

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*

张建军^{1,3,4} 王 勇^{1,3,4**} 樊廷录^{2,3,4} 郭天文^{1,3,4} 赵 刚¹ 党 翼¹ 王 磊¹ 李尚中¹

(¹甘肃省农业科学院旱地农业研究所, 兰州 730070; ²甘肃省农业科学院科研管理处, 兰州 730070; ³农业部西北作物抗旱栽培与耕作重点开放实验室, 兰州 730070; ⁴甘肃省旱作区水资源高效利用重点实验室, 兰州 730070)

摘 要 以陇东黄土旱塬已进行7年的田间定位试验为基础,分析了免耕和传统耕作条件下5个施肥处理冬小麦收获期土壤水分、土壤容重(2011年)及土壤养分和产量(2005—2011年)变化,探讨了耕作方式和施肥对冬小麦-春玉米轮作农田土壤蓄水保墒效果及土壤肥力和产量的影响.结果表明:2011年免耕条件下0~200 cm各土层土壤含水量、0~20 cm和20~40 cm土层土壤容重及土壤有机质、速效氮、速效磷含量均高于传统耕作.相同耕作条件下氮磷化肥与有机肥配施处理的土壤有机质、速效氮、速效磷含量高于其他施肥处理;不同耕作方式及施肥处理下速效钾呈逐年减少的趋势;传统翻耕处理的产量高于免耕,相同耕作条件下氮磷化肥与有机肥配施处理产量最高,不施肥对照产量最低.不同耕作方式和施肥处理的土壤蓄水保墒能力和肥力效应以免耕优于传统翻耕,产量以传统翻耕下有机无机肥配施处理最好.

关键词 耕作方式 土壤水分动态 土壤肥力 产量

文章编号 1001-9332(2013)04-1001-08 **中图分类号** S158 **文献标识码** A

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. ZHANG Jian-jun^{1,3,4}, WANG Yong^{1,3,4}, FAN Ting-lu^{2,3,4}, GUO Tian-wen^{1,3,4}, ZHAO Gang¹, DANG Yi¹, WANG Lei¹, LI Shang-zhong¹ (¹Dryland Agriculture Institute, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070, China; ²Science and Technology Management Department, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070, China; ³Ministry of Agriculture Key Laboratory of Northwest Drought-resistant Crop Farming, Lanzhou 730070, China; ⁴Key Laboratory of High Efficient Use of Water Resource in Dryland Farming Region, Lanzhou 730070, China). -*Chin. J. Appl. Ecol.*, 2013, 24(4): 1001–1008.

Abstract: Based on the 7-year field experiment on the dryland of east Gansu of Northwest China in 2005–2011, this paper analyzed the variations of soil moisture content, bulk density, and nutrients content at harvest time of winter wheat and of the grain yield under no-tillage and conventional tillage and five fertilization modes, and approached the effects of different tillage and fertilization modes on the soil water storage and conservation, soil fertility, and grain yield under winter wheat/spring corn rotation. In 2011, the soil moisture content in 0–200 cm layer and the soil bulk density and soil organic matter and available nitrogen and phosphorus contents in 0–20 cm and 20–40 cm layers under different fertilization modes were higher under no-tillage than under conventional tillage. Under the same tillage modes, the contents of soil organic matter and available nitrogen and available phosphorus were higher under the combined application of organic and inorganic fertilizers, as compared with other fertilization modes. The soil available potassium content under different tillage and fertilization modes decreased with years. The grain yield under conventional tillage was higher than that under no-tillage. Under the same tillage modes, the grain yield was the highest under the combined application of organic and inorganic fertilizers, and the lowest under no fertilization. In sum, no-tillage had the superiority than conventional tillage in improving the soil water

* 国家科技支撑计划项目(2012BAD09B03)和公益性行业(农业)科研专项(2012030301)资助.

** 通讯作者. E-mail: wangyonghns@163.com

2012-08-28 收稿, 2013-02-05 接受.

storage and conservation and soil fertility, and the combined application of organic and inorganic fertilizers under conventional tillage could obtain the best grain yield.

Key words: tillage mode; soil moisture dynamics; soil fertility; yield.

土地利用方式的变化不仅可以改变土壤状况而且影响诸多生态过程^[1],采用合理的土地利用方式可以改善土壤结构,增强土壤对外界环境变化的抵抗能力^[2],而不合理的土地利用方式则会降低土壤质量^[3].旱作农业的可持续发展需要长久地维持和提高土壤生产力,保持和提高土壤肥力^[4].黄土高原干旱、半干旱雨养农业区常年以传统耕作方式对土壤进行翻耕、耙耱,作物秸秆大量移出后导致表土暴露和土壤结构被破坏,特别是加速了土壤有机质的分解,增加了土壤侵蚀和养分流失,使耕地质量日趋下降^[5].已有研究表明,以免耕为代表的各种保护性耕作措施在增加土壤有机质,改善土壤结构,增加土壤持水性能、抗蚀性和通透性等方面具有明显效果^[6].传统翻耕在不施有机肥料或有机肥料补充不足的情况下,易加剧有机质矿化,不利于土壤肥力的维持^[7],而采用适宜的土壤耕作施肥方式不仅可以改善土壤特性,还可以提高田间水分利用效率,达到保水增产的目的.

