

陇东黄土旱塬不同耕作方式及施肥处理 对冬小麦产量和土壤肥力的影响

张建军^{1,2}, 王 勇^{1,2}, 唐小明^{1,2}, 樊廷录^{1,2}, 李尚中¹, 党 翼¹, 王 磊¹

(1. 甘肃省农业科学院旱地农业研究所, 甘肃 兰州 730070; 2. 农业部西北作物抗旱栽培与耕作重点开放实验室, 甘肃 兰州 730070)

摘 要: 在陇东旱塬覆盖黑垆土的土壤上, 通过 3 年冬小麦田间试验研究了不同耕作方式及不同施肥处理对旱塬冬小麦产量、水分利用效率(WUE)和土壤肥力的影响。结果表明: 传统深耕配施有机无机肥有利于作物高产和提高 WUE; 免耕年限增加不利于产量的增加; 随着耕作年限的延长, 传统耕作和免耕配施有机无机肥土壤有机质含量均有不同程度提高, 传统耕作土壤有机质含量从试验前的 11.75 g/kg 提高到 13.0 g/kg, 提高了 10.6%, 免耕土壤有机质含量从试验前的 11.75 g/kg 提高到 13.93 g/kg, 提高了 18.6%。从产量、WUE 和土壤养分等方面综合分析, 在陇东旱塬以传统深耕配施有机无机肥有利于增加作物产量, 提高 WUE, 改善土壤肥力状况。因此, 传统耕翻配施有机无机肥是目前陇东黄土旱塬培肥土壤和抗逆减灾最为有效的措施之一。

关键词: 耕作方式; 冬小麦; 产量; 水分利用效率; 土壤肥力

中图分类号: S512.1¹; S158.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2010)01-0247-08

绝大多数农作物生长、发育、高产和稳产都需要有一个良好的土壤结构, 以便能保水保肥、调节水气矛盾、协调肥水供应, 并有利于根系在土体中穿插^[1]。土壤有机质含量是土壤供肥、保肥、耕性及缓冲性能的重要决定因素, 在防治土壤退化、评价土壤质量及健康等方面具有重要意义^[2]。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常常导致表土暴露和土壤结构破坏, 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, 使得耕地质量日趋下降^[3,4]。因此, 如何有效利用有限资源, 提高水分、养分的利用效率已成为农业工作者关注的焦点问题。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^[5-7], 而传统耕翻在不施有机肥料或补充不足的情况下, 易加剧有机质矿化, 不利于土壤肥力的维持^[8]。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。60 多年来, 国内外有关耕作方式对作物生长发育和土壤肥力的影响已有较多报道^[9-12], 而在陇东黄土旱塬不同耕作方式与施肥处理对作物

生长发育、产量和土壤肥力动态变化影响的研究相对较少。

为此, 本文通过 3 a 的冬小麦定位试验, 研究了黄土旱塬不同耕作方式与不同施肥处理对冬小麦产量、水分利用效率和土壤肥力变化的影响, 旨在为陇东黄土旱塬区土壤合理耕作和施肥方式提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

本试验为已进行了 3 a 的冬小麦定位试验, 试验于 2005 年开始在农业部镇原黄土旱塬生态环境重点野外科学观测站(N 35°29'42", E 107°29'36")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 月份, 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, 0~40 cm 土壤有机质含量 11.75 g/kg, 全氮 1.11 g/kg, 全钾 28.22 g/kg, 全磷 0.77 g/kg, 碱解氮 78.66 mg/kg, 速效钾 150.43 g/kg, 速效磷 13.94 mg/kg。

1.2 试验设计

试验采用裂区设计, 以不同耕作方式处理(A)

收稿日期: 2009-03-18

基金项目: 国家科技支撑计划“西北半湿润偏旱区粮果稳产高效技术集成与示范(2006BAD29B07)”、“西北退化耕地地力恢复技术模式研究与示范(2006BAD05B07)”；农业部科教司“农业部镇原黄土旱塬生态环境重点野外科学观测试验站”

作者简介: 张建军(1977—), 男, 甘肃靖远人, 助理研究员, 主要从事农田土壤地力培育及栽培生理研究。E-mail: hnszhjj@163.com。

通讯作者: 王 勇(1964—), 男, 甘肃庄浪人, 研究员, 主要从事旱作节水农业及土壤地力培育研究。E-mail: wangyonghns@163.com。

