植物营养与肥料学报 2016, 22(6): 1558–1567
Journal of Plant Nutrition and Fertilizer
doi: 10.11674/zwyf.15455
http://www.plantnutrifert.org

# 黄土塬区长期不同耕作、覆盖措施对表层土壤理化性状和玉米产量的影响

潘雅文[1]，樊 军[1,2*]，郝明德[1,2]，陈 旭[1]
（1 西北农林科技大学资源环境学院，陕西杨凌 712100；2 中国科学院水利部水土保持研究所，陕西杨凌 712110）

**摘要:**【**目的**】研究不同耕作、覆盖措施对土壤理化性质及对作物农艺性状的影响，为选择适合黄土高原沟壑区最佳耕作、覆盖措施提供参考。【**方法**】田间定位试验设置 12 个处理，分别为传统耕作、传统耕作 + 膜上种植、传统耕作 + 秸秆覆盖、传统耕作 + 膜侧种植、传统耕作 + 全膜覆盖、传统耕作 + 秸秆覆盖 + 地膜覆盖、隔年耕作、免耕、免耕 + 地膜覆盖、免耕 + 秸秆覆盖、免耕 + 生草覆盖、免耕 + 秸秆覆盖 + 地膜覆盖，每个处理 3 个重复。于 2014 年对已持续 12 年的不同耕作、覆盖措施土壤理化性质与农艺指标进行测定与分析。【**结果**】免耕处理降低了土壤容重，提高了土壤饱和导水率和 4 月下旬至 10 月上旬表层土壤含水量，降低了作物出苗期温度，降低了成熟期土壤全磷与速效磷含量，降低了株高、叶面积指数和产量。相反，地膜覆盖极显著增加了土壤容重 ($P < 0.01$)，显著降低了土壤饱和导水率 ($P < 0.05$)，降低了成熟期土壤有机质、全氮含量，有较为明显的保持和调节温度的作用，不同类型的地膜覆盖均能极显著提高玉米株高和叶面积指数进而提高产量 ($P < 0.01$)。秸秆覆盖对土壤容重和含水量的影响与耕作方式有关，翻耕条件下，秸秆覆盖增加了土壤容重；免耕条件下，降低了土壤容重且均不显著。翻耕 + 秸秆覆盖土壤表层含水量最高；免耕 + 秸秆覆盖处理的土壤含水量最低。但秸秆覆盖下土壤有机质含量、全氮含量、作物株高、叶面积指数和产量与未覆盖时相比均有增加，影响皆达到显著水平 ($P < 0.05$)，且均有降低地表温度的作用。【**结论**】免耕虽有利于改良土壤物理性状，却较传统耕作降低了作物产量。免耕条件下秸秆 + 地膜处理显著提高作物产量和土壤全氮、有机质含量 ($P < 0.05$)，是免耕处理组中最优选择。不同类型的地膜覆盖均可显著提高作物产量 ($P < 0.05$)，而且秸秆 + 地膜双覆盖增产效果最显著，并显著提高土壤全氮、有机质含量，是黄土塬区最适宜的覆盖措施。

**关键词:** 黄土高原；免耕；覆盖材料；土壤肥力；玉米产量

**中图分类号:** S344　　**文献标识码:** A　　**文章编号:** 1008–505X(2016)06–1558–10

# Effects of long-term tillage and mulching methods on properties of surface soil and maize yield in tableland region of the Loess Plateau

PAN Ya-wen[1], FAN Jun[1,2*], HAO Ming-de[1,2], CHEN Xu[1]
( *1 College of Natural Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2 Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Rescources, Yangling, Shaanxi 712100, China* )

**Abstract:**【**Objectives**】This study aimed to compare the effects of long-term different tillage and mulching methods on physical and chemical properties of surface soil, and the consequent agronomic characters of maize, to provide the references for choosing suitable tillage and mulching method in tableland region of the Loess Plateau.【**Methods**】The long-term field trials are composed of 12 treatments: conventional tillage (CT), CT + film mulching, CT + straw mulching, CT + side-film mulching, CT+ whole film mulching, CT + straw and film mulching, tillage every other year (OT), no-tillage (NT), NT + film mulching, NT + straw mulching, NT + grass

**收稿日期:** 2015–11–11　　**接受日期:** 2016–04–20
**基金项目:** 国家科技支撑计划重大项目—西北黄土高原旱区增粮增效科技工程（2015BAD22B01-01-04）；宁夏农业综合开发土地治理科技推广项目（NTKJ -2014-01）资助。
**作者简介:** 潘雅文（1992—），女，河南郑州人，硕士研究生，主要从事土壤物理方面的研究。E-mail：pywpyw111@163.com
* 通信作者 E-mail：fanjun@ms.iswc.ac.cn

mulching, NT + straw and film mulching. The soil physical and chemical properties and the agronomic characters of maize after 12 years' consistent treatment were investigated. 【**Results**】The no-tillage treatment reduced the soil bulk density and temperature during seedling emergence, reduced soil total P and available P content in mature stage, improved the saturated hydraulic conductivity and surface soil moisture from April 28 to October 15, the plant height, leaf area index and yields of maize were decreased as a result. Film mulching was able to reduce diurnal temperature, increase soil bulk density very significantly ($P < 0.01$), decrease saturated hydraulic conductivity significantly ($P < 0.05$) and decrease organic matter and total N of soil in maize mature stage. All the treatments containing film mulching increased the height, the yield and leaf area index of the maize very significantly ($P < 0.01$). Straw mulching showed different effects on ρb and *Ks*, they increased soil bulk density under conventional tillage but decreased it under no-tillage slightly; Compared with the no-straw-mulching treatments, straw mulching led very significant improvement of plant growth and yield ($P < 0.01$), as they could reduce the surface temperature, increase organic matter and total N of soil significantly ($P < 0.05$). 【**Conclusions**】No-tillage without mulching is capable of improving soil physical properties, but not of keeping soil moisture necessary for maize growth, so it is not acceptable for high yield maize production. No-tillage combined with straw and film mulching could significantly increase maize yield as they are effective in increasing soil organic matter and total N content. All types of film mulching have significant yield increase effect, of them, combined straw and film mulching is proved to be the optimal one in tableland region of the Loess Plateau.