目前,国内外对施肥和耕作效应的研究多为单因素^[8],而对耕作和施肥处理综合效应的研究较少.余晓鹤等^[9]曾报道了我国北亚热带地区稻-麦水旱轮作条件下,3年7茬连续免耕并配合施用化肥与不同种类有机肥对土壤某些理化性质的影响.笔者于2010年对该长期定位试验连作3年冬小麦的土壤部分理化性状及产量变化进行了报道^[10].本文在此基础上进一步研究了经过7年7茬连续耕作与施肥后土壤水分、养分及有关物理性状和产量的变化,通过对不同耕作方法、不同施肥处理连续7年土壤养分含量、产量变化及第7茬作物收获后土壤水分、容重测定结果的比较分析,研究该生态条件下合理的耕作和培肥措施,为该地区旱作农业可持续发展中土壤管理与肥料运筹提供科学依据.

1 研究区域与研究方法

1.1 研究区概况

试验在位于甘肃省庆阳市镇原县(35°29'42" N, 107°29'36" E)的农业部西北植物营养与施肥科学观测试验站进行,该区多年平均降雨量540 mm,降雨季节短且分配不均,54%以上的降雨集中在7—9月,地下水埋深60~100 m,不参加生物水循环,属

典型的旱作雨养农业区.供试土壤为发育良好的覆盖黑垆土,试验开始时0~40 cm土层土壤有机质11.75 g·kg⁻¹,碱解氮78.66 mg·kg⁻¹,速效钾150.43 mg·kg⁻¹,速效磷13.94 mg·kg⁻¹;0~20 cm、20~40 cm土层土壤容重分别为1.22和1.32 g·cm⁻³.

1.2 试验设计

试验于2005—2011年进行,采用耕作和施肥二因素裂区设计,耕作为主处理,设2个水平,分别为传统耕作和免耕,施肥为副处理,设6个水平,分别为不施肥对照(CK)、施纯N 150 kg·hm⁻²(N)、施纯P₂O₅ 105 kg·hm⁻²(P)、施农家肥(腐熟的纯牛粪)22500 kg·hm⁻²(M)、施纯N 150 kg·hm⁻²和纯P₂O₅ 105 kg·hm⁻²(NP)、施纯N 150 kg·hm⁻²、纯P₂O₅ 105 kg·hm⁻²、农家肥(腐熟的纯牛粪)22500 kg·hm⁻²(NMP),小区面积8 m×9 m=72 m²,3次重复.常规耕作分别于作物收获后和播前各耕作一次;免耕在作物收获后至播种前,不搅动土壤,利用前作残茬覆盖地表.施肥采用定位施肥,小区为固定小区,农家肥和磷肥在播前一次性基施,氮肥50%作基肥,50%作追肥于返青期施入.作物种植方式采用1年玉米3年冬小麦的轮作模式.供试冬小麦品种为陇鉴301,播量157.5 kg·hm⁻²,玉米品种为沈单16,保苗50000株·hm⁻²,其他管理措施按常规要求实施.

1.3 测定方法

于每年冬小麦、春玉米收获后按照S形多点混合采集耕作层0~40 cm土样,风干、研磨过筛.有机质含量采用重铬酸钾-外加热法测定;碱解氮含量采用碱解扩散法测定;速效磷含量采用0.5 mol·L⁻¹ NaHCO₃浸提-比色法测定;速效钾含量采用NH₄OAc浸提-火焰光度法测定^[11].土壤含水量采用烘干称量法测定,用土钻人工分层取土,于播前和收获后由地表向下依次取0~2 m土体,每隔20 cm一层,分10层测定土壤含水量.土壤水分=(湿土质量-烘干土质量)/烘干土质量×100%.作物收获后分层采集0~20 cm、20~40 cm原状土壤样品,环刀法测定土壤容重.

1.4 数据处理

采用Microsoft Excel 2003 软件处理数据和制

图,DPS 统计软件对数据进行统计分析,用 LSD 法进行多重比较($\alpha=0.05$)。

2 结果与分析

2.1 耕作方式和施肥对土壤容重的影响

土壤容重的变化能够反映耕作方式对土壤物理特性的影响程度。从图 1 可以看出,耕作及施肥处理显著影响土壤容重的变化,免耕条件下 0~20 cm 和 20~40 cm 土层土壤容重均高于传统耕作,而相同耕作方式下有机无机肥配施(NMP)处理 0~20 cm 和 20~40 cm 土层土壤容重低于其他施肥处理,且不同耕作及施肥处理土壤容重表现为逐年增加的趋势,其中 20~40 cm 土层较 0~20 cm 土层增加幅度大,免耕较传统翻耕增加幅度大。免耕条件下,CK、N、P、M、NP、NMP 6 个处理 0~20 cm 土层土壤容重较传统翻耕分别增加 7.9%、3.5%、3.7%、7.9%、6.0% 和 3.0%;20~40 cm 土层分别增加 3.9%、0.6%、8.2%、0.4%、1.2% 和 1.3%。