为主区,设 2 个水平,分别为传统耕作(A1):作物收获后及播前结合施肥耕翻和免耕(A2):常年不耕翻,仅留根茬;以不同基肥处理(B)为副区,设 CK (B1)、纯 N 150 kg/hm² (B2)、纯 P₂O₅ 105 kg/hm² (B3)、农家肥 M 22 500 kg/hm²,按照腐熟的干牛粪干物质含量 18.52%,有机质 14.74%,N 0.27%,P₂O₅ 0.25%来折算(B4)、纯 N 150 kg/hm² + 纯 P₂O₅ 105 kg/hm² (B5)、纯 N 150 kg/hm² + 纯 P₂O₅ 105 kg/hm² + 农家肥 M 22 500 kg/hm² (B6)共 6 个施肥水平,农家肥和化肥每年都施,传统耕作采用撒施,免耕结合播种条施,3 次重复,36 个小区,小区面积 72 m²(8 m×9 m),供试品种为自育冬小麦陇鉴 301,其它管理措施按常规要求实施。

冬小麦生育期 2005~2006 年降水 149.4 mm, 2006~2007 年降水 174.5 mm,2007~2008 年降水 207.0 mm,与试验站冬小麦生育期多年平均降水量 260.0 mm 相比,3 a 降水量较正常年份分别减少了 42.5%、32.9%和 20.4%,均属于干旱年份。

1.3 样品采集与测定方法

样品采集:每年冬小麦收获后进行土样采集、分析,每区采样按照 S 形多点混合,采样作层 0~40 cm 土样,风干、研磨过筛,用于土壤养分含量的测定。

测定方法^[13]:测定项目包括有机质、全量 N、P、K 及速效 N、P、K。有机质含量采用重铬酸钾—外加热法;全氮采用半微量开氏法;全磷采用 HClO₄-H₂SO₄ 法;全钾采用 NaOH 熔融—火焰光度法;碱解氮含量采用碱解扩散法;速效磷含量采用 0.5 mol/L NaHCO₃ 浸提比色法;速效钾含量采用 NH₄H₂OAc 浸提火焰光度法。

土壤含水量测定:采用烘干称重法,用土钻人工分层取土,于播前和收获后由地表向下依次每隔 20 cm 分 10 层取 0~2 m 土体样,测定土壤含水量。

水分利用效率 = 产量 / {[(播前土壤含水量 - 收获土壤含水量) × 26] + 生育期降雨量},其中 26 为土壤平均容重 1.3 g/cm³ × 每一层深度 20 cm。

试验数据均采用 Excel 2003 进行处理,方差分析采用 DPS 数据分析软件中的 LSD 法进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 耕作方式对冬小麦产量变化的影响

传统耕作 3 a 产量结果表明(表 1):各施肥处理产量呈逐年增加的趋势,其中 B6 处理 3 a 平均产量最高,为 3 158.5 kg/hm²,比 CK 增产 953.5 kg/hm²,

增产率达 30.18%,其次为 B5,产量为 3 010.5 kg/hm²,比 CK 增产 805.5 kg/hm²,增产率为 26.8%,B6 较 B5 增产 4.9%,较 B4 增产 16.2%,较 B3 增产 31.7%,较 B2 增产 37.9%,较 B1 增产 43.3%。在肥料单施中,有机肥单施的增产效果最好,与 CK 相比增产 514.0 kg/hm²,增产率为 18.9%,单施氮产量最低,为 2 290.5 kg/hm²,增产率为 3.7%,因此,不同耕作方式不同施肥处理对小麦增产作用不一,肥料合理配施优于单施,这与前人研究结果相似^[14]。不同年份间产量差异较大,与生育期降雨量多寡有关,这表明作物产量除受肥料的影响外,还受降水和降水与肥料交互作用的影响,降水年型不同,不同施肥处理之间作物产量虽然差异较大,但不同年型之间产量大小及增产趋势基本是一致的,即 B6>B5>B4>B3>B2>B1,这反映出传统耕翻与有机无机肥配合产量最高。

表 1 耕作方式对冬小麦产量的影响(kg/hm²)