**Key words:** Loess Plateau; No tillage ; mulching material; soil fertility; maize yield

土壤物理性状决定着土壤水、肥、气、热的循环和供应，这些都直接影响着植物根系的生长发育和生理功能，且预示着土壤供给作物养分的能力[1–2]。耕作、覆盖措施可直接、有效地改变土壤理化性状[3]。以少耕、免耕为代表的耕作措施在增加土壤有机质，改善土壤结构，提高土壤水稳性团聚体含量，增加土壤持水性能和通透性等方面具有明显效果[4]。此外，覆盖免耕能够提高土壤有机质含量，增强土壤生物活性，提高土壤入渗能力，为作物高产、稳产奠定基础。国内外很多研究表明，免耕能提高作物产量是由于土壤剖面中土壤水分含量的提高[5–7]。合理的耕作措施可以改善土壤结构，不合理的耕作措施会导致土壤肥力衰退[8–10]。目前，许多国内外学者利用土壤理化性状，研究不同耕作、覆盖措施对旱作农业的影响，然而研究结果存在差异[8–11]，这些可能是研究区域、供试作物、耕作措施、观测时间长短等不同而引起的。一些学者认为免耕、少耕和地表生物覆盖措施能够提高土壤温度，增加土壤水分和表层的土壤有机质、速效氮、速效磷含量，提高作物产量及水分利用率[12–13]。而有一些则认为此类措施会降低土壤温度，增加土壤容重，不利于速效氮的积累，对速效磷含量无显著影响[14–16]。此外已有研究证明，不同耕作方式对作物生长和环境的影响具有累积效应，同一耕作方式经过多年保持后更能反映耕作的实际效果[17]。前人多侧重研究单一耕作或覆盖措施对土壤理化性状和植物农艺性状的影响，且存在处理时限较短的问题。针对这一问题，本研究依托西北农林科技大学长武农业生态试验站自 2002 年布设的长期不同耕作、覆盖处理定位试验，对试验区 2014 年春玉米生育期内主要土壤理化指标和作物农艺性状进行了测定与分析。探究长期不同耕作、覆盖条件对土壤理化性状的影响和其改变对作物产量等农艺性状的影响，旨在探索适合该区域可持续发展的最佳耕作、覆盖措施，为实现旱作农业生产持续发展提供科学依据。

## 1　材料与方法

### 1.1　试验区概况

研究区位于陕西省咸阳市长武县的西北农林科技大学长武农业生态试验站 (35°14′N，107°40′E)。为典型的黄土塬区，是陕西省的粮食主产区，也是我国重要的旱作农业区。该区属暖温带半湿润大陆性季风气候。年太阳总辐射量 483700 J/cm$^2$，年均气温 9.1℃，1 月份平均气温–4.7℃，7 月份平均气温 22.1℃。塬面≥0℃ 活动积温 3688℃，≥10℃ 活动积温 3029℃，年均无霜期 171 d，热量供作物一年一熟有余。年均降水量 578.5 mm，降水年际变化较大，干旱频繁发生，且降水分布不均，7～9 月降水量占全年降水总量的 55% 以上，与作物生长发育需

求不完全一致[18]。长武塬地处黏黑垆土地带，母质是深厚的马兰黄土，中壤质地，土层深厚，全剖面土质均匀疏松，孔隙率 50% 左右，通透性好。0—10 m 黄土剖面田间持水量和凋萎湿度分别为 21.16% ± 0.86% 和 7.46% ± 0.65% (质量含水量)，土壤容重 1.23～1.44 g/cm$^3$[19]。

### 1.2 试验设计

试验于 2002 年开始实行，设置 12 个处理 (表 1)，每个处理 3 个重复。供试作物为一年一熟春玉米，品种选用先玉 335。采取宽窄行种植宽行 60 cm，窄行 30 cm，每年的四月中旬播种，九月中下旬收获。试验所用地膜为 60 cm 宽、0.015 mm 厚的聚乙烯薄膜。施肥量为纯 N 150 kg/hm$^2$，$P_2O_5$ 75 kg/hm$^2$，于作物播种前撒施翻入土壤。

### 1.3 试验方法

1.3.1 土壤物理性质测量 采用 TDT (Time Domain Transmissometry; Acclima, Inc., Meridian, ID, USA) 探头测定土壤温度与含水量[20–22]，探头水平埋设在传统耕作、传统耕作+地膜覆盖 (膜上种植)、传统耕作+秸秆覆盖、免耕+秸秆覆盖、免耕处理的 3 个重复小区中，距地表 5 cm，分别代表土壤 5 cm 处温度和 0—10 cm 土层平均体积含水量值。数据采集器每 1 h 为间隔整点测定一次，每天测定 24 次，温度数据每两天取平均值，体积含水量每天取平均值。自动测量从 2014 年 4 月下旬持续至 10 月中旬；每个处理选取对角线中点和 1/4 点共 5 点 (5 个重复)，采用定水头法测定土壤饱和导水率，采用烘干法测定土壤容重[23]。

**表 1 试验处理具体设置**

**Table 1 Experimental treatment details**

| 代码 Code | 耕作方式 Tillage | 处理 Treatment | 耕作管理 Tillage management |
|---|---|---|---|
| CT | 传统耕作 Conventional tillage | 传统耕作 Conventional tillage | 仅在春玉米播种前人工翻耕一次，翻耕深度约为 20 cm，无覆盖 One plough of 20 cm in depth before spring maize, no mulching on soil. |
| CP1 | | CT+地膜覆盖 (膜上种植) CT + film mulching | 在 CT 基础上，垄上覆膜，垄间不覆膜。收获后全部玉米秸秆移走 Based on CT, only the ridges covered with plastic films, leave inter-rows clear. All the maize straw was removed after harvest. |
| CS | | CT+秸秆覆盖 CT + straw mulching | 在 CT 基础上, 收获的秸秆整杆均匀覆盖小区，玉米播种时秸秆收拢，放置行间 Based on CT, all the harvested straw in each plot was well piled on soil. Before maize seeding, all the straw is piled up in inter-rows |
| CP2 | | 传统耕作+地膜覆盖 (膜侧种植) CT + side-film mulching | 在 CT 基础上，行间覆膜，玉米播种在膜侧，收获后全部玉米秸秆移走 Based on CT, plastic films were placed in inter-rows. Maize were sowed beside plastic films. Maize straw is removed after harvest. |
| CP3 | | 传统耕作+全膜覆盖 CT+ whole film mulching | 在 CT 基础上，试验地全部覆盖地膜，膜上打孔种植。收获后全部玉米秸秆移走 Based on CT, whole plot covered with plastic films, maize straw was removed after harvest. |
| CSP | | 传统耕作+秸秆覆盖+地膜覆盖 CT+straw and film mulching | 耕翻种植同 CP1，收获后玉米秸秆整杆铺设在地膜之间 Tillage and film mulching is the same as CP1. After harvest, straw is piled up between the plastic films |
| OT | 隔年耕作 Tillage every other year | 隔年耕作 Tillage every other year | 每两年耕作一次，深度 20 cm; 每年播种前每块小区加入木炭 50 kg Ploughed every two years, Tilling depth was 20 cm. Before seeding, 50 kg charcoal was put into each plot per year |
| NT | 免耕 No-tillage | 免耕 No-tillage | 免耕，不覆盖 NT，no mulching |
| NP | | 免耕+地膜覆盖 NT + film mulching | 免耕，覆膜，收获后全部秸秆移走 NT，film mulching, all the straw was removed after harvest |
| NS | | 免耕+秸秆覆盖 NT+straw mulching | 免耕，秸秆处理同 CS NT, straw treatment following CS |
| NG | | 免耕+生草覆盖 NT+grape mulching | 免耕，7 月底进入雨季时种植油菜，玉米收获后移走全部秸秆，油菜保留在原地 NT, planting oilseed rape at the end of July, all the straw removed and oilseed rape retained |
| NSP | | 免耕+秸秆覆盖+地膜覆盖 NT+straw and film mulching | 免耕，地膜、秸秆处理同 CSP NT，straw and plastic films treatments following CSP |

