东北农业科学　2025,50(5):8-14,32
Journal of Northeast Agricultural Sciences　DOI: 10.16423/j.cnki.1003-8701.2025.05.002

不同耕作方式与苗带镇压对土壤物理性质及玉米产量的影响

邓奥严,马襄鸿,姜业成,徐　博,孙海全*,王立春*
(吉林省农业科学院(中国农业科技东北创新中心),长春 130033)

摘　要:本研究以春玉米为供试作物,设置4种处理:深翻播种后镇压(T_1)、深翻播种(T_2)、旋耕播种后镇压(T_3)、旋耕播种(T_4),探究不同耕作方式结合苗带镇压对土壤紧实度、土壤温度、土壤含水率、土壤容重、土壤孔隙度、土壤三相比、玉米产量及其构成因素的影响。结果表明,在5 cm取样深度,T_1较T_2处理土壤日平均温度提高11.48%,土壤紧实度提高116.05%。在0~<10 cm取样深度,T_1较T_2处理土壤含水率提高5.14%、土壤容重提高8.89%、土壤孔隙度降低10.61%,土壤三相比偏离值、土壤结构指数(*GSSI*)差异显著;T_3较T_4处理土壤日平均温度提高15.27%,土壤紧实度提高67.44%,土壤含水率提高9.84%、土壤容重提高22.56%、土壤孔隙度降低13.44%,土壤三相比偏离值、*GSSI*差异显著。T_1处理玉米产量最高为12 246.58 kg/hm^2。T_1较T_2处理平均穗粒数提高7.06%,千粒重提高5.12%,玉米产量增加了1 447.27 kg/hm^2,增幅13.40%;T_3较T_4处理平均穗粒数提高7.16%,千粒重提高5.65%,玉米产量增加了1 478.18 kg/hm^2,增幅13.98%,差异显著。综上所述,不同耕作方式结合播种后镇压可显著改善土壤耕层结构,提高玉米产量,增产效果以深翻播种后镇压较好,可在吉林省西部半干旱淡黑钙土区玉米高产高效栽培中进一步推广应用。

关键词:玉米;产量;耕作方式;苗带镇压;土壤物理性质
中图分类号:S513.05;S157.4$^+$2　**文献标识码**:A　**文章编号**:2096-5877(2025)05-0008-06

Effects of Different Tillage Methods and Seedbed Compaction on Soil Physical Properties and Maize Yield

DENG Aoyan, MA Xianghong, JIANG Yecheng, XU Bo, SUN Haiquan*, WANG Lichun*
(*Jilin Academy of Agricultural Sciences*(*Northeast Agricultural Research Center of China*), *Changchun* 130033, China)

Abstract: To explore the effects of different tillage methods and seedbed compaction on soil physical properties, maize yield and its components, and provide a theoretical basis and technical support for formulating reasonable tillage methods in the semi-arid light chernozem area of western Jilin Province. Taking spring maize as the test crop, four treatments were set up: deep plowing + sowing + compaction (T_1), deep plowing + sowing (T_2), rotary tillage + sowing + compaction(T_3), rotary tillage + sowing(T_4). This study systematically analyzed the effects of different tillage methods combined with seedbed compaction on soil compaction, soil temperature, soil moisture content, soil bulk density, soil porosity, soil three-phase ratio, maize yield and its components. At the 5 cm sampling depth, compared with T_2, the daily average soil temperature of T_1 increased by 11.48% and soil compaction increased by 116.05%. At the 0-10 cm sampling depth, compared with T_2, T_1 had a 5.14% increase in soil moisture content, an 8.89% increase in soil bulk density, and a 10.61% decrease in soil porosity, with significant differences in soil three-phase ratio deviation and soil structure index(*GSSI*); compared with T_4, T_3 had a 15.27% increase in daily average soil temperature, a 67.44% increase in soil compaction, a 9.84% increase in soil moisture content, a 22.56% increase in soil bulk density, and a 13.44% decrease in soil porosity, with significant differences in soil three-phase ratio deviation and *GSSI*. For maize yield and its components, T_1 had the highest maize

收稿日期:2025-06-27
基金项目:吉林省重大科技专项(20220302008NC);国家重点研发计划项目(2024YFD15003027);吉林省农业科技创新工程项目(CXGC2024ZY019,CXGC2024ZY018)
作者简介:邓奥严(1997-),男,研究实习员,硕士,主要从事农业机械研究。
通信作者:孙海全,E-mail: 13944255026@163.com
王立春,E-mail: wlc1960@163.com

yield(12 246.58 kg/ha). Compared with T_2, T_1 had a 7.06% increase in average kernels per ear, a 5.12% increase in 1000-kernel weight, and a maize yield increase of 1 447.27 kg/ha(an increase of 13.40%); compared with T_4, T_3 had a 7.16% increase in average kernels per ear, a 5.65% increase in 1000-kernel weight, and a maize yield increase of 1 478.18 kg/ha(an increase of 13.98%), with significant differences. Different tillage methods combined with post-sowing compaction can significantly improve the soil plow layer structure and increase maize yield. The deep plowing + sowing + compaction treatment has the best yield-increasing effect, which can be further promoted and applied in high-yield and efficient maize cultivation in the semi-arid light chernozem area of western Jilin Province.