Table 1 The effect of different tillage methods on winter wheat yield

处理 Treatments	年份 Year			平均产量 Mean yield
	2006	2007	2008	
A1B1	1596.0bD	2254.5aA	2764.5bA	2205.0
A1B2	1612.5cdB	2314.5aA	2944.5abA	2290.5
A1B3	1704.0cdB	2332.5aA	3159.0abA	2398.5
A1B4	2184.0bcAB	2631.0aA	3342.0abA	2719.0
A1B5	2583.0abA	2668.5aA	3780.0aA	3010.5
A1B6	2814.0aA	2833.5aA	3828.0abA	3158.5
A2B1	1848.9bAB	1782.0bB	1806.0bcB	1812.0
A2B2	1711.4bB	2004.0abB	2023.5bB	1912.5
A2B3	1803.0abB	2473.5aA	1602.0cB	1959.0
A2B4	2046.8abAB	2485.5aA	1975.5bcB	2170.5
A2B5	2462.4aA	2511.0aA	3027.0aA	2667.0
A2B6	2467.65aA	2580.0aA	3010.5aA	2686.5

注:不同大小字母表示差异分别达 1%和 5%显著水平,下同。

Note: Different capital and small letters mean significance at 1% and 5% levels, respectively; and they are the same in the following.

免耕 3 a 产量结果的方差分析和多重比较(LSD 法)表明(表 1):产量差异达显著或极显著水平。其中以 B6 处理 3 a 平均产量最高,为 2 686.5 kg/hm²,比 CK 增产 874.5 kg/hm²,增产率达 32.6%,其次为 B5,产量为 2 667.0 kg/hm²,比 CK 增产 855.0 kg/hm²,增产率为 32.1%。处理 B6 较 B5 增产 0.7%,较 B4 增产 23.8%,较 B3 增产 37.1%,较 B2 增产 40.5%,较 B1 增产 48.3%。产量变化为 B6>B5>B4>B3>B2>B1。

相同施肥处理以传统耕作产量高于免耕,B1、B2、B3、B4、B5、B6 处理 3 a 平均产量免耕较传统耕

作分别减产 21.7%、19.8%、22.4%、25.3%、12.9%、17.6%;处理 B5、B6 在免耕 1 a、2 a、3 a 后产量较传统耕作分别减产 4.7%、12.3%;5.9%、8.9%;19.9%、21.4%,从产量变化来看,相同施肥处理免耕相比于传统耕作,免耕年限越长,越不利于产量的持续增加。

不论是传统耕作还是免耕,从 3 a 的冬小麦产量结果来看,产量变化均为 B6>B5>B4>B3>B2>B1。因此,不同耕作方式有机无机肥配施为目前改善土壤结构,持续提高土壤肥力,抗逆减灾,增加产量最为有效的措施之一。

2.2 耕作方式对冬小麦产量性状的影响

试验结果表明(表 2):传统耕作 B6 处理的千粒

重高于免耕,增加了 1.88%,这也是传统耕作及有机无机肥配施产量高于免耕的原因之一。同一耕作方式以有机无机肥配施的 B6 处理容重和千粒重高于其它处理。传统耕作 B6 较 B5、B4、B3、B2、B1 容重和千粒重分别增加 1.1%、1.1%、1.6%、4.9%、4.1%和 2.2%、4.7%、4.7%、12.5%、18.1%;免耕 B6 较 B5、B4、B3、B2、B1 容重和千粒重分别增加 0.8%、0.4%、1.1%、1.3%、1.6%和 2.5%、3.9%、4.5%、6.6%、9.7%。表明传统深耕配施有机无机肥产量的逐年增加是通过容重和千粒重的提高来实现的,同时容重也是衡量小麦品质优劣的关键指标之一,更进一步表明有机无机肥配施除有利于增加产量外,还有利于改善小麦品质。

表 2 耕作方式对冬小麦产量性状的影响
Table 2 The effect of different tillage methods on winter wheat yield characters

处理 Treatments	容重 Bulky density (g/L)			千粒重 1000-grain weight (g)		
	2006	2007	2008	2006	2007	2008
A1B1	744.0dD	759.0aA	784.0bB	35.1eD	30.9bA	30.3cB
A1B2	721.7eE	763.7aA	786.0bAB	38.4dC	31.4abA	31.3bcB
A1B3	775.0cC	767.3aA	802.3abAB	40.7bAB	32.8abA	35.1abAB
A1B4	775.7cC	771.3aA	808.7abAB	38.8cdC	33.0abA	36.9aA
A1B5	792.0bB	760.3aA	804.0abAB	39.6cBC	34.2aA	37.4aA
A1B6	797.7aA	770.0aA	814.0aA	41.8aA	34.3aA	37.7aA
A2B1	773.0bB	758.7aA	789.0cC	36.5cC	32.3aA	32.8bB
A2B2	749.7eE	758.7aA	792.0cBC	38.7bB	32.5aA	33.4bB
A2B3	770.0cC	769.7aA	793.3bcABC	36.9cC	33.2aA	36.6aA
A2B4	767.7dC	767.3aA	798.7abAB	36.4cC	34.3aA	36.7aA
A2B5	773.0bB	761.0aA	795.3bcABC	36.8bB	34.9aA	37.3aA
A2B6	785.0aA	768.0aA	802.0aA	38.4aA	35.3aA	37.8aA

