东北农业科学　2025，50（5）：1-7
Journal of Northeast Agricultural Sciences　DOI: 10.16423/j.cnki.1003-8701.2025.05.001

不同秸秆还田方式对玉米生长和土壤理化特征的影响

赵　鑫[1]，李　涛[1]，李善龙[1]，李雨桐[2]，杨宇桐[2]，辛雨薇[3]，梁烜赫[1]*，曹铁华[1]*
(1. 吉林省农业科学院(中国农业科技东北创新中心)，长春 130033；2. 延边大学，吉林 延吉 133002；3. 吉林农业大学，长春 130118)

摘　要：为揭示不同秸秆还田方式对玉米生长及土壤理化特征的影响，设置秸秆离田(CK)、秸秆粉耙还田(T_1)、秸秆粉耙还田+覆膜(T_2)和秸秆覆盖+条耕(T_3)4个处理，系统测定土壤温度、含水率、养分及玉米生长指标与产量。结果表明，在土壤理化特征方面，出苗至完熟期土壤温度表现为$T_2>T_1\approx CK>T_3$，T_1处理和CK温度比T_3处理高0.8~2.2 ℃、比T_2处理低0.7~2.7 ℃，土壤体积含水率以T_3处理最高，T_1处理与CK散墒速率相近，土壤有机质、有效氮、有效磷、有效钾含量T_1和T_2处理显著高于其他处理，其中T_2处理的有效磷、有效钾含量最高。在玉米生长指标及产量方面，生育后期(灌浆至成熟期)T_1和T_2处理的叶片净光合速率、SPAD值显著高于CK和T_3处理，叶片衰老速度减缓；产量方面T_2处理最高(11 562.3 kg/hm^2)、较CK增产28.9%，T_1处理次之(9 373.5 kg/hm^2)、增产4.5%，T_3处理与CK无显著差异。综上，在本试验条件下，秸秆粉耙+覆膜增产效果最佳，秸秆粉耙还田在土壤增温、提高养分和增产方面效果显著，秸秆覆盖的保水性最好。

关键词：秸秆还田方式；土壤理化性质；玉米生长；产量
中图分类号：S513.061；S141.4　**文献标识码**：A　**文章编号**：2096-5877（2025）05-0001-07

Effects of Different Straw Return Methods on Maize Growth and Soil Physical and Chemical Characteristics

ZHAO Xin[1], LI Tao[1], LI Shanlong[1], LI Yutong[2], YANG Yutong[2], XIN Yuwei[3], LIANG Xuanhe[1]*, CAO Tiehua[1]*
(1. *Jilin Academy of Agricultural Sciences*(*Northeast Agricultural Research Center of China*), *Changchun* 130033; 2. *Yanbian University, Yanji* 133002; 3. *Jilin Agricultural University, Changchun* 130118, China)

Abstract: To reveal the effects of different straw return methods on maize growth and soil physicochemical characteristics, four treatments were set up: straw removal (CK), straw crushing and harrowing return (T_1), straw crushing and harrowing return + film mulching (T_2), and straw mulching + strip tillage (T_3). Soil temperature, moisture content, nutrients, as well as maize growth indicators and yield were systematically measured. The results showed that in terms of soil physicochemical characteristics, the soil temperature from seedling emergence to full maturity was in the order of $T_2 > T_1 \approx CK > T_3$. The temperatures of T_1 and CK were 0.8 - 2.2°C higher than that of T_3 and 0.7 - 2.7°C lower than that of T_2 ($P < 0.05$). The soil volumetric moisture content was the highest in T_3, and the evaporation rates of T_1 and CK were similar. The contents of soil organic matter, available nitrogen, phosphorus, and potassium in T_1 and T_2 were significantly higher than those in other treatments, among which T_2 had the highest contents of available phosphorus and potassium. In terms of maize growth and yield, during the late growth stage (from grain filling to maturity), the net photosynthetic rate and SPAD value of leaves in T_1 and T_2 were significantly higher than those in CK and T_3, and the leaf senescence rate was slowed down. In terms of yield, T_2 was the highest (11562.3 kg/ha), increasing by 28.9% compared with CK, followed by T_1 (9373.5 kg/ha) with an increase of 4.5%, and there was no significant difference between T_3 and CK ($P > 0.05$). In conclusion, under the conditions of this experiment, straw crushing and harrowing return + film mulching had

收稿日期：2025-06-27
基金项目：国家重点研发计划项目(2023YFD2301701)；吉林省科技发展计划-人才专项(20240601084RC)
作者简介：赵　鑫(1984-)，男，副研究员，博士，主要从事作物栽培与耕作研究。
通信作者：梁烜赫，E-mail: liangxuanhe_2004@163.com
曹铁华，E-mail: caotiehua2002@163.com

the best yield-increasing effect. Straw crushing and harrowing return had significant effects on soil temperature increase, nutrient improvement, and yield increase, and straw mulching had the best water retention.