1.3.2 作物农艺性状的测定　株高用卷尺测量，叶面积指数 (LAI) 用线状光合有效辐射探头 (MQ-306, Apooge, Logan, USA) 测量[24–25]；每小区收获 2 m 双行果穗 (3 次重复)，脱粒，风干，称重计产。

1.3.3 土壤化学性质的测定　玉米成熟期取 0—20 cm 耕层土壤，经研磨过筛后，有机质采用重铬酸钾外加热氧化法测定；全氮采用凯氏定氮法；硝态氮与铵态氮均采用 0.5 mol/L KCL 浸提，流动分析仪双波长比色法测定；全磷采用 $HClO_4$-$H_2SO_4$ 氧化钼锑抗比色法；速效磷采用 0.5 mol/L $NaHCO_3$ 浸提，钼锑抗比色法测定[26]。

### 1.4　数据分析

数据基础处理采用 Excel 2007，方差分析和多重比较采用 SPSS 19.0 软件，绘图用 SigmaPlot 12.0 软件。

## 2　结果与分析

### 2.1　土壤物理性状

2.1.1 土壤温度　4 月下旬至 6 月上旬玉米处于生育期前期且温度相对冷凉，地膜覆盖下的表土温度相对其它处理略高。其中 5 月 27 日之前各处理的日平均温度差异不明显，以 CP1 处理土壤温度最高，CS、NS 最低。5 月 27 日至 6 月上旬各处理间温度差异增大，但仍以 CP1 处理土壤温度最高，秸秆覆盖两种处理 CS、NS 最低。7 月中旬前 NT < CT，7 月中旬后 CT < NT。6 月中旬至 9 月中旬不同处理日均表土温度大体呈现 CP1 < CS < NS < CT (NT) < NT (CT)，9 月中旬至 10 月中旬各处理的日平均土温差异不明显，以 NT 日平均土温最高，CT 最低 (图 1)。

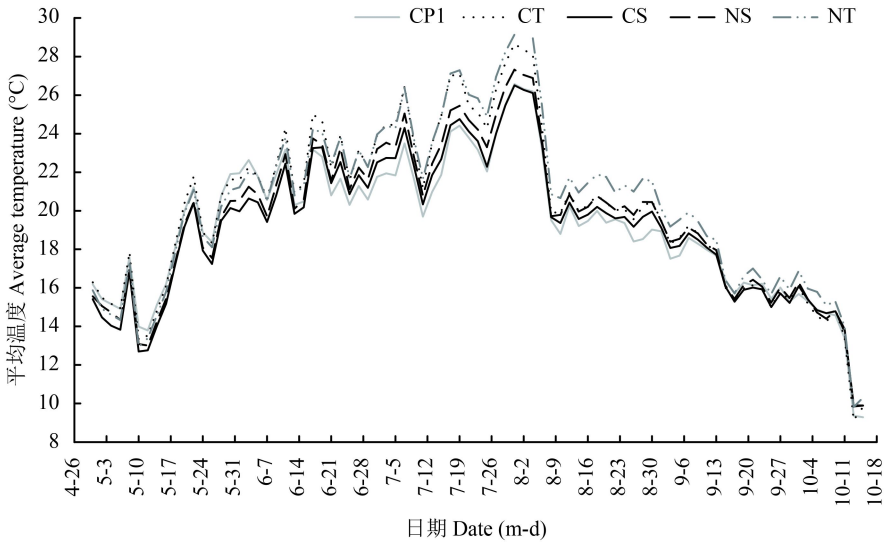


**图 1　2014 年不同耕作、覆盖处理 0—5 cm 土层日平均温度**

**Fig. 1　Diurnal mean temperatures of 0–5 cm soil layer under different tillage and mulching in 2014**

2.1.2 浅层土壤含水量　2014 年 4 月 28 日～8 月 4 日期间降雨量较少，0—10 cm 土层体积含水量呈下降趋势。期间，不同处理体积含水量为 CS > CP1 (NT) > NT (CP1) > CT > NS，其中 6 月 27 日前 CP1 > NT，6 月 27 日至 8 月 4 日为 CP1 < NT，同为秸秆覆盖，传统翻耕+秸秆覆盖 (CS) 土壤含水量高，而免耕+秸秆覆盖 (NS) 最低。7 月 15 日至 8 月 4 日，除 CS 处理含水量明显偏高外，其余各处理含水量均低于 15% 且差异较小；至 8 月 4 日 CP1、CT、CS、NS、NT 各处理土壤含水量均降至最低，分别为 0.099、0.095、0.134、0.090、0.100 $cm^3/cm^3$。8 月 5、6 日由于强度降雨近 70 mm，各处理土壤含水量均急剧增加，监测的 5 个处理含水量均超过 0.3 $cm^3/cm^3$。

8 月 5 日之后由于降雨充足，各处理间浅层土壤含水量差异较小，其中 CT 含水量最低；免耕和覆盖措施提高了浅层土壤水分含量。CS 土壤含水量最高，但有波动且与 CP1、NS、NT 差异不明显 (图 2)。说明进行免耕和覆盖处理的浅层土壤含水量均高于传统耕作。

2.1.3 土壤容重　长期不同耕作、覆盖措施对土壤容重存在显著影响 (表 2)，土壤容重表现为 OT < NT < CT，土壤容重以 OT 处理最小，且显著低于 CT 处理，降低了 13.1%；NT 与 CT 处理土壤容重差异不显著。翻耕处理土壤容重 CT < CP2 < CP3 < CSP < CS < CP1，CP1 处理显著高于传统翻耕处理 CT，较传统翻耕提高了 13.1%，CS、CSP、CP2 与 CT 处理差异不显著；对