2.3 耕作方式对冬小麦水分利用效率的影响

旱地施肥在提高作物产量的同时,也会提高水分利用效率,起到以肥调水的作用,且不同肥料的增产效果不同,对水分利用率的影响也不同。传统耕作方式不同施肥处理水分利用效率变化结果表明(表 3),冬小麦水分利用效率与施肥方式密切相关,3 a 平均以处理 B6 水分利用效率最高,为 8.10 kg/(mm·hm²),其次为 B5,为 7.70 kg/(mm·hm²);处理 B6 较 B5、B4、B3、B2、B1 水分利用效率分别提高 5.8%、20.0%、35.0%、50.0%、54.3%。不同施肥处理对冬小麦水分利用效率的影响依次为 B6>B5>B4>B3>B2>B1,与产量变化趋势一致,表明有机无机肥配施能显著提高冬小麦水分利用效率。

免耕方式不同施肥处理水分利用效率变化结果表明(表 3):水分利用效率以 B6 最高,3 a 平均为 7.15 kg/(mm·hm²),其次为 B5,为 6.75 kg/(mm·hm²);处

表 3 耕作方式对冬小麦水分利用效率的影响[kg/(mm·hm²)]

Table 3 The effect of different tillage methods on water use efficiency of winter wheat

处理 Treatments	年份 Year			平均 Mean
	2006	2007	2008	
A1B1	4.65	5.40	5.85	5.30bcA
A1B2	4.35	5.70	6.00	5.35cA
A1B3	4.20	7.05	6.60	5.95bcA
A1B4	5.40	8.25	6.60	6.75abcA
A1B5	6.60	9.00	7.50	7.70abA
A1B6	7.95	8.70	7.65	8.10aA
A2B1	5.25	5.70	3.45	4.80aA
A2B2	4.35	6.30	4.50	5.05aA
A2B3	4.80	9.45	3.45	5.90aA
A2B4	5.40	9.15	4.80	6.45aA
A2B5	5.70	8.55	6.00	6.75aA
A2B6	6.00	9.30	6.15	7.15aA

理 B6 较 B5、B4、B3、B2、B1 水分利用效率分别提高 6.7%、11.6%、23.1%、41.2%、50.0%。不同施肥处理对冬小麦水分利用效率的影响依次为 B6 > B5 > B4 > B3 > B2 > B1, 与产量变化趋势一致, 表明免耕方式以处理 B6 水分利用效率最高, 也就是说有机无机肥配施能明显增加作物对水分的有效利用, 减小水分的无效蒸腾蒸散。

不同耕作方式相同施肥处理以传统耕作水分利用效率高于免耕。B1、B2、B3、B4、B5、B6 处理 3a 平均水分利用效率免耕较传统耕作分别减少 8.6%、5.6%、2.5%、4.4%、11.8%、11.1%; B5、B6 处理在免耕 1 a、2 a、3 a 后水分利用效率较传统耕作分别减少 13.6%、24.5%; 16.7%、12.1%; 29.8%、33.9%。结果表明: 免耕不利于水分利用效率的持续提高。

总之, 无论是传统耕作还是免耕, 从 3a 试验结果来看, 水分利用效率变化均为 B6 > B5 > B4 > B3 > B2 > B1, 原因在于有机无机肥配施能够疏松土壤结构, 增加土壤孔隙度, 增强土壤的蓄水保水性能, 减缓土壤水分的无效蒸散, 使这部分无效水分转换为作物的有效蒸腾和水分生产效率的提高上, 使得有机无机肥配施较其它施肥处理在对冬小麦水分利用效率上出现一定的差异。因此, 有机无机肥配施为目前改善土壤结构、培肥土壤、增加产量、提高水分利用率的有效措施, 也是当前生产力条件下土壤培肥的有效措施。