2.2 耕作方式和施肥对收获期土壤含水量的影响

作物对土壤水分的利用受土壤底墒和作物生长状况的共同影响。从图 2 可以看出,免耕土壤全剖面(0~200 cm)的平均土壤含水量高于传统翻耕,且

各土层的土壤含水量均普遍高于对应的翻耕土层,这是由于免耕减少了对土层的扰动,有利于抑制土面的无效蒸发,提高表层水分含量,而在降水比较充分的条件下又有利于保持土壤的深层蓄水。不同耕作及施肥处理 0~80 cm 土壤含水量随土层深度增加而降低,80~200 cm 土壤含水量趋于稳定,80 cm 处为水分含量变化的拐点,表明小麦生育期降水入渗深度不足 80 cm,前茬作物生长耗水所形成的土壤干层依然存在。相同耕作方式下,0~80 cm 以 NMP 处理土壤含水量最低,CK 土壤含水量最高;80~200 cm 土层,传统耕作以 NMP 处理土壤含水量最低,免耕各施肥处理土壤含水量差异不明显。

2.3 耕作方式和施肥对土壤养分含量的影响

2.3.1 有机质含量变化 土壤有机质含量的高低与土壤肥力水平密切相关,直接影响土壤理化性状,并反映土壤熟化程度。从图 3 可以看出,除 CK 外,各处理土壤有机质含量随年际变化均呈上升趋势,不同处理 0~40 cm 土层有机质含量增加速度有差异,以免耕条件下增幅最快,明显高于传统耕作。2011 年收获期免耕 CK、N、P、M、NP、NMP 处理较传统耕作有机质含量分别增加 3.6%、3.7%、3.8%、3.2%、7.3%、6.1%;相同耕作方式以 NMP 处理有机质含量最高,CK 最低。与试验开始前相比,除 CK 外,传统耕作和免耕各施肥处理有机质含量均增加,

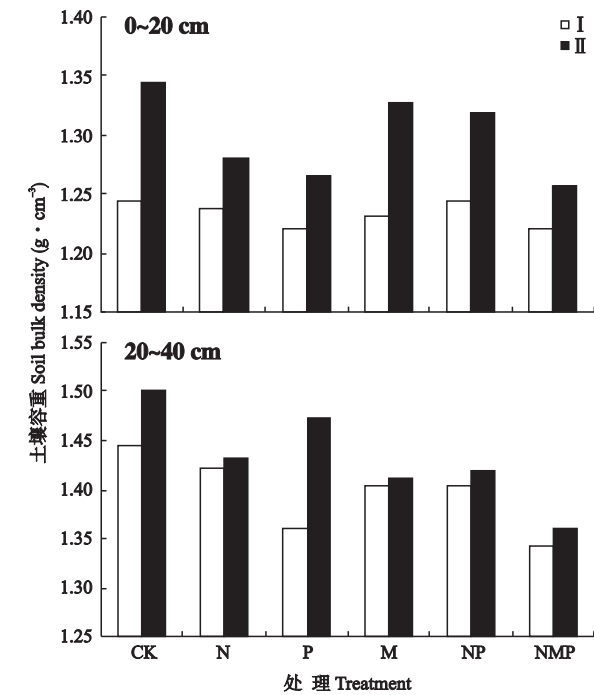


图 1 不同耕作及施肥处理土壤容重变化
Fig.1 Change of soil bulk density under different tillage and fertilizer treatments.

不同小写字母表示处理间差异显著 Different small letters meant significant difference among treatments. I :传统耕作 Traditional tillage; II :免耕 No tillage. 下同 The same below.

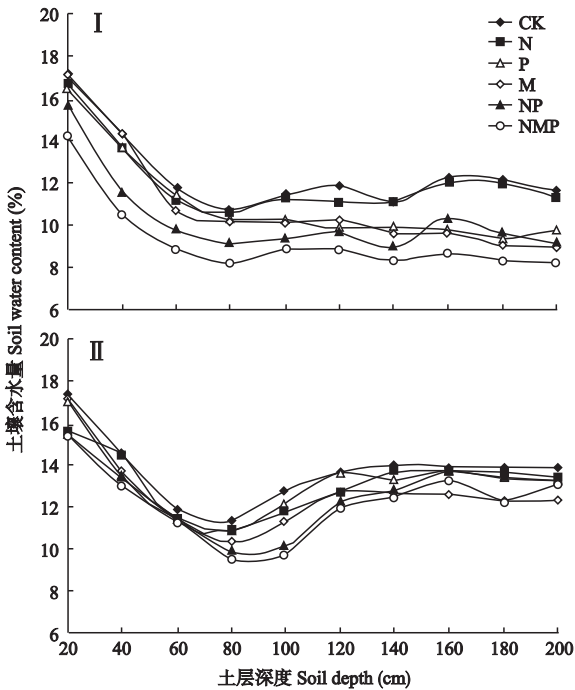


图 2 不同耕作及施肥处理 0~200 cm 土层土壤含水量变化
Fig.2 Change of soil water content in 0~200 cm soil layer under different tillage and fertilizer treatments.

