

条耕作业时间对吉林省中部半湿润区 玉米出苗质量与产量的影响

曹庆军¹, 李 刚¹, 孔凡丽¹, 杨粉团¹, 杨 浩¹, 于洪浩², 王 影³, 宋 健⁴, 王贵满³

(1. 吉林省农业科学院, 长春 130033; 2. 吉林省梨树县农业技术推广总站, 吉林 梨树 136500;

3. 吉林省梨树县蔡家镇农业技术服务中心, 吉林 梨树 136503; 4. 吉林省梨树县林海农业技术服务中心, 吉林 梨树 136508)

摘 要: 为探究不同条耕作业时间对玉米保苗及产量的影响, 采用田间试验的方法, 在风沙土与黑土上分析春季解冻时条耕(Sp1)、播前条耕(Sp2)与秋季条耕(Au) 3种处理下玉米群体保苗质量、播种期土壤温度与水分变化与玉米产量影响。结果表明, 条耕作业时间、土壤类型以及两者交互作用均对玉米保苗密度、幼苗株高整齐度有显著影响, Au处理优于其他处理, 风沙土优于黑土。Au与Sp1处理不同程度地提高黑土播种期土壤温度, 5 cm深度土壤两者较Sp2处理分别提高3.9℃~8℃与0.5℃~4.9℃。Sp1处理较Au处理显著降低风沙土10、30、40 cm深度以及黑土20 cm土壤水分。两种土壤类型上, 玉米产量结果均以Au处理最高, 这主要得益于群体保苗密度与穗粒数提高。综上, 吉林省中部半湿润区条耕作业推荐在秋季作业。

关键词: 玉米; 保护性耕作; 条耕种植; 黑土; 风沙土; 株高整齐度

中图分类号: S513.047

文献标识码: A

Effect of Strip Tillage Time on Maize Seedling Quality and Grain Yield of Spring Maize in Semi-humid Area of Central Jilin Province

CAO Qing-jun¹, LI Gang¹, KONG Fan-li¹, YANG Fen-tuan¹, YANG Hao¹, YU Hong-hao²,

WANG Ying³, SONG Jian⁴, WANG Gui-man³

(1. Jilin Academy of Agricultural Science, Changchun 130033; 2. Lishu Agricultural Technical Extension Station, Lishu 136500; 3. Caijia Agricultural Technology Service Center, Lishu 136503; 4. Linhai Agricultural Technology Service Center, Lishu 136508, China)

Abstract: To investigate the effect of varied strip tillage(ST) time on maize seedling emergence rate and maize yield, a field experiment was conducted with three tillage times as spring soil unfreezing time(Sp1), pre-sowing time(Sp2) and autumn of last year(Au) in aeolian sand and black soil, respectively. The results showed that the effective seedlings densities and plant height uniformity(PHU) were significantly affected by tillage time, soil type and their interaction, Au showed a better PHU than other treatments, the PHU in aeolian soil has optimum value than in black soil. Soil temperature was significantly increased under Sp1 and Au during the sowing stage, whereas the two treatments had greater influence on black soil than sand soil at the 5 cm depth, and which as enhanced by 3.9℃–8℃ in Au and 0.5℃–4.9℃ in Sp1 as compared to Sp2. However, the soil water content at 10, 30, 40 cm soil depth in sand soil and 20 cm soil layer in black soil under Sp1 treatment were significant lower than Au. Two-year results showed maize yield under Au treatment were higher than that of Sp1 and Sp2 in both soil types, the increase in grain yield were mainly related to the increase of effective seedling density and kernel number per ear. In summary, autumn is the optimum time to perform ST in the semi humid area of Jilin Province.