Key words: Maize; Yield; Tillage method; Seedbed compaction; Soil physical property

玉米位列我国四大粮食作物之首,不仅是重要的粮食作物,还是饲料加工、制糖酿酒以及石油化工等行业的重要原料,对国家粮食安全和经济发展有着不可替代的作用[1]。据统计,2024年吉林省玉米播种面积433万hm^2,占全国玉米播种面积的10.38%;产量3 250万t,占全国玉米总产量的10.79%,较全国平均水平高12.95%[2]。吉林省西部半干旱区作为玉米主产区,该地区土壤多为淡黑钙土,占全省土壤资源总面积的6.2%[3]。当地传统耕作方式(铧犁翻耕20 cm)技术陈旧、管理粗放,导致土壤侵蚀、有机质下降、养分和水分库容变小、土壤退化等问题,严重影响玉米根系的生长发育以及对水分、养分的吸收,玉米增产潜力受到极大限制[4-5];不同耕作方式对土壤理化性质、养分状况及植株生长的影响亦存在差异[6]。因此,寻找适宜吉林省半干旱区的耕作方式对土壤物理性质及玉米产量提升具有重要意义[7]。旋耕可以减少田间杂草数量,改善表层土壤结构,增加土壤通气性和透水性,有利于作物根系生长,为玉米的生长发育提供稳定的养分和水分环境[8-9]。深翻可以打破犁底层,改善土壤耕层状态,促进土壤碳库周转,为深层土壤提供碳源,提高土壤碳固持能力,有效增加深层土壤的通透性和持水性,有利于植株根系生长和后期作物产量提升[10]。Miransari等[11]研究表明,适当镇压可以提高土壤的紧密度,改善土壤保墒、保肥能力,促进作物生长;Kucukerdem等[12]研究表明,土壤压实对玉米幼苗出苗有积极影响;李笃仁等[13]研究发现,播前镇压对作物出苗和提高产量都具有促进作用。但目前关于不同耕作方式播后镇压能否改善土壤物理结构性质和提高玉米产量的研究尚不明确。因此,本研究系统分析了深翻播种后镇压、深耕播种和旋耕播种后镇压、旋耕播种对土壤物理性质和玉米产量的影响,旨在为吉林省半干旱区选择合适的耕作方式,以期为玉米产量提升提供理论依据和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于2024年在吉林省农业科学院洮南东方红畜牧场进行(123°33′ E,45°14′ N),该试验地区属中温带半干旱大陆性季风气候,干旱少雨,蒸发强烈,温差大,季节性强,雨热同季。春季干旱多风少雨,夏季炎热降雨集中,秋季冷暖适中,冬季严寒少雪。年均降水量350~450 mm,集中在6-8月,年均蒸发量1 500~2 000 mm,年均日照时数3 005.3 h,年均有效积温3 000.5 ℃·d,无霜期135~145 d。试验地土壤类型为淡黑钙土,0~20 cm土层pH值7.8,有机质含量13.75 g/kg,全氮含量1.68 g/kg,有效磷含量17.6 mg/kg,速效钾含量132.5 mg/kg。

1.2 试验设计

试验设4个处理:深翻播种后镇压(T_1)、深翻播种(T_2)、旋耕播种后镇压(T_3)、旋耕播种(T_4)。依托常规耕作机具进行田间作业,于2023年玉米收获后进行秸秆全量深翻还田与旋耕处理。2024年5月5日完成玉米播种,播种后采用自主研制的1ZY-6六行可折叠式苗带镇压器进行镇压作业,镇压器单体轮径60 cm,单体重量130 kg,作业幅宽20 cm,滚动压力650 g/cm^2。试验玉米品种为富民985,种植密度7.5万株/hm^2,株距20.5 cm,4个处理均施氮220 kg/hm^2、磷(P_2O_5)90 kg/hm^2、钾(K_2O)90 kg/hm^2。氮肥为尿素(N 46%),磷肥为磷酸二铵(N 18%、P_2O_5 46%),钾肥为氯化钾(KCl 60%),30%基施,70%在玉米抽雄吐丝期追施。每个处理3次重复,随机区组排列。小区面积70 m^2(7 m×10 m),行距50/80 cm,宽窄行种植。其他管理措施同一般大田。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 土壤紧实度

播种后采用SY-T02土壤紧实度测定仪(武汉

新普惠科技有限公司)测量地表下5、10、15、20 cm处土壤紧实度。

1.3.2 土壤温度

玉米出苗后连续2 d调查昼夜温度变化,2 h调查1次,使用MT40直插式土壤温度传感器(武汉新普惠科技有限公司)每日0:00、2:00、4:00、6:00、8:00、10:00、12:00、14:00、16:00、18:00、20:00、22:00对地表下5 cm处进行土壤温度测量并记录。