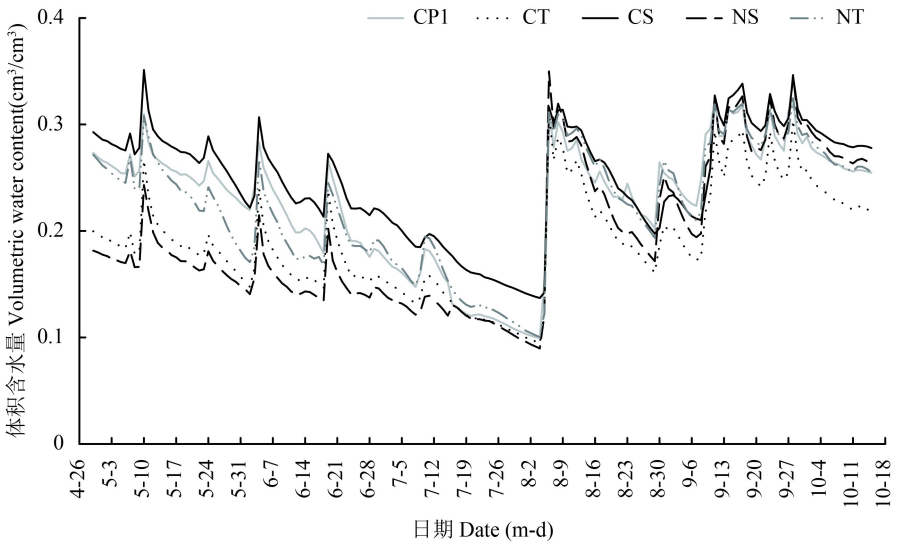


**图 2 2014 年不同耕作、覆盖处理 0—10 cm 土层日平均体积含水量**

**Fig. 2 Diurnal volumetric water content of 0–10 cm soil layer under different tillage and mulching in 2014**

于免耕处理组的土壤容重，NG、NS 处理对土壤容重的影响与免耕处理 NT 相比并无显著差异，但 NP、NSP 处理显著高于免耕处理 NT，分别上升了 10.7%、17.2%。对比相同覆盖条件下，翻耕、免耕处理可得 CP1 > NP ($P < 0.05$)、CS > NS ($P < 0.05$)，除地膜+秸秆覆盖条件下传统翻耕与免耕差异不显著，其余条件下免耕与传统翻耕处理差异显著。

2.1.4 土壤饱和导水率 不同耕作、覆盖措施对浅层土壤饱和导水率有显著影响 (表 2)。CT、OT、NT 处理之间无显著差异，免耕处理 (NT) 饱和导水率最大；翻耕处理组土壤饱和导水率，CP1、CS、CSP 显著小于传统翻耕 CT，分别降低了 76.7%、79.1% 和 89.5%；免耕处理组土壤饱和导水率 NSP、NS、NP 显著小于免耕 NT，分别降低了 94.9%、62.2%、42.0%；比较相同覆盖条件下翻耕、免耕处理可得，除地膜 + 秸秆覆盖条件下免耕 (NSP) 小于传统翻耕外，免耕组土壤饱和导水率皆大于类似条件下传统翻耕组。

## 2.2 土壤化学性状

长期不同耕作覆盖处理对土壤化学性质产生显著影响 (表 3)。土壤中有机质与全氮含量呈极显著正相关 ($P < 0.01$)，其中有秸秆覆盖的处理 NS、CS、CSP、NSP 有机质、全氮含量最高，NS、NSP 分别比 NT 有机质增加 14.7%、12.4%，全氮增加 12.5%、8.0%；CS、CSP 分别比 CT 有机质增加 3.9%、4.1%，全氮增加 3.2%、3.2%。地膜覆盖条件下 CP1、CP2、CP3 较 CT 土壤有机质分别下降了 5.6%、8.2%、3.1%，同样，地膜覆盖土壤全氮较未覆盖也有所下降，CP1、CP2、CP3 较 CT 土壤全氮分别下降了 5.4%、8.6%、3.2%。此外，土壤中全磷、速效磷也呈现极显著正相关 ($P < 0.01$)，各处理中传统翻耕处理 (CT) 全磷、速效磷含量最高分别为 0.104%、18.693 mg/kg。各处理土壤铵态氮与有机质呈显著负相关 ($P < 0.05$)。此外，各处理土壤硝态氮含量差异均未达显著水平。

**表 2 不同处理土壤容重和饱和导水率**

**Table 2 Soil bulk density and saturated hydraulic conductivity under different treatments**

| 处理 Treatment | 容重 Bulk density (g/cm³) | 饱和导水率 Saturated hydraulic conductivity (mm/min) |
|---|---|---|
| CT | 1.30 ± 0.07 bcd | 0.086 ± 0.04 cde |
| CP1 | 1.47 ± 0.09 f | 0.020 ± 0.01 ab |
| CS | 1.47 ± 0.1394 def | 0.018 ± 0.02 ab |
| CP2 | 1.30 ± 0.0794 bcd | 0.051 ± 0.03 abcd |
| CP3 | 1.32 ± 0.0992 cde | 0.052 ± 0.02 abcd |
| CSP | 1.41 ± 0.0993 def | 0.009 ± 0.01 ab |
| OT | 1.13 ± 0.085 a | 0.101 ± 0.06 de |
| NT | 1.22 ± 0.04 abc | 0.119 ± 0.02 e |
| NP | 1.35 ± 0.04 de | 0.069 ± 0.03 bcd |
| NS | 1.20 ± 0.10 ab | 0.045 ± 0.01 abc |
| NG | 1.19 ± 0.10 ab | 0.096 ± 0.07 cde |
| NSP | 1.43 ± 0.07 ef | 0.006 ± 0.001 a |

注（Note）：同列数据后不同小写字母表示不同保护性耕作之间土壤容重和饱和导水率在 0.05 水平上差异显著 Values followed by different letters in a column are significant among treatments at the 0.05 level.

**表 3　不同处理土壤化学性状**

**Table 3　Soil chemical properties under different treatments**

| 处理 Treatment | 有机质 (%) Organic matter | 全氮 (%) Total N | $No_3^-$-N (mg/kg) | $NH_4^+$-N (mg/kg) | 全磷 (%) Total P | 速效磷 (mg/kg) Available P |
|---|---|---|---|---|---|---|
| CT | 1.506 ± 0.101 ab | 0.093 ± 0.003 bcd | 12.247 ± 6.321 a | 9.303 ± 0.852 a | 0.104 ± 0.001 a | 18.693 ± 2.243 a |
| CP1 | 1.421 ± 0.002 bcd | 0.088 ± 0.001 de | 13.748 ± 7.660 a | 8.783 ± 0.258 abc | 0.100 ± 0.004 ab | 14.833 ± 3.787 ab |
| CS | 1.564 ± 0.022 a | 0.096 ± 0.002 ab | 9.105 ± 3.077 a | 7.598 ± 0.452 bcd | 0.098 ± 0.005 bc | 13.487 ± 3.880 bc |
| CP2 | 1.382 ± 0.033 cd | 0.085 ± 0.000 e | 7.578 ± 3.393 a | 9.803 ± 0.413 a | 0.098 ± 0.003 bc | 9.137 ± 3.548 cd |
| CP3 | 1.459 ± 0.047 bc | 0.090 ± 0.003 cde | 4.887 ± 1.132 a | 9.890 ± 0.465 a | 0.093 ± 0.004 cde | 4.640 ± 0.526 de |
| CSP | 1.567 ± 0.017 a | 0.096 ± 0.001 ab | 7.615 ± 3.503 a | 9.600 ± 1.179 a | 0.094 ± 0.002 cd | 8.543 ± 0.520 de |
| NT | 1.385 ± 0.069 cd | 0.088 ± 0.002 de | 7.585 ± 1.673 a | 9.215 ± 0.314 a | 0.098 ± 0.003 bc | 7.470 ± 2.816 de |
| NP | 1.407 ± 0.042 bcd | 0.087 ± 0.003 de | 9.918 ± 3.299 a | 8.933 ± 2.096 ab | 0.090 ± 0.001 de | 4.310 ± 0.837 e |
| NS | 1.588 ± 0.082 a | 0.099 ± 0.004 a | 7.848 ± 1.378 a | 6.805 ± 0.561 d | 0.101 ± 0.002 ab | 9.233 ± 2.182 cd |
| NG | 1.341 ± 0.041 d | 0.084 ± 0.003 e | 5.410 ± 2.195 a | 9.632 ± 0.795 a | 0.094 ± 0.002 cde | 5.517 ± 1.047 de |
| NSP | 1.557 ± 0.078 a | 0.095 ± 0.006 abc | 5.755 ± 1.230 a | 7.307 ± 0.299 cd | 0.089 ± 0.003 e | 5.450 ± 2.092 de |

注（Note）：同列数据后不同小写字母表示不同处理之间在 0.05 水平上差异显著 Values followed by different letters in a column are significant among treatments at the 0.05 level.