Key words: Straw returning method; Soil physical and chemical properties; Maize growth; Yield

在全球人口持续增长的背景下，保障粮食安全成为农业领域的核心任务。玉米作为世界上重要的粮食、饲料及工业原料作物，其产量和品质的提升至关重要。这不仅依赖于优良品种的选育，合理的秸秆还田措施同样发挥着不可忽视的作用[1-3]。

秸秆还田作为农业废弃物资源化利用的重要手段，可增加土壤有机质含量，改善土壤团聚体结构，提升土壤保肥保水能力[4-10]。然而，不同还田方式(如秸秆粉碎还田、秸秆覆盖还田等)会显著影响土壤养分释放速率、温度、pH值等理化性质，进而影响玉米生长和产量形成[11-15]。例如，秸秆粉碎还田可通过机械破碎加速秸秆与土壤混合，促进微生物分解活动，从而提高氮、磷等养分的释放效率；秸秆覆盖还田则通过在地表形成覆盖层，减少太阳辐射对土壤的直接照射，降低地温波动幅度，同时抑制土壤水分蒸发，增强保水性能[16-17]。但针对东北地区冷凉气候条件下不同秸秆还田方式(尤其是结合覆膜等管理措施)的系统性研究仍存在不足。

由此，本研究通过设置秸秆离田、秸秆粉耙还田、秸秆粉耙还田+覆膜和秸秆覆盖+条耕4种处理方式，系统分析不同秸秆还田方式对土壤理化性质及玉米生长指标和产量的影响，旨在优化东北冷凉区秸秆还田模式，为区域农业可持续发展和粮食增产提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况和供试材料

试验于2024年4-10月在吉林省敦化市瀚章乡的长期耕作定位基地(E 124°19′, N 44°59′)进行。敦化市位于吉林省中东部，5-10月年均总降水量约460 mm，属半湿润气候，但年平均积温2 150 ℃·d，仅能满足早熟品种生长需要。因此选择当地主栽早熟玉米品种松玉438为供试材料。

1.2 试验设计

试验共设置秸秆离田(CK)、秸秆粉耙还田(T_1)、秸秆粉耙还田+覆膜(T_2)和秸秆覆盖+条耕(T_3)，共4个处理。试验采用大区方式进行。试验区内各处理行长约100 m，宽约20 m。玉米行间距65 cm，种植密度7万株/hm²。施肥方式为一次性底肥施入，不施追肥。肥料为玉米专用复合肥($N:P_2O_5:K_2O$=15∶12∶18)，用量为1 350 kg/hm²。

1.3 测定项目

1.3.1 土壤理化指标

土壤温度：在整地期、播种期、出苗期、拔节期、大口期、吐丝期、灌浆期、初熟期和成熟期，选择晴天的10:00-12:00，使用土壤温湿度速测仪(型号：JN-SC，郑州锦农科技有限公司)测定地下10 cm处土壤温度。

土壤含水率：根据天气预报，选择连续晴天且土壤含水率低于30%的时间段进行耕整地作业。整地后每天10:00-12:00使用土壤温湿度速测仪(型号：JN-SC，郑州锦农科技有限公司)测定地下10 cm处土壤体积含水率，连续测定5 d后进行播种作业。

土壤硬度：在玉米苗期，使用土壤硬度计(型号：TYD-2，台州市艾测仪器有限公司)测定土壤硬度。

土壤化学指标：在玉米苗期，采集0~20 cm土层土样，测定土壤pH值(玻璃电极法)、有机质含量(重铬酸钾氧化法)、有效氮含量(碱解扩散法)、有效磷含量(碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法)和有效钾含量(乙酸铵浸提-火焰光度法)。

1.3.2 玉米生长指标和产量

叶片SPAD值：在玉米出苗期、拔节期、大口期、吐丝期、灌浆期、初熟期和成熟期，选取主茎倒三叶用叶绿素仪(型号：SPAD-502，日本柯尼卡美能达公司)测定叶片的SPAD值。

叶片净光合速率和干物质量：在玉米大口期、吐丝期和成熟初期，使用便携式光合仪(型号：li-6400，美国LI-COR公司)测定玉米叶片净光合速率；采集玉米植株样本，105 ℃杀青30 min后，75 ℃烘干至恒重，称量干物重。