1.3.3 土壤含水率、孔隙度、容重

用环刀采集0~<10、10~20 cm土层土壤样品,测定土壤容重,计算土壤含水率、土壤孔隙度。计算公式如下:

$$土壤容重 = (W_4 - W_0)/V$$

$$土壤含水率 = (W_1 - W_4)/(W_4 - W_0) \times 100\%$$

$$土壤孔隙度 = (W_2 - W_4)/V \times 100\%$$

其中:W_0为环刀重(g);W_1为环刀加自然土重(g);W_2为达到饱和土壤含水量时环刀加土重(g);W_3为重力水排出后环刀加土重(g);W_4为烘干后环刀加土重(g);V为环刀体积(cm^3)。

1.3.4 土壤三相比

每个土壤样品的三相比数据均由土壤固相、液相和气相3个部分组成,适宜玉米生长的土壤三相比为50∶25∶25[14]。

$$土壤三相比偏离值(R) = \sqrt{0.4 \times (X - 50)^2 + (Y - 25)^2 + 0.6 \times (Z - 25)^2}$$

$$X = 100 \times (1 - 土壤孔隙度)$$

$$Y = 100 \times 土壤含水率$$

$$Z = 100 \times (土壤孔隙度 - 土壤函数率)$$

其中:R为所测定土壤样品三相比与适宜状态下土壤三相比在空间距离上的差值;X为土壤样品固相测定值,Y为土壤样品液相测定值,Z为土壤样品气相测定值;0.4为土壤固相数据所占有的权重,0.6为土壤气相数据所占有的权重;R值越小,土壤三相比越好[15]。

广义土壤结构指数(Generalized Soil Structure Index, *GSSI*)能够有效地综合反映土壤结构的变化,土壤结构越接近理想状态,*GSSI*值越接近100,*GSSI*计算公式如下:

$$GSSI = \left[(X_S - 25) X_L X_G\right]^{0.4769}$$

其中,X_S为固相体积百分比(>25%);X_L为液相体积百分比(>0);X_G为气相体积百分比(>0)。

1.3.5 玉米出苗率

于5月28日调查玉米出苗数,计算出苗率。

$$S_P = E_n/S_N \times 100\%$$

其中:S_p表示出苗率(%);E_n表示出苗数(株);S_N表示播种数(粒)。

1.3.6 玉米产量

2024年10月玉米收获时,测定玉米产量(14%的含水量)。

(1)测算单位面积收获密度。通过五点取样法测量单位面积植株数。

(2)测取平均穗粒数。连续收集10个果穗,统计穗粒数。

(3)测算千粒重。用测产果穗烘干后称取千粒重。

(4)计算产量。将以上测得的数据由以下公式计算产量[16-17]。

$$果穗鲜重 = \frac{收获密度 \times 穗粒数 \times 千粒重}{1\,000\,000}$$

$$实际产量 = 果穗鲜重 \times \frac{1 - 鲜籽粒含水率}{1 - 籽粒标准含水率}$$

1.4 数据处理与分析

采用Microsoft Excel 2010和Origin 2024进行数据整理及图表绘制,使用DPS 9.01进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 不同处理对土壤紧实度的影响

由表1可知,不同耕作方式对土壤紧实度有显著影响,土壤紧实度随着取样深度增加而增加。在5 cm取样深度,镇压与未镇压处理对土壤紧实度有显著影响,T_1较T_2处理土壤紧实度提高116.06%,T_3较T_4处理土壤紧实度提高67.44%。在10、15、20 cm取样深度,T_1与T_2,T_3与T_4处理之间差异不显著。

表1 不同处理土壤紧实度 kg/cm^2

Table 1 Different soil compaction levels under various treatments

处理 Treatment	土壤紧实度 Soil compaction			
	5 cm	10 cm	15 cm	20 cm
T_1	2.96±0.40a	4.84±0.68a	7.39±1.11a	8.15±0.74b
T_2	1.37±0.09c	4.68±0.20a	7.27±0.20a	8.09±0.23b
T_3	2.16±0.33b	2.88±0.58b	6.10±0.40b	13.95±1.46a
T_4	1.29±0.45c	2.72±0.30b	6.02±0.09b	13.10±1.4a

注:小写字母不同表示差异显著(P<0.05),下同。

Note: Different lowercase letters indicate significant differences(P<0.05), the same below.