Key words: Maize; Conservation tillage; Strip-till planting; Black soil; Aeolian sand soil; Plant height uniformity

录用日期: 2022-10-28

基金项目: 吉林省科技发展重点项目(20210202125NC)、吉林省农业科技创新工程项目(CXGC2021ZY027)

作者简介: 曹庆军(1986-), 博士, 副研究员, 主要从事作物栽培与质量安全方面的研究。E-mail: qingjun501@163.com

李 刚为本文通信作者。E-mail: laoli201@126.com

黑土区是我国春玉米的优势产区,玉米总产量占全国玉米总产量的30%以上,商品率占1/4以上^[1],被称作国家粮食安全的“稳压器”和“压舱石”。由于近几十年来高强度的开发利用以及传统的耕种习惯,导致黑土退化严重,土壤结构出现明显的“变硬、变薄、变瘦”^[2],严重制约着黑土地的可持续利用与粮食产量的持续提升。

当前随着我国黑土保护的日益重视,以免少耕为主要模式的保护性耕作得到快速发展和推广^[3]。玉米秸秆覆盖条耕种植,作为保护性耕作的一种种植方式被明确列入《东北黑土地保护行动计划技术指引》,近两年在吉林中部黑土区以及东部半山区得到快速推广^[4]。国内外研究表明,条耕种植在有效降低土壤侵蚀、培肥地力、创造良好种床条件^[5,6],克服高纬度与丘陵山区因秸秆覆盖造成的播种期低温具有重要作用^[7]。在实际生产过程中,条耕作业质量常受土壤类型、土壤水分以及作业时期等许多因素的影响^[8,9],进而对后期的播种、幼苗建成与产量形成造成不同程度的影响。在吉林省受农事作业习惯、社会经济条件以及农户认知等方面的限制,农户在条耕作业时间上存在很大差异,导致条耕作业质量与技术效果产生明显差异。目前,关于这方面的研究少有报道。因此,本研究基于不同土壤类型下条耕时间技术效果对比分析,为黑土地保护性耕作

条耕技术的规范化应用提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于2019–2020年在吉林省梨树县林海镇夏窑堡村和蔡家镇国友农机农民专业合作社试验地进行,土壤类型分别为风沙土与黑土。该区域地处松辽平原腹地,年降雨量为600~650 mm,为湿润和半湿润的过渡地带,也是吉林省优势玉米的主要产区。

1.2 试验设计

试验设土壤类型与条耕作业时间两个因素,土壤类型分别为风沙土与黑土,条耕作业时间分为春季解冻时条耕(Sp1)、播种前条耕(Sp2)与上年度秋季条耕(Au)3个处理。条耕作业深度为10±2.0 cm。试验采用随机区组设计,共18个小区,小区面积为325 m²(13 m宽×25 m长),采用宽窄行种植方式,宽行(休闲带)90 cm、窄行(种床)40 cm。试验点0~20 cm耕层土壤基本理化性状如表1所示。所用玉米品种为富民58,由吉林省富民种业有限公司提供。播种密度均为6.25万株/hm²,2019年在4月27号播种,2020年在5月1号播种,施肥采用常规“一炮轰”方式,采用“地富”牌掺混肥(24 N-12 P₂O₅-12 K₂O),用量为800 kg/hm²,播种时一次性施入。其他田间管理措施同一般生产田。

表1 试验点耕层土壤理化性状

Table 1 The soil chemical properties in the tillage layer in the experimental sites

试验地点 Test site	土壤类型 Soil type	有机质 (g/kg) Organic matter	速效氮 (mg/kg) Available N	速效磷 (mg/kg) Available P	速效钾 (mg/kg) Available K	pH值 pH value
林海	风沙土	7.75	95.61	12.26	115.86	7.72
蔡家	黑土	21.79	155.9	37.44	93.11	6.75

1.3 测定项目与方法

土壤温度在玉米播种前10 d开始,每隔5 d采用埋设的不锈钢套煤油温度计分别读取5 cm与10 cm深度土壤温度,温度计埋设位置为玉米种床位置,固定在上午11:00~11:30进行读取。土壤水分在播种当日与播种后1周,分别取0~10 cm、10~20 cm、20~30 cm、30~40 cm土层土壤,采取铝盒加热烘干法,计算质量含水量并进一步转换成体积含水量。

每个处理小区内随机选取5个点样,在5展叶期分别测量小区行距及小区50 m内的玉米株数。计算单位面积内玉米的实际株数即为保苗密度。在玉米生长的6展叶期,每个处理随机选取10株测量株

