

不同秸秆还田模式玉米产量和耕层土壤物理特性的研究

葛选良^{1,2}, 钱春荣^{1*}, 张 锋³, 李 梁¹, 姜宇博¹, 于 洋¹, 官秀杰¹, 郝玉波¹

(1. 黑龙江省农业科学院耕作栽培研究所/农业农村部东北地区作物栽培科学观测实验站, 哈尔滨 150028; 2. 内蒙古民族大学农学院, 内蒙古 通辽 028043; 3. 东北农业大学农学院, 哈尔滨 150030)

摘要:通过分析不同秸秆还田模式玉米耕层土壤物理性质和产量特征,探讨不同秸秆还田模式玉米产量差异及形成原因,为黑龙江省不同生态区玉米秸秆有效还田提供理论依据和技术支撑。试验以京农科 728 为供试品种,采用大区对比设计,设置常规垄作模式(CK)、覆盖还田免耕平作模式(J_1)、翻埋还田垄作模式(J_2)和碎混还田平作模式(J_3)4个处理。不同秸秆还田模式产量表现为 $J_2>J_1>J_3>CK$,且以 J_2 增产幅度最大,为8.70%;不同秸秆还田模式产量分别与穗数和穗粒数呈负相关和极显著负相关,与千粒重呈极显著正相关且以 J_2 增幅最大,为11.89%。生育前期 J_3 耕层土壤水热条件最优;生长发育关键期 J_2 耕层土壤物理性状最优,尤以10~30 cm耕层土壤容重的下降,土壤孔隙度 >1 mm大团粒结构的提高最为明显; J_3 次之。适宜的秸秆全量还田模式可促进玉米生长发育,有利于改善生育关键期耕层土壤物理性质,进而提高玉米产量。本研究推荐黑龙江省第一积温带的适宜玉米秸秆还田模式为翻埋还田垄作模式。

关键词:模式;玉米;秸秆还田;产量;土壤性质

中图分类号:S341;S513

文献标识码:A

文章编号:2096-5877(2022)03-0088-06

Studies on Yield of Maize and Physical Properties of Surface Soil under the Different Straw Returning Patterns

GE Xuanliang^{1,2}, QIAN Chunrong^{1*}, ZHANG Feng³, LI Liang¹, JANG Yubo¹, YU Yang¹, GONG XiuJie¹, HAO Yubo¹

(1. Institute of Crop Cultivation and Farming, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences/Scientific Observing and Experimental Station of Crop Cultivation in Northeast China, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Harbin 150028; 2. College of Agronomy, Inner Mongolia Minzu University, Tongliao, 028043; 3. College of Agronomy, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

Abstract: The yield characteristics and soil physical property were analyzed under the different straw returning patterns in order to discuss the reason for maize yield differences of different straw returning pattern, which would provide theoretical basis and technical support for maize straw returning effectively in different ecological regions of Heilongjiang Province. The conventional ridge farming mode (CK), no-tillage flat farming pattern with straw covering surface soil (J_1), field ploughing pattern with straw turning in surface soil (J_2) and field flat farming pattern with straw mixing in surface soil (J_3) were set up by large area contrast design using Jingnongke 728 as experimental material. Yields of different straw returning pattern was $J_2>J_1>J_3>CK$, and yield increase of J_2 was the largest, which was 8.70%; the yield under different straw returning pattern was negatively and significantly negatively correlated with spike number and grain number per spike, and was positively and significantly correlated with 1,000-grain weight, with the largest increase of 11.89% in J_2 . The hydrothermal condition of J_3 was the best in the early growing period. The soil physical properties of J_2 were the best during the critical period of growth and development. In particular, the bulk density of surface soil decreased at 10–30 cm, and the soil porosity and >1 mm granule structure all increased most significantly. Suitable straw returning pattern can promote the growth and development of maize and

收稿日期:2019-11-08

基金项目:国家重点研发计划(2017YFD0300505-1);国家玉米产业技术体系项目(CARS-02-34);黑龙江省自然科学基金联合引导项目(JJ2019LH2428)

作者简介:葛选良(1984-),男,助理研究员,博士,主要从事玉米保护性耕作技术研究。

通讯作者:钱春荣,女,博士,副研究员,E-mail: qcr3906@163.com

improve the physical properties of surface soil in the key growth period, and then improve yield of maize. In this study, it was recommended that the best pattern for maize straw returning to the field in the first accumulative temperate zone of Heilongjiang Province was field ploughing pattern with straw turning in surface soil.