2.2 不同处理对土壤温度的影响

由图1、图2可知,在5 cm取样深度,T_1较T_2处

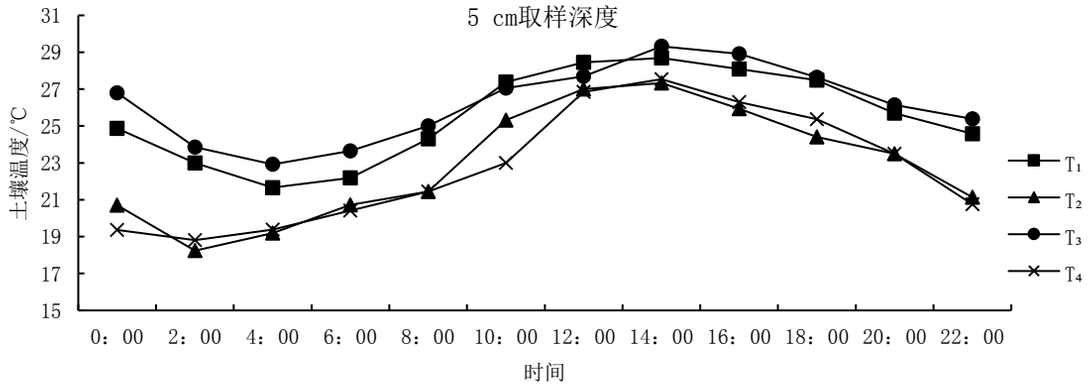


图1　不同处理5 cm取样深度土壤温度

Fig.1 Soil temperature at 5 cm sampling depth under different treatments

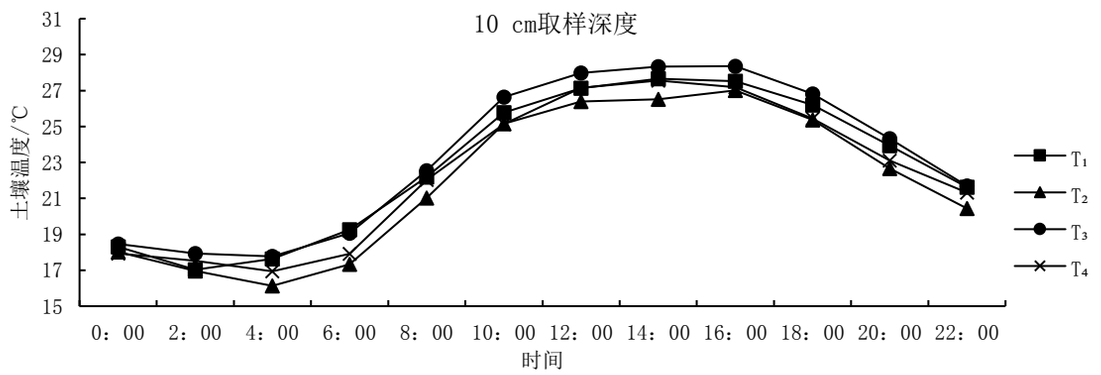


图2　不同处理10 cm取样深度土壤温度

Fig.2 Soil temperature at 10 cm sampling depth under different treatments

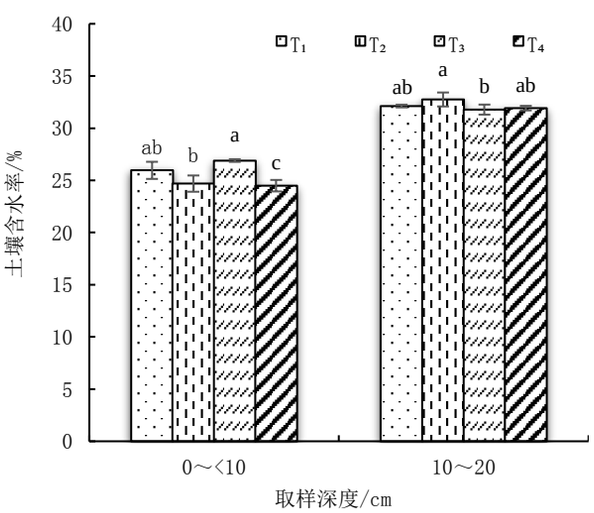
理土壤温度日平均值提高11.48%，T_3较T_4处理土壤温度日平均值提高15.27%。在10 cm取样深度，土壤日均昼夜最大温差：T_1处理为7.03 ℃，T_2处理为9.09 ℃，T_3处理为6.40 ℃，T_4处理为8.73 ℃，温度变化不明显。

2.3　不同处理对土壤含水率、容重、孔隙度的影响

由图3可以看出，0~<10 cm取样深度T_1较T_2处理土壤含水率提高5.14%，差异不显著；T_3较T_4处理土壤含水率提高9.84%，差异显著。10~20 cm取样深度，T_1与T_2、T_3与T_4处理间土壤含水率差异不显著。

由图4可知，镇压处理使土壤容重增加。0~<10 cm取样深度，T_1较T_2处理土壤容重增加8.89%，差异显著；T_3较T_4处理土壤容重增加22.56%，差异显著。10~20 cm取样深度，T_1比T_2处理土壤容重增加8.89%，差异显著；T_3比T_4处理土壤容重增加22.56%，差异显著。

由图5可知，0~<10 cm取样深度不同耕作方式对土壤孔隙度有显著影响，T_1较T_2处理土壤孔隙度降低10.61%，差异显著；T_3较T_4处理降低13.44%，差异显著。10~20 cm取样深度T_1与T_2、T_3与T_4处理差异不显著。



注：小写字母不同表示差异显著(P<0.05)，下同。

Note: Different lowercase letters indicate significant differences(P<0.05), the same below.

