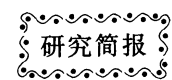


DOI: 10.3724/SP.J.1006.2016.01560



## 周年耕作方式对砂姜黑土农田土壤养分及作物产量的影响

谢迎新<sup>1</sup> 靳海洋<sup>1</sup> 李梦达<sup>1</sup> 翟羽雪<sup>1</sup> 王永华<sup>1</sup> 谢耀丽<sup>2</sup> 李向东<sup>3</sup>  
夏来坤<sup>3</sup> 王晨阳<sup>1</sup> 郭天财<sup>1</sup> 贺德先<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> 河南农业大学农学院 / 河南粮食作物协同创新中心, 河南郑州 450002; <sup>2</sup> 河南省西平县农业技术推广中心, 河南驻马店 463900;  
<sup>3</sup> 河南省农业科学院, 河南郑州 450002

**摘 要:** 为探明适宜于砂姜黑土农田的周年耕作方式, 提升砂姜黑土农田地力及作物产量, 在冬小麦–夏玉米一年两熟种植制度下, 设置多年定位夏玉米季–冬小麦季免耕–旋耕(对照)、免耕–深耕、深松–旋耕、深松–免耕、免耕–免耕 5 种周年耕作方式田间试验, 在定位处理的第 4 个周年研究耕作方式对砂姜黑土农田土壤有机碳含量、土壤养分及其对作物产量的影响。结果表明, 在秸秆全量还田条件下, 与试验开始前相比, 各处理 0~20 cm 土层土壤有机碳、全氮、速效钾含量均有所增加。与对照相比, 其他处理均增加周年内 0~20 cm 土层土壤有机碳和全氮含量。免耕–深耕、深松–旋耕、免耕–免耕处理显著增加周年内 0~20 cm 土层土壤有效磷含量, 而深松–免耕处理显著增加冬小麦开花期和收获期 0~20 cm 土层土壤有效磷含量, 整个周年内对照在 20~40 cm 土层土壤的有效磷含量均最低。深松–免耕处理增加周年内 0~20 cm 土层土壤速效钾含量, 而深松–免耕、免耕–免耕处理 20~40 cm 土层土壤速效钾含量在夏玉米苗期、大口期、开花期和灌浆期显著高于对照处理。深松–旋耕和深松–免耕处理显著增加夏玉米–冬小麦周年籽粒产量, 增幅分别为 7.67% 和 10.21%。综上所述, 在秸秆全量还田基础上, 深松–旋耕和深松–免耕能够改善土壤有机碳和养分状况, 显著提高周年作物产量, 可作为黄淮区砂姜黑土农田相对适宜的周年耕作方式。

**关键词:** 耕作方式; 砂姜黑土; 土壤养分; 有机碳; 籽粒产量

## Effect of Annual Tillage Practices on Soil Nutrient and Crop Yield in Lime Concretion Black Soil Farmland

XIE Ying-Xin<sup>1</sup>, JIN Hai-Yang<sup>1</sup>, LI Meng-Da<sup>1</sup>, ZHAI Yu-Xue<sup>1</sup>, WANG Yong-Hua<sup>1</sup>, XIE Yao-Li<sup>2</sup>, LI Xiang-Dong<sup>3</sup>, XIA Lai-Kun<sup>3</sup>, WANG Chen-Yang<sup>1</sup>, GUO Tian-Cai<sup>1</sup>, and HE De-Xian<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> College of Agronomy, Henan Agricultural University / Collaborative Innovation Center of Henan Grain Crops, Zhengzhou 450002, China; <sup>2</sup> Center of Xiping Agricultural Technology Extension, Zhumadian 463900, China; <sup>3</sup> Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002, China

**Abstract:** In order to select the appropriate tillage practices, improving soil nutrient and grain yield of crop grown in lime concretion black soil farmland, the effects of five year winter wheat–summer maize annual tillage practices (no tillage–rotary tillage, no tillage–deep tillage, subsoiling tillage–rotary tillage, subsoiling tillage–no tillage, no tillage–no tillage) on soil organic carbon content, soil nutrient and crop yield were studied in the fourth year. Under the condition of returning total straw to field, compared with the beginning of the experiment, the content of soil organic carbon, total nitrogen and available potassium in 0–20 cm soil layer were increased. Compared with no tillage–rotary tillage, other year treatments increased annual soil organic carbon and total nitrogen contents in 0–20 cm soil layer during the whole growth period. No tillage–deep tillage, subsoiling tillage–rotary tillage, and no tillage–no tillage significantly increase soil available phosphorus contents in 0–20 cm soil layer during the whole growth period, and subsoiling tillage–no tillage significantly increased 0–20 cm soil layer available phosphorus in anthesis and harvest

本研究由国家“十二五”科技支撑计划项目(2015BAD26B01), 国家粮食丰产科技工程项目河南省子课题(2013BAD07B07)和国家公益性行业科研专项(201303102)资助。

This study was supported by the National Science & Technology Pillar Program during the 12th Five-year Plan Period (2015BAD26B01), the Henan-topic of the National Grain Bumper Science and Technology Project (2013BAD07B07), and the Special Fund for Scientific Research in the Public Interest of the Ministry of Agriculture.

\* 通讯作者(Corresponding author): 贺德先, E-mail: hedexian@126.com

第一作者联系方式: E-mail: xieyingxin@tom.com

Received(收稿日期): 2016-04-07; Accepted(接受日期): 2016-07-11; Published online(网络出版日期): 2016-07-28.

URL: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.1809.S.20160728.0817.016.html>

period of winter wheat. In 20–40 cm soil layer, soil available phosphorus content of no tillage–rotary tillage was the lowest during the whole growth period. Subsoiling tillage–no tillage increased annual soil available potassium content in 0–20 cm soil layer during the whole growth period. In 20–40 cm soil layer, subsoiling tillage–no tillage and no tillage–no tillage significantly increased soil available potassium content in seedling, trumpeting, anthesis and filling stages of summer maize season. Subsoiling tillage–rotary tillage and subsoiling tillage–no tillage significantly increase annual grain yield by 7.67% and 10.21% respectively. To sum up, subsoiling tillage–rotary tillage and subsoiling tillage–no tillage could improve contents of soil organic carbon and nutrient, and increase grain yield of summer maize and winter wheat under the condition of returning total straw to field. Therefore, subsoiling tillage–rotary tillage and subsoiling tillage–no tillage should be selected as two appropriate tillage practices in lime concretion black soil farmland.