Key words: Pattern; Maize; Straw returning; Yield; Soil properties

玉米是黑龙江省第一大粮食作物,按玉米秸秆和籽粒比 1.6:1 和可收集率 90% 计算,2012~2016 年黑龙江省玉米秸秆量均在 3 000 万吨以上^[1-4]。作为提升土壤肥力的重要有机肥源,玉米秸秆直接还田可有效解决因长期重用轻养而导致的耕层土壤有机质衰减,结构变差,肥力退化等问题。近年来,国内外关于不同还田技术模式及环境条件对玉米产量、耕层土壤性质和秸秆腐解的影响的报道较多^[5-8]。根据不同地区的生态气候条件,选择合理的玉米秸秆还田方式,不仅可平衡土壤有效态氮素,使土壤保持合理的碳氮比,还可为微生物提供氮素营养,进而促进产量的提高。但由于黑龙江省玉米种植区域广,东西横跨 10 个经度,气候条件复杂,年均气温低且低温天气持续时间较长。不同还田方式对玉米产量和耕层土壤性质的影响是一系列复杂的气候和土壤生态过程的综合效应,受到多种生物和非生物因素的交互影响。因此,探究不同秸秆全量还田技术模式对玉米产量和耕层土壤物理性质的影响,以期明确黑龙江省不同生态区最适宜的玉米秸秆全量还田技术模式,进而为黑龙江省玉米秸秆高效还田利用提供理论依据和技术支撑。

1 材料与方 法

1.1 试验地概况

试验于 2017~2018 年在黑龙江省哈尔滨市道外区民主乡(126°23'E,45°26'N)进行,年平均温度 4.4 °C,≥10 °C 积温 2 700 °C·d,年降雨量 480 mm,无霜期 140 d。试验地土壤类型为黑钙土,试验开始前耕层土壤主要养分为有机质 1.866 g/kg、全氮 0.471 g/kg、全磷 0.232 g/kg、全钾 2.712 g/kg、速效氮 216.55 mg/kg、速效磷 57.22 mg/kg、速效钾 125.17 mg/kg,pH 值 6.50。

1.2 供试材料

中晚熟玉米品种京农科 728(京 MC01×京 2416),由北京农林科学院玉米研究中心选育(国审编号 2012003),高产、稳产、抗倒耐密型品种。

1.3 试验设计

试验采用大区对比设计,设置常规垄作(CK)、覆盖还田免耕平作(J₁)、翻埋还田垄作(J₂)和碎混还田平作(J₃)4 种模式,每个处理 6670 平方米,不设重复。2017 年 10 月 15 日进行秋整地(流程见表 1),2018 年 5 月 1 日种肥同播,金正大控释掺混肥(N-P₂O₅-K₂O=26-12-10)作为底肥一

表 1 不同玉米秸秆全量还田模式技术流程

还田模式	还田方式	还田量	技术流程
CK	秸秆离田	全量	机收,秸秆离田,40 马力拖拉机带旋耕机旋耕起 65 cm 均匀垄,镇压 1 遍
J ₁	地表覆盖	全量	机收,秸秆原茬覆盖过冬,第二年春季还田机二次作业,免耕播种机错茬/破茬精量播种,苗期进行隔年深松,深度在 20 cm 以上
J ₂	深翻	全量	机收,还田机二次粉碎作业,210 马力拖拉机带液压翻转犁翻埋还田,翻埋深度 30 cm 以上,液压耙 30°角交叉重耙 2 遍,耙深 15~17 cm,起 65 cm 均匀垄并镇压 1 遍
J ₃	深松碎混	全量	机收,还田机二次粉碎作业,210 马力以上拖拉机带联合整地机碎混还田,秸秆混拌于 0~20 cm 耕层内,液压耙 30°角交叉重耙 2 遍以上,秸秆地表覆盖度 30%,65 cm 行距平作