## 2.3　作物农艺性状

不同耕作、覆盖措施通过调节土壤入渗状况、保持土壤水分，调控土壤养分转化，改变土壤容重，调节土壤温度，进而影响作物农艺性状和产量。不同处理下玉米株高、叶面积指数、产量之间均有显著差异。

不同耕作方式株高 NT < CT < OT，与 CT 相比，NT 株高下降了 41.9% 且与 CT、OT 差异显著；传统翻耕处理组 CP1、CS、CP2、CP3、CSP 玉米的株高均显著高于 CT，分别提高了 54.0%、22.0%、66.9%、64.6%、76.9%，其中 CP2、CP3、CSP 株高无显著差异；免耕处理组 NP、NS、NSP 显著高于 NT，分别提高了 178.8%、34.0%、194.9%，NG 显著低于 NT，降低了 24.6% 且为所有处理最低值；比较相同覆盖条件下免耕、翻耕组处理 CP1 < NP，CSP > NSP 但差异不显著，NS 显著小于 CS，降低了 36.1% (图 3)。

不同耕作方式 OT、NT 的 LAI 显著低于 CT，分

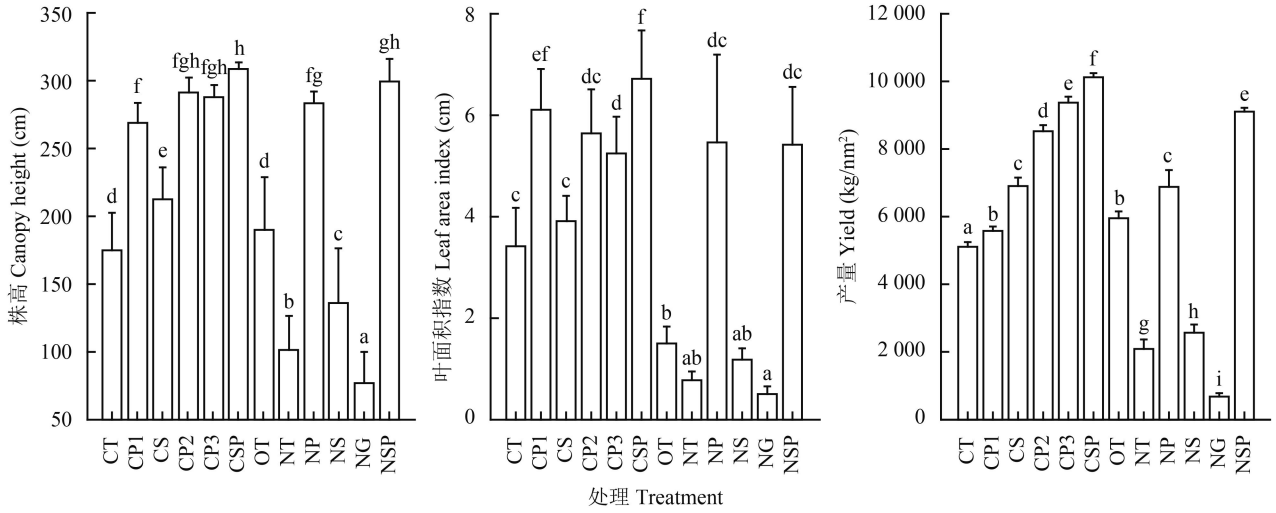


**图 3　不同耕作、覆盖处理玉米株高、叶面积指数和产量**

**Fig. 3　Plant height, leaf area index and yield of maize under different treatments**

[注（Note）：方柱上不同字母表示处理间在 0.05 水平差异显著

Different letters above the bars indicate significant difference among treatments at the 0.05 level.]

别下降了 56.1%、77.2%；传统翻耕组 CP1、CP2、CP3、CSP 叶面积指数均显著大于 CT，分别增加了 79.2%、64.6%、53.2%、96.2%。CS 对叶面积指数的影响较 CT 增长不显著，但显著小于 CP1、CP2、CP3、CSP；免耕处理组 NG < NT < NS < NSP < NP，NP、NSP 显著大于 NT，分别提高 600.0%、593.6%，NP、NSP 之间无显著差异，NG 叶面积指数显著小于 NT 且为所有处理最低值；比较相同覆盖条件下免耕、翻耕组处理 NS 叶面积指数显著小于 CS，NSP 叶面积指数显著小于 CSP，分别减小 41.9%、19.4%，CP1 > NP 但差异均不显著 (图 3)。

不同耕作方式 NT < CT < OT 且彼此之间产量差异显著，NT 与 CT 相比，产量下降了 58.6%，OT 与 CT 相比产量上升了 16.9%；传统翻耕组 CT < CP1 < CS < CP2 < CP3 < CSP 各处理彼此之间差异显著，CP1、CS、CP2、CP3、CSP 产量均显著大于 CT，分别增加了 9.7%、36.0%、67.8%、83.9%、98.8%；免耕处理组 NG < NT < NS < NP < NSP 且彼此之间差异显著，NS、NP、NSP 显著大于 NT，分别提高 21.9%、225.5%、331.3%，NG 显著低于 NT 下降了 68.3%，为所有处理最低值；比较相同覆盖条件下免耕、翻耕组处理 NS 产量显著低于 CS，减少了 62.8%；NP 显著大于 CP1，增加 23.0%，NSP 显著小于 CSP，减小 10.1% (图 3)。