**Keywords:** Tillage practice; Lime concretion black soil; Soil nutrient; Organic carbon; Grain yield

冬小麦–夏玉米一年两熟是黄淮海平原农田的主要种植制度, 生产上玉米季免耕小麦季旋耕的耕作方式极为普遍。砂姜黑土在黄淮海平原南部分布广泛, 面积 370 万公顷左右, 是主要中低产土壤类型之一<sup>[1]</sup>。砂姜黑土农田土壤质地黏重, 结构性差, 连年的玉米季免耕、小麦季旋耕操作导致农田土壤耕层变浅、犁底层变厚变硬、通气透水性差、土壤养分不均衡, 限制了作物产量的提高<sup>[2]</sup>。随着人们生态环境保护意识的增强, 以少耕免耕为核心的保护性耕作研究和推广得到充分的重视。前人研究表明, 免耕覆盖能够提高土壤全氮、全钾、碱解氮和速效钾含量, 提高土壤碳素含量和碳库管理指数<sup>[3–4]</sup>, 长期免耕有利于农田生态系统的固碳减排<sup>[5]</sup>, 而深松处理可打破犁底层, 降低深层土壤容重和土壤紧实度, 促进根系下扎, 增加根系纵深分布<sup>[6–7]</sup>。也有研究表明, 短期的免耕处理对 0–30 cm 土层土壤有机碳平均含量并无显著影响, 反而略有降低<sup>[8]</sup>。由于免耕和深松不能打破耕层的原状土, 导致出苗率较低<sup>[9–10]</sup>, 而且免耕处理的冬小麦株高、叶面积指数、地上部干物质积累和籽粒产量均低于翻耕和旋耕处理<sup>[10–11]</sup>。王玉玲等<sup>[12]</sup>研究指出, 免耕和深松耕等技术虽有很多优势, 却均存在一定的弊端, 生产中不宜单独连续使用, 应将其组合成一定的轮耕模式, 交换应用。前人研究表明, 周年轮耕模式中耕作强度的增加会降低土壤团聚体的含量和机械稳定性, 增加土壤有机碳的流失<sup>[13]</sup>, 与小麦季旋耕玉米季免耕相比, 小麦季翻耕玉米季免耕、小麦季翻耕玉米季旋耕可显著提高夏玉米抗倒伏能力及籽粒产量<sup>[14]</sup>。多年来, 前人对耕作方式的研究多集中在单一耕作方式对单季作物生长的影响, 对于冬小麦–夏玉米一年两熟制农田的周年耕作方式研究较少, 且砂姜黑土农田适耕性差, 对于不同耕作方式的响应应具有自身的特点。另外, 对于不同耕作方式下土壤养分状况的比较, 存在秸秆还田和秸秆移除的不同, 对比效果有很大差异, 而当前秸秆还田已成为大面积推广的实用技术, 在秸秆全量还田条件下研究不同耕作方式的效果更具现实意义。鉴于此, 本试验在秸秆还田条件下研究周年耕作方式对砂姜黑土农田土壤养分状况和籽粒产量的影响, 探讨适宜砂姜黑土农田的周年耕作方式, 为该土壤类型农田地力提升和作物高产提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

河南省驻马店市西平县二郎乡张尧村(33°19'48" N, 114°01'01" E), 地处黄淮海平原南部, 平均海拔 49 m, 年平均日照时数 2 157.2 h, 年平均气温 14.8℃, 无霜期 221 d, 年平均降雨量 852 mm, 正常年份的自然降水基本能满足周年作物生长发育需求, 一般不灌溉, 属典型雨养农业区。该区域常年实行冬小麦–夏玉米一年两熟的种植制度, 玉米季免耕小麦季旋耕是当地的传统耕作方式。供试土壤属于砂姜黑土土类、砂姜黑土亚类、覆泥黑姜土土属, 土壤质地为黏土。

### 1.2 试验设计

以冬小麦–夏玉米一年两熟的周年轮作种植制度为研究对象, 在两季秸秆全量粉碎(3~5 cm)还田条件下, 于 2011 年 10 月冬小麦季开始通过长期定位试验研究系列耕作方式。农田为河南省西平县土肥站多年统一供种、统一供肥以及统一农田管理的“全国新增千亿斤粮食生产能力西平县 2010 年耕地质量监测区域站土壤地力长期定位监测点(编号 hnxpdljc2010-001)”, 耕层土壤基础养分为有机质 14.83 g kg<sup>-1</sup>、全氮 1.07 g kg<sup>-1</sup>、有效磷(P) 17.7 mg kg<sup>-1</sup>、速效钾(K) 94 mg kg<sup>-1</sup>、pH 6.62。设置 5 个周年耕作方式处理, 即玉米季免耕–小麦季旋耕(简称免耕–旋耕, No tillage–rotary tillage, NRT)、玉米季免耕–小麦季深耕(简称免耕–深耕, No tillage–deep tillage, NDT)、玉米季深松–小麦季旋耕(简称深松–旋耕, Subsoiling tillage–rotary tillage, SRT)、玉米季深松–小麦季免耕(简称深松–免耕, Subsoiling tillage–no tillage, SNT)和玉米季免耕–小麦季免耕(简称免耕–免耕, No tillage–no tillage, NNT), 并以黄淮农田实施面积最大的传统耕作方式——玉米季免耕–小麦季旋耕, 即免耕–旋耕(NRT)处理为对照。秸秆在前茬作物机械收获时全部粉碎覆盖地表, 在作物播种前进行相应耕作, 旋耕深度平均为 15 cm, 深松、深耕深度平均为 35 cm。各处理播种量一致(小麦、玉米播量分别为每公顷 300 kg 和 45 kg), 进行机械播种。为了更接近农田实际情况和方便大型农机具田间农事操作, 采用各处理大区设置, 面积为 60 m × 6 m = 360 m<sup>2</sup>, 待玉米或小麦出苗后将大区均分为 3 个 20 m × 6 m = 120 m<sup>2</sup>的小区, 设为 3 次重复。夏玉米季和冬小麦季各施氮 225 kg hm<sup>-2</sup>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 90 kg

hm<sup>-2</sup>、K<sub>2</sub>O 90 kg hm<sup>-2</sup>，夏玉米季种肥异位同播，冬小麦季氮肥 50%于整地时底施，其余 50%于拔节期追施。氮、磷、钾肥分别选用尿素、磷酸二铵和氯化钾。

本研究为 2014 年 6 月—2015 年 6 月夏玉米-冬小麦一个轮作周期的监测试验结果，为长期定位试验的第 4 个周年。2014 年选用夏玉米品种国审郑单 958，6 月 10 日播种，9 月 26 日收获；选用冬小麦品种郑麦 7698，10 月 10 日播种，2015 年 6 月 5 日收获。

### 1.3 测定项目与方法

在夏玉米和冬小麦的关键生育时期(夏玉米苗期 2014 年 6 月 27 日、大口期 2014 年 7 月 21 日、开花期 2014 年 8 月 1 日、灌浆期 2014 年 8 月 22 日、收获期 2014 年 9 月 26 日；冬小麦苗期 2014 年 11 月 4 日、越冬期 2014 年 12 月 30 日、起身期 2015 年 3 月 5 日、开花期 2015 年 4 月 28 日、收获期 2015 年 6 月 5 日)，从每个小区随机选 5 个样点，用土钻取 0~20 cm、20~40 cm 土样，去除石块和秸秆等杂物，将每个小区的同一土层混匀成为该小区该土层的土壤样品，带回实验室风干后过筛。测定土壤有机碳采用重铬酸钾容量法——外加热法，测定土壤全氮半微量凯氏定氮法，测定土壤有效磷碳酸氢钠浸提——钼锑抗比色法，测定土壤速效钾乙酸铵浸提——火焰光度法<sup>[15]</sup>。

在夏玉米收获期从每个试验处理中间选取 2 行(长 20.0 m，平均行距 0.6 m)，调查成穗数，收获全部果穗晒干脱粒计产，并随机选取 20 果穗调查穗粒数、测定百粒重；在冬小麦收获期从各试验小区收获 10 m<sup>2</sup>测产，并调查 1 m 双行产量构成三因素——成穗数、穗粒数、千粒重。

### 1.4 数据统计分析

采用 Microsoft Excel 2010 和 SPSS 19.0 软件处理和分析试验数据，采用 LSD 法进行多重比较，显著性水平取  $P<0.05$ 。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同耕作方式对土壤有机碳的影响