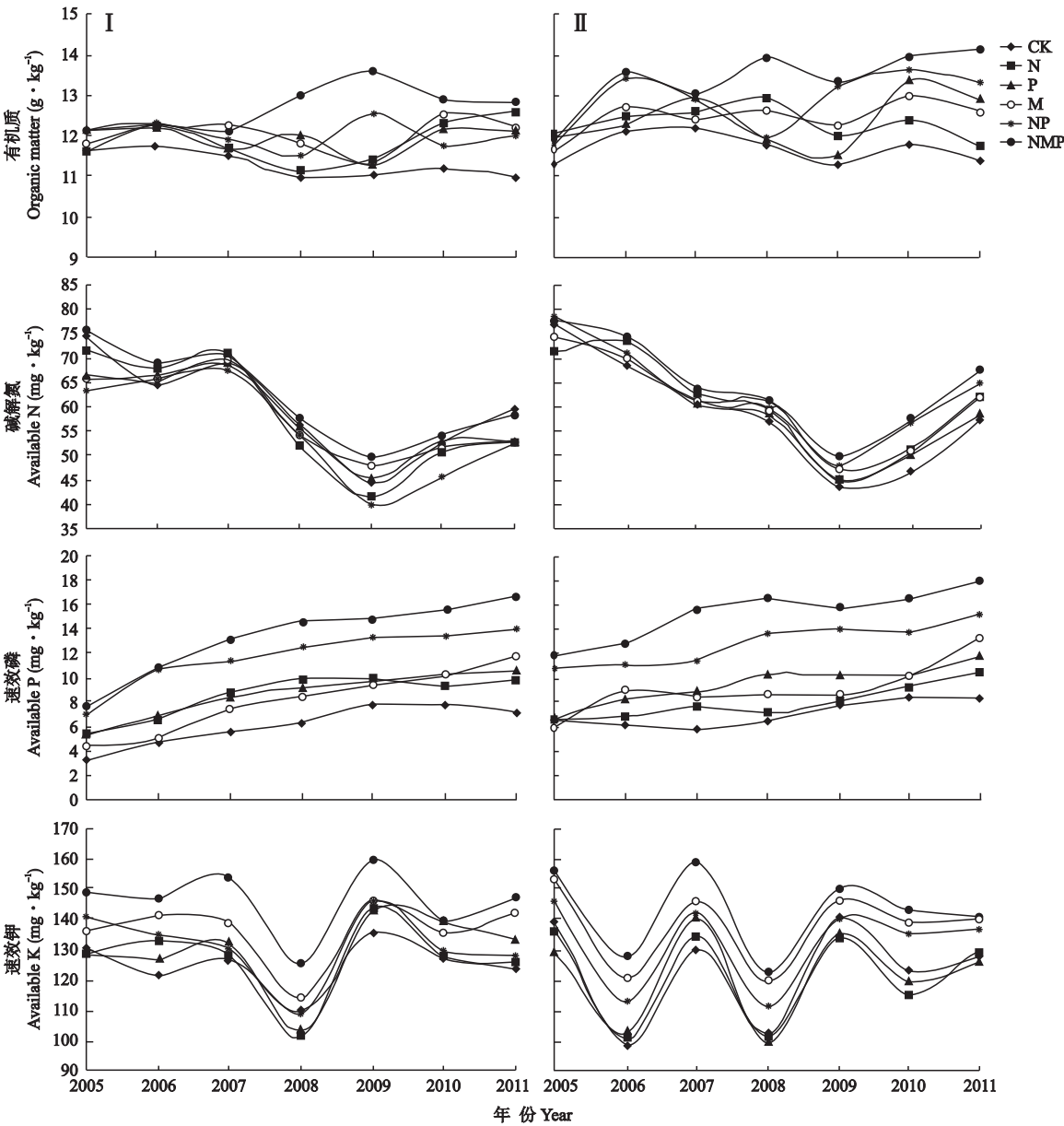


图3 不同耕作及施肥处理0~40 cm 土层土壤有机质、碱解氮、速效磷和速效钾含量的变化
Fig.3 Changes of organic matter, available N, available P and available K in 0-40 cm soil layer under different tillage and fertilizer treatments.

N、P、M、NP、NMP 处理有机质含量分别增加 6.6%、2.9%、3.9%、2.3%、8.4% 和 0.3%、9.0%、6.7%、11.7%、17.1%。

2.3.2 碱解氮含量变化 试验进行 7 年后,不同耕作方式和施肥处理碱解氮含量较试验前呈逐年降低的趋势,免耕较传统翻耕降低幅度小,有机无机肥配施较其他施肥处理降低幅度小(图 3)。这是由于均衡施肥可增加根茬、根系和根分泌物量,即增加了归还土壤的有机氮量,这部分氮比土壤中有机氮易矿化。而 N、P 化肥单施或配施、有机肥单施土壤中碱解氮含量低,说明不合理施肥导致土壤中氮挥发、下

渗等损失较大,而长期不施肥土壤中的碱解氮含量最小,说明由于作物携带和氮素转化,造成长期不施肥土壤中氮素含量明显下降。

2.3.3 速效磷含量变化 试验进行 7 年后,不同耕作方式相同施肥处理土壤速效磷含量以免耕处理较高,并随种植年限的增加,呈不断上升趋势,其中免耕 CK、N、P、M、NP、NMP 处理较传统耕作速效磷含量分别增加 15.7%、8.0%、11.4%、11.6%、11.0%、9.9%。相同耕作方式不同施肥处理以 NMP 速效磷含量最高,其中 2011 年传统耕作 NMP 处理较 CK、N、P、M、NP 处理分别增加 130.6%、68.0%、