次性机械深施 12~15 cm,设计施用量 600 kg/hm²。播种密度 67 500 株/hm²;3~5 叶期化学除草;完熟期测产。

1.4 测定指标

耕层土壤水热条件:利用 ZDR-21 温度记录仪全生育期监测不同处理垄间或行间耕层 15 cm 深处土壤温度和含水量,3 次重复。

耕层土壤物理性状:苗期、开花期、成熟期在不同处理垄间或行间接按“S”形取样,3 次重复,各

点均挖出 50 cm 土壤剖面,分别在 0~10 cm、10~20 cm 和 20~30 cm 处用环刀(体积=100 cm³)取样,称取鲜重后,80 °C 烘干至恒重。

土壤容重: $D=(W_1-W_2)/V$

土壤孔隙度: $P=(1-D/G) \times 100\%$

式中,D 为土壤容重(g/cm³),P 为土壤孔隙度(%),G 为比重(2.65 g/cm³),W₁ 为环刀+干土重(g),W₂ 为环刀重(g),V 为环刀容积(cm³)。

土壤紧实度(g/cm²):苗期、开花期、成熟期在

不同处理垄间或行间按“S”形取样,3次重复,利用TJSD-750-II型土壤紧实度仪分别测定0~10 cm、10~20 cm和20~30 cm处土壤紧实度。

土壤粒级结构:成熟期在不同处理垄间或行间按“S”形取土样500 g,3次重复。风干后分别过筛1.05、0.25、0.154、0.075 mm,称量并记录筛上土壤质量。

产量与穗部性状:收获期不同处理分别选取6个10行×10 m小区,实收测产,并折算成标准含水量(14%)的产量;随机取30个果穗,测定穗长、果穗中部的直径、行数、中等行的行粒数;脱粒后测定含水量,并随机取100粒籽粒,测定百粒重,3次重复,重复间差异小于0.5 g。

2 结果与分析

2.1 不同秸秆还田模式玉米耕层土壤水热特征的分析

由图1可知,不同秸秆还田模式玉米耕层土壤水热条件不尽相同。生育前期, J_2 耕层土壤温度最高且与CK相近, J_3 次之, J_1 最低且较 J_3 低 1.86°C ;旺盛生长期, J_2 、CK和 J_3 耕层土壤温度均高于 J_1 。由图2可知,生育前期, J_3 耕层土壤含水量最高, J_1 次之且与CK相近, J_2 最低且较 J_3 下降11.92%;旺盛生长期, J_1 耕层土壤含水量最高, J_2 次之且与CK相近, J_3 最低且较 J_1 下降2.05%。可见,生育前期 J_1 耕层土壤温度较低, J_2 与CK耕层土壤