高,计算株高整齐度。其中,株高是指自根系基部至叶片最高点的位置长度,株高整齐度以株高变异系数的倒数进行表示。玉米生理成熟后,每个小区选择中间两行,调查20 m²内的实际穗数、穗鲜重,计算单穗重,然后取标准穗10穗,在自然风干后考察穗粒数、百粒重、子粒水分等性状指标,计算玉米子粒产量(14%标准水)。

1.4 数据处理与分析

利用Microsoft 2016进行数据整理,利用统计软件SPSS 24.0对子粒产量与产量构成因素进行双因素方差分析(Two-way ANOVA),处理间差异显著性采用LSD方法进行分析,利用GraphPad 9.0进行作图。

2 结果与分析

2.1 不同类型土壤下条耕作业时间对幼苗建成质量的影响

从表2可以看出,玉米保苗密度显著受土壤类型、条耕作业时间以及两者交互作用的影响。从2年结果分析,风沙土2019、2020年平均保苗密度分别为5.88万株/hm²、5.65万株/hm²,略高于黑土。不同条耕作业时间比较,在风沙土Au处理保苗密度最高,Sp1处理最低,Sp1与Sp2处理比Au处理分别降低8.90%与5.8%。在黑土2019年Sp1处理低于Au处理,且显著高于Sp2处理;2020年Sp1与Sp2处理

无显著差异,且两者均显著低于Au处理,Sp1与Sp2处理两年平均保苗密度比Au处理分别降低4.46%与7.10%。

对于幼苗株高,仅土壤类型对其有显著影响。在同一年份,风沙土幼苗株高显著高于黑土。株高整齐度显著受土壤类型、条耕作业时间以及两者交互作用的影响。不同土壤类型比较,风沙土株高整齐度显著高于黑土;不同条耕作业时间,两种土壤上均以Au处理下株高整齐度最高,风沙土Sp1与Sp2处理无显著差异,且黑土Sp1处理显著高于Sp2处理。

表2 不同条耕作业时间对风沙土与黑土春玉米幼苗建成质量的影响

Table 2 The effect of strip tillage time onspring maize seedlings establishment on aeolian sand soil and black soil

土壤类型 Soil type	条耕时间 Strip tillage time	2019年			2020年		
		保苗密度	株高	株高整齐度	保苗密度	株高	株高整齐度
		(万株/hm ²) Effective densities	(cm) Plant height	Plant height uniformity	(万株/hm ²) Effective densities	(cm) Plant height	Plant height uniformity
风沙土	Sp1	5.67±0.11 b	62.77±1.19 a	17.44±0.11 b	5.38±0.06 b	55.74±2.57 b	8.99±0.31 c
	Sp2	5.83±0.09 b	57.11±1.21 a	15.77±0.25 b	5.58±0.15 b	61.06±1.72 a	10.02±0.75 b
	Au	6.14±0.14 a	61.88±0.81 a	25.56±0.31 a	6.13±0.11 a	63.90±1.61 a	16.42±0.86 a
黑土	Sp1	5.50±0.10 b	50.29±1.32 a	9.11±0.54 b	5.32±0.18 b	47.38±0.93 a	8.21±0.22 b
	Sp2	5.17±0.06 c	49.21±0.93 a	7.77±0.32 c	5.33±0.15 b	43.81±0.92 a	7.65±0.82 c
	Au	5.75±0.10 a	55.13±0.99 a	11.54±0.51 a	5.61±0.13 a	46.84±0.61 a	12.53±0.47 a
变异来源							
土壤类型		0.001	0.014	0.033	0.044	0.019	0.021
条耕时间		0.009	0.052	0.005	0.011	0.058	0.006
土壤类型×条耕时间		0.041	0.073	0.042	0.328	0.112	0.019

注:平均值±标准误。同一列不同小写字母表示在0.05水平上差异显著。下表同。

Note: Means±SE. The different small letters in the same column mean significant differences at 0.05 level. The same below.