如表 1 所示，在夏玉米-冬小麦整个周年内，0~20 cm 土层土壤有机碳含量发生较大变化，各处理变幅为 6.12%~16.20%，均以对照免耕-旋耕处理最低。与对照免耕-旋耕处理相比，深松-免耕、免耕-免耕处理土壤有机碳增加量最高，增幅分别达 5.53%~17.41%和 9.48%~15.75%。其中，在冬小麦越冬期、起身期、开花期，免耕-免耕处理土壤有机碳含量相对较高，而深松-旋耕和深松-免耕处理相对较小，深松-免耕处理土壤有机碳含量在两季作物收获期与对照处理差异均达显著水平。

在 20~40 cm 土层，夏玉米生育期内深松-旋耕处理土壤有机碳含量高于其他处理，与对照免耕-旋耕处理相比增幅为 8.66%~29.89%，且在两季作物收获期差异均达显著水平，而免耕-旋耕、免耕-深耕、深松-免耕和免耕-免耕 4 个处理间无明显差异。在冬小麦生育期内，免耕-深耕和深松-旋耕处理的土壤有机碳含量均高于免耕-旋耕、深松-免耕和免耕-免耕处理。在夏玉米-冬小麦整个周年内，免耕-深耕和深松-旋耕处理在冬小麦越冬期土壤有机碳含量相对较高，而其他处理整个周年内变化较小。

表 1 不同耕作方式 0~40 cm 土壤有机碳含量  
Table 1 Soil organic carbon content in 0~40 cm soil layer under different tillage practices (g kg<sup>-1</sup>)

处理 Treatment	取样时间 Sampling time (month/day)									
	夏玉米 Summer maize					冬小麦 Winter wheat				
	6/27	7/21	8/1	8/22	9/26	11/4	12/30	3/5	4/28	6/5
0~20 cm										
NRT	11.36 b	10.59 b	11.03 c	10.77 b	10.80 b	10.82 b	12.05 b	12.04 c	12.15 b	11.35 b
NDT	12.20 ab	11.62 a	11.59 bc	11.39 ab	12.16 a	12.27 a	12.28 b	12.37 bc	12.57 ab	12.59 a
SRT	12.29 ab	12.46 a	11.73 b	11.97 a	12.08 ab	12.02 a	12.31 b	12.25 bc	12.29 b	12.15 ab
SNT	12.46 a	12.44 a	12.47 a	12.46 a	12.14 a	12.44 a	12.72 ab	12.80 b	12.82 ab	12.88 a
NNT	12.43 ab	12.03 a	12.13 ab	12.47 a	11.88 ab	12.29 a	13.68 a	13.81 a	13.56 a	12.67 a
20~40 cm										
NRT	5.60 b	5.21 b	4.96 b	5.61 ab	5.40 b	5.25 b	5.65 b	5.24 c	5.44 b	5.19 b
NDT	5.71 b	5.49 ab	5.40 b	5.46 ab	5.66 ab	6.93 a	7.11 a	6.93 a	5.84 ab	5.69 a
SRT	6.88 a	6.41 a	6.45 a	6.10 a	6.18 a	6.11 ab	7.04 a	6.39 ab	6.34 a	5.93 a
SNT	5.89 b	5.45 ab	5.48 b	5.36 b	5.14 b	5.67 b	5.37 b	5.36 bc	5.34 b	5.14 b
NNT	5.90 b	5.66 ab	5.41 b	5.79 ab	5.36 b	5.47 b	5.78 b	5.76 bc	5.25 b	5.13 b

同一取样时间同一土层处理间标有不同字母的值表示差异达显著水平( $P<0.05$ )。NRT: 免耕-旋耕处理; NDT: 免耕-深耕处理; SRT: 深松-旋耕处理; SNT: 深松-免耕处理; NNT: 免耕-免耕处理。

Value followed by different letters in the same sampling time and also the same soil layer are significantly different among treatments at the 0.05 probability level. NRT: treatment of no tillage-rotary tillage; NDT: treatment of no tillage-deep tillage; SRT: treatment of subsoiling tillage-rotary tillage; SNT: treatment of subsoiling tillage-no tillage; NNT: treatment of no tillage-no tillage.

## 2.2 不同耕作方式对土壤全氮的影响

由表 2 可知, 经过 4 年的周年耕作方式定位试验, 0~20 cm 土层土壤全氮含量在夏玉米-冬小麦整个周年内均以对照免耕-旋耕处理最低。从夏玉米苗期到开花期, 深松-旋耕、深松-免耕和免耕-免耕处理均显著高

于对照免耕-旋耕处理, 而免耕-深耕处理与对照免耕-旋耕处理无显著差异。从冬小麦越冬期到开花期, 免耕-免耕处理的土壤全氮含量最高, 其次为深松-免耕处理, 而免耕-深耕和深松-旋耕处理与对照免耕-旋耕处理差异不明显。

表 2 不同耕作方式 0~40 cm 土壤全氮含量  
Table 2 Soil total nitrogen content in 0~40 cm soil layer under different tillage practices (g kg<sup>-1</sup>)

处理 Treatment	取样时间 Sampling time (month/day)									
	夏玉米 Summer maize					冬小麦 Winter wheat				
	6/27	7/21	8/1	8/22	9/26	11/4	12/30	3/5	4/28	6/5
0~20 cm										
NRT	1.22 b	1.15 b	1.18 b	1.19 b	1.18 b	1.19 a	1.23 b	1.23 b	1.26 b	1.14 c
NDT	1.27 ab	1.25 ab	1.24 ab	1.22 ab	1.28 a	1.27 a	1.26 b	1.25 b	1.28 b	1.27 ab
SRT	1.31 a	1.27 a	1.25 a	1.28 ab	1.27 a	1.31 a	1.26 b	1.24 b	1.26 b	1.21 bc
SNT	1.29 a	1.30 a	1.30 a	1.32 a	1.28 a	1.25 a	1.31 ab	1.36 a	1.33 ab	1.32 a
NNT	1.34 a	1.26 a	1.28 a	1.32 a	1.29 a	1.25 a	1.39 a	1.45 a	1.44 a	1.30 a
20~40 cm										
NRT	0.68 b	0.63 b	0.63 c	0.72 a	0.67 b	0.67 b	0.72 bc	0.68 cd	0.66 bc	0.62 c
NDT	0.68 b	0.68 ab	0.70 b	0.69 a	0.70 b	0.81 a	0.86 a	0.82 a	0.71 ab	0.69 ab
SRT	0.81 a	0.75 a	0.81 a	0.73 a	0.75 a	0.73 b	0.83 a	0.76 b	0.74 a	0.70 a
SNT	0.68 b	0.66 b	0.72 b	0.67 a	0.66 b	0.69 b	0.69 c	0.65 d	0.64 c	0.63 bc
NNT	0.68 b	0.64 b	0.68 bc	0.73 a	0.68 b	0.68 b	0.74 b	0.74 bc	0.67 bc	0.64 abc

同一取样时间同一土层处理间标有不同字母的值表示差异达显著水平( $P<0.05$ )。处理的缩写同表 1。

Value followed by different letters in the same sampling time and also the same soil layer are significantly different among treatments at the 0.05 probability level. Abbreviations of treatments are the same as those given in Table 1.