产量及其构成要素：成熟期，每个处理随机选择长势均匀的5个点，每点5 m²，收获测产。按14%标准水折算产量，并用平均穗法确定穗长、穗行数、行粒数和百粒重。

1.4 数据整理和分析

使用WPS 2023软件进行数据整理与作图，SPSS 22.0软件进行单因素方差分析。

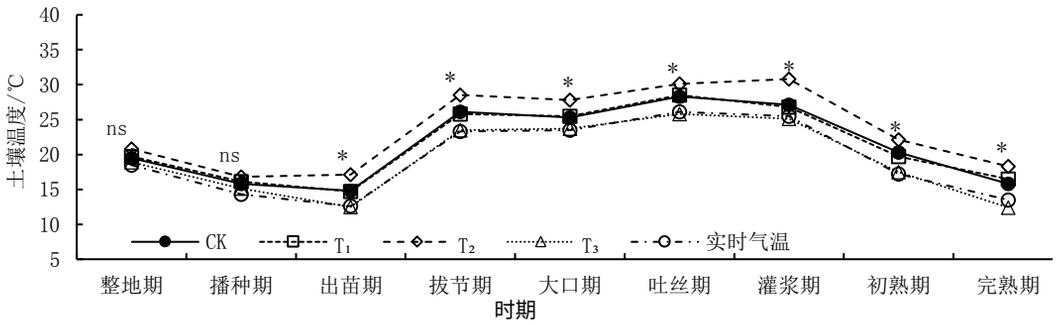
2 结果与分析

2.1 不同秸秆还田方式对土壤理化指标的影响

2.1.1 不同秸秆还田方式对土壤温度的影响

出苗期至完熟期，不同秸秆还田方式对地下

10 cm处土壤温度的影响显著。由图1可知,土壤温度整体表现为:粉耙还田+覆膜(T_2)>粉耙还田(T_1)≈秸秆离田(CK)>秸秆覆盖+条耕(T_3)。其中,T_1处理和CK的土壤温度基本一致,较T_3处理高0.8~2.2 ℃,但较T_2处理低0.7~2.7 ℃,说明T_2的覆膜处理通过减少热量散失显著提升了地温,而秸秆覆盖+条耕(T_3)因地表秸秆层阻碍太阳辐射,土壤温度与实时气温接近。



注:"ns"和"*"分别表示在0.05水平上差异不显著和显著,下同。

Note: "ns" and "*" in the figure indicate no significant difference and significant difference at the 0.05 level, respectively, the same below.

图1　不同秸秆还田方式对地下10 cm处土壤温度的影响

Fig. 1 Effects of different straw returning methods on soil temperature at 10 cm underground

2.1.2　不同秸秆还田方式对土壤体积含水率的影响

秸秆覆盖+条耕(T_3)的土壤体积含水率在整地后3~5 d显著高于其他处理。如图2所示,整地5 d后,T_3处理的土壤体积含水率为18.8%,较T_1处理(14.3%)和CK(15.6%)高31.5%和20.5%,表明秸秆覆盖可通过减少水分蒸发增强保水性。粉耙还田(T_1)与秸秆离田(CK)的散墒速率相近,播种时含水率均处于适宜区间(12%~16%),而T_3处理含水率略高于上限,可能与覆盖层延缓水分蒸发有关。