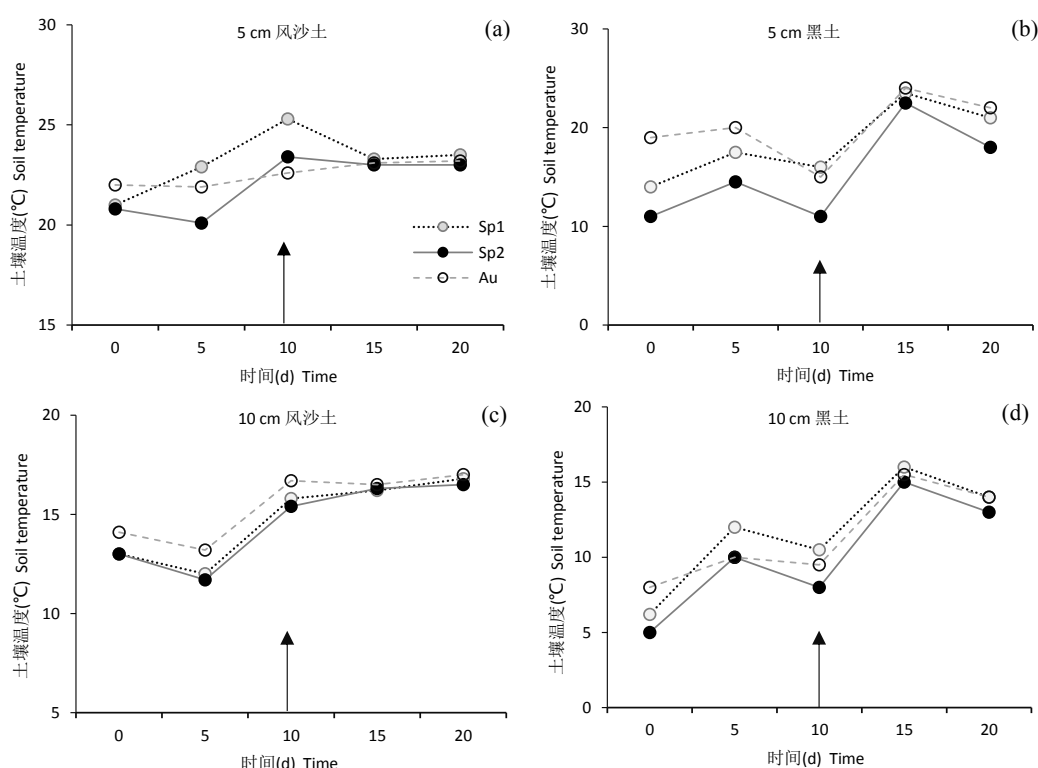
2.2 不同类型土壤下条耕作业时间对土壤温度的影响

自播种前10 d至播种后10 d,Sp1、Sp2与Au处理下以及不同深度土壤温度动态变化如图1所示。从图1中可知,在5 cm深度土壤不同处理下风沙土平均土壤温度均显著高于黑土,在10 cm深度土壤,在监测前15 d土壤温度均表现为风沙土大于黑土,在15 d之后两土壤类型下3种处理平均土壤温度无差异。不同处理比较发现,在风沙土5 cm深度土壤Au处理下土壤升温比较缓慢,Sp1和Sp2处理下升温速度较快,Sp1处理下土壤温度较Au与Sp2处理平均高0.2℃~2.8℃,在播种后3种条耕作业时间处理下土壤温度无明显差异;在10 cm深度土壤,Sp1、Sp2与Au处理下在播种前土壤温度差异较明显,表现为Au处理大于Sp1与Sp2处理,在播种后差异不

明显。对于黑土,在5 cm深度土壤均表现为Au处理高于Sp1和Sp2处理,Sp2处理温度最低,Au与Sp1处理分别比Sp2处理高3.9℃~8℃与0.5℃~4.9℃;在10 cm深度土壤,Sp1处理土壤升温较快在监测后0~15 d显著高于其他处理,Sp2处理下土壤温度最低,Sp1处理比其他处理高1.0℃~1.5℃。

2.3 不同类型土壤下条耕作业时间对土壤水分的影响

土壤水分是影响种子萌发与出苗的主要因素。从播种时及播种后1周后土壤水分比较来看,两种土壤类型下,不同条耕时间处理间及土壤深度下水分含量存在显著差异(图2)。播种时,风沙土10 cm、30 cm与40 cm深度土壤Au处理土壤水分含量最高,20 cm深度土壤水分无显著差异;黑土10 cm与20 cm土壤深度Au处理含水量最高,不同条耕处理



注:图中箭头表示播种时间。

Note: The arrow indicates the sowing date.