在 20~40 cm 土层, 在夏玉米季, 各时期均以深松-旋耕处理土壤全氮含量相对较高, 在收获期与对照处理差异达显著水平, 免耕-深耕和深松-免耕处理的土壤全氮含量仅在开花期显著高于对照免耕-旋耕处理, 其他时期无显著差异。在冬小麦季, 免耕-深耕和深松-旋耕处理土壤全氮含量相对较高, 分别较对照增加 7.13%~21.68%和 9.90%~14.79%, 而深松-免耕和免耕-免耕处理在整个冬小麦生育期内与对照免耕-旋耕处理差异不显著。

## 2.3 不同耕作方式对土壤有效磷的影响

经过 4 周年定位试验, 各耕作方式处理之间土壤有效磷含量表现出明显的差异(表 3)。在 0~20 cm 土层, 在夏玉米-冬小麦整个周年内土壤有效磷含量均表现出免耕-免耕处理>免耕-深耕处理>深松-旋耕处理, 其中, 免耕-深耕、深松-旋耕和免耕-免耕处理与对照免耕-旋耕处理相比增幅分别为 39.04%~116.90%、20.63%~75.44%和 85.06%~155.63%。深松-免耕处理在夏玉米季和冬小麦生育前期(苗期、越冬期、起身期)与对照免耕-旋耕处理无显著差异, 但在冬小麦开花期和收获期可显著增加土壤有效磷含量, 增幅为 18.19%~38.90%。

在 20~40 cm 土层, 夏玉米-冬小麦整个周年内, 免耕-免耕、免耕-深耕、深松-旋耕和深松-免耕处理均较对照

免耕-旋耕处理提高土壤有效磷含量, 增幅分别为 80.67%~318.71%、76.95%~243.42%、57.79%~177.68%和 8.91%~130.56%。另外, 从表 3 还可以看出, 在冬小麦季, 各处理均以越冬期土壤有效磷含量最高。

## 2.4 不同耕作方式对土壤速效钾的影响

从表 4 可以看出, 在 0~20 cm 土层, 夏玉米生育后期(开花期、灌浆期和收获期)和整个冬小麦季各处理均以免耕-深耕和深松-旋耕处理速效钾含量最低, 在夏玉米灌浆期和冬小麦越冬期、起身期与对照免耕-旋耕处理差异达显著水平。深松-免耕处理在整个周年内土壤速效钾含量均较对照处理高, 增幅为 0.95%~10.68%, 而免耕-免耕处理主要增加冬小麦越冬期后的土壤速效钾含量。在夏玉米-冬小麦整个周年内, 免耕-旋耕、免耕-深耕、深松-旋耕、深松-免耕处理均以冬小麦苗期土壤速效钾含量最高, 而免耕-免耕处理在冬小麦起身期达到高峰。

在 20~40 cm 土层, 深松-免耕和免耕-免耕处理的土壤速效钾含量在夏玉米苗期、大口期、开花期和灌浆期显著高于对照免耕-旋耕处理, 在夏玉米收获期各处理之间差异不显著, 免耕-深耕处理在整个周年内与对照免耕-旋耕处理无显著差异。另外, 在夏玉米-冬小麦整个周年内, 各个耕作方式处理土壤速效钾含量均在冬小麦越冬期最高。

表 3 不同耕作方式 0–40 cm 土壤有效磷含量  
Table 3 Soil available phosphorus content in 0–40 cm soil layer under different tillage practices (mg kg<sup>-1</sup>)

处理 Treatment	取样时间 Sampling time (month/day)									
	夏玉米 Summer maize					冬小麦 Winter wheat				
	6/27	7/21	8/1	8/22	9/26	11/4	12/30	3/5	4/28	6/5
0–20 cm										
NRT	9.02 c	6.81 d	7.67 d	7.44 d	8.34 d	9.09 c	9.66 d	9.44 d	8.05 e	6.48 e
NDT	12.54 b	13.04 b	12.71 b	11.66 b	15.54 b	14.09 b	15.05 b	14.45 b	13.35 b	14.06 b
SRT	11.63 b	10.19 c	9.25 c	9.20 c	11.25 c	12.85 b	13.77 c	11.57 c	10.87 c	11.37 c
SNT	8.62 c	7.10 d	7.46 d	7.21 d	9.28 d	9.82 c	10.68 d	10.63 cd	9.52 d	9.01 d
NNT	19.91 a	17.42 a	16.30 a	13.77 a	17.71 a	18.16 a	19.59 a	21.46 a	17.37 a	16.24 a
20–40 cm										
NRT	1.03 d	1.00 d	0.98 e	1.12 c	1.00 e	1.79 e	2.03 e	1.52 e	1.57 c	1.26 d
NDT	2.19 b	2.05 b	2.72 b	1.99 b	3.44 b	4.11 b	5.57 a	4.54 a	3.57 a	3.46 a
SRT	2.30 b	1.91 b	2.45 c	2.06 b	2.78 c	3.29 c	3.51 c	3.32 c	2.48 b	2.45 b
SNT	1.59 c	1.44 c	1.75 d	1.29 c	2.31 d	2.16 d	2.24 d	1.94 d	1.71 c	1.65 c
NNT	3.30 a	2.93 a	3.20 a	2.63 a	4.19 a	4.55 a	4.81 b	4.13 b	2.83 b	2.34 b

同一取样时间同一土层处理间标有不同字母的值表示差异达显著水平( $P<0.05$ )。处理的缩写同表 1。

Value followed by different letters in the same sampling time and also the same soil layer are significantly different among treatments at the 0.05 probability level. Abbreviations of treatments are the same as those given in Table 1.

表 4 不同耕作方式 0–40 cm 土壤速效钾含量  
Table 4 Soil available potassium content in 0–40 cm soil layer under different tillage practices (mg kg<sup>-1</sup>)

处理 Treatment	取样时间 Sampling time (month/day)									
	夏玉米 Summer maize					冬小麦 Winter wheat				
	6/27	7/21	8/1	8/22	9/26	11/4	12/30	3/5	4/28	6/5
0–20 cm										
NRT	156.32 a	118.18 b	143.44 bc	139.35 b	147.28 b	193.11 b	192.70 b	176.98 b	145.75 b	160.37 bc
NDT	162.94 a	123.85 ab	141.30 cd	131.07 c	147.22 b	186.45 b	169.07 d	151.10 d	145.15 b	157.10 c
SRT	160.19 a	127.80 a	134.71 d	126.10 c	147.23 b	189.49 b	185.43 c	164.54 c	134.25 c	157.01 c
SNT	160.11 a	127.06 a	158.76 a	148.80 a	155.36 a	204.20 a	194.52 b	179.67 b	150.86 b	167.12 b
NNT	160.12 a	129.98 a	150.55 b	142.84 ab	154.21 a	191.85 b	209.39 a	214.28 a	205.14 a	182.12 a
20–40 cm										
NRT	110.29 b	113.38 b	116.89 b	108.53 b	110.29 b	126.83 a	154.99 a	120.73 bc	106.48 b	133.35 ab
NDT	115.46 ab	115.86 b	117.00 b	113.21 b	115.46 ab	133.37 a	152.37 ab	121.47 bc	105.01 b	130.26 b
SRT	117.77 a	116.19 b	119.20 b	109.85 b	117.77 a	132.08 a	146.99 b	117.74 c	107.64 b	129.00 b
SNT	119.99 a	127.69 a	125.93 a	124.16 a	119.99 a	127.72 a	156.42 a	131.33 a	116.98 a	136.28 a
NNT	120.62 a	126.78 a	126.19 a	125.19 a	120.62 a	127.36 a	147.29 b	124.30 b	114.74 a	130.51 b

同一取样时间同一土层处理间标有不同字母的值表示差异达显著水平( $P<0.05$ )。处理的缩写同表 1。

Value followed by different letters in the same sampling time and also the same soil layer are significantly different among treatments at the 0.05 probability level. Abbreviations of treatments are the same as those given in Table 1.