## 3 讨论

本研究表明，同等覆盖条件下，免耕降低作物产量。其中免耕+生草、免耕、免耕+秸秆处理的产量较低， 分别为 670.4、2111.5、2574.3 kg/hm$^2$，比传统翻耕分别下降了 86.8%、58.6%、49.5%，减产严重。虽然多数研究都从正面评价免耕的效益，但免耕减产的现象也是客观事实，约有占总调查量 11% 的减产数据见诸于各地的报道，其中少耕和免耕处理的减产概率较高[27]。研究认为免耕造成减产的原因主要包括： 1) 免耕方式不翻耕造成土壤容重较大，排水不畅影响到作物出苗；2) 免耕措施不翻耕表土，不能直接锄草，利于杂草生长而影响作物生长；3) 免耕往往使土壤温度更低，尤其是冬末春初，土壤温度回暖较慢[28]。在已有研究的基础上，结合本次田间试验研究结果得出：长期免耕非但没有增加土壤容重，反而降低了容量，增大了土壤饱和导水率。其原因可能为每年的翻耕破坏了地表土壤结构，切断土壤毛管，在作物生育期土壤经过不断沉积、压实作用导致大孔隙被堵塞从而使地表容重增大，免耕避免了土壤被机具压实的可能，增加了土壤中生物的活动[29]，形成了良好土体结构使土壤有效毛细管增多，且孔隙连续性改善[30]。一定程度上降低了容重，有利于水分的快速移动。因此认为免耕对土壤容重、排水的影响并非是导致玉米减产的主要原因。本研究得到的相同覆盖条件下免耕降低了玉米生育前期土壤温度的结果，与国内已有研究结论一致。已有研究显示免耕在冷凉地区容易造成土壤的“降温效应”[31]，对春季土壤温度影响最大，这对生育期有限的北方粮食生产十分不利，既降低了出苗率又影响了后期苗的生长，是造成玉米减产的主要原因之一[32–34]。此外免耕处理土壤有机质、全氮和硝态氮含量较传统耕作分别下降了 8.0%、5.4%、38.1%，这可能与土壤温度较低地上生物量常年偏少导致进入土壤有机质较少有关。本研究中免耕+秸秆处理土壤中有机质、全氮含量为所有处理中最高，虽然较免耕处理显著提高了产量，但产量仍显著低于传统耕作，进一步说明免耕条件下土壤春季温度较低是造成减产的最主要原因之一。对于免耕降温的机理研究显示传统耕作处理土壤经过翻耕，疏松的土壤结构毛管被切断，热传导慢，蒸发潜热损失少，因而增温快；而免耕水分连续均匀分布，热传导快，蒸发强，蒸发潜热损耗多，增温慢[35]。免耕+生草处理产量、土壤有机质含量、全氮含量均为所有处理最低，可能是由于玉米、油菜存在养分竞争，土壤中养分被油菜大量消耗的缘故[36]。

本研究发现，无论地膜覆盖、秸秆覆盖还是双覆盖，玉米产量均显著高于没有覆盖的处理，这与已有的研究结果一致[27]。但对这种耕作模式的研究和揭示其内在机理的深层次报道却比较少。本研究发现地膜覆盖在作物生育前期具有明显增温效应，拔节后则是明显的降温效应有利于作物生长，与已有研究结论一致[37, 38]。这主要是由于白天地膜覆盖下的表土因“温室效应”而快速升温，夜间地膜下方的水分能够有效减少长波辐射减小降温幅度[39]。拔节后地膜覆盖日平均土温最低则是由于地膜覆盖下株高、叶面积指数较无覆盖条件下显著提高，冠层截获了更多的辐射，遮荫土壤。但由于生育前期温度较高导致土壤矿化作用加强[40]，只进行地膜覆盖处理的土壤中有机质、全氮、全磷、速效磷含量均小于不进行覆盖的处理，因此认为地膜覆盖虽显著提高了玉米的产量却不利于土壤养分含量的提高。此外研究还发现秸秆覆盖虽可显著提高产量，但增产效应却无地膜覆盖显著。研究表明秸秆覆盖在作物生

育前期明显降低土壤温度，免耕 + 秸秆、传统耕作 + 秸秆土壤温度最低，造成作物苗期生长缓慢，生育时期推迟，有时明显降低出苗率[41]。但秸秆的腐解直接增加了土壤的有机质和全氮等养分含量[42]，为作物生长提供了养分，改善了土壤化学性质。因此认为地膜 + 秸秆双覆盖弥补了地膜或秸秆单一覆盖下的不足，不仅可以提高作物生育前期土壤温度而且增加了土壤养分含量，因此产量最高。

不同耕作覆盖年限会对土壤理化性质产生不同影响。就耕作年限对土壤容重的影响而言，有研究显示实施免耕多年后，土壤压实程度会越来越严重，从而制约了免耕保护性耕作法的进一步发展[43]。但是也有研究表明，连年免耕覆盖的土壤其容重只在开始的第一年上升较多，后续几年并没有逐渐增大[44]。此外还有研究者报道，不同耕作措施实施多年土壤容重没有显著差异，甚至免耕、秸秆覆盖会降低土壤容重[29, 45]。耕作覆盖处理年限对土壤养分的变化产生持续影响，结合本定位试验多年数据 (2007 年、2010 年、2012 年、2015 年) [46–49] 分析可得，土壤有机质、全磷和碱解氮在各措施下随着耕作年限的增加而增加，其中秸秆覆盖措施下土壤有机质随着耕作年限的增加增速最快，而地膜覆盖增速最慢，这是由于农作物秸秆自身的有机质比较丰富，是土壤有机质的重要补充来源，而覆膜能提高地温，保持适宜的水分和气体环境，促进微生物的活动，从而加速了有机质的分解[50]，与此同时，覆盖增加了玉米的产量，也消耗了较多的土壤养分。土壤中全磷含量各处理增速相当，土壤全氮含量各处理随试验年限无明显变化。此外各处理土壤速效磷随时间上下波动，但免耕组相对传统耕作组速效磷含量处在较低水平。

## 4　结论

1) 免耕虽有利于改良土壤物理性状，却较传统耕作降低了作物产量。免耕条件下进行秸秆+地膜覆盖处理显著提高作物产量和土壤全氮、有机质含量，是免耕处理组中最优选择。

2) 不同类型的地膜覆盖均可显著提高作物产量；秸秆覆盖虽显著提高作物产量，但增产率没有地膜覆盖高。秸秆 + 地膜双覆盖增产效果最显著，且显著提高土壤全氮、有机质含量，是黄土塬区最适宜的覆盖措施。

**参 考 文 献：**


[1] Zuazo V H D, Pleguezuelo C R R, Flanagan D, *et al*. Sustainable land use and agricultural soil[A]. Lichtfouse, Alternative Farming Systems, Biotechnology, Drought Stress and Ecological Fertilisation[M]. Springer Netherlands, 2011, 6: 107–192.

[2] 李潮海, 李胜利, 王群, 等. 下层土壤容重对玉米根系生长及吸收活力的影响[J]. 中国农业科学, 2005, 38 (8): 1706–1711.
Li C H, Li S L, Wang Q, *et al*. A study on corn root growth and activities at different soil layers with special bulk density[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2005, 38 (8): 1706–1711.

[3] Page K, Fang Y, Dalal R, Impacts of conservation tillage on soil quality, including soil-borne crop diseases, with a focus semi-arid grain cropping systems[J]. Australasian Plant Pathology, 2013, 42 (3): 363–377.

[4] 常旭虹, 赵广才, 张雯, 等. 作物残茬对农田土壤风蚀的影响[J]. 水土保持学报, 2005, 19 (1): 28–31.
Chang X H, Zhao G C, Zhang W, *et al*. Effect of crop stubble mulch on farm land wind erosion[J]. Journal of Soil and water Conservation, 2005, 19 (1): 28–31.

[5] Blevins R L, Cook D, Phillips S H, *et al*. Influence of no-tillage on soil moisture[J]. Agronomy Journal, 1971, 41: 796–807.