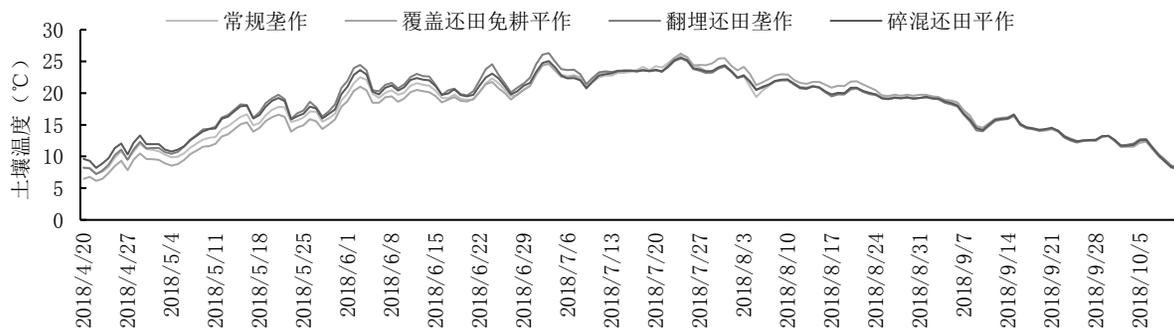


图1 不同秸秆还田模式玉米耕层土壤温度变化特征

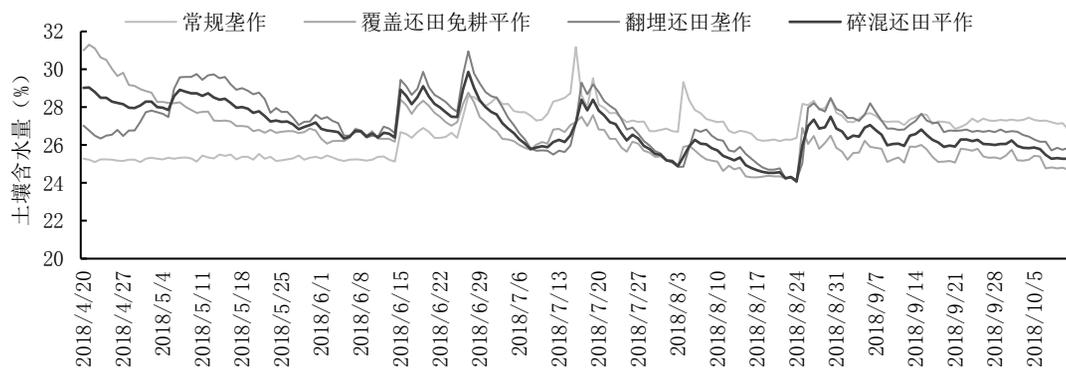


图2 不同秸秆还田模式玉米耕层土壤含水量变化特征

温度条件较好,但二者耕层土壤含水量较低,而 J_3 耕层土壤水热条件相对最好;生长旺盛期 J_1 耕层土壤含水量增加明显,而 J_2 耕层土壤含水量起伏较大。

2.2 不同秸秆还田模式玉米耕层土壤容重的分析

由表2可知,随着生育期的延后和耕层的加深,不同秸秆还田模式土壤容重均呈增加趋势,其中不同生育时期不同还田模式0~10 cm耕层土壤容重的差异不显著;不同生育时期不同还田模式10~20 cm耕层土壤容重和开花期20~30 cm耕层土壤容重差异显著。苗期、开花期和成熟期, J_1 、 J_2 、 J_3 0~10 cm耕层土壤容重分别较CK下降了

5.29%、5.29%、4.71%, 0、6.45%、6.45%和-4.37%、0.55%、-0.55%;10~20 cm耕层土壤容重分别较CK下降了11.29%、11.29%、5.91%, 1.01%、11.61%、2.02%和0.52%、6.74%、0.52%;20~30 cm耕层土壤容重分别较CK下降了6.88%、6.88%、3.17%, 0%、10.05%、2.01%和-4.19%、0.52%、-0.52%。可见,不同秸秆还田模式10~20 cm耕层土壤容重显著降低,以 J_2 最为明显。

2.3 不同秸秆还田模式玉米耕层土壤孔隙度的分析

由表3可知,随着耕层加深,不同秸秆还田模式土壤孔隙度均呈下降趋势,其中开花期不同还

表2 不同秸秆还田模式不同生育时期玉米耕层土壤容重的比较

耕层深度	还田模式	苗期	开花期	成熟期
0~10 cm	CK	1.70Aa	1.86Aa	1.83Aa
	J ₁	1.61Aa	1.86Aa	1.91Aa
	J ₂	1.61Aa	1.74Aa	1.82Aa
	J ₃	1.62Aa	1.74Aa	1.84Aa
10~20 cm	CK	1.86Aa	1.98Aa	1.93Aa
	J ₁	1.65Ab	1.96Aa	1.92Aab
	J ₂	1.65Ab	1.75Bb	1.80Ab
	J ₃	1.75Aab	1.94ABa	1.92Aa
20~30 cm	CK	1.89Aa	1.99Aa	1.91Aa
	J ₁	1.76Aa	1.99Aa	1.99Aa
	J ₂	1.76Aa	1.79Ab	1.90Aa
	J ₃	1.83Aa	1.95Aa	1.92Aa