## 2.5 不同耕作方式对作物产量的影响

由表 5 可以看出, 经过 4 年的耕作方式定位试验, 与对照免耕–旋耕处理相比, 深松–旋耕和深松–免耕处理显著增加夏玉米–冬小麦周年籽粒产量, 增幅分别为 7.67% 和 10.21%; 免耕–深耕处理夏玉米产量降低而冬小麦籽粒产量增加, 最终周年籽粒产量较对照处理降低 0.44%, 但与对照免耕–旋耕处理差异未达显著水平; 免耕–免耕处理夏玉米–冬小麦籽粒产量均较对照处理有所降低, 最终

导致周年产量降低 2.19%。从产量构成要素分析, 耕作方式主要是通过影响夏玉米穗粒数和冬小麦千粒重最终导致作物产量的不同。

## 3 讨论

### 3.1 耕作方式对土壤有机碳的影响

土壤有机质是土壤中营养元素的重要来源, 也是微生物生命活动的碳源和能源, 其含量是衡量农田土壤肥

表 5 不同耕作方式夏玉米-冬小麦籽粒产量  
Table 5 Grain yield of summer maize and winter wheat under different tillage practices

处理 Treatment	夏玉米 Summer maize				冬小麦 Winter wheat				周年产量 Annual yield (t hm <sup>-2</sup> )	增产率 Yield increase (%)
	成穗数 Spikes (hm <sup>-2</sup> )	穗粒数 Grains per spike	百粒重 100-grain weight (g)	籽粒产量 Grain yield (t hm <sup>-2</sup> )	成穗数 Spikes (×10 <sup>4</sup> hm <sup>-2</sup> )	穗粒数 Grains per spike	千粒重 1000-grain weight (g)	籽粒产量 Grain yield (t hm <sup>-2</sup> )		
NRT	66 003 a	466 bc	28.24 a	8.68 bc	635 a	35 a	46.35 b	8.26 c	16.94 c	—
NDT	64 958 a	454 c	27.10 a	8.00 d	624 a	35 a	48.62 a	8.87 b	16.86 c	-0.44
SRT	66 777 a	487 ab	27.29 a	8.87 ab	655 a	36 a	48.26 a	9.37 a	18.24 b	7.67
SNT	64 800 a	512 a	27.39 a	9.08 a	649 a	37 a	49.18 a	9.59 a	18.66 a	10.21
NNT	64 902 a	473 b	27.47 a	8.43 c	628 a	36 a	45.23 b	8.14 c	16.56 c	-2.19

同一取样时间同一土层处理间标有不同字母的值表示差异达显著水平( $P<0.05$ )。处理的缩写同表 1。

Value followed by different letters after the values in the same sampling time and also the same soil layer are significantly different among treatments at the 0.05 probability level. Abbreviations of treatments are the same as those given in Table 1.

力高低的重要指标之一<sup>[16]</sup>。前人通过 17 年的定位试验表明, 不同耕作方式显著影响土壤有机碳的垂直分布和稳定性, 而对 0~40 cm 土层土壤有机碳总储量无显著影响<sup>[17]</sup>。秸秆还田是土壤有机碳的重要输入途径, 大量研究结果表明秸秆还田可增加土壤有机碳含量<sup>[18-20]</sup>, 且秸秆还田的深度对不同土层土壤有机碳含量的影响显著<sup>[20]</sup>。本研究中, 在秸秆还田条件下不同的耕作深度和强度会改变秸秆在不同土层的分布, 从而影响不同土层的土壤有机碳含量, 随着土层中秸秆的腐解和有机质的矿化, 土壤有机碳处于动态变化中。在秸秆全量还田条件下, 各耕作方式处理 0~20 cm 土层土壤有机碳含量均比试验开始前有所增加。各处理以深松-免耕和免耕-免耕处理土壤有机碳含量相对较高, 而免耕-旋耕处理相对较低, 可能是由于不同耕作方式造成了处理间秸秆腐解和土壤有机质矿化环境的不同, 而使秸秆腐解速率和有机质矿化速率产生差异<sup>[19]</sup>, 深松、免耕等保护性耕作对土壤的扰动程度较低, 避免土壤结构遭到破坏, 降低土壤有机质的矿化, 而旋耕处理土壤有机质矿化速率较高。深松-旋耕处理能够合理协调 20~40 cm 土层结构并增加周年内该层土壤有机碳含量。由于冬小麦季的连年深耕操作, 免耕-深耕处理该季 20~40 cm 土层土壤有机碳含量增加。

### 3.2 耕作方式对土壤氮含量的影响

研究表明, 在秸秆还田条件下, 小麦季深耕可增加深层土壤全氮含量<sup>[21]</sup>, 本试验结果表明, 与免耕-旋耕处理相比, 经过连续 4 周年的小麦季深耕处理, 免耕-深耕处理可以起到增加冬小麦季 20~40 cm 土层土壤全氮含量的作用, 这主要与冬小麦季深耕操作带到深层土壤中的秸秆和肥料有关, 这与人研究结果相一致<sup>[2]</sup>。有研究表明, 连续免耕增加表层土壤全氮含量而深层土壤全氮含量较低<sup>[22]</sup>, 本试验中, 多年定位处理后各处理 0~20 cm 土层土壤全氮含量均比试验开始前有所增加, 与对照处理相比, 免耕-免耕处理显著增加冬小麦越冬期到开花期 0~20 cm 土层土壤全氮含量, 且 20~40 cm 土层与对照处理无显著差异, 可能由于本试验处理年限仍相对较短(仅 4 周年), 还未出现文献报道的深层土壤贫化现象。在本试验中, 深

松-旋耕处理能够显著增加夏玉米季苗期到开花期 0~20 cm 土层土壤全氮含量和周年内 20~40 cm 土层的土壤全氮含量, 表明深松-旋耕不仅能够增加夏玉米季 0~20 cm 土层土壤全氮含量, 还能通过打破犁底层, 促进上下土层间的物质交换, 增加 20~40 cm 土层的土壤全氮含量, 这与张俊丽等<sup>[23]</sup>玉米季短期耕作方式试验中免耕处理 0~20 cm 土层土壤全氮含量显著高于深松耕处理的研究结果不一致, 分析认为可能主要与其试验年限较短有关。

### 3.3 耕作方式对土壤有效磷含量的影响

耕作方式对土壤有效磷含量影响的研究大都集中在秸秆是否还田条件下传统耕作与秸秆覆盖保护性耕作的对比之中, 而秸秆还田能够提高土壤中磷素的有效性, 主要与有机物质分解的产物增加土壤的酸度有关<sup>[24]</sup>。有研究表明, 免耕覆盖较传统耕作显著增加 0~5 cm 土层土壤有效磷含量<sup>[24]</sup>, 但也有试验结果表明, 连续 11 年和 15 年的免耕覆盖处理分别较传统耕作 0~10 cm 土层土壤有效磷含量降低 56.1%和 51.9%<sup>[25]</sup>。本试验中, 在秸秆全量还田条件下, 周年两季均免耕的免耕-免耕处理与对照相比显著增加 0~40 cm 土层土壤有效磷含量, 深松-免耕和深松-旋耕处理的土壤有效磷含量均低于两季免耕处理, 分析认为土壤有效磷含量除受有机质矿化分解的影响外, 还与作物的吸收有直接的联系, 免耕-免耕处理作物产量较低导致作物从土壤中吸收利用的有效磷素总量相对较少, 且通过田间径流等途径损失的磷素也相对较少, 而深松-免耕和深松-旋耕处理作物产量较高导致吸收利用的土壤有效磷素总量相对较高, 且深松处理对土壤的扰动相对较大有增加土壤磷素损失的风险。因此, 在本试验相同的秸秆还田量和磷肥投入量条件下最终引起不同耕作方式处理间土壤有效磷含量的差异。