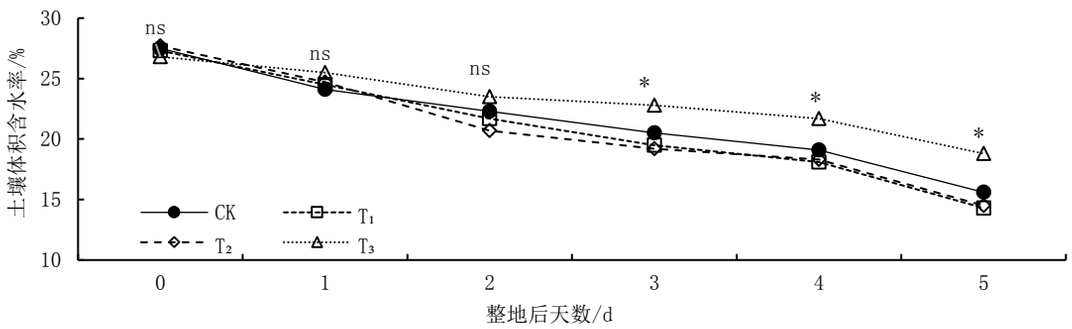


图2　不同秸秆还田方式对地下10 cm处土壤体积含水率的影响

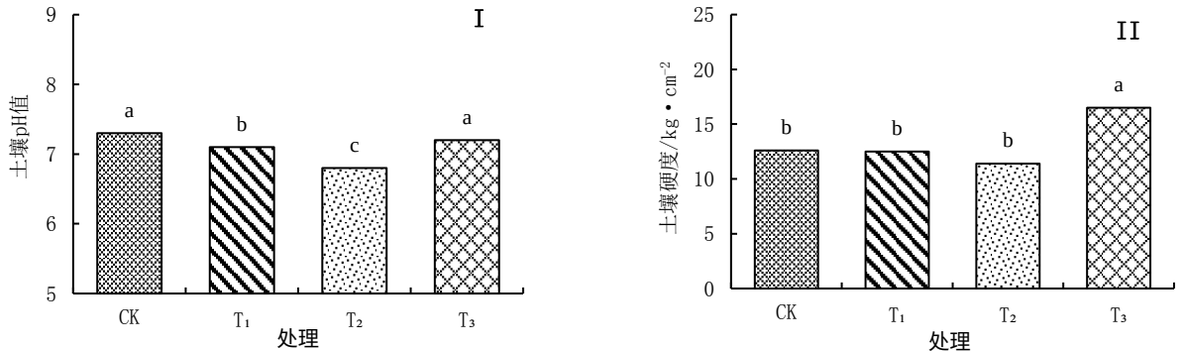
Fig. 2 Effects of different straw returning methods on soil volumetric water content at 10 cm underground

2.1.3　不同秸秆还田方式对土壤pH值与土壤硬度的影响

土壤pH值以粉耙还田+覆膜(T_2)最低(6.3),较其他处理低0.3~0.5(图3-I),可能与覆膜改变土壤微环境、促进酸性物质积累有关。土壤硬度方面,秸秆覆盖+条耕(T_3)达16.5 kg/cm^2,显著高于其他处理,而T_1、T_2处理和CK间无显著差异(图3-II),表明秸秆覆盖可能通过减少土壤扰动增加土壤紧实度。

2.1.4　不同秸秆还田方式对土壤养分含量的影响

秸秆还田处理(T_1、T_2、T_3)的土壤有效氮、有机质含量显著高于秸秆离田(CK)。其中,粉耙还田+覆膜(T_2)的有效氮含量(110.97 mg/kg)和有机质含量(2.48 g/kg)最高,分别较CK高12.8%和2.9%;粉耙还田(T_1)的有效磷含量(9.48 mg/kg)和有效钾含量(119.34 mg/kg)较CK分别高2.5%和3.9%,而覆膜进一步提升磷、钾有效性,T_2的有效磷、有效钾含量较T_1处理高7.4%和7.6%(图4),表明秸秆与土壤充分混合(如粉耙还田)可促进养分释放,覆膜则通过改善微环境增强磷、钾活化。



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 不同秸秆还田方式对土壤pH值和土壤硬度的影响

Fig. 3 Effects of different straw returning methods on soil pH value and soil hardness