图1 不同条耕作业时间对风沙土与黑土播种期土壤温度的影响

Fig.1 The effect of strip tillage time on the temporal changes of aeolian sand soil and black soil temperature during seeding stage

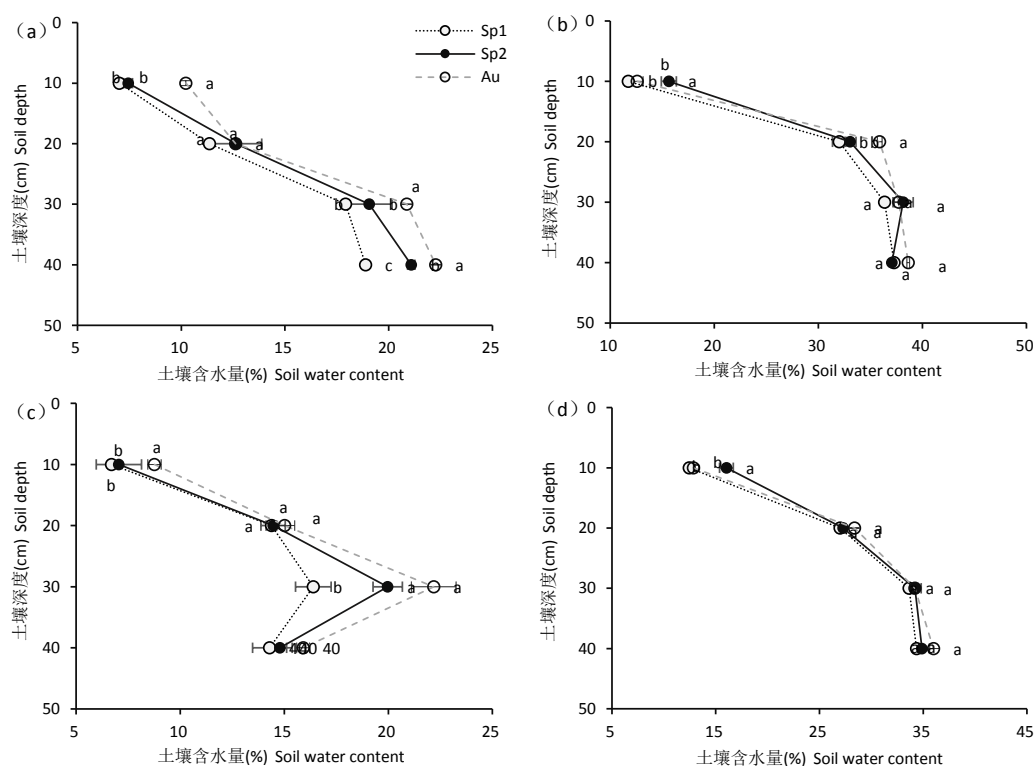


图2 不同条耕作业时间对风沙土与黑土播种期0~40 cm深度土壤水分的影响

Fig.2 The effect of strip tillage time on the soil water content at 0~40 cm soil depth of aeolian sand soil and black soil during seeding stage

在30 cm与40 cm深度土壤水分无显著差异。

播种1周后,风沙土10 cm土壤深度Au处理仍高于其他处理,20 cm和40 cm深度土壤水分不同处理无显著差异,30 cm土壤深度Au与Sp2处理无差异,且两者显著高于Sp1处理;黑土上,除10 cm深度Sp2处理大于Au与Sp1处理外,其他土壤深度各处理均无显著差异。

2.4 不同类型土壤下条耕作业时间对玉米产量及产量构成因素的影响

不同土壤类型及条耕作业时间处理下玉米子粒产量具有显著差异(表3)。2年试验结果表明,黑土

玉米子粒平均产量均显著高于风沙土;不同条耕作业时间比较,两种土壤均以秋季条耕作业处理下产量最高,风沙土Au处理比Sp1与Sp2处理分别提高5.07%与6.79%,黑土Au处理比两个处理分别提高3.11%与15.86%。