### 3.4 耕作方式对土壤速效钾含量的影响

农田土壤钾素营养的来源主要是钾肥和秸秆, 在钾肥施用量和秸秆还田量相同的情况下, 耕作方式对秸秆在不同土层分布的影响直接导致不同土层速效钾含量的差异。前人研究表明, 在秸秆还田条件下, 旋耕较免耕处理显著增加 0~10 cm 土壤速效钾含量<sup>[26]</sup>, 免耕-深耕处理

较连续免耕处理显著增加 0~40 cm 土层土壤速效钾含量<sup>[12]</sup>, 也有结果显示, 免耕覆盖较传统耕作 0~30 cm 土层的土壤速效钾含量略有增加, 但差异未达显著水平<sup>[24]</sup>, 深松与免耕处理冬小麦开花期和灌浆期的 0~40 cm 土层土壤速效钾含量无显著差异<sup>[27]</sup>。在本试验中, 各处理 0~20 cm 土层土壤速效钾含量与试验开始前相比均有较大的增加幅度, 与对照免耕-旋耕处理相比, 整个夏玉米-冬小麦周年深松-免耕处理增加 0~20 cm 土层土壤速效钾含量, 分析认为可能主要由于玉米季深松处理增加土壤通气性更有利于秸秆矿化并释放钾素营养; 免耕-免耕处理也能较对照处理显著增加冬小麦越冬期后 0~20 cm 土层土壤速效钾含量, 可能主要由于该处理秸秆还田后一直覆盖在土壤表层, 在该时期之后还田的秸秆开始逐渐矿化并释放钾素营养。另外, 本研究还发现, 在 20~40 cm 土层, 各耕作方式处理土壤速效钾含量在玉米季以收获期最高, 而在小麦季则以越冬期最高, 分析认为可能主要是作物对钾素营养的吸收能力大幅度降低以及还田的秸秆仍在矿化释放钾素营养所致。

### 3.5 耕作方式对作物产量的影响

有研究表明, 深耕和免耕较旋耕均显著增加冬小麦籽粒产量<sup>[9]</sup>, 而深松耕与免耕处理冬小麦产量无显著差异<sup>[9,27]</sup>, 夏玉米季旋耕和免耕处理间籽粒产量无显著差异, 但深松较旋耕和免耕分别增产 4.3%和 5.7%<sup>[28]</sup>。另有研究表明, 与免耕覆盖相比, 深松还田显著增加冬小麦成穗数、穗粒数和千粒重, 最终籽粒产量增加<sup>[29]</sup>。周年耕作方式试验结果表明, 与旋耕相比, 冬小麦免耕播种降低成穗数导致减产, 而后茬玉米籽粒产量无显著差异<sup>[30]</sup>, 而冬小麦深松处理可显著增加后茬玉米的籽粒产量<sup>[31]</sup>, 冬小麦夏玉米周年连续免耕处理的夏玉米籽粒产量与旋耕-免耕相比略有增加, 但差异未达显著水平<sup>[32]</sup>。本试验条件下, 砂姜黑土土质黏重, 通气透水性差, 与免耕-旋耕处理相比, 连续免耕处理冬小麦和夏玉米籽粒产量均有所降低, 玉米季深松能够增加夏玉米-冬小麦的籽粒产量, 以深松-免耕处理效果最优, 可能是由于玉米季深松打破犁底层, 利于根系的生长, 提高作物对水肥的利用效率, 最终导致产量增加<sup>[33-34]</sup>。鉴于不同的土壤性质、气候特点以及耕作方式对作物产量不尽相同的影响<sup>[35]</sup>, 耕作措施的选择应因地制宜, 根据当地的实际生产条件选择最具应用价值的耕作模式<sup>[36]</sup>。

耕作方式对土壤养分和作物产量的影响规律与实施年限有关, 还需要进一步增加周年耕作方式试验的实施年限。另外, 各耕作方式的效果在不同年际间可能存在差异, 尚需进一步深入研究。

## References

- [1] 全国土壤普查办公室. 中国土壤. 北京: 中国农业出版社, 1998. pp 601-617  
The National Soil Survey Office. Soil of China. Beijing: China Agriculture Press, 1998. pp 601-617 (in Chinese)

- [2] 谢迎新, 靳海洋, 孟庆阳, 王永华, 王晨阳, 贺德先, 郭天财. 深耕改善砂姜黑土理化性状提高小麦产量. 农业工程学报, 2015, 31(10): 167-173  
Xie Y X, Jin H Y, Meng Q Y, Wang Y H, Wang C Y, He D X, Guo T C. Deep tillage improving physical and chemical properties of soil and increasing grain yield of winter wheat in lime concretion black soil farmland. *Trans CSAE*, 2015, 31(10): 167-173 (in Chinese with English abstract)
- [3] 陈尚洪, 朱钟麟, 刘定辉, 舒丽, 王昌全. 秸秆还田和免耕对土壤养分及碳库管理指数的影响研究. 植物营养与肥料学报, 2008, 14: 806-809  
Chen S H, Zhu Z L, Liu D H, Shu L, Wang C Q. Influence of straw mulching with no-till on soil nutrients and carbon pool management index. *Plant Nutr Fert Sci*, 2008, 14: 806-809 (in Chinese with English abstract)
- [4] Zhang S X, Chen X W, Jia S X, Liang A Z, Zhang X P, Yang X M, Wei S C, Sun B J, Huang D D, Zhou G Y. The potential mechanism of long-term conservation tillage effects on maize yield in the black soil of Northeast China. *Soil Tillage Res*, 2015, 154: 84-90.
- [5] 张恒恒, 严昌荣, 张燕卿, 王健波, 何文清, 陈保青, 刘恩科. 北方旱区免耕对农田生态系统固碳与碳平衡的影响. 农业工程学报, 2015, 31(4): 240-247  
Zhang H H, Yan C R, Zhang Y Q, Wang J B, He W Q, Chen B Q, Liu E K. Effect of no tillage on carbon sequestration and carbon balance in farming ecosystem in dryland area of northern China. *Trans CSAE*, 2015, 31(4): 240-247 (in Chinese with English abstract)
- [6] 张瑞富, 杨恒山, 高聚林, 张玉芹, 王志刚, 范秀艳, 毕文波. 深松对春玉米根系形态特征和生理特性的影响. 农业工程学报, 2015, 31(5): 78-84  
Zhang R F, Yang H S, Gao J L, Zhang Y Q, Wang Z G, Fan X Y, Bi W B. Effect of subsoiling on root morphological and physiological characteristics of spring maize. *Trans CSAE*, 2015, 31(5): 78-84 (in Chinese with English abstract)
- [7] 齐华, 刘明, 张卫建, 张振平, 李雪霏, 宋振伟, 于吉琳, 吴亚男. 深松方式对土壤物理性状及玉米根系分布的影响. 华北农学报, 2012, 27(4): 191-196  
Qi H, Liu M, Zhang W J, Zhang Z P, Li X F, Song Z W, Yu J L, Wu Y N. Effect of deep loosening mode on soil physical characteristics and maize root distribution. *Acta Agric Boreali-Sin*, 2012, 27(4): 191-196 (in Chinese with English abstract)
- [8] 梁爱珍, 杨学明, 张晓平, 申艳, 时秀焕, 范如芹, 方华军. 免耕对东北黑土水稳性团聚体中有机碳分配的短期效应. 中国农业科学, 2009, 42: 2801-2808  
Liang A Z, Yang X M, Zhang X P, Shen Y, Shi X H, Fan R Q, Fang H J. Short-term impacts of no tillage on soil organic carbon associated with water-stable aggregates in black soil of Northeast China. *Sci Agric Sin*, 2009, 42: 2801-2808 (in Chinese with English abstract)
- [9] 刘义国, 林琪, 房清龙. 旱地秸秆还田对小麦花后光合特性及产量的影响. 华北农学报, 2013, 28(4): 110-114  
Liu Y G, Lin Q, Fang Q L. Effects of dryland with straw return on photosynthetic characteristics and yield of wheat after flowering stage. *Acta Agric Boreali-Sin*, 2013, 28(4): 110-114 (in Chinese with English abstract)