图3　不同试验处理土壤含水率

Fig. 3 Different experimental treatments of soil moisture content

2.4　不同处理对土壤三相比的影响

由表2可知，各处理气相均随土层深度增加而降低，上层气相明显高于下层，而随着土层深度的增加，固相、液相呈上升趋势。各处理0~20 cm土

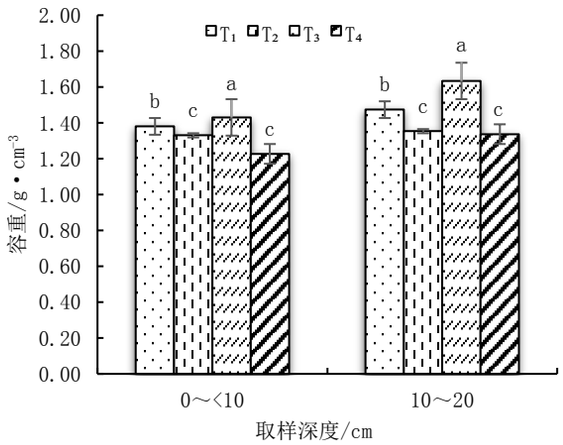


图4 不同处理土壤容重

Fig.4 Different experimental treatments of soil bulk dens

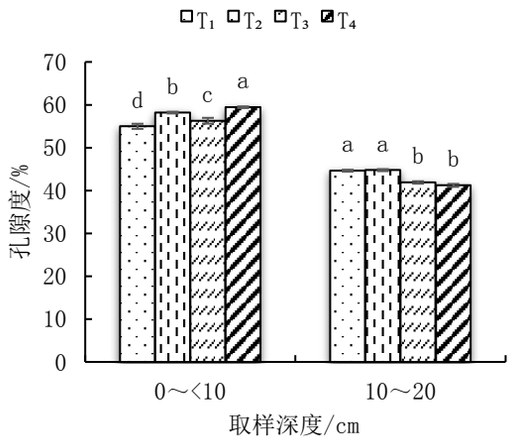


图5 不同处理土壤孔隙度

Fig. 5 Different experimental treatments of soil porosity

层的三相比偏离值(*R*)均随土层深度增加而增加，其中0~<10 cm土层深度，T_1与T_2处理三相比偏离值差异显著，T_3与T_4处理三相比偏离值差异显著；10~20 cm土层深度，T_1与T_2处理三相比偏离值差异不显著，T_3与T_4处理三相比偏离值差异不显著。

广义土壤结构指数(*GSSI*)是反映土壤结构稳定性的重要指标。各处理*GSSI*均随土层深度增加而降低，0~<10 cm土层深度，T_1处理*GSSI*显著高于T_2处理，T_3处理显著高于T_4处理；10~20 cm土层深度，T_1与T_2、T_3与T_4处理间*GSSI*差异不显著。

表2 不同处理对土壤三相比及结构稳定性的影响

Table 2 Effects of different experimental treatments on soil three comparisons and structural stability

土层深度/cm Solid depth	处理 Treatment	固相/% Solid	液相/% Liquid	气相/% Gas	*R*	*GSSI*
0~<10	T_1	45.02±0.76a	25.96±0.82a	28.36±1.15b	4.87±0.65d	97.56±1.72a
	T_2	41.82±0.78c	24.69±0.74b	33.49±0.04a	8.40±0.32b	94.56±0.72b
	T_3	43.72±0.58b	26.90±0.24a	29.05±1.36b	6.19±0.17c	96.86±0.45a
	T_4	40.56±0.45d	24.49±0.32b	34.94±0.76a	9.79±0.38a	92.66±0.89b
10~20	T_1	55.37±0.37b	32.12±0.15ab	12.54±0.38a	12.67±0.45b	88.86±0.86a
	T_2	55.21±0.57b	32.75±0.84a	13.11±0.62a	13.11±0.62b	87.84±0.89a
	T_3	58.12±0.46a	31.78±0.48b	10.10±0.71b	14.34±0.71a	70.07±1.45b
	T_4	58.80±0.53a	31.92±0.22ab	9.28±0.74b	15.07±0.69a	68.36±1.68b

2.5 不同处理对玉米出苗率的影响

由图6可知，T_1处理玉米出苗率表现最好。T_1较T_2处理提高1.94%，差异显著；T_3较T_4处理提高1.84%，差异显著；但T_1与T_3处理玉米出苗率未表现出显著差异。

2.6 不同处理对玉米产量的影响

由表3可知，各处理玉米收获密度差异不显著。穗粒数、千粒重、产量T_1与T_2、T_3与T_4处理差异显著，T_1较T_2处理平均穗粒数增加7.06%，千粒重增加5.12%，玉米产量提高13.40%；T_3较T_4处理平均穗粒数增加7.16%，千粒重增加5.65%，产量提高13.98%。