表 1 不同耕作及施肥处理作物产量
Table 1 Crop yield under different tillage and fertilizer treatments

耕作方式 Type of tillage	施肥 Fert- ilizer	冬小麦产量 Winter wheat yield (kg · hm ⁻²)						玉米产量 Maize yield (kg · hm ⁻²)		
		2006	2007	2008	2010	2011	平均 Mean	2005	2009	平均 Mean
传统耕作 Traditional tillage	CK	1596. 0bD	2254. 5aA	2764. 5bA	664. 5cB	1534. 5dD	1762. 8	7650. 0a	3145. 5dD	5397. 8
	N	1612. 5cdB	2314. 5aA	2944. 5abA	700. 5bcB	1650. 0dD	2130. 4	8322. 0a	4078. 5bcBC	6200. 3
	P	1704. 0cdB	2332. 5aA	3159. 0abA	967. 5bcB	2332. 5cC	2382. 0	8416. 5a	4032. 0bcBC	6224. 3
	M	2184. 0bcAB	2631. 0aA	3342. 0abA	1222. 5bB	2644. 5cC	2404. 8	8283. 0a	3733. 5cCD	6008. 3
	NP	2583. 0abA	2668. 5aA	3780. 0aA	2808. 0aA	3301. 5bB	3028. 2	8544. 0a	4503. 0abAB	6523. 5
	NMP	2814. 0aA	2833. 5aA	3828. 0abA	3283. 5aA	3861. 0aA	3324. 0	9078. 0a	4807. 5aA	6942. 8
免耕 No tillage	CK	1848. 9bAB	1782. 0bB	1806. 0bcB	510. 0cB	1513. 5dD	1492. 1	6238. 5cB	1596. 0bC	3917. 3
	N	1711. 4bB	2004. 0abB	2023. 5bB	570. 0cB	1564. 5dD	1574. 7	7261. 5bcAB	1953. 0bC	4607. 3
	P	1803. 0abB	2473. 5aA	1602. 0cB	876. 0bcB	2245. 5cC	1800. 0	7644. 0bAB	2229. 0bBC	4936. 5
	M	2046. 8abAB	2485. 5aA	1975. 5bcB	1126. 5bB	2530. 5bBC	2033. 0	7705. 5abAB	3132. 0aAB	5418. 3
	NP	2462. 4aA	2511. 0aA	3027. 0aA	2349. 0aA	2559. 0bB	2581. 7	8028. 0abA	3183. 0aAB	5605. 5
	NMP	2467. 7aA	2580. 0aA	3010. 5aA	2760. 0aA	3502. 5aA	2864. 1	8788. 5aA	3475. 5aA	6132. 0

同列不同小、大写字母分别表示差异显著 ($P<0.05$) 和极显著 ($P<0.01$) Different small and capital letters in the same column indicated significant difference at 0.05 and 0.01 levels, respectively.

54.6%、38.2%、18.5%，免耕 NMP 处理较 CK、N、P、M、NP 处理分别增加 119.1%、71.0%、52.5%、36.0%、17.3% (图 3)。说明不施磷的 CK、N 处理由于作物收获时带走了土壤中的磷，使土壤中速效磷含量明显降低，而施磷和有机肥的土壤速效磷含量较高，这是因为磷肥的残效期较长，长期施用磷肥可以在土壤中建立有效的磷库，同时有机肥本身含有一定数量的磷，且以有机磷为主，这部分磷易于分解释放；另外有机肥施入土壤可增加土壤有机质含量，而有机质可减少无机磷的固定，促进无机磷的溶解。

2.3.4 速效钾含量变化 不同耕作方式相同施肥处理土壤速效钾含量较播前呈逐年减少趋势，耕作方式间差异不明显，而相同耕作方式不同施肥处理在试验进行 7 年后差异明显，以 NMP、M 处理速效钾含量最高，传统耕作 NMP 处理较 CK、N、P、M、NP 处理分别增加 19.0%、16.8%、10.6%、3.5%、14.9%；免耕 NMP 处理较 CK、N、P、M、NP 处理分别增加 10.1%、8.7%、11.8%、0.1%、2.9% (图 3)，说明增施有机肥可以明显提高土壤速效钾含量。

2.4 耕作方式和施肥对轮作作物产量的影响

从表 1 可以看出，冬小麦-春玉米轮作条件下小麦、玉米产量年际间变幅较大，但相同耕作方式不同施肥处理同一年份作物产量差异显著 ($P<0.05$)。不论是冬小麦还是春玉米，不同年份产量均以 NMP 处理最高，CK 最低，其中 2010 年是干旱年份，不同处理产量均较低。从平均产量来看，冬小麦传统耕作 NMP 处理较 CK、N、P、M、NP 处理分别增加 88.6%、80.2%、58.4%、38.2%、9.8%，免耕分别增加

92.0%、81.9%、59.1%、40.9%、10.9%；玉米传统耕作分别增加 28.6%、12.0%、11.5%、15.6%、6.4%，免耕分别增加 56.5%、33.1%、24.2%、13.2%、9.4%。而 N、P、M、NP 处理平均产量变化在多数年份表现为 NP>M>P>N，说明无机肥配施较单施产量高，而有机肥单施较无机肥单施产量高，P 单施较 N 单施持续增产效果好。相同施肥处理不同耕作方式表现为传统耕作平均产量高于免耕，其中 CK、N、P、M、NP、NMP 处理冬小麦平均产量传统耕作较免耕分别增加 18.1%、17.1%、16.6%、18.3%、17.3%、16.1%，玉米平均产量分别增加 37.8%、34.6%、26.1%、10.9%、16.4%、13.2%。