- [10] 李素娟, 陈继康, 陈阜, 李琳, 张海林. 华北平原免耕冬小麦生长发育特征研究. 作物学报, 2008, 34: 290–296  
Li S J, Chen J K, Chen F, Li L, Zhang H L. Characteristics of growth and development of winter wheat under zero-tillage in North China Plain. *Acta Agron Sin*, 2008, 34: 290–296 (in Chinese with English abstract)
- [11] Arvidsson J, Etana A, Tomas R. Crop yield in Swedish experiments with shallow tillage and no-tillage 1983–2012. *Eur J Agron*, 2014, 52(B): 307–315
- [12] 王玉玲, 李军. 利于小麦-玉米轮作田土壤理化性状和作物产量的耕作方式研究. 植物营养与肥料学报, 2014, 20: 1139–1150  
Wang Y L, Li J. Study of tillage patterns suitable for soil physicochemical properties and crop yields in wheat/maize fields. *Plant Nutr Fert Sci*, 2014, 20: 1139–1150 (in Chinese with English abstract)
- [13] 王丽, 李军, 李娟, 柏炜霞. 轮耕与施肥对渭北旱作玉米田土壤团聚体和有机碳含量的影响. 应用生态学报, 2014, 25: 759–768  
Wang L, Li J, Li J, Bai H X. Effects of tillage rotation and fertilization on soil aggregates and organic carbon content in corn field in Weibei Highland. *Chin J Appl Ecol*, 2014, 25: 759–768 (in Chinese with English abstract)
- [14] 李霞, 张吉旺, 任佰朝, 范霞, 董树亭, 刘鹏, 赵斌. 小麦玉米周年生产中耕作对夏玉米产量及抗倒伏能力的影响. 作物学报, 2014, 40: 1093–1101  
Li X, Zhang J W, Ren B Z, Fan X, Dong S T, Liu P, Zhao B. Yield and lodging resistance of summer maize under different winter wheat-summer maize tillage systems. *Acta Agron Sin*, 2014, 40: 1093–1101 (in Chinese with English abstract)
- [15] 鲍士旦. 土壤农化分析(第 3 版). 北京: 中国农业出版社, 2000. pp 25–114  
Bao S D. Soil and Agricultural Chemistry Analysis, 3rd edn. Beijing: China Agriculture Press, 2000. pp 25–114 (in Chinese)
- [16] 黄昌勇, 徐建明. 土壤学(第 3 版). 北京: 中国农业出版社, 2010. pp 29–43  
Huang C Y, Xu J M. Soil Science, 3rd edn. Beijing: China Agriculture Press, 2010. pp 29–43 (in Chinese)
- [17] Valboa G, Lagomarsino A, Brandi G, Agnelli A E, Simoncini S, Papini R, Vignozzi N, Pellegrini S. Long-term variations in soil organic matter under different tillage intensities. *Soil Tillage Res*, 2015, 154: 126–135
- [18] 南雄雄, 游东海, 田霄鸿, 李锦, 王淑娟, 崔娟, 刘廷. 关中平原农田作物秸秆还田对土壤有机碳和作物产量的影响. 华北农学报, 2011, 26(5): 222–229  
Nan X X, You D H, Tian X H, Li J, Wang S J, Cui J, Liu T. Effect of returning of cropland straw to field on soil organic carbon and grain yield in Guanzhong Plain. *Acta Agric Boreali-Sin*, 2011, 26(5): 222–229 (in Chinese with English abstract)
- [19] 田慎重, 宁堂原, 王瑜, 李洪杰, 仲惟磊, 李增嘉. 不同耕作方式和秸秆还田对麦田土壤有机碳含量的影响. 应用生态学报, 2010, 21: 373–378  
Tian S C, Ning T Y, Wang Y, Li H J, Zhong W L, Li Z J. Effects of different tillage methods and straw-returning on soil organic carbon content in a winter wheat field. *Chin J Appl Ecol*, 2010, 21: 373–378 (in Chinese with English abstract)
- [20] 矫丽娜, 李志洪, 殷程程, 王晓飞, 辛士颖, 于磊. 高量秸秆不同深度还田对黑土有机质组成和酶活性的影响. 土壤学报, 2015, 52: 665–672  
Jiao L N, Li Z H, Yan C C, Wang X F, Xin S Y, Yu L. Effect of incorporation of crop straw on composition of soil organic matter and enzyme activity in black soil relative to depth and rate of the incorporation. *Acta Pedol Sin*, 2015, 52: 665–672 (in Chinese with English abstract)
- [21] 冀保毅, 赵亚丽, 郭海斌, 李传保, 穆心愿, 李潮海. 深耕条件下秸秆还田对不同质地土壤肥力的影响. 玉米科学, 2015, 23(4): 104–109  
Ji B Y, Zhao Y L, Guo H B, Li C B, Mu X Y, Li C H. The effect of straw retained on the fertility of deep tilled soil. *J Maize Sci*, 2015, 23(4): 104–109 (in Chinese with English abstract)
- [22] 吕薇, 李军, 岳志芳, 陈宁宁, 王淑兰. 轮耕对渭北旱塬麦田土壤有机质和全氮含量的影响. 中国农业科学, 2015, 48: 3186–3200.  
Lü W, Li J, Yue Z F, Chen N N, Wang S L. Effects of rotational tillage on soil organic matter and soil total nitrogen contents of continuous cropping wheat field in Weibei Highland. *Sci Agric Sin*, 2015, 48: 3186–3200 (in Chinese with English abstract)
- [23] 张俊丽, Tanveer S K, 温晓霞, 陈月星, 高明博, 刘杨, 廖允成. 不同耕作方式下旱作玉米田土壤呼吸及其影响因素. 农业工程学报, 2012, 28(18): 192–199  
Zhang J L, Tanveer S K, Wen X X, Chen Y X, Gao M B, Liu Y, Liao Y C. Soil respiration and its affecting factors in dry-land maize field under different tillage systems. *Trans CSAE*, 2012, 28(18): 192–199 (in Chinese with English abstract)
- [24] 罗珠珠, 黄高宝, Li G D, 张仁陟, 蔡立群. 保护性耕作对旱作农田耕层土壤肥力及酶活性的影响. 植物营养与肥料学报, 2009, 15: 1085–1092.  
Luo Z Z, Huang G B, Li G D, Zhang R Z, Cai L Q. Effects of conservation tillage on soil nutrients and enzyme activities in rainfed area. *Plant Nutr Fert Sci*, 2009, 15: 1085–1092 (in Chinese with English abstract)
- [25] 王改玲, 郝明德, 许继光, 洪坚平. 保护性耕作对黄土高原南部地区小麦产量及土壤理化性质的影响. 植物营养与肥料学报, 2011, 17: 539–544  
Wang G L, Hao M D, Xu J G, Hong J P. Effect of conservation tillage on wheat yield and soil physicochemical properties in the South of Loess Plateau. *Plant Nutr Fert Sci*, 2011, 17: 539–544 (in Chinese with English abstract)
- [26] 杨培培, 杨明欣, 董文旭, 陈素英, 胡春胜. 保护性耕作对土壤养分分布及冬小麦吸收与分配的影响. 中国生态农业学报, 2011, 19: 755–759  
Yang P P, Yang M X, Dong W X, Chen S Y, Hu C S. Effect of conservation tillage on wheat and soil nutrient distribution and absorption. *Chin J Eco-agric*, 2011, 19: 755–759 (in Chinese with English abstract)
- [27] 黄明, 吴金芝, 李友军, 姚宇卿, 张灿军, 蔡典雄, 金轲. 不同耕作方式对旱作冬小麦旗叶衰老和籽粒产量的影响. 应用生态学报, 2009, 20: 1355–1361  
Huang M, Wu J Z, Li Y J, Yao Y Q, Zhang C J, Cai D X, Jin K. Effects of tillage pattern on the flag leaf senescence and grain yield of winter wheat under dry farming. *Chin J Appl Ecol*, 2009, 20: 1355–1361 (in Chinese with English abstract)