从产量构成因素来看,不同土壤类型下收获穗数无显著差异,黑土上穗粒数和百粒重均显著高于风沙土;不同作业时间处理比较,条耕作业时间对收获穗数和穗粒数均有显著影响,对子粒百粒重无显著影响。

表3 不同条耕作业时间对风沙土与黑土2019年和2020年春玉米子粒产量与产量构成因素的影响

Table 3 Strip tillage time on maize grain yield and yield component of spring maize on aeolian sand soil and black soil in 2019 and 2020

土壤类型	条耕时间	子粒产量(kg/hm²)	收获穗数(20 m²)	穗粒数(粒)	百粒重(g)	
Soil type	Strip tillage time	Grain yield	Ears of harvest	Kernels per ear	100-kernel weight	
2019年 风沙土	Sp1	10 742.00±391 a	109.3±1.76 c	605.00±4.85 b	32.77±0.63 a	
	Sp2	10 110.77±248 b	114.7±0.66 b	611.30±4.04 a	30.97±0.87 a	
	Au	11 054.70±625 a	119.3±2.91 a	615.60±8.29 a	32.00±0.10 a	
	黑 土	Sp1	11 306.17±92.3 b	117.0±0.50 b	645.10±2.28 b	35.44±0.67 a
		Sp2	10 615.04±288 a	113.0±2.50 c	605.80±21.18 c	34.27±0.16 a
		Au	12 138.80±723 a	121.0±1.50 a	666.20±19.05 a	38.58±1.04 a
	变异来源					
	土壤类型	0.034	0.108	0.008	0.001 4	
	条耕时间	0.047	0.041	0.021	0.080 0	
	土壤类型×条耕时间	0.403	0.148	0.098	0.316 0	
2020年 风沙土	Sp1	9 837.24±395 b	108.0±1.15 b	609.50±18.1 b	31.50±0.98 a	
	Sp2	10 138.18±199 a	116.0±1.20 a	642.20±20.9 a	32.20±0.29 a	
	Au	10 568.22±340 a	115.6±2.03 a	641.00±11.7 a	34.60±0.29 a	
	黑 土	Sp1	12 061.27±217 a	115.0±0.58 b	690.99±7.3 a	34.80±0.23 a
		Sp2	10 179.97±136 b	116.0±2.40 b	671.80±5.2 a	31.47±0.37 a
		Au	11 956.00±635 a	124.0±5.03 a	687.61±5.4 a	34.07±0.15 a
	变异来源					
	土壤类型	0.090	0.080	0.008	0.004 1	
	条耕时间	0.011	0.015	0.034	0.060 0	
	土壤类型×条耕时间	0.189	0.758	0.800	0.154 0	

3 结论与讨论

群体密度与幼苗株高整齐度是衡量玉米出苗质量的重要指标,也是影响玉米产量形成的基础^[10]。秸秆覆盖是当前黑土免少耕保护性耕作技术的重要技术环节,也是影响玉米出苗质量的主要因素。前期研究表明,秸秆覆盖量、播种时间与种床质量均能影响玉米萌发与幼苗建成,秸秆覆盖量与种床质量是影响出苗质量最重要的因素。种床质量可利用种床平整度、秸秆覆盖量、土壤温度和水分条件

等指标进行系统评价^[11]。本研究表明,无论是风沙土还是黑土,秋季条耕作业均可显著提高玉米的有效保苗密度。条耕种植通过对种床的局部动土作业,不但可以创造疏松、平整的种床条件,而且能有效提高播种期土壤温度^[12],有利于种子萌发^[13]。秋季条耕作业,经过冬季土壤冻融交替作用,从而形成紧实度与土壤结构更加良好的种床环境条件^[14],是秋季条耕作业提高玉米保苗密度的重要原因。

幼苗株高整齐度与群体密度是评价出苗质量的重要指标,与玉米产量水平有显著相关性。幼苗株

高整齐度取决于种子萌发速率以及种子入土深浅一致性^[15]。良好的种床环境是实现种子入土深浅一致的必要条件。本研究表明,Au处理即秋季条耕作业相对春季作业可有效提高玉米的整齐度。此前研究证实,秋季比春季整地作业能更好地发挥黑土“蓄水、保墒”效应,利于玉米群体建成与产量潜力发挥^[16]。此外,条耕作业创造出相对疏松的土壤结构,提高种子入土的一致性,从而有利于提高幼苗的株高整齐度^[17]。