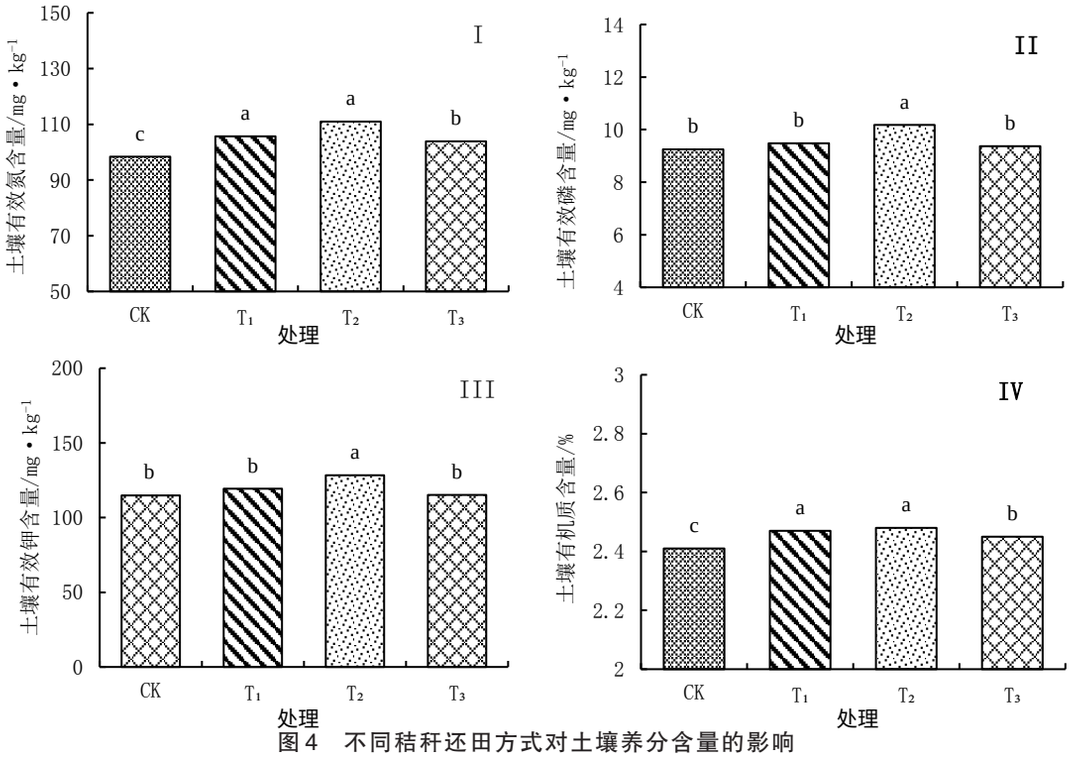


图4 不同秸秆还田方式对土壤养分含量的影响

Fig. 4 Effects of different straw returning methods on soil nutrients content

2.2 不同秸秆还田方式对玉米生长发育和产量的影响

2.2.1 不同秸秆还田方式对玉米叶片SPAD值的影响

生育后期(灌浆中期至初熟期),粉耙还田(T_1)和粉耙还田+覆膜(T_2)的叶片SPAD值显著高于CK和T_3处理。如图5所示,灌浆中期T_2处理的SPAD值(32.8)较CK(23.8)高37.8%,说明叶片衰老速度减缓,表明秸秆粉耙还田结合覆膜可延长叶片功能期。

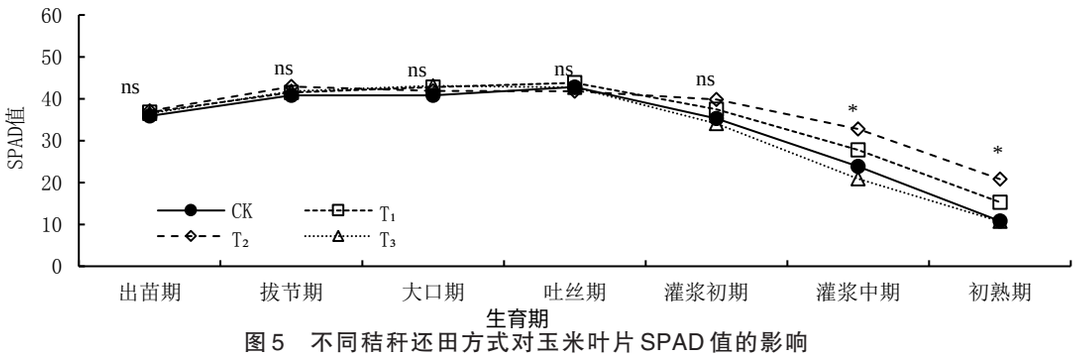


图5 不同秸秆还田方式对玉米叶片SPAD值的影响

Fig. 5 Effects of different straw returning methods on the SPAD value of maize leaves

2.2.2　不同秸秆还田方式对叶片净光合速率与干物质量的影响

净光合速率在成熟初期表现为$T_2>T_1>CK\approx T_3$(图6-I),T_2处理较CK高36.0%,可能与土壤养分充足、根系活力较强有关。吐丝期至灌浆期,粉耙还田+覆膜(T_2)的干物质量增速高于其他处理。如图6-II所示,灌浆期T_2处理干物质量(1 634 g/株)较CK(1 187 g/株)高37.7%,T_1处理(1 289 g/株)较CK高8.6%,表明秸秆还田结合覆膜可显著促进干物质积累,与土壤增温和养分含量提高效应一致。

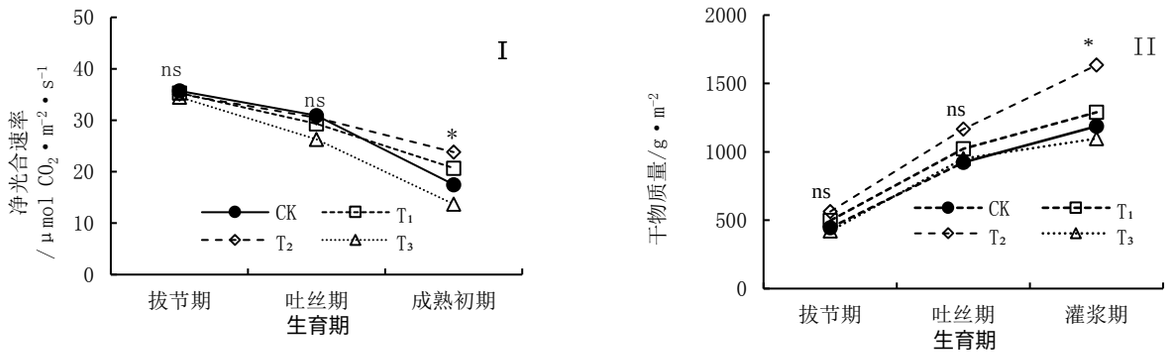


图6　不同秸秆还田方式对玉米叶片净光合速率和干物质量的影响

Fig. 6 Effects of different straw returning methods on the net photosynthetic rate and dry matter weight of maize leaves