3 讨 论

3.1 不同耕作及施肥处理对土壤理化性质的影响

本研究结果表明，免耕 0~40 cm 土层土壤有机质含量高于传统耕作，而相同耕作方式不同施肥处理以有机无机肥配施处理土壤有机质含量最高，CK 最低，N、P、M 或 NP 处理有机质含量高于 CK，低于有机无机肥配施处理，不同年份间变化趋势一致，这与徐明岗等^[12]的研究结果一致，但也有研究认为连续免耕 3 年以上导致土壤中各层有机质含量下降^[13]。

冯跃华等^[14]认为，免耕 0~5 cm 土层土壤速效氮、速效钾含量高于翻耕，5~20 cm 土层则低于翻耕，而速效磷在整个耕层内高于翻耕。王昌全等^[15]认为，除速效磷外，免耕耕层内速效钾含量也明显高于翻耕，并且随免耕年限的增加，速效磷、速效钾含

量有不断上升的趋势. 彭娜等^[16]认为, 长期有机无机肥配施显著增加了土壤碱解氮、速效磷、速效钾含量; 但也有研究表明, 免耕对土壤养分影响不明显, 与翻耕基本相同^[17], 或者降低了土壤养分含量^[18]. 本研究结果表明, 相同施肥处理下免耕的碱解氮、速效磷含量高于传统耕作, 相同耕作方式下以 NMP 处理最高, CK 最低. 这是由于免耕不翻耕土壤, 地表残茬覆盖, 增加了有机氮的归还量; 而传统耕作由于长期且频繁地犁翻土壤导致表层土壤结构稳定性下降, 从而加剧了农田表层土壤养分损失. 不同耕作及施肥处理速效钾含量均呈逐年下降的趋势, 且低于试验前, 这与王宏庭等^[19]在山西石灰性褐土 16 年的定位研究结果一致. 原因可能是作物从土壤中带走的钾远大于归还量, 同时施入土壤中的氮、磷、钾比例失调, 钾肥投入不足, 也是土壤钾含量下降的一个原因.

目前关于耕作方式对土壤容重影响的研究结论存在差异. Ismail 等^[20]认为, 免耕与传统耕作的土壤容重没有明显差异; Chang 等^[21]通过长期试验研究也认为, 不同耕作方式的粘土容重无明显差异; 而有研究认为免耕土壤容重高于传统耕作^[22], 如 Dam 等^[23]研究认为, 免耕促使土壤容重增加, 特别是表层 0~10 cm 土层容重的增加; 但也有研究认为免耕减小土壤容重, 如王昌全等^[15]研究发现, 免耕的土壤容重不但小于翻耕, 并且随免耕年限的增加呈不断减小的趋势. 本研究结果表明, 免耕 0~20 cm、20~40 cm 土层土壤容重均高于传统耕作, 且相同耕作方式均以 NMP 处理在 0~20 cm、20~40 cm 土层土壤容重较低, CK 最高. 其原因可能是由于免耕未扰动土壤, 导致土壤表层残留物和有机质较少到达深层土壤, 而且由于土粒自身的沉积作用减小了土壤中大孔隙, 从而增加了土壤容重; 而传统耕翻处理由于对土壤进行了翻耕导致土壤疏松, 土壤容重相对较小.

3.2 不同耕作及施肥处理对土壤水分的影响

不同耕作方式对土壤水分含量具有较大影响. 大量研究证实, 免耕具有显著的水土保持效应, 但对土壤含水量的影响程度因地区、年份以及季节降雨量的不同而有所差异^[24]. 张海林等^[25]认为, 免耕土壤贮水量比传统耕作增加 10%, 土壤蒸发减少约 40%, 耗水量减少 15%. 余海英等^[26]认为, 免耕处理作物全生育期土壤剖面的平均含水量均明显高于传统翻耕, 两者间的差异在降水较大的情况下表现尤为突出, 其中表土层 (0~10 cm) 和底土层 (80~

100 cm) 的水分增量明显高于中间层次, 最高增量可达翻耕土壤的 2.2%. Singh 等^[27]认为, 免耕 15 cm 的土壤含水量最大, 与传统耕作的差异也最大, 65 cm 以下的土壤含水量间的差异有所减小, 一般小于 2%. 本研究结果表明, 相同施肥处理免耕收获期 0~200 cm 土层土壤含水量高于传统耕作, 这与已有研究结果一致. 原因可能是由于免耕减少了土壤耕翻, 有效减少了土壤水分蒸发, 增加了土壤蓄水保墒能力, 另外也与免耕作物产量及生物量低有关. 相同耕作方式 NMP 处理收获期 0~200 cm 土层土壤含水量最低, 不同降水年份变化趋势基本一致, 原因可能是 NMP 处理作物生物量和产量高, 对土壤水分消耗大.