耕作措施不但能直接改变种床紧实度等土壤物理结构,而且能影响土壤与大气之间的水热交换,进而影响土壤温度和水分^[18]。在秸秆覆盖还田条件下,播种期土壤温度对高纬度地区种子萌发速度与幼苗形态建成有显著影响。本研究表明,在秋季条耕、化冻期条耕作业处理与播前条耕相比,能显著提高播种期的土壤温度,这是因为通过秋季条耕作业或者早春条耕,可对种床位置土壤进行不同程度的扰动,增加接受太阳辐射有效面积,从而有利于土壤温度提高。另外,在条耕作业过程中,常常伴随秸秆归行等处理,减少了玉米秸秆覆盖度,从而有利于土壤升温。雨养条件下,播种期土壤水分状况也是决定种子萌发速率的重要因素。春季条耕(Sp1与Sp2处理)与秋季条耕(Au)相比,显著降低了风沙土10 cm、30 cm与40 cm深度土壤及黑土10 cm与20 cm深度土壤水分,说明在春季进行条耕作业不利于土壤水分保持。相对于黑土不同时间条耕处理对风沙土垂直剖面土壤水分影响更大,这除了与土壤孔隙度、导热性、有机质等土壤理化性质差异有关外^[19],也与传统耕作下黑土犁底层存在有一定关系^[20],进而影响土壤透水性。

玉米子粒产量主要取决于单位面积有效穗数及单穗重量,单穗重量取决于穗粒数和百粒重^[21]。雨养条件下,土壤水分与温度是影响风沙土与黑土出苗质量的主要限制因子。从本研究2年试验结果来看,无论是风沙土还是黑土,Au处理能显著提高收获穗数和穗粒数,进而提高玉米产量。综上,Au处理可充分协调播种期的土壤水分和温度,有利于提高玉米保苗密度与株高整齐度,为吉林中部区域推荐的条耕作业时间。

参考文献:

- CAO Q J, LI G, YANG F T, et al. Maize yield, biomass and grain quality traits responses to delayed sowing date and genotypes in rain-fed condition[J]. Emirates Journal of Food and Agriculture, 2019, 415-425.
- 李保国,刘忠,黄峰,等.巩固黑土地粮仓保障国家粮食安全[J].中国科学院院刊,2021,36(10):1184-1193
- LI B G, LIU Z, HUANG F, et al. Ensuring national food security by strengthening high-productivity black soil granary in Northeast China[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2021, 36(10): 1184-1193. (in Chinese)
- 石东峰,米国华.玉米秸秆覆盖条耕技术及其应用[J].土壤与作物,2018,7(3):349-355.
SHI D F, MI G H. Straw mulching strip-till technology and its application in corn production[J]. Soils and Crops, 2018, 7(3): 349-355. (in Chinese)
- 曹庆军,杨粉团,孔凡丽,等.秸秆全量还田条耕种植模式对春玉米出苗质量与产量的影响[J].东北农业科学,2020,45(3):6-11.
CAO Q J, YANG F T, KONG F L, et al. Total straw return with strip-tillage practices and its effect on seeding characters and yield of spring maize[J]. Journal of Northeast Agricultural Sciences, 2020, 45(3): 6-11. (in Chinese)
- FANIGLIULO R, POCHI D, SERVADIO P. Conventional and conservation seedbed preparation systems for wheat planting in silty-clay soil[J]. Sustainability, 2021, 13(11): 6506.
- 郝展宏,沙野,米国华.东北地区玉米秸秆覆盖技术应用现状与对策[J].玉米科学,2021,29(3):100-110.
HAO Z H, SHA Y, MI G H. Current application status of maize residue mulching in northeast China and the policy recommendation[J]. Journal of Maize Sciences, 2021, 29(3): 100-110. (in Chinese)
- WANG W, JIA H, DIAO P. Effects of strip till planter on soil physical properties and maize (*Zea mays* L.) growth in Northeast China[J]. Archives of Agronomy and Soil Science, 2019: 1-14.
- 贾天宇.玉米秸秆覆盖还田对土壤水热条件和杂草发生的影响[D].哈尔滨:东北农业大学,2020.
- 张丽华,徐晨,于江,等.半湿润区秸秆还田对土壤水分、温度及玉米产量的影响[J].水土保持学报,2021,35(4):299-306.
ZHANG L H, XU C, YU J, et al. Effect of straw returning on soil moisture, temperature and maize yield in semi humid area[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2021, 35(4): 299-306. (in Chinese)
- 王伟,吴晓芳,王晴晴,等.免耕直播下秸秆还田方式对夏玉米苗期生长的影响[J].农业机械学报,2020,51(5):315-323.
WANG W W, WU X F, WANG Q Q, et al. Effects of different seedbed straw treatments on summer maize seedling growth under no-tillage direct seeding[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2020, 51(5): 315-323. (in Chinese)
- GUERIF J, RICHARD G, DÜRR C, et al. A review of tillage effects on crop residue management, seedbed conditions and seedling establishment[J]. Soil and Tillage Research, 2001, 61(1-2): 13-32.
- ADEE E, HANSEL F D, RUIZ DIAZ D A, et al. Corn response as affected by planting distance from the center of strip-till fertilized rows[J]. Frontiers in Plant Science, 2016, 7, 1232.
- LI Q, LIU C, WANG X, et al. Influence of altered microbes on soil organic carbon availability in karst agricultural soils contaminated by Pb-Zn tailings[J]. Front Microbiol, 2018, 2062.
- 牛浩,罗万清,王晋峰,等.冻融对东北黑土风干团聚体与水稳性团聚体组成及稳定性的影响[J].土壤通报,2020,51(4):841-847.
NIU H, LUO W Q, WANG J F, et al. Effects of freeze-thaw on the composition and stability of air-dried and water-stable aggregates