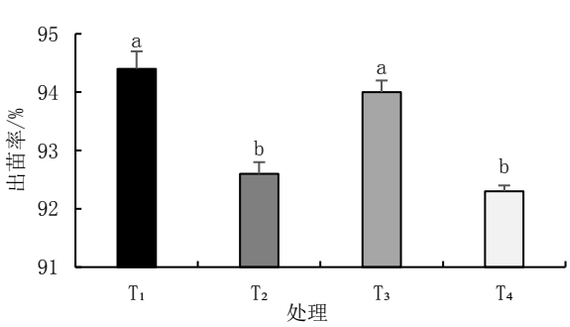


图6 不同处理对玉米出苗率的影响

Fig. 6 Effects of different treatments on maize emergence rate

表3　不同处理玉米产量及其构成因素

Table 3 Maize yield and its constitutive factors under different treatments

处理 Treatment	收获密度/株·hm^{-2} Planting density per unit area	穗粒数/粒 Grains per ear	千粒重/g 1000- kernel weight	产量/kg·hm^{-2} Yield
T_1	67 855±444a	546±18a	369.33 ±6.03a	12 246.58±595a
T_2	67 351±125a	510±19b	351.33±9.61b	10 799.31±620b
T_3	67 885±148a	539±11a	367.33±8.50a	12 052.68±525a
T_4	67 455±359a	503±10b	347.67±8.62b	10 574.50±269b

3　讨论与结论

适宜的耕作方式可以改善土壤物理性质,为玉米根系生长创造了有利的土壤环境[18]。土壤容重作为衡量土壤结构特征及整体质量的关键指标,对玉米的生长发育、产量形成以及产品品质的塑造具有重要作用[19]。土壤孔隙度,即土壤颗粒间空隙,是土壤中容纳空气和水分的空间,良好的土壤孔隙度对土壤中水分和养分的运输起决定性作用[20]。本研究设置4种不同耕作方式,系统研究了耕作方式对土壤物理性质的影响。研究发现,深翻播种后镇压和旋耕播种后镇压可以调节土壤孔隙度和容重,使土壤三相比偏离值更低,接近于理想状态,可以提高土壤温度和含水率,改善土壤结构[21]。本试验结果表明,播种后镇压,土壤含水率、容重显著提高,土壤孔隙度呈下降趋势,与姜业成等[22]的研究结果苗带镇压可以压实土壤、压碎土块,保证出苗的结果一致,表明镇压具有增加土壤紧实度、保持土壤湿度的作用。土壤作为一个复杂且多层次的生态系统,通过镇压处理能够改变其物理结构,显著改善土壤的三相比,进而优化土壤气相、液相、固相的空间分布格局,为玉米的萌发和生长创造更加有利的环境条件[23]。李嵩等[24]研究认为,镇压措施可以调节土壤中水分、养分、空气、热量的比例关系,为作物生长营造更为适宜的环境。本试验结果表明,0~<10、10~20 cm土层中,深翻播种后镇压处理土壤三相比偏离值最低,更接近于理想状态。崔正果等[25]的研究表明,播后镇压改善了土壤物理性质,使土壤三相比偏离值更接近理想状态,与本研究结果类似。

本试验结果表明,深翻播种后镇压和旋耕播种后镇压处理的玉米穗粒数、千粒重、产量显著增加,其中深翻播种后镇压处理产量最高为12 246.58 kg/hm^2,深翻播种后镇压处理较深翻播种处理提高5.12%,旋耕播种后镇压处理较旋耕播种处理提高13.98%。综上所述,深翻播种后镇压是吉林省半干旱淡黑钙土区适宜的耕作方式。

参考文献:

[1] 王金武,唐汉,王金峰.东北地区作物秸秆资源综合利用现状与发展分析[J].农业机械学报,2017,48(5):1-21.
WANG J W, TANG H, WANG J F. Comprehensive utilization status and development analysis of crop straw resources in northeast China[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017, 48(5): 1-21. (in Chinese)

[2] 孙博,吴振洋,秦裕波,等. 吉林省半干旱地区滴灌玉米的磷肥用量研究[J].中国土壤与肥料,2025(2):174-182.
SUN B, WU Z Y, QIN Y B, et al. Study on the application of phosphate fertilizer in drip irrigated corn in semi-arid areas of Jilin Province[J]. Soil and Fertilizer in China, 2025(2): 174-182. (in Chinese)

[3] 温璇.吉林西部不同土壤类型与植被类型下土壤理化性质、酶活性特征研究[D].沈阳:沈阳大学,2024.
WEN X. Study on the physicochemical properties and enzyme activity characteristics of soil under different soil types and vegetation types in western Jilin[D]. Shenyang: Shenyang University, 2024. (in Chinese)

[4] 王孟雪,张玉先.耕作措施对黑龙江省风沙土区玉米生长发育及产量的影响[J].水土保持通报,2013,33(4):59-63.
WANG M X, ZHANG Y X. The effects of cultivation measures on the growth, development, and yield of corn in the sandy soil area of Heilongjiang Province[J]. Soil and Water Conservation Bulletin, 2013, 33(4): 59-63. (in Chinese)

[5] 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.
LI R P. The effect of different cultivation methods on soil environment and corn yield in the semi-humid area of Jilin Province [D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2021. (in Chinese)

[6] 王孟雪,张有利,张玉先.黑龙江风沙土区不同耕作措施对玉米地土壤水分及产量的影响[J].水土保持研究,2011,18(6):245-248,251.
WANG M X, ZHANG Y L, ZHANG Y X. The effects of different agricultural practices on soil moisture and yield of corn in the sandy soil area of Heilongjiang[J]. Research of Soil and Wa-

ter Conservation, 2011, 18(6): 245-248, 251. (in Chinese)

