 cm 处 A_1B_1R 显著降低,其他与对照相比没有显著差异。从均值看, A_3B_3R 最高, A_4B_2R 和 A_4B_4R 最低。玉米收获期,仅土层 25 cm 处各耕作处理间差异显著,变化幅度为 $\pm 2^{\circ}\text{C}$,其中 A_4B_2R 最低,而各耕作处理与对照间土壤温度差异不显著。整体上,从吐丝期到收获期,处理 A_4B_4R 浅耕层(0~15 cm)土壤温度波动明显。吐丝期处理 A_3B_2R 增加深层土壤(15~25 cm)的温度,处理 A_4B_4R 增加浅层土壤(0~15 cm)的温度。灌浆期处理 A_4B_2R 、 A_4B_4R 降低浅耕层土壤的温度。

2.3 不同耕作方式对土壤容重和孔隙度的影响

土壤容重和孔隙度是反映土壤松紧程度的重要指标,直接影响土壤肥力状况和植物根系的发育。土壤容重和孔隙度均受耕作措施影响显著(表 5,

6)。不同土层之间比较,随着土层深度增加,土壤容重变化趋势因耕作措施不同而呈现不同规律,总体上表层 10 cm 土壤容重最小(除 A_1B_1N 和 A_4B_4R)。深层土壤(50~60 cm)次之。不同耕作措施之间比较,0~10 cm 和 10~20 cm 土层分别为处理 A_2B_2R 和 A_1B_1N 容重最低,孔隙度值最高。从 0~20 cm 表层土壤容重均值来看, A_1B_2R 、 A_2B_2R 和 A_4B_2R 耕作方式下土壤容重最低,孔隙度值最高,容重均值分别比对照降低 6.99%、7.69%、6.69%。而 A_4B_4R 土壤容重最高,孔隙度值最低。在 20~30 和 30~40 cm 土层,均为处理 A_3B_2R 、 A_3B_3R 、 A_4B_4R 土壤容重较高,孔隙度值较低;而 A_1B_1N 、 A_1B_1R 和 A_2B_3R 各处理容重均值为最低,分别比对照降低 10.32%、9.68%、10.32%。在 40~50 和 50~60 cm 土层,均为 CK 土壤容重最高,孔隙度值最低,而 A_3B_3R 容重值最低,孔隙度值最高,40~50 和 50~60 cm 土层容重分别比对照分别降低 19.61%、16.56%;从均值来看,CK 土壤容重最高,其次为 A_4B_2R 、 A_2B_2R 、 A_3B_2R ;而 A_3B_3R 容重为最低;孔隙度反之。

表 5 不同耕作方式对玉米收获期不同土层土壤容重的影响

Tab. 5 The effect of tillage treatments on the soil bulk density at maturity stage

g/cm^3

土壤深度/cm Soil depth	不同耕作措施 Tillage treatments									
	CK	A_1B_2R	A_2B_2R	A_3B_2R	A_4B_2R	A_1B_1N	A_1B_1R	A_2B_3R	A_3B_3R	A_4B_4R
0~10	1.33bc	1.17de	1.09e	1.24cd	1.21d	1.43ab	1.27cd	1.39ab	1.24cd	1.47a
10~20	1.53bcd	1.49d	1.54abcd	1.58abc	1.45d	1.33e	1.60ab	1.50cd	1.52bcd	1.62a
平均 Mean	1.43	1.33	1.32	1.41	1.33	1.38	1.44	1.45	1.38	1.55
20~30	1.47b	1.47b	1.47b	1.59a	1.60a	1.37c	1.37c	1.36c	1.64a	1.57a
30~40	1.63ab	1.41ef	1.36f	1.58bc	1.45de	1.40ef	1.43ef	1.42ef	1.52cd	1.68a
平均 Mean	1.55	1.44	1.42	1.59	1.53	1.39	1.40	1.39	1.58	1.63
40~50	1.53a	1.34b	1.38b	1.34b	1.52a	1.38b	1.35b	1.38b	1.23c	1.32b
50~60	1.57a	1.37cde	1.49b	1.49b	1.41c	1.38cd	1.33de	1.41c	1.31e	1.32e
平均 Mean	1.55	1.36	1.44	1.42	1.47	1.38	1.34	1.40	1.27	1.32