[6] Wagger M G. Corn yield and water use efficiency as affected by tillage and irrigation[J]. Soil Science Society of American Journal, 1993, 57 (1): 229–234.

[7] Jones O R, Hanser V L. No-tillage effects on infiltration, runoff and water conservation on dry land[J]. American Society of Agriculture engineers, 1994, 37 (2): 473–479.

[8] Chan K Y, Hecnan D P. Effect of tillage and stubble management on soil water storage, crop growth and yield in a wheat 1upin rotation in southern NSW[J]. Crop and Pasture Science, 1996, 47 (3): 479–488.

[9] 李玲玲, 黄高宝, 张仁陟, 等. 免耕秸秆覆盖对旱作农田土壤水分的影响[J]. 水土保持学报, 2005, 19 (5): 94–96.
Li L L, Huang G B, Zhang R S, *et al*. Effects of no-till with stubble retention on soil water regimes in rainfed areas[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2005, 19 (5): 94–96.

[10] 张仁陟, 黄高宝, 蔡立群, 等. 几种保护性耕作措施在黄土高原旱作农田的实践[J]. 中国生态农业学报, 2013, 21 (1): 61–69.
Zhang R S, Huang G B, Cai L Q, *et al*. Dry farmland practice involving multi-conservation tillage measures in the Loess Plateau[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2013, 21 (1): 61–69.

[11] 谢瑞芝, 李少昆, 李小君, 等. 中国保护性耕作研究分析-保护性耕作与作物生产[J]. 中国农业科学, 2007, 40 (9): 1914–1924.
Xie R Z, Li S K, Li X J, *et al*. The analysis of conservation tillage in China-conservation tillage and crop production: reviewing the evidence[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2007, 40 (9): 1914–1924.

[12] 高旺盛, 张海林. 我国保护性耕作制发展现状与趋势[A]. 2006年中国农学会学术年会论文集[C]. 2006. 367–370.
Gao W S, Zhang H L. The current situation and development trend of conservation tillage system of China[A]. 2006 Academic Annual Meeting of CAASS[C]. 2006. 367–370.

[13] 张建军, 王勇, 樊廷录, 等. 耕作方式与施肥对陇东旱塬冬小麦-春玉米轮作农田土壤理化性质及产量的影响[J]. 应用生态学报, 2013, 24 (4): 1001–1008.

Zhang J J, Wang Y, Fan T L, *et al*. Effects of different tillage and fertilization modes on the soil physical and chemical properties and crop yield under winter wheat/spring corn rotation on dryland of east Gansu, Northwest China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2013, 24 (4): 1001–1008.

[14] 陈尚洪, 朱钟麟, 刘定辉, 等. 秸秆还田和免耕对土壤养分及碳库管理指数的影响研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2008, 4 (14): 806–809.
Chen S H, Zhu Z L, Liu D H, *et al*. Influence of straw mulching with no-till on soil nutrients and carbon pool management index[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2008, 14 (4): 806–809.

[15] 陈尚洪, 朱钟麟, 吴婕, 等. 紫色土丘陵区秸秆还田的腐解特征及对土壤肥力的影响[J]. 水土保持学报, 2006, 20 (6): 141–144.
Chen S H, Zhu Z L, Wu J, *et al*. Decomposition characteristics of straw return to soil and its effect on soil fertility in purple hilly region[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2006, 20 (6): 141–144.

[16] 杨修春, 徐平, 刘连友, 等. 农牧交错带不同农田耕作模式土壤水分特征对比研究[J]. 水土保持学报, 2005, 19 (2): 125–129.
Yang X C, Xu P, Liu L Y, *et al*. Study on soil moisture of different tillage measures in agri-grazing ecotone[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2005, 19 (2): 125–129.

[17] 李友军, 吴金芝, 黄明, 等. 不同耕作方式对小麦旗叶光合特性和水分利用效率的影响[J]. 农业工程学报, 2006, 22 (12): 44–48.
Li Y J, Wu J Z, Huang M, *et al*. Effects of different tillage systems on photosynthesis characteristics of flag leaf and water use efficiency in winter wheat[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2006, 22 (12): 44–48.

[18] 郝明德, 李军超, 党廷辉, 等. 长武试验示范区高效农业生态经济系统研究[J]. 水土保持研究, 2003, 10 (1): 1–5.
Hao M D, Li J C, Dang T H, *et al*. Study on high-efficiency agro-ecology economic system in Changwu experimental demonstration Region[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2003, 10 (1): 1–5.

[19] 程立平. 黄土塬区深剖面土壤水分特征及其补给地下水过程研究[D]. 杨凌: 中国科学院大学博士学位论文, 2013.
Cheng L P. The characteristics of soil water in deep loess profile and the process of groundwater recharge on the Loess Tableland[D]. Yangling: Ph D Dissertation, University of Chinese Academry of Sciences, 2013.

[20] Adhikari D, Gooraho D. Response of Acclima Digital TDT$^{TM}$ probe to soil moisture and electrical conductivity[EB/OL]. http://www.acclima.com/Products/Sensor.htm, 2008-10-09.

[21] 郑茹梅, 李子忠, 龚元石. 运用时域传输技术测定不同类型土壤的含水率[J]. 农业工程学报, 2009, 25 (8): 8–13.
Zheng R M, Li Z Z, Gong Y S. Measurement of soil water content for different soil types by using time domain transmission technology[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25 (8): 8–13.

[22] 王勇志. 基于时域传输原理的土壤水分测试仪的研究与开发[D]. 北京: 北京林业大学硕士学位论文, 2013.
Wang Y Z. Research and development on soil moisture based on Time Domain Transmission method[D]. Beijing: MS Thesis of Beijing Forestry University, 2013.

[23] 邵明安, 王全九, 黄明斌. 土壤物理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006. 84–85.
Shao M A, Wang Q J, Huang M B. Pedophysics[M]. Beijing: Higher Education Press, 2006. 84–85.

[24] Apogee. Apogee Instruments MQ-306 Specification[EB/OL]. Apogee Instruments, Inc, http://www.Apogee.com, 2013-05-11.

[25] Nguyen V L, Nguyen Q N, Nguyen N D, *et al*. The effects of shade tree types on light variation and Robusta Coffee production in Vietnam[J]. Engineering, 2015, 7: 742–753.

[26] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000. 25–90.
Bao S D. Soil agro-chemistrical analysis[M]. Beijing: China Agricultural Scientech Press, 2000. 25–90.

[27] 谢瑞芝, 李少昆, 金亚征, 等. 中国保护性耕作试验研究的产量效应分析[J]. 中国农业科学, 2008, 41 (2): 397–404.
Xie R Z, Li S K, Jin Y Z, *et al*. The trends of crop yield responses to conservation tillage in China[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2008, 41 (2): 397–404.

[28] 彭文英, 彭美丽, 吴晓展. 免耕对粮食作物产量的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2011, 29 (2): 95–100.
Peng W Y, Peng M L, Wu X Z. Effects of no-tillage on crop yield[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2011, 29 (2): 95–100.