[7] 李强,窦森,焦云飞,等.不同秸秆还田模式对黑土物理性质及玉米产量的影响[J].东北农业科学,2022,47(4):52-56,69.
LI Q, DOU S, JIAO Y F, et al. The effects of different straw return patterns on the physical properties of black soil and corn yield[J]. Journal of Northeast Agricultural Sciences, 2022,47(4): 52-56, 69. (in Chinese)

[8] 邢亚楠,郭莉,马晓慧,等.两种耕作方式下不同施肥处理对水稻麦长管蚜发生及产量的影响[J].东北农业科学,2024,49(2):36-40.
XING Y N, GUO L, MA X H, et al. Effects of different fertilization treatments under two cultivation methods on the occurrence of the rice-maltaphid and yield[J]. Journal of Northeast Agricultural Sciences, 2024, 49(2): 36-40. (in Chinese)

[9] 郝利,司振江,王柏.不同耕作模式对土壤物理特征及玉米产量的影响[J].水利科学与寒区工程,2024,7(11):74-77.
HAO L, SI Z J, WANG B. Effects of different tillage practices on soil physical properties and maize yield[J]. Water Conservancy Science and Cold Region Engineering, 2024, 7(11): 74-77. (in Chinese)

[10] 白东星,陈宣伊,张向前,等.不同耕作方式对土壤水分动态变化规律及玉米产量的影响[J].华北农学报,2025,40(2):67-80.
BAI D X, CHEN X Y, ZHANG X Q, et al.The effects of different cultivation methods on soil moisture dynamic changes and corn yield[J]. North China Agricultural Journal,2025,40(2):67-80. (in Chinese)

[11] MIRANSARI M, BAHRAMI H A, REJALI F, et al. Using arbuscular mycorrhiza to reduce the stressful effects of soil compaction on corn(*Zea mays* L.) growth[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2007, 39(8): 2014-2026.

[12] KUCUKERDEM H K, ALTIKAT S. Evaluating Effects of post-sowing compaction and sowing speed on soil properties,distribution of seed placement and second crop maize performance[J]. Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America, 2022, 53(1): 46.

[13] 李笃仁,高绪科,汪德水,等.旱地土壤播前镇压的增产效果[J].山西农业科学,1984(1):2-4.
LI D R, GAO X K, WANG D S, et al. The effect of pre-sowing compaction of dryland soil on yield increase[J]. Shanxi Agricultural Sciences, 1984(1):2-4. (in Chinese)

[14] 张鹏飞,周怀平,杨振兴,等.有机无机肥配施对谷子产量及经济效益的影响[J].山西农业科学,2023,51(7):756-763.
ZHANG P F, ZHOU H P, YANG Z X, et al. The impact of organic and inorganic fertilizer application on millet yield and economic benefits[J]. Shanxi Agricultural Sciences, 2023, 51(7): 756-763. (in Chinese)

[15] 郭海斌,冀保毅,王巧锋,等.深耕与秸秆还田对不同质地土壤物理性状和作物产量的影响[J].河南农业大学学报,2014,48(4):505-511.
GUO H B, JI B Y, WANG Q F, et al. The effects of deep tillage and straw returning on the physical properties of soils with different textures and crop yield[J]. Journal of Henan Agricultural University, 2014, 48(4): 505-511. (in Chinese)

[16] 郭慧.玉米播种质量评价与覆土镇压装置研究[D].长春:吉林大学,2019.
GUO H. Research on the evaluation of corn sowing quality and soil covering and compaction devices[D]. Changchun: Jilin University, 2019. (in Chinese)

[17] 郭山强,莫彦,吴忠东,等.华北地区地下滴灌春玉米出苗及生长对沟播开沟深度的响应[J].灌溉排水学报,2021,40(8):27-34.
GUO S Q, MO Y, WU Z D, et al. Response of seedling emergence and growth of spring corn under underground drip irrigation to the depth of furrow tillage in North China region[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2021, 40(8): 27-34. (in Chinese)

[18] 展文洁,刘剑钊,梁尧,等.不同耕作方式对玉米根系特性及养分吸收转运的影响[J].植物营养与肥料学报,2020,26(5):817-825.
ZHAN W J, LIU J Z, LIANG Y, et al. Effects of different tillage practices on maize root characteristics and nutrient absorption and transport[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizers, 2020, 26(5): 817-825.

[19] 杨乔乔,康建宏,王佳,等.不同灌溉量对春玉米生长、干物质积累及转运的影响[J].东北农业科学,2024,49(5):6-13.
YANG Q Q, KANG J H, WANG J, et al. The effect of different irrigation amounts on the growth, dry matter accumulation, and translocation of spring maize[J]. Journal of Northeast Agricultural Sciences, 2024,49(5): 6-13. (in Chinese)

[20] SIX J, PAUSTIAN K, ELLIOTT E T, et al. Soil structure and organic matter I. Distribution of aggregate-size classes and aggregate-associated carbon[J]. Soil Science Society of America Journal, 2000, 64(2): 681-689.