表 6 不同的耕作方式对玉米收获期不同土层土壤孔隙度的影响

Tab. 6 The effect of tillage treatments on the soil porosity at maturity stage

%

土壤深度/cm Soil depth	不同耕作措施 Tillage treatments									
	CK	A_1B_2R	A_2B_2R	A_3B_2R	A_4B_2R	A_1B_1N	A_1B_1R	A_2B_3R	A_3B_3R	A_4B_4R
0~10	49.64cd	55.89ab	58.80a	53.05bc	54.19b	46.20de	52.03bc	47.42de	53.20bc	44.65e
10~20	40.43bcd	41.93b	39.77bcde	38.19cde	43.28b	47.98a	37.60de	41.41bc	40.50bcd	36.55e
平均 Mean	45.04	48.91	49.29	45.62	48.74	47.09	44.82	44.42	46.85	40.60
20~30	44.43b	44.70b	44.65b	40.11c	39.61c	48.17a	48.11a	48.52a	38.10c	40.75c
30~40	38.34ef	46.82ab	48.64a	40.34de	45.10bc	47.06ab	45.87ab	46.58ab	42.53cd	36.79f
平均 Mean	41.39	45.76	46.65	40.23	42.36	47.62	46.99	47.55	40.32	38.77
40~50	42.08c	49.57b	47.74b	49.54b	42.47c	48.04b	49.02b	47.93b	53.44a	50.22b
50~60	40.81e	48.40abc	43.89d	43.79d	46.94c	48.07bc	49.69ab	46.92c	50.50a	50.27a
平均 Mean	41.45	48.99	45.82	46.67	44.71	48.06	49.36	47.43	51.97	50.25

3 结论与讨论

自吐丝期至收获期,随着生育期推进,土壤含水量总体上呈下降趋势,本研究中与玉米吐丝期和灌浆中期相比,收获期土壤含水量受耕作方式影响更

明显。与对照耕作处理(小麦季旋耕+玉米季免耕+秸秆不还田)相比,耕作措施 A_1B_2R (小麦季旋耕+玉米季免耕+秸秆还田)和 A_4B_2R (小麦季深耕+玉米季免耕+秸秆还田)在玉米吐丝期和灌浆期土壤含水量较高,保证了玉米关键需水期水量供给。

而耕作措施 A_1B_2R 在玉米收获期仍保持较高土壤含水量, 为下茬小麦的生长提供一定水源, 即实现伏水秋用。

农田土壤温度是影响作物生长及产量的一个重要因素, 受耕作措施影响比较大^[20-22]。本研究结果表明各耕作方式下土壤温度变化不同, 其中玉米吐丝期和收获期土壤温度均值(上午 8 时)为耕作方式 A_3B_2R (小麦季深松 + 玉米季免耕直播 + 秸秆还田)和耕作方式 A_1B_1R (小麦季旋耕 + 玉米季隔年旋耕 + 秸秆还田)最高, 比秸秆不还田的对照(小麦季旋耕 + 玉米季免耕直播 + 秸秆不还田)土壤温度增加 $0.4 \sim 0.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。玉米吐丝期各土层温度均值(下午 14 时)为耕作方式 A_3B_2R (小麦季深松 + 玉米季免耕直播 + 秸秆还田)最高, 比对照(小麦季旋耕 + 玉米季免耕直播 + 秸秆不还田)土壤温度增加 $1.24\text{ }^{\circ}\text{C}$, 这与前人研究结果一致^[20-22]。