3.3 不同耕作及施肥处理对作物产量的影响

耕作方式对作物产量的影响一直以来存在较大分歧. 贾树龙等^[28]认为, 连续免耕处理的前 3 年对小麦产量无显著影响, 之后产量显著降低 (最大降幅达到 31.8%). Lampurlanes 等^[29]认为多年免耕使土壤压实从而导致减产. 王育红等^[30]认为, 相对于传统耕作, 免耕对土壤的扰动较少, 能够有效减少土壤水分蒸发, 增加土壤蓄水保墒能力, 从而增加作物产量. Franzluebbers^[31]认为, 旱作条件下进行少、免耕可以蓄水保墒, 提高作物产量. Fuentes 等^[32]认为免耕增加土壤含水量及提高产量的效果优于传统耕作. 本研究结果表明, 相同施肥处理传统耕翻的作物产量高于免耕, 相同耕作方式以有机无机肥配施处理 (NMP) 产量最高, CK 产量最低, N、P、M 或 NP 处理产量均低于 NMP 处理, 且在不同降水年型产量变化趋势基本一致. 原因可能是本研究在冬小麦-春玉米轮作制度下, 春玉米种植前经历了长达 10 个月的夏季和冬季连续休闲, 冬小麦播前经过夏季休闲, 恰好与当地降雨期吻合, 土壤墒情和地力恢复较充分. 因此, 翻耕处理冬小麦、春玉米产量高于免耕处理; 而长期免耕减产的原因可能是养分表层富集下耕层贫化和 0~40 cm 土层土壤容重增加影响根系下扎所致.

参考文献

- [1] Turner MG. Landscape ecology: The effect of pattern on process. *Annual Reviews of Ecology and Systematics*, 1989, **20**: 171-197
- [2] Fu B-J (傅伯杰), Chen L-D (陈利顶), Ma K-M (马克明). The effect of land use change on the regional environment and in the Yangjuangou catchment in the Loess Plateau of China. *Acta Geographica Sinica* (地理

- 学报), 1999, **54**(3): 241–246 (in Chinese)
- [3] Gong J (巩 杰), Chen L-D (陈利顶), Fu B-J (傅伯杰), *et al.* Effects of land use and vegetation restoration on soil quality in a small catchment of the Loess Plateau. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2004, **15**(12): 2292–2296 (in Chinese)
 - [4] Lai Q-W (赖庆旺), Li C-G (李茶苟), Huang Q-H (黄庆海). Effect of continuous application of inorganic fertilizer on soil structure properties of paddy soil derived from red soil. *Acta Pedologica Sinica* (土壤学报), 1992, **29**(2): 168–185 (in Chinese)
 - [5] Mielke LN, Wilhelm WW, Fenster CR. Soil physical characteristics of reduced tillage in a wheat-fallow system. *Transactions of American Society of Agricultural Engineers*, 1984, **27**: 1724–1728
 - [6] Luo Z-Z (罗珠珠), Huang G-B (黄高宝), Zhang G-S (张国盛). Effects of conservation tillage on bulk density and water infiltration of surface soil in semi-arid area of west Loess Plateau. *Agricultural Research in the Arid Areas* (干旱地区农业研究), 2005, **23**(4): 7–11 (in Chinese)
 - [7] Wang B-R (王伯仁), Xu M-G (徐明岗), Huang J-L (黄佳良), *et al.* Study on change of soil fertility and fertilizer efficiency under long-term fertilization in upland of red soil. *Plant Nutrition and Fertilizer Science* (植物营养与肥料学报), 2002, **8**(suppl.): 21–28 (in Chinese)
 - [8] Zhang L-H (张丽华), Li J (李 军), Jia Z-K (贾志宽), *et al.* Effects of conservation tillage on soil water conservation and crop yield of winter wheat-spring maize rotation field in Weibei highland. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2011, **22**(7): 1750–1758 (in Chinese)
 - [9] Yu X-H (余晓鹤), Huang D-M (黄东迈). Effect of soil management on some soil chemical properties. *Chinese Journal of Soil Science* (土壤通报), 1990, **21**(4): 158–161 (in Chinese)
 - [10] Zhang J-J (张建军), Wang Y (王 勇), Tang X-M (唐小明), *et al.* The effect of different tillage methods and fertilizer treatments on yield of winter wheat and soil fertility in the Loess Plateau of east Gansu. *Agricultural Research in the Arid Areas* (干旱地区农业研究), 2010, **28**(1): 247–254 (in Chinese)
 - [11] Bao S-D (鲍士旦). Analysis of Soil and Agricultural Chemistry. Beijing: Chinese Agriculture Press, 2002 (in Chinese)
 - [12] Xu M-G (徐明岗), Li D-C (李冬初), Li J-M (李菊梅), *et al.* Effects of organic manure application combined with chemical fertilizers on nutrients absorption and yield of rice in Hunan of China. *Scientia Agricultura Sinica* (中国农业科学), 2008, **41**(10): 3133–3139 (in Chinese)
 - [13] Gao Y-J (高亚军), Huang D-M (黄东迈), Zhu P-L (朱培立), *et al.* Effects of no-tillage on soil fertility in paddy-upland rotation area. *Tillage and Cultivation* (耕作与栽培), 2000(5): 2–3, 7 (in Chinese)
 - [14] Feng Y-H (冯跃华), Zou Y-B (邹应斌), Wang S-H (王淑红), *et al.* Impact of zero tillage on the soil characters and the growth and yield formation in direct seeding rice. *Crop Research* (作物研究), 2004, **17**(3): 137–140 (in Chinese)
 - [15] Wang C-Q (王昌全), Wei C-M (魏成明), Li T-Q (李廷强), *et al.* Effects on crop yield and soil physical property of different no-tillage treatments. *Journal of Sichuan Agricultural University* (四川农业大学学报), 2001, **19**(2): 152–154 (in Chinese)
 - [16] Peng N (彭 娜), Wang K-F (王开峰). Effect of long-term integrated fertilization with organic manure and chemical fertilizers on soil nutrients. *Hubei Agricultural Sciences* (湖北农业科学), 2009, **48**(2): 310–313 (in Chinese)
 - [17] Zhu B-Y (朱炳耀), Huang J-H (黄建华), Huang Y-Y (黄永耀), *et al.* Effect of continuous tillage-free practice on the grain yield of semi late rice and soil physicochemical property. *Fujian Journal of Agricultural Sciences* (福建农业学报), 1999, **14**(suppl.): 159–163 (in Chinese)
 - [18] Xiao J-Y (肖剑英), Zhang L (张 磊), Xie D-T (谢德体), *et al.* Study on the relationship between soil microbes and soil fertility in paddy fields of long-term no-tillage and ridge culture. *Journal of Southwest Agricultural University* (西南农业大学学报), 2002, **24**(1): 82–85 (in Chinese)
 - [19] Wang H-T (王宏庭), Jin J-Y (金继云), Wang B (王 斌), *et al.* Effects of long-term potassium application and wheat straw return to cinnamon soil on wheat yield and soil potassium balance in Shanxi. *Plant Nutrition and Fertilizer Science* (植物营养与肥料学报), 2010, **16**(4): 801–808 (in Chinese)
 - [20] Ismail I, Blevins RL, Frye WW. Long-term no-tillage effects on soil properties and continuous corn yields. *Soil Science Society of America Journal*, 1992, **58**: 193–198
 - [21] Chang C, Lindwall CW. Effect of long-term minimum tillage practices on some physical properties of a Chernozemic clay loam. *Canadian Journal of Soil Science*, 1989, **69**: 443–449
 - [22] Martin-Rueda I, Muoz-Guerra LM, Yunta F, *et al.* Tillage and crop rotation effects on barley yield and soil nutrients on a Calcicortidic Haploxeralf. *Soil and Tillage Research*, 2007, **92**: 1–9
 - [23] Dam RF, Mehdi BB, Burgess MSE, *et al.* Soil bulk density and crop yield under eleven consecutive years of corn with different tillage and residue practices in a sandy loam soil in central Canada. *Soil and Tillage Research*, 2005, **84**: 41–53