[21] 武敏桦,赵冰欣,武佳颖,等.春玉米茎秆生理生化指标与抗倒伏性的相关性研究[J].东北农业科学,2024,49(1):27-34.
WU M H, ZHAO B X, WU J Y, et al. Research on the correlation between physiological and biochemical indicators of spring corn stalks and their lodging resistance[J]. Journal of Northeast Agricultural Sciences, 2024, 49(1): 27-34. (in Chinese)

[22] 姜业成,孙海全,邓奥严,等.苗带重镇压对土壤环境、玉米生长及产量的影响[J].玉米科学,2022,30(6):118-123.
JIANG Y C, SUN H Q, DENG A Y, et al. The impact of strong suppression of seedling band on soil environment, corn growth, and yield[J]. Journal of Maize Sciences, 2022, 30(6): 118-123. (in Chinese)

[23] 郑洪兵,罗洋,隋鹏祥,等.秸秆还田对东北黑土水分特征及物理性质的影响[J].干旱地区农业研究,2024,42(1):226-236.
ZHENG H B, LUO Y, SUI P X, et al. The impact of straw returning on moisture characteristics and physical properties of northeast black soil[J]. Journal of Agricultural Research in Arid Areas, 2024, 42(1): 226-236. (in Chinese)

[24] 李嵩,韩巍,张凯,等.不同耕作方式对辽西褐土物理性状及玉米根系分布的影响[J].玉米科学,2020,28(6):101-106.

(下转第32页)

[14] 倪国荣，涂国全，魏赛金，等. 稻草还田配施催腐菌剂对晚稻根际土壤微生物与酶活性及产量的影响[J]. 农业环境科学学报，2012，31(1)：149-154.
NI G R, TU G Q, WEI S J, et al. Effects of straw returning with decomposing inoculant on rhizosphere soil microorganisms, enzyme activities and yield of late rice[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2012, 31(1): 149-154. (in Chinese)

[15] 汪成忠，胡永红，周翔宇，等. 水稻秸秆还田对崇明盐碱地土壤酶活性和微生物数量的影响[J]. 干旱区资源与环境，2016，30(8)：132-138.
WANG C Z, HU Y H, ZHOU X Y, et al. Effects of rice straw returning on soil enzyme activities and microbial population in Chongming saline-alkali soil[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2016, 30(8): 132-138. (in Chinese)

[16] 王磊，李艳红，袁婕. 全自动凯氏定氮仪测定干旱区土壤中全氮含量[J]. 中国无机分析化学，2014，4(3)：31-34.
WANG, L., LI, Y. H., YUAN, J. Determination of total nitrogen in arid region soil by automatic Kjeldahl nitrogen analyzer[J]. Chinese Journal of Inorganic Analytical Chemistry, 2014, 4(3): 31-34. (in Chinese)

[17] 牛同旭，郑桂萍，李志彬，等. 秸秆还田对粳稻垦粳5号产量和品质的影响[J]. 江苏农业科学，2021，49(3)：72-77.
NIU T X, ZHENG G P, LI Z B, et al. Effects of straw returning on yield and quality of japonica rice Kenjing 5[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2021, 49(3): 72-77. (in Chinese)

[18] 汤宏，沈健林，张杨珠，等. 秸秆还田与水分调控对稻田土壤微生物量碳、氮及溶解性有机碳、氮的影响[J]. 水土保持学报，2013，27(1)：240-246.
TANG H, SHEN J L, ZHANG Y Z, et al. Effects of straw returning and water regulation on soil microbial biomass carbon, nitrogen and dissolved organic carbon, nitrogen in paddy field[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2013, 27(1): 240-246. (in Chinese)

[19] 汪妮娜，黄敏，陈德威，等. 不同生育期水分胁迫对水稻根系生长及产量的影响[J]. 热带作物学报，2013，34(9)：1650-1656.
WANG N N, HUANG M, CHEN D W, et al. Effects of water stress at different growth stages on root growth and yield of rice [J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2013, 34(9): 1650-1656. (in Chinese)

[20] 赵俊芳，杨晓光，陈斌，等. 不同灌溉处理对旱稻根系生长及水分利用效率的影响[J]. 中国农业气象，2004，25(4)：44-48.
ZHAO J F, YANG X G, CHEN B, et al. Effects of different irrigation treatments on root growth and water use efficiency of upland rice[J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2004, 25(4): 44-48. (in Chinese)

(责任编辑：范杰英)

(上接第14页)

LI S, HAN W, ZHANG K, et al. The effects of different tillage methods on the physical properties of brown soil in Western Liaoning and the distribution of corn roots[J]. Journal of Maize Sciences, 2020, 28(6): 101-106. (in Chinese)

[25] 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.
CUI Z G, LI Q Z, ZHANG Y B, et al. Effects of sowing depth and rolling intensity on maize emergence under full pulverization and incorporation of maize straw[J]. Journal of Northeast Agricultural Sciences, 2018, 43(6): 16-19. (in Chinese)

(责任编辑：范杰英)