2.2.3　不同秸秆还田方式对产量及其构成要素的影响

粉耙还田+覆膜(T_2)产量最高(11 562.3 kg/hm²),较CK(8 967.3 kg/hm²)增产28.9%,其次为粉耙还田(T_1) (9 373.5 kg/hm²),增产4.5%;秸秆覆盖+条耕(T_3)与CK无显著差异。产量差异主要来自穗长、行籽数和百粒重,T_2处理的穗长(21.3 cm)和行粒数(41.9粒)显著高于其他处理,百粒重(26.8 g)较CK高6.8%(表1)。

表1　不同秸秆还田方式对玉米产量构成要素的影响

Table 1 Effects of different straw returning methods on yield components of maize

处理 Treatment	穗长/cm Ear length	穗行数/行 Rows per ear	行粒数/粒 Grains per row	百粒重/g 100-seeds weight	产量/kg·hm^{-2} Yield
秸秆离田(CK)	17.6c	16a	34.8c	25.1c	8 967.3c
粉耙还田(T_1)	18.2b	16a	36.3b	26.1b	9 373.5b
粉耙还田+覆膜(T_2)	21.3a	16a	41.9a	26.8a	11 562.3a
秸秆覆盖+条耕(T_3)	17.2c	16a	34.3c	25.5c	9 004.5c

注:小写字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

Note: Different lowercase letters indicate significant differences($P<0.05$).

3　讨论与结论

3.1　不同秸秆还田方式对土壤理化性质的影响

本研究表明,秸秆还田方式显著影响土壤温湿度及养分状况。粉耙还田+覆膜(T_2)通过地膜阻隔热量散失,使土壤温度显著高于秸秆覆盖+条耕(T_3),这与Fan等[14]关于覆膜提升地温的研究结果一致。秸秆覆盖+条耕(T_3)因地表秸秆层削弱太阳辐射穿透率,土壤温度与实时气温接近,且含水率较其他处理高,印证了秸秆覆盖通过减少蒸发增强保水性的机制[15-16]。值得注意的是,粉耙还田(T_1)与秸秆离田(CK)的散墒速率相近,可能因两者均通过耕作破坏地表覆盖,导致水分蒸发速率趋同。土壤养分方面,粉耙还田(T_1)和粉耙还田+覆膜(T_2)的有机质含量、有效氮含量显著高于CK,表明秸秆与土壤充分混合可加速微生物分解,这与李施蒙等关于秸秆粉碎还田促进养分释放的结论一致。覆膜处理进一步提升有效磷、有效钾含量,可能与覆膜降低土壤pH值、促进矿物态磷钾溶解有关[17-18]。

3.2　不同秸秆还田方式对玉米生长与产量的影响

生育后期叶片功能维持是产量形成的关键。

本研究中，粉耙还田(T_1)和粉耙还田+覆膜(T_2)叶片SPAD值和净光合速率在成熟初期显著高于其他处理，这与李泽毅[19]、杨乐[20]改善土壤水热条件和养分供应可延长叶片光合功能期的结果一致。干物质量积累方面，T_2处理在吐丝期至灌浆期增加467 g/株，较CK高37.7%，印证了增温、保肥对干物质生产的协同促进作用[21-24]。产量差异与土壤理化性质改善直接相关。粉耙还田(T_1)和粉耙还田+覆膜(T_2)通过提升地温促进根系发育，同时增加土壤有效养分供给，增产幅度分别达4.5%和28.9%。相比之下，秸秆覆盖+条耕(T_3)虽保水性优异，但地温(较T_2处理低2.7 ℃)和养分释放滞后限制了玉米生长，导致产量与CK无显著差异，这与林蔚刚等[13]关于保护性耕作在冷凉区增产效果有限的结论一致。

3.3 湿润冷凉区秸秆还田模式的适用性

在吉林省敦化市这样的湿润冷凉地区，秸秆覆盖+条耕因秸秆层阻热，土壤温度偏低，秸秆分解慢、养分释放滞后，难发挥增产优势[13,16-17]。粉耙还田通过秸秆与土壤充分混合，增温及促进微生物活动，加速养分释放，缓解低温对玉米生长的抑制，促进增产[11,18,24]。生产中，积温高且较干旱的地区可用秸秆覆盖+条耕保水土，而在湿润冷凉地区粉耙还田更适宜推广，协调增温、散墒与养分供应，可为玉米稳产增产筑牢根基。