注:同列数据后大小写字母分别表示在0.01、0.05水平差异显著,下同

表3 不同秸秆还田模式不同生育时期玉米耕层土壤孔隙度的比较

耕层深度	还田模式	苗期	开花期	成熟期
0~10 cm	CK	35.8Aa	29.9Bc	31.1Aa
	J ₁	39.1Aa	30.1Bc	28.3Aa
	J ₂	39.2Aa	34.2ABb	31.2Aa
	J ₃	39.4Aa	34.2ABb	30.0Aa
10~20 cm	CK	30.3Ab	25.0Bb	32.2Aa
	J ₁	38.3Aa	26.4Bb	29.3Aab
	J ₂	38.4Aa	34.3Aa	29.2Aab
	J ₃	34.2Aab	27.3ABb	27.5Aab
20~30 cm	CK	29.1Aa	25.1Ab	28.0Aa
	J ₁	34.3Aa	25.0Ab	25.3Aa
	J ₂	34.3Aa	32.3Aa	28.3Aa
	J ₃	31.2Aa	27.6Aab	28.4Aa

田模式不同耕层深度土壤孔隙度的差异显著。苗期、开花期和成熟期,J₁、J₂和J₃ 0~10 cm耕层土壤孔隙度分别较CK提高了9.22%、9.50%、10.06%、0.67%、14.38%、14.38%和-9.00%、0.32%和-3.54%; 10~20 cm耕层土壤孔隙度分别较CK提高了26.40%、26.73%、12.87%、5.60%、37.20%、9.20%和-9.00%、-9.32%和-14.60%; 20~30 cm耕层土壤孔隙度分别较CK提高了17.87%、17.87%、7.22%、-0.40%、28.69%、9.96%和-9.64%、1.07%、1.43%。可见,不同秸秆还田模式利于提高生育前期和关键期耕层土壤孔隙度,以J₂效果最好,但生育后期J₂下降最为明显。

2.4 不同秸秆还田模式玉米耕层土壤紧实度的分析

由表4可知,随着生育期的延后和耕层的加深,不同秸秆还田模式土壤紧实度的变化趋势不尽相同。苗期、开花期和成熟期,J₁、J₂和J₃ 0~10 cm耕层土壤孔隙度分别较CK下降了21.17%、21.17%、6.75%、13.33%、13.33%、32.68%和-12.19%、-12.19%、20.49%; 10~20 cm耕层土壤紧实度分别较CK下降了7.89%、7.89%、4.52%、13.33%、13.33%、31.68%和-12.19%、14.31%、28.44%; 20~30 cm耕层土壤紧实度分别较CK下降了2.80%、2.80%、9.36%、15.23%、6.66%、8.57%和6.73%、12.60%、24.38%。可见,不同秸秆还田模式利于降低生育前期和关键期耕层土壤紧实度,以J₃效果最好,J₂次之。

表4 不同秸秆还田模式不同生育时期玉米耕层土壤紧实度的比较

耕层深度	还田模式	苗期	开花期	成熟期
0~10 cm	CK	34.67Aa	40.00Aa	37.33Aa
	J ₁	27.33Aa	34.67Aa	42.33Aa
	J ₂	27.33Aa	34.67Aa	42.33Aa
	J ₃	32.33Aa	27.33Aa	30.00Aa
10~20 cm	CK	29.67Aa	40.00Aa	37.33Aa
	J ₁	27.33Aa	34.67Aa	42.33Aa
	J ₂	27.33Aa	34.67Aa	32.33Aa
	J ₃	32.33Aa	27.33Aa	27.00Aa
20~30 cm	CK	35.67Aa	35.00Aa	39.67Aa
	J ₁	34.67Aa	29.67Aa	37.00Aa
	J ₂	34.67Aa	32.67Aa	34.67Aa
	J ₃	32.33Aa	32.00Aa	30.00Aa