- of black soil in Northeast China[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2020, 51(4): 841–847. (in Chinese)
- [15] 李瑞平. 吉林省半湿润区不同耕作方式对土壤环境及玉米产量的影响[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2021.
- [16] 闫伟平, 边少锋, 赵洪祥, 等. 半干旱区深松垄作对春玉米生长及产量的影响[J]. 东北农业科学, 2016, 41(6): 21–25.
- YAN W P, BIAN S F, ZHAO H X, et al. Effects of subsoiling ridge planting on growth and yield of spring maize in semi arid area[J]. Journal of Northeast Agricultural Sciences, 2016, 41(6): 21–25. (in Chinese)
- [17] JOKELA D, NAIR A. No tillage and strip tillage effects on plant performance, weed suppression, and profitability in transitional organic broccoli production[J]. Hort Science, 2016, 51(9): 1103–1110.
- [18] CAO Q, LI G, YANG F, et al. Eleven-year mulching and tillage practices alter the soil quality and bacterial community composition in Northeast China[J]. Archives of Agronomy and Soil Science, 2021, 1–16.
- [19] 颜景波, 韩志松, 王慧新, 等. 风沙半干旱区风沙土不同耕法水土保持效果研究[J]. 河南农业科学, 2010(8): 62–63.
- YAN J P, HAN Z S, WANG H X, et al. Study on the effects of soil and water conservation on different tillage methods in aeolian semi-arid areas[J]. Henan Agricultural Sciences, 2010(8): 62–63. (in Chinese)
- [20] 曹庆军, 李刚, 杨粉团, 等. 模拟犁底层对春玉米物质积累及转运与分配的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2017, 35(2): 46–50.
- CAO Q J, LI G, YANG F T, et al. Effects of simulated plow pan on accumulation, transportation and distribution of dry matter in spring maize[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2017, 35(2): 46–50. (in Chinese)
- [21] 张文可, 苏思慧, 隋鹏祥, 等. 秸秆还田模式对东北春玉米根系分布和水分利用效率的影响[J]. 生态学杂志, 2018, 37(8): 2300–2308.
- ZHANG W K, SU S H, SUI P X, et al. Effect of straw incorporation modes on root distribution and water use efficiency of spring maize in Northeast China[J]. Chinese Journal of Ecology, 2018, 37(8): 2300–2308. (in Chinese)

(责任编辑: 姜媛媛)