参考文献：

[1] 李文娜，李爽，皓月，等.耕作方式和秸秆还田对麦-豆轮作田土壤理化特性和土壤酶活性的影响[J].土壤，2024，56(6)：1274-1282.
LI W N, LI S, HAO Y, et al. Effects of tillage methods and straw returning on soil physicochemical properties and enzyme activities in wheat-soybean rotation field[J]. Soils, 2024, 56(6): 1274-1282. (in Chinese)

[2] JIN C, ZHENG M J, PANG D W, et al. Straw return and appropriate tillage method improve grain yield and nitrogen efficiency of winter wheat[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2017(16): 1708-1719.

[3] 孙云云，窦金刚，刘方明，等.秸秆还田方式对盐碱旱作农田土壤理化性质的影响[J].玉米科学，2024，32(3)：84-93.
SUN Y Y, DOU J G, LIU F M, et al. Effects of straw return methods on the physicochemical properties of soils in saline-alkaline drylands[J]. Journal of Maize Sciences, 2024, 32(3): 84-93. (in Chinese)

[4] 葛选良，钱春荣，张锋，等.不同秸秆还田模式玉米产量和耕层土壤物理特性的研究[J].东北农业科学，2022，47(2)：88-93.
GE X L, QIAN C R, ZHANG F, et al. Studies on yield of maize and physical properties of surface soil under the different straw returning patterns[J]. Journal of Northeast Agricultural Sciences, 2022, 47(2): 88-93. (in Chinese)

[5] 崔正果，张恩萍，王洪预，等.氮量减施对多年玉米秸秆还田地块玉米产量与N素利用的影响[J].东北农业科学，2021，46(6)：22-25.
CUI Z G, ZHANG E P, WANG H Y, et al. Effects of reduced nitrogen application on maize yield and nitrogen utilization under long-term straw return[J]. Journal of Northeast Agricultural Sciences, 2021, 46(6): 22-25. (in Chinese)

[6] 刘晓舟.秸秆还田模式对农田土壤稳定性团聚体粒径组成的影响[J].东北农业科学，2021，46(4)：34-37，104.
LIU X Z. Effects of straw returning modes on particle size composition of stable soil aggregates in farmland[J]. Journal of Northeast Agricultural Sciences, 2021, 46(4): 34-37, 104. (in Chinese)

[7] 焦云飞，李萍，杨琇涵，等.吉林省中部黑土区不同轮作和秸秆还田方式的产量和经济效益研究[J].东北农业科学，2021，46(6)：46-50，59.
JIAO Y F, LI P, YANG X H, et al. Research on yield and economic benefit of different rotation and straw returning methods in black soil region of central Jilin Province[J]. Journal of Northeast Agricultural Sciences, 2021, 46(6): 46-50, 59. (in Chinese)

[8] 侯慧芝，张绪成，马一凡，等.立式深旋耕作和覆膜对种植党参土壤物理性状及耗水特性的影响[J].土壤与作物，2021，10(4)：412-421.
HOU X Z, ZHANG X C, MA Y F, et al. Effects of vertically rotary sub-soiling tillage and plastic mulching on soil physical properties and water consumption of *Codonopsis pilosula* in semi-arid area[J]. Soils and Crops, 2021, 10(4): 412-421. (in Chinese)

[9] 刘传和，贺涵，邵雪花，等.不同覆盖处理对菠萝园土壤代谢物和细菌群落结构的影响[J].生物技术通报，2024，40(7)：247-258.
LIU C H, HE H, SHAO X H, et al. Analysis of differential metabolites and bacterial community structure in the soils of a pineapple orchard under different mulching treatments[J]. Biotechnology Bulletin, 2024, 40(7): 247-258. (in Chinese)

[10] 张艳艳，李文金，康涛，等.秸秆覆盖量对夏花生生长、产量及土壤微生物数量的影响[J].江苏农业科学，2024，52(3)：104-108.
ZHANG Y Y, LI W J, KANG T, et al. The effect of straw mulch amount on the growth, yield of summer peanuts and the quantity of soil microorganisms[J]. Journal of Jiangsu Agricultural Sciences, 2024, 52(3): 104-108. (in Chinese)

[11] 李施蒙，袁玉婷，南志强，等.秸秆还田配施化肥对土壤养分及青稞农艺性状、产量的影响[J].中国农学通报，2024，40(27)：90-96.
LI S M, YUAN Y T, NAN Z Q, et al. Impact of straw returning combined with fertilizer application on soil nutrients and agronomic traits and yield of highland barley[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2024, 40(27): 90-96. (in Chinese)