2.5 不同秸秆还田模式玉米耕层土壤粒级结构的分析

由表5可见,不同秸秆还田模式不同耕层各粒级结构土壤所占比例的差异显著。整体上看,不同秸秆还田模式不同耕层深度>1.00 mm和0.50~0.25 mm土壤团粒结构所占的比例最大,1.00~0.50 mm和0.25~0.15 mm所占比例接近,0.15~0.075 mm所占的比例最小。与CK相比,J₂、J₃和J₁>1.00 mm土壤团粒结构的增幅分别为30.30%、12.12%和3.03%; J₂ 1.00~0.50 mm土壤团粒结构有所增加,J₁和J₃略有降低但差异均不显著; J₃ 0.50~0.25 mm下降22.95%,J₁和J₂与CK相差幅度均小于1%; J₁ 0.25~0.15 mm土壤团粒结构有所增加但差异不显著,J₂和J₃分别降低42.66%和11.67%; J₂、J₁和J₃ 0.15~0.075 mm土壤团粒结构的

表5 不同秸秆还田模式玉米耕层土壤粒级结构的比较

耕层深度	还田模式	>1.00 mm	1.00~0.50 mm	0.50~0.25 mm	0.25~0.15 mm	0.15~0.075 mm
0~10 cm	CK	31.85Ab	9.96ABb	37.95Aab	10.28Aa	2.16Ac
	J ₁	36.07Aab	9.40ABb	34.94ABCb	9.85Aa	4.51Aab
	J ₂	41.96Aa	12.23Aa	27.39Cc	4.79Bc	5.39Aa
	J ₃	32.19Ab	9.24ABb	41.68Aa	9.99Aa	2.94Abc
10~20 cm	CK	32.05Cc	8.92Aa	40.61Aa	11.03Aa	3.33Bc
	J ₁	27.98CDed	9.09Aa	42.40Aa	10.56Aa	5.57ABa
	J ₂	52.30Aa	12.64Aa	23.50Cc	3.60Bc	4.44Aa
	J ₃	43.15Bb	10.19Aa	32.99Bb	6.65Bb	2.34ABbc
20~30 cm	CK	36.69Aa	10.19Aa	34.50Aa	8.50Ac	3.28BCDed
	J ₁	34.16Aa	7.56Aa	33.95Aa	11.10Aab	4.60ABb
	J ₂	34.40Aa	9.35Aa	36.22Aa	8.71Abc	5.47Aa
	J ₃	34.38Aa	9.36Aa	38.27Aa	9.69Aabc	4.00BCbc

增幅分别为74.66%、67.47%和5.82%。可见, J₂利于增加>1.00 mm土壤团粒结构。

2.6 不同秸秆还田模式玉米产量与产量构成因素的分析

由表6可知,不同秸秆还田模式玉米产量及产量构成因素的差异不尽相同,产量、穗数和穗粒数的差异均不显著,而千粒重的差异均显著。不同秸秆还田模式产量为J₂>J₁>J₃>CK, J₂、J₁和J₃分别较CK增产8.70%、5.45%和3.03%;千粒重为J₂>J₃>J₁>CK, J₂、J₃和J₁分别较CK提高11.89%、5.95%和4.44%。不同秸秆还田模式玉米产量及产量构成因素的相关性分析表明(表7),产量与穗粒数呈负相关,与穗数呈极显著负相关,而与千粒重呈极显著正相关。可见,不同秸秆还田模式玉米千粒重的提高对产量增加的贡献率最大。

表6 不同秸秆还田模式产量与产量构成因素的比较

还田模式	产量 (kg/hm ²)	穗数 (穗/hm ²)	穗粒数 (粒/穗)	千粒重 (g)
CK	11 328.4Aa	62 180Aa	565Aa	364.9Bb
J ₁	11 945.9Aa	62 340Aa	556Aab	381.1ABab
J ₂	12 314.3Aa	60 974Aa	547Aab	408.3Aa
J ₃	11 671.5Aa	62 180Aa	545Aab	386.6ABab

表7 不同秸秆还田模式产量及产量构成因素的相关性分析

	产量	千粒重	穗粒数	穗数
产量	1			
千粒重	0.865**	1		
穗粒数	-0.529	-0.567	1	
穗数	-0.764**	-0.763**	0.475	1