- [28] 孔晓民, 韩成卫, 曾苏明, 吴秋平, 刘丽. 不同耕作方式对土壤物理性状及玉米产量的影响. 玉米科学, 2014, 22(1): 108–113  
Kong X M, Han C W, Zeng S M, Wu Q P, Liu L. Effects of different tillage managements on soil physical properties and maize yield. *J Maize Sci*, 2014, 22(1): 108–113 (in Chinese with English abstract)
- [29] 王靖, 林琪, 倪永君, 刘义国, 王炳军. 旱地保护性耕作对冬小麦光合特性及产量的影响. 麦类作物学报, 2009, 29: 480–483  
Wang J, Lin Q, Ni Y J, Liu Y G, Wang B J. Effect of conservation tillage on photosynthetic characteristics and yield of winter wheat in dry land. *J Triticeae Crops*, 2009, 29: 480–483 (in Chinese with English abstract)
- [30] 孔凡磊, 张海林, 翟云龙, 袁继超, 陈阜. 耕作方式对华北冬小麦-夏玉米周年产量和水分利用的影响. 中国生态农业学报, 2014, 22: 749–756  
Kong F L, Zhang H L, Zhai Y L, Yuan J C, Chen F. Effects of tillage methods on crop yield and water use characteristics in winter-wheat/summer-maize rotation system in the North China Plain. *Chin J Eco-agric*, 2014, 22: 749–756 (in Chinese with English abstract)
- [31] 蔡丽君, 边大红, 田晓东, 曹立燕, 崔彦宏. 耕作方式对土壤理化性状及夏玉米生长发育和产量的影响. 华北农学报, 2014, 29(5): 232–238  
Cai L J, Bian D H, Tian X D, Cao L Y, Cui Y H. Effect of tillage methods on soil physical and chemical properties, growth and grain yield of summer maize. *Acta Agric Boreali-Sin*, 2014, 29(5): 232–238 (in Chinese with English abstract)
- [32] 金亚征, 谢瑞芝, 冯聚凯, 李少昆, 高世菊, 丁丽梅. 保护性耕作方式下华北平原夏玉米产量效应的研究. 玉米科学, 2008, 16(4): 143–146  
Jin Y Z, Xie R Z, Feng J K, Li S K, Gao S J, Ding L M. Research on the effect of summer maize yield under conservation tillage pattern in North China Plain. *J Maize Sci*, 2008, 16(4): 143–146 (in Chinese with English abstract)
- [33] 李霞, 汤明军, 张东兴, 王维新, 崔涛. 深松对土壤特性及玉米产量的影响. 农业工程学报, 2014, 30(23): 65–69  
Li X, Tang M J, Zhang D X, Wang W X, Cui T. Effects of sub-soiling on soil physical quality and corn yield. *Trans CSAE*, 2014, 30(23): 65–69 (in English with Chinese abstract)
- [34] 尹宝重, 甄文超, 冯悦. 海河低平原深松播种对夏玉米根系生理的影响及其节水增产效应. 作物学报, 2015, 41: 623–632  
Yin B C, Zhen W C, Feng Y. Effects of subsoiling-seeding on root physiological indices, water-saving and yield-increasing behaviors in summer maize (*Zea mays* L.) in haihe lowland plain of China. *Acta Agron Sin*, 2015, 41: 623–632 (in Chinese with English abstract)
- [35] 姬强, 孙汉印, Taraqqi A K, 王旭东. 不同耕作措施对冬小麦-夏玉米复种连作系统土壤有机碳和水分利用效率的影响. 应用生态学报, 2014, 25: 1029–1035  
Ji J, Sun H Y, Taraqqi A K, Wang X D. Impact of different tillage practices on soil organic carbon and water use efficiency under continuous wheat-maize binary cropping system. *Chin J Appl Ecol*, 2014, 25: 1029–1035 (in Chinese with English abstract)
- [36] 谢瑞芝, 李少昆, 金亚征, 李小君, 汤秋香, 王克如, 高世菊. 中国保护性耕作试验研究的产量效应分析. 中国农业科学, 2008, 41: 397–404  
Xie R Z, Li S K, Jin Y Z, Li X J, Tang Q X, Wang K R, Gao S J. The trends of crop yield responses to conservation tillage in China. *Sci Agric Sin*, 2008, 41: 397–404 (in Chinese with English abstract)

## 欢迎订阅 2017 年《中国水稻科学》、*Rice Science*

《中国水稻科学》(ISSN 1001-7216, CN 33-1146/S)为中国水稻研究所主办的全国性学术期刊, 主要报道以水稻为研究对象的未经发表的原始论文。所设栏目包括研究报告、研究简报、研究快报、研究简讯、实验技术、学术专论、文献综述等。读者对象为国内外从事水稻科研、教学、生产和管理的有关人员。同时, 还办有 *Rice Science* (《水稻科学》)(ISSN 1672-6308, CN 33-1317/S)。

《中国水稻科学》为中文核心期刊、中国科学引文索引数据库核心期刊, 中国科技核心期刊, 也是国内外 30 多种数据库和检索期刊的文献源。在全国和地方期刊评比中, 《中国水稻科学》多次获优秀期刊奖, 曾两度被评为全国优秀科技期刊, 荣获第三届国家期刊奖(百种重点期刊), 并入选中国精品科技期刊、百种中国杰出学术期刊和中国百强报刊。

《中国水稻科学》为双月刊, 大 16 开, 112 页, 每期定价 20.00 元, 全年 120.00 元, 邮发代号 32-94, 国外代号 Q6533。读者可在各地邮政局订阅, 也可向编辑部订阅。*Rice Science* 为双月刊, 大 16 开, 每期 60 页, 定价 15.00 元, 全年 90.00 元, 境外 15 美元, 全年 90 美元。自办发行, 请读者直接向编辑部订阅。

地址: 浙江省杭州市体育场路 359 号中国水稻研究所内, 邮政编码 310006

电话: 0571-63370278; 0571-63371017; E-mail: cjrs@263.net; li@ricescience.org; rs@ricescience.org