[12] 李翔宇，季欣杰，王雪莲，等.秸秆还田配施氮肥对春玉米

产量和籽粒品质的影响[J].作物学报,2025,51(3):696-712.
LI X Y, JI X J, WANG X L, et al. Effects of straw returning combined with nitrogen fertilizer on yield and grain quality of spring maize[J]. Acta Agronomica Sinica, 2025, 51(3): 696-712. (in Chinese)

[13] 林蔚刚,吴俊江,董德健,等.初期保护性耕作和秸秆还田对土壤物理特性及大豆玉米产量的影响[J].大豆科学,2010,29(5):760-766.
LIN W G, WU J J, DONG D J, et al. Impact of initial conservation tillage and stubble retention on soil physical properties soybean(*Glycine max*(L.) Merrill) and corn(*Zea mays* L.) yield performances[J]. Soybean Science, 2010, 29(5): 760-766. (in Chinese)

[14] FAN W, WU J, AHMED S, et al. Short-term effects of different straw returning methods on the soil physicochemical properties and quality index in dryland farming in NE China[J]. Sustainability, 2020, 12(7): 2631.

[15] 屈佳伟,田磊,于长生,等.耕作方式与秸秆还田对土壤物理性状及春玉米产量的影响[J].玉米科学,2024,32(8):55-62,71.
QU J W, TIAN L, YU C S, et al. Effects of tillage methods and straw returning on soil physical properties and yield of spring maize[J]. Journal of Maize Sciences, 2024, 32(8): 55-62, 71. (in Chinese)

[16] CHEN S Y, ZHANG X Y, PEI D, et al. Effects of straw mulching on soil temperature, evaporation and yield of winter wheat: field experiments on the North China Plain[J]. Annals of Applied Biology, 2010, 150(3): 261-268.

[17] 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.
HE L, SI Z J, WANG B. The impact of different tillage patterns on soil physical properties and maize yield[J]. Hydro Science and Cold Zone Engineering, 2024, 7(11): 74-77. (in Chinese)

[18] LI F, SONG Q, JEMBA P, et al. Dynamics of soil microbial biomass C and soil fertility in cropland mulched with plastic film in a semiarid agro-ecosystem[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2004, 36(11): 1893-1902.

[19] 李泽毅,马玉洁,付鑫,等.秸秆还田方式配施氮肥对玉米秸秆腐解特征及土壤有机碳的影响[J].中国土壤与肥料,2024(10):95-104.
LI Z Y, MA Y J, FU X, et al. Effects of straw returning methods combined with nitrogen fertilizer on decomposition characteristics of maize straw and soil organic carbon[J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2024(10): 95-104. (in Chinese)

[20] 杨乐,李文杨,骆建莉,等.地膜覆盖和自然生草对桃园土壤养分、pH及水热的影响[J].浙江农业学报,2024,36(12):2719-2726.
YANG L, LI W Y, LUO J L, et al. Effects of plastic film mulching and natural grass growing on soil nutrients, pH, water content and temperature in peach orchard[J]. Acta Agriculturae Zhejiangensis, 2024, 36(12): 2719-2726. (in Chinese)

[21] 张崎峰,巩双印,李金良,等.可降解地膜对土壤物理性状及玉米生育特性的影响[J].黑龙江农业科学,2013(5):24-28.
ZHANG Q F, GONG S Y, LI J L, et al. Effect of degradable film on soil physical characteristics and maize growth characters [J]. Heilongjiang Agricultural Sciences, 2013(5): 24-28. (in Chinese)

[22] 杨铭,杜星佑,吕仿杰,等.不同轮耕模式与生物炭还田对小麦产量、品质及土壤肥力的影响[J].江苏农业科学,2024,52(18):91-98.
YANG M, DU X Y, LYU F J, et al. The effects of different rotational tillage patterns and biochar returning to soil on wheat yield, quality, and soil fertility[J]. Journal of Jiangsu Agricultural Sciences, 2024, 52(18): 91-98. (in Chinese)

[23] 田平,姜英,孙悦,等.不同还田方式对玉米秸秆腐解及土壤养分含量的影响[J].中国生态农业学报(中英文),2019,27(1):100-108.
TIAN P, JIANG Y, SUN Y, et al. Effect of straw return methods on maize straw decomposition and soil nutrients contents[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2019, 27(1): 100-108. (in Chinese)

[24] WANG L, LI X G, LYU J, et al. Continuous plastic-film mulching increases soil aggregation but decreases soil pH in semiarid areas of China[J]. Soil and Tillage Research, 2017, 167: 46-53.

(责任编辑:范杰英)