注:“*”和“**”分别表示在P<0.05和P<0.01水平差异显著

3 讨论

玉米秸秆直接还田使得耕层土壤结构发生变化,对耕层土壤温度、含水量、容重、孔隙度及土壤相关酶活性具有十分重要的影响。适宜的玉米秸秆还田模式可吸收并保存雨水,同时降低作物生长前期的土壤水分蒸发量,提高旱田作物的抗旱能力,对其增产稳产具有明显的促进作用^[9-12]。研究表明,地表覆盖还田免耕平作模式降低土壤水分蒸发量,提高土壤蓄水能力,在一定程度上提高玉米耕层土壤水分利用率,利于玉米生育后期生长发育^[13-14]。本试验结果表明,生育前期垄作模式温度较高,但其土壤含水量较低且生育后期土壤温度和含水量的变化幅度相对较大;而生育前期免耕平作模式保水保墒效果更好,这与前人的研究结果一致^[15]。土壤容重和孔隙度可反映土壤质地、结构及腐殖质活性,两者与作物根系的穿透力、田间持水量和土壤的通透性,以及土壤水分利用率关系密切。研究表明,玉米秸秆还田可降低土壤容重,增加土壤孔隙度和土壤通透性^[15],这与本试验结果一致。土壤粒级结构和土壤有机质含量是评价土壤肥力的主要指标。不同粒级结构数量和分布对土壤养分的保持、供应和微生物活性有不同的影响^[16-17]。玉米秸秆还田可以显著改善土壤的粒级结构,降低土壤<0.25 mm级别的微团粒结构,促进其向大级别的结构转变,其稳定性也有所增加。本试验结果表明不同秸秆还田模式有助于增加0~20 cm深度的大粒级结构的比例,这与前人的研究结果一致^[18]。但由于年际间的气温、降水分布均存在较大变幅,气候因子的改变势必会影响到不同秸秆还田模式玉

米生长发育和产量的形成。故应在本试验研究结果的基础上进一步开展年际间的相关试验。同时,有关田间水分和降水情况与耕层土壤养分和微生物活性的相关研究也应尽快开展。

4 结 论

生育前期 J_1 耕层土壤温度较低, J_2 与CK耕层土壤温度条件较好,但整个生育期内二者耕层土壤含水量较低,且以生育前期较为明显,而 J_3 耕层土壤水热条件相对最好;生长旺盛期 J_1 耕层土壤含水量增加明显,而 J_3 耕层土壤含水量起伏较大。同时,不同秸秆还田模式对10~20 cm耕层土壤物理性质提升的效果明显。不同秸秆还田模式产量为 $J_2 > J_1 > J_3 > CK$,且以千粒重的提高对产量增加的贡献率最大。综合分析不同还田模式玉米产量和耕层土壤物理性质可知,10~20 cm耕层土壤物理性质的提升可改善土壤结构,对玉米产量的形成至关重要。

参考文献:

- [1] 王亚静,毕于运,高春雨.中国秸秆资源可收集利用量及其适宜性评价[J].中国农业科学,2010,43(9):1852-1859.
- [2] 崔胜先,谢光辉,董仁杰.灰色系统理论在黑龙江省农作物秸秆可收集量预测中的应用[J].东北农业大学学报,2011,42(8):123-130.
- [3] 王 萍,李秀芬,姜丽霞,等.气候变化背景下黑龙江省主栽作物稳产类型区划[J].东北农业科学,2019,44(4):85-88.
- [4] 黑龙江省统计局.黑龙江县(市)农村经济社会统计概要(2017)[M].哈尔滨:黑龙江省统计局,2018:96-99.
- [5] 张丽霞,王俊文,王立春,等.有机物料腐熟剂在东北农作物秸秆还田上的应用[J].东北农业科学,2018,43(6):5-8.
- [6] Toenshoff C, Stuelpnagel R, Joergensen R G, et al. Carbon in plant biomass and soils of poplar and willow plantations—implications for SOC distribution in different soil fractions after re-conversion to arable land[J]. Plant and Soil, 2013, 367(1):

407-417.