土壤容重和孔隙度是表征土壤结构的重要指标, 土壤容重和孔隙的大小直接影响土壤中的水分状况, 从而影响了作物的生长^[23-25]。土壤容重和孔隙度往往受耕作措施影响显著, 前人研究表明秸秆还田结合浅耕, 可增强秸秆纤维腐解残体结合土壤团粒, 疏松土壤, 显著降低土壤容重, 尤其对深层土壤容重降低作用明显^[26]。本研究发现, 与常规耕作措施相比, 秸秆还田耕作措施 A_1B_2R (小麦季旋耕 + 玉米季免耕 + 秸秆还田)对于改善表层($0 \sim 10\text{ cm}$)和深层($30 \sim 60\text{ cm}$)土壤容重和孔隙度效果显著, 而小麦季旋耕、玉米季隔年旋耕、秸秆还田(A_1B_1R)也主要显著降低了 $20 \sim 60\text{ cm}$ 土壤容重, 这与前人研究相一致。雷金银^[8]研究表明与传统翻耕相比, 免耕处理可使表层 $0 \sim 20\text{ cm}$ 土壤容重降低, $20 \sim 40\text{ cm}$ 土壤容重增加, 但对深层 $40 \sim 60\text{ cm}$ 土壤容重影响不显著。王昌全^[27]研究也指出免耕处理土壤容重小于传统翻耕。本研究中与对照处理(小麦季旋耕 + 玉米季免耕直播 + 秸秆不还田)相比, 小麦季和玉米季均免耕秸秆还田(A_2B_2R)耕作方式对 $0 \sim 10\text{ cm}$ 和 $30 \sim 60\text{ cm}$ 土壤容重和孔隙度有明显改善作用, 尤其是 $0 \sim 10\text{ cm}$ 表层容重, 比其他所有耕作措施均低, 与幕平等^[26]研究结果一致, 但雷金银等^[8]研究认为免耕对深层土壤容重没有影响, 这可能主要与秸秆还田方式和数量、土壤质地、耕作措施持续时间等有关。深松耕作由于动土深, 更有利于疏松深层土壤, 降低土壤容重^[28]。本研究也发现与对照耕作措施相比, 单季深松(A_3B_2R 、 A_2B_3R)和小麦、玉米双季深松(A_3B_3R)对土壤浅层土壤容重和孔隙度影响均不显著, 只降低了深耕层土壤容重。

其中 A_3B_3R 对改善深层($30 \sim 60\text{ cm}$)土壤容重和孔隙度效果显著, 小麦季免耕玉米季隔年深松(A_2B_3R)则对($20 \sim 60\text{ cm}$)土壤容重和孔隙度效果显著, 但对 $0 \sim 20\text{ cm}$ 影响不显著。

因此, 在本耕作定位试验(第二年)条件下, 小麦、玉米两季均免耕能显著降低表层土壤容重, 增加表层含水量; 而深耕、深松耕作方式主要影响深耕层土壤容重, 其中小麦季、玉米季两季均深松或深耕效果好于小麦单季深松或深耕。

参考文献:

- [1] 李升东, 王法宏, 司纪升, 等. 耕作方式对土壤微生物和土壤肥力的影响[J]. 生态环境学报, 2009, 18(5): 1961-1964.
- [2] 赵洪利, 李军, 贾志宽, 等. 不同耕作方式对黄土高原旱地麦田土壤物理性状的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2009, 27(3): 17-21.
- [3] 郭清毅, 黄高宝, Guangdi Li, 等. 保护性耕作对旱地麦-豆双序列轮作农田土壤水分及利用效率的影响[J]. 水土保持学报, 2005, 19(3): 165-169.
- [4] 孙立军, 张仁陟, 黄高宝. 保护性耕作对黄土高原旱地地表土壤理化性状的影响[J]. 旱作地区农业研究, 2007, 25(6): 207-211.
- [5] 朱文珊. 地表覆盖种植与节水增产[J]. 水土保持研究, 1996(3): 141-145.
- [6] 刘武仁, 郑金玉, 罗洋, 等. 玉米留茬少、免耕对土壤环境的影响[J]. 玉米科学, 2008, 16(4): 123-126.
- [7] Fernandez-Ugalde O, Virto I, Bescansa P. No-tillage improvement of soil physical in calcareous, degradation prone, semiarid soils [J]. Soil and Tillage Research, 2009, 106(1): 29-35.
- [8] 雷金银, 吴启发, 王健, 等. 保护性耕作对土壤物理特性及玉米产量的影响. 农业工程学报[J]. 2008, 24(10): 40-45.
- [9] Jones O R, Hanser V L. No-tillage effects on infiltration, runoff and water conservation on dryland [J]. American Society of Agriculture Engineers, 1994, 37(2): 473-479.
- [10] Hammel J E. Long-term tillage and crop rotation effects on bulk density and soil impedance in northern Idaho [J]. Soil Science Society of America Journal, 1989, 53(5): 1515-1519.
- [11] 孟庆秋, 谢佳贵, 胡会军, 等. 土壤深松对玉米产量及构成因素的影响[J]. 吉林农业科学, 2000, 25(2): 25-28.
- [12] 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.
- [13] 陈素英, 张喜英, 胡春胜, 等. 秸秆覆盖对夏玉米生长

- 过程及水分利用的影响. 干旱地区农业研究 [J]. 2002 20(4): 55-57.
- [14] Ronakl E P, Grant W T, Rober L B *et al.* No-tillage agriculture [J]. Science, 1980, 208: 1108-1113.
- [15] 陈军胜. 华北平原免耕冬小麦田水热特征及对冬小麦生长发育影响研究 [D]. 北京: 中国农业大学, 2005.
- [16] 李素娟, 陈继康, 陈 阜, 等. 华北平原免耕冬小麦生长发育特征研究 [J]. 作物学报, 2008, 34(2): 290-296.
- [17] 陈素英, 张喜英, 刘孟雨. 玉米秸秆覆盖麦田下的土壤温度和土壤水分动态规律 [J]. 中国农业气象, 2002, 23(4): 34-37.
- [18] 辛 平, 黄高宝, 张国盛, 等. 耕作方式对表层土壤饱和和导水率及紧实度的影响 [J]. 甘肃农业大学学报, 2005, 40(2): 203-207.
- [19] 孔凡磊, 陈 阜, 张海林, 等. 轮耕对土壤物理性状和冬小麦产量的影响 [J]. 农业工程学报, 2010, 26(8): 150-155.
- [20] 王福军, 张明园, 张海林, 等. 耕作措施对华北夏玉米田土壤温度和酶活性的影响 [J]. 生态环境学报, 2012, 21(5): 848-852.
- [21] 李开宇, 李亚男, 文 凤, 等. 不同覆盖方式对辽西旱地玉米土壤温度和产量的影响 [J]. 辽宁农业科学, 2011, (5): 7-11.
- [22] 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, 20(3): 70-73.
- [23] 王军德, 陈 玲. 高寒草甸土壤水分的影响因子及其空间变异研究 [J]. 冰川冻土, 2006, 28(3): 6-9.
- [24] 王 风, 韩晓增. 不同黑土生态系统的土壤水分物理性质研究 [J]. 水土保持学报, 2006, 20(6): 67-70.
- [25] 郑有德, 依艳丽, 张大庚, 等. 土壤容重对高产玉米根系生长的影响及调控研究 [J]. 华北农学报, 2012, 27(3): 142-149.
- [26] 慕 平, 张恩和, 王汉宁, 等. 连续多年秸秆还田对玉米耕层土壤理化性状及微生物量的影响 [J]. 水土保持学报, 2011, 25(5): 81-85.
- [27] 王昌全, 魏成明, 李廷强, 等. 不同免耕方式对作物产量和土壤理化性状的影响 [J]. 四川农业大学学报, 2001, 19(2): 152-154, 187.
- [28] 李永平, 王孟本, 史向远, 等. 不同耕作方式对土壤理化性状及玉米产量的影响 [J]. 山西农业科学, 2012, 40(7): 723-727.