[29] Meharban S K, Rattan L, Merrie A V. Twenty two years of tillage and mulching impacts on soil physical characteristics and carbon sequestration in Central Ohio[J]. Soil & Tillage Research, 2013, 126: 151–158.

[30] Hill R L, Cruse R M. Tillage effects on bulk density and soil strength of two Mollisols[J]. Soil Sciences Society of America Journal. 1985, 49: 1270–1273.

[31] 董智. 秸秆覆盖免耕对土壤有机质转化积累及玉米生长的影响[D]. 辽宁: 沈阳农业大学博士学位论文, 2013.
Bong Z. Accumulation of soil organic matter and maize growing process by different stover mulching quantity in no-tillage system[D]. Liaoning: Ph D Dissertation, Shenyang Agricultural University, 2013.

[32] Zhang S L, Zhang X Y, Ted H, *et al*. Soil loss, crop growth, and economic margins under different management systems on a sloping field in the black soil area of Northeast China[J]. Journal of Sustainable Agriculture, 2011, 35 (3): 293–311.

[33] 张少良, 张兴义, 于同艳, 等. 黑土区耕作措施对春季耕层温度的影响[J]. 农业现代化研究, 2009, 30 (1): 113–117.
Zhang S L, Zhang X Y, Yu T Y, *et al*. Effects of tillage on soil temperature of plough layer in spring of black soil regions of China[J]. Research of Agriculture Modernization, 2009, 30 (1): 113–117.

[34] 张兴义, 陈强, 陈渊, 等. 东北北部冷凉区免耕土壤的特性及作物效应[J]. 中国农业科学, 2013, 46 (11): 2271–2277.
Zhang X Y, Chen Q, Chen Y, *et al*. Advances in research on effects of conservation tillage on soil carbon[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2013, 46 (11): 2271–2277.

[35] 王宏立, 张伟. 不同保护性耕作方式对东北寒地旱作区土壤温度的影响[A]. 2010年国际农业工程大会论文集[C]. 2010, 11; 335–338.
Wang H L, Zhang W. Effects of different conservation tillage managements on soil temperature in northeast cold and dry farming

areas[A]. Symposium on 2010 International Agriculture Engineering Conference[C]. 2010, 11: 335–338.

[36] 殷瑞敬. 保护性耕作对苹果园土壤肥力及酶活性的影响[D]. 陕西 杨凌: 西北农林科技大学硕士学位论文, 2009.
Yin R J. Effect of conservation tillage on soil fertility and enzyme activity of apple orchard[D]. Yangling，Shanxi: MS Thesis, Northwest A&F University, 2009.

[37] 陈玉章, 柴守玺, 范颖丹, 等. 覆盖模式对旱地冬小麦土壤温度和产量的影响[J]. 中国农业气象, 2014, 35 (4): 403–409.
Chen Y Z, Chai S X, Fan Y D, *et al*. Effects of mulching models on soil temperature and yield of winter wheat in rainfed area[J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2014, 35 (4): 403–409.

[38] 王秀康, 李占斌, 邢英英. 覆膜和施肥对玉米产量和土壤温度、硝态氮分布的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2015, 21 (4): 884–897.
Wang X K, Li Z B, Xing Y Y. Effects of mulching and fertilization on maize yield, soil temperature and nitrate-N distribution[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2015, 21 (4): 884–897.

[39] Wang X L, Li F M, Jia Y, *et al*. Increasing potato yields with additional water and increased soil temperature[J]. Agricultural Water Management, 2005, 78: 181–194.

[40] 汪景宽, 刘顺国, 李双异. 长期地膜覆盖及不同施肥处理对棕壤无机氮和氮素矿化率的影响[J]. 水土保持学报, 2006, 20 (6): 107–110.
Wang J K, Liu S G, Li S Y. Effect of long-term plastic film mulching and fertilization on inorganic N distribution and organic N mineralization in brown earth[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2006, 20 (6): 107–110.

[41] Zhang S L, Lovdahl L, Grip H, *et al*. Effects of mulching and catch cropping on soil temperature, soil moisture and wheat yield on the Loess Plateau of China[J]. Soil and Tillage Research, 2009, 102 (1): 78–86.

[42] Stockfisch N, Forstreuter T, Ehlers W. Ploughing effects on soil organic matter after twenty years of conservation tillage in Lower Saxony, Germany[J]. Soil Tillage Research. 1999, 52(1–2): 91–101.

[43] 杜兵, 张进, 古润生, 等. 小麦地保护性耕作措施和压实对水分保护的影响[J]. 中国农业大学学报, 1997, 2 (6): 43–48.
Du B, Zhang J, Gu R S, *et al*. Effects of conservation tillage and tractor wheel compaction on water conservation[J]. Journal of China Agricultural University, 1997, 2 (6): 43–48.

[44] 李洪文, 陈君达, 高焕文. 旱地农业三种耕作措施的对比研究[J]. 干旱地区农业研究, 1997, 15 (1): 7–11.
Li H W, Chen J D, Gao H W. A comparison of three tillage methods in dryland farming[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 1997, 15 (1): 7–11.

[45] Filipovic D, Husnjak S, Kosutic S, *et al*. Effects of tillage systems on compaction and crop yield of Albic Luvisol in Croatia[J]. Journal of Terramechanics, 2006, (43): 177–189.

[46] 王缠军, 郝明德, 折凤霞, 等. 黄土区保护性耕作对春玉米产量和土壤肥力的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2011, 29 (4): 193–198.
Wang C J, Hao M D, She F X, *et al*. Effects of different conservation tillage measures on spring maize yield and soil fertility in the Loess Plateau[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2011, 29 (4): 193–198.

[47] 王缠军. 保护性耕作措施对作物产量及土壤肥力的影响[D]. 陕西 杨凌: 西北农林科技大学硕士学位论文, 2011.
Wang C J. Effect of conservation tillage measures on crop yield and soil fertility[D]. Yangling, Shanxi: MS Thesis of Northwest A&F University, 2011.

[48] 杨晓. 不同保护性耕作措施对作物产量和土壤水肥效应的影响研究[D]. 陕西 杨凌: 西北农林科技大学硕士学位论文, 2009.
Yang X. Research on crop yield and soil water-fertilizer effect with different conservation tillage measures[D]. Yangling, Shanxi: MS Thesis of Northwest A&F University, 2009.

[49] 杨小敏. 黄土旱作区不同覆盖耕作措施下产量和肥力变化研究[D]. 陕西 杨凌: 西北农林科技大学硕士学位论文, 2014.
Yang X M. Study the change of yield and fertility of crop under different mulching modes and tillaging practices in dryland of Loess Region[D]. Yangling, Shanxi: MS Thesis of Northwest A&F University, 2014.

[50] 解文艳. 旱作揭土覆盖耕作措施对土壤环境的影响及玉米生长的响应[D]. 山西 太原: 太原理工大学博士学位论文, 2015.
Xie W Y. Effect of different mulching methods on soil environment of rained Cinnamon Soil and related maize responses[D]. Taiyuan, Shanxi: PhD Dissertation of Taiyuan University of Technology, 2015.