- [7] 赵亚丽,郭海斌,薛志伟,等.耕作方式与秸秆还田对土壤微生物数量、酶活性及作物产量的影响[J].应用生态学报,2015,26(6):1785-1792.
- [8] Arcand M M, Knight J D, Farrell R E. Differentiating between the supply of N to wheat from above and belowground residues of preceding crops of pea and canola[J]. Biology Fertility Soils, 2014, 50(4):563-570.
- [9] 李焕珍,张忠涂,杨伟奇,等.玉米秸秆直接还田培肥效果的研究[J].土壤通报,1996,27(5):213-215.
- [10] 宫 亮,孙文涛,包红静,等.不同耕作方式对土壤水分及玉米生长发育的影响[J].玉米科学,2011,19(3):118-120.
- [11] 崔正果,李秋祝,张玉斌,等.玉米秸秆全量粉碎耕翻还田条件下播种深度与镇压强度对玉米出苗率的影响[J].东北农业科学,2018,43(6):16-19.
- [12] 隋鹏祥,张文可,梅 楠,等.不同秸秆还田方式对春玉米产量、水分利用和根系生长的影响[J].水土保持学报,2018,32(4):255-261.
- [13] Gan Y T, Siddique K H M, Turner N C, et al. Chapter Seven - Ridge-Furrow Mulching Systems—An Innovative Technique for Boosting Crop Productivity in Semiarid Rain-Fed Environments [J]. Advances in Agronomy, 2013, 118: 429-476.
- [14] 李全起,陈雨海,吴 巍,等.秸秆覆盖和灌溉对冬小麦农田光能利用率的影响[J].应用生态学报,2006,17(2):243-246.
- [15] 陈恩凤,周礼恺,武冠云.微团聚体的保肥供肥性能及其组成比例在评判土壤肥力水平中的意义[J].土壤学报,1994,31(1):19-25.
- [16] 田慎重,王 瑜,李 娜,等.耕作方式和秸秆还田对华北地区农田土壤水稳性团聚体分布及稳定性的影响[J].生态学报,2013,33(22):7116-7124.
- [17] 刘恩科,赵秉强,梅旭荣,等.不同施肥处理对土壤水稳性团聚体及有机碳分布的影响[J].生态学报,2010,30(4):1035-1041.
- [18] 孙汉印,姬 强,王 勇,等.不同秸秆还田模式下水稳性团聚体有机碳的分布及其氧化稳定性研究[J].农业环境科学学报,2012,31(2):369-376.

(责任编辑:刘洪霞)

(上接第50页)

- [17] 胡敏杰,姜良超,李守中,等.覆膜与滴灌对河套灌区玉米花粒期叶片光合特征的影响[J].应用生态学报,2017,28(12):3955-3964.
- [18] 赵许朋,刘 燕,魏加练,等.不同浓度MeJA对头花蓼光合和荧光特性的影响[J].东北农业科学,2019,44(4):37-42,109.
- [19] 陆雯芸,房 克,边红武,等.气孔发育及其调控因素的研究进展[J].植物生理学报,2016(6):782-788.
- [20] 刘战东,张 凯,米兆荣,等.不同土壤容重条件下水分亏缺对作物生长和水分利用的影响[J].水土保持学报,2019,33(2):117-122.
- [21] 于淑婷,杨延兵,陈二影,等.华北夏谷区近30年来主要谷子育成品种农艺和品质性状演变分析[J].山东农业科学,

2017,49(2):15-19.

- [22] Gao Y N, Yu G R, Yan H M, et al. A modis-based photosynthetic capacity model to estimate gross primary production in Northern China and the Tibetan Plateau [J]. Remote Sensing of Environment, 2014, 148:108-118.
- [23] 范秋丽,马现永.植酸酶的生产及其在畜禽饲料中应用研究[J].饲料研究,2016(8):13-17.
- [24] 孙艺丹.不同谷子品种主要农艺性状、营养品质与食味品质的关系[D].晋中:山西农业大学,2016.
- [25] 王 芳,杨笑笑,李振轮,等.矿质元素硼钙镁铁对番茄青枯菌生长及致病力的影响[J].江苏农业科学,2017,45(12):77-80.

(责任编辑:刘洪霞)