[34] Peng W-Y (彭文英). Effect of no-tillage on soil water regime and water use efficiency. *Chinese Journal of Soil Science* (土壤通报), 2007, **38**(2): 379-383 (in Chinese)

[25] Zhang H-L (张海林), Chen F (陈 阜), Qin Y-D (秦耀东), *et al.* Water consumption characteristics for summer corn under no-tillage with mulch. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering* (农业工程学报), 2002, **18**(2): 36-40 (in Chinese)

[26] Yu H-Y (余海英), Peng W-Y (彭文英), Ma X (马秀). Effects of no-tillage on soil water content and physical properties of spring fields in semiarid region of northern China. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2011, **22**(1): 99-104 (in Chinese)

[27] Singh B, Chanasyk DS, McGill WB. Soil water regime under barley with long-term tillage residue systems. *Soil and Tillage Research*, 1998, **45**: 59-74

[28] Jia S-L (贾树龙), Meng C-X (孟春香), Ren T-S (任图生), *et al.* Effect of tillage and residue management on crop yield and soil properties. *Journal of Hebei Agricultural Sciences* (河北农业科学), 2004, **12**(4): 37-42 (in Chinese)

[29] Lampurlanes J, Angas P, Cantero-Martinez C. Root growth, soil water content and yield of barley under different tillage systems on two soils in semiarid conditions. *Field Crops Research*, 2001, **6**: 27-40

[30] Wang Y-H (王育红), Cai D-X (蔡典雄), Yao Y-Q (姚宇卿), *et al.* Study on long-term site-specific conservation tillage on sloping dry-land in the western part of Henan. I. Effects of no-till and sub-soiling with mulching on growth characteristics and yield of winter wheat. *Agricultural Research in the Arid Areas* (干旱地区农业研究), 2009, **27**(5): 47-51 (in Chinese)

[31] Franzluebbers AJ. Water infiltration and soil structure related to organic matter and its stratification with depth. *Soil and Tillage Research*, 2002, **66**: 197-205

[32] Fuentes PJ, Flury M, Huggins RD, *et al.* Soil water and nitrogen dynamics in dry-land cropping systems of Washington State, USA. *Soil and Tillage Research*, 2003, **71**: 33-47

作者简介 张建军,男,1977年生,助理研究员.主要从事农田土壤培育及作物栽培生理研究. E-mail: hnszhjj@163.com

责任编辑 张凤丽