2.4 耕作方式对土壤肥力的影响

2.4.1 对土壤物理性质的影响 不同耕作方式不同施肥处理的土壤容重测定结果见表 4。从表中可

以看出, 不同耕作方式不同施肥处理随着耕作年限的增加, 土壤容重呈逐年增大的变化趋势。一方面虽然传统耕作在作物收后和播前每年都进行土壤耕翻, 但长期单一或配合施用氮磷化肥, 土壤的酸碱度过大或过小, 腐殖质不能得到及时补充, 引起土壤板结, 另一方面常年传统连续翻耕作业引起土壤压实, 下层土壤密度增大, 土壤容重呈逐年增大的趋势。免耕由于不进行土壤耕作, 在土壤自身重力作用以及降雨等外界因素的影响下土壤容重也呈逐年增大的趋势。经方差分析传统耕作不同施肥处理 0~20 cm 土壤容重处理间差异显著, 20~40 cm 土壤容重处理间差异不显著。免耕 0~40 cm 土壤容重处理间差异显著。传统耕翻和免耕 1 a 后不同施肥处理 0~20 cm 土壤容重均有不同程度的增加, 其中 A1B4、A2B4、A1B6、A2B6 表层土壤容重较试验前分别增加了 0.07、0.05、0.08、0.04 g/cm³。随着耕作年限的增加, 各施肥处理土壤容重均呈增大的趋势, 且麦收后传统耕作各施肥处理土壤容重增幅较大, 这与赵洪利^[12]的研究结果相同。试验 1 a 后 A2B4 比 A1B4 土壤容重增加了 0.05 g/cm³, A2B6 比 A1B6 土壤容重增加了 0.08 g/cm³, 2 a 后 A2B4 比 A1B4 土壤容重增加了 0.07 g/cm³, A2B6 比 A1B6 土壤容重增加 0.13 g/cm³, 3 a 后 A2B4 比 A1B4 土壤容重增加了 0.05 g/cm³, A2B6 比 A1B6 土壤容重增加了 0.14 g/cm³, 即同一年份相同施肥处理 0~20 cm 土壤容重皆为免耕 > 传统耕作, 表明耕作因素对土壤容重的影响较大。

表 4 耕作方式对收获期土壤容重的影响

Table 4 The effect of different tillage methods on soil bulky density

处理 Treatments	0~20 cm 土壤容重 0~20 cm soil bulky density					20~40 cm 土壤容重 20~40 cm soil bulky density				
	试验前 Before test	2006	2007	2008	平均 Mean	试验前 Before test	2006	2007	2008	平均 Mean
A1B1	1.23	1.26	1.36	1.40	1.34aAB	1.44	1.42	1.49	1.53	1.47aA
A1B2	1.23	1.26	1.34	1.37	1.32aAB	1.44	1.49	1.50	1.49	1.48aA
A1B3	1.23	1.24	1.27	1.35	1.29aAB	1.34	1.48	1.47	1.39	1.42aA
A1B4	1.12	1.19	1.21	1.28	1.23bB	1.46	1.51	1.46	1.46	1.47aA
A1B5	1.20	1.33	1.36	1.44	1.38aA	1.39	1.52	1.49	1.40	1.45aA
A1B6	1.12	1.20	1.22	1.24	1.22bB	1.51	1.50	1.47	1.43	1.47aA
A2B1	1.27	1.34	1.38	1.44	1.39aA	1.35	1.37	1.46	1.54	1.43bA
A2B2	1.23	1.33	1.35	1.38	1.35abA	1.38	1.51	1.50	1.55	1.48abA
A2B3	1.25	1.26	1.34	1.37	1.32abA	1.37	1.55	1.54	1.52	1.49abA
A2B4	1.19	1.24	1.28	1.33	1.28bA	1.60	1.55	1.54	1.55	1.56aA
A2B5	1.26	1.35	1.39	1.45	1.40aA	1.37	1.56	1.57	1.58	1.52abA
A2B6	1.24	1.28	1.35	1.38	1.34abA	1.41	1.45	1.49	1.59	1.48abA

2.4.2 耕作方式对土壤养分含量的影响 有机质含量是土壤肥力高低的重要指标之一。在一定条件下,土壤有机质含量越高,标志着土壤肥力越好;土壤有机质含量越低,标志着土壤肥力越差。

传统耕作土壤养分含量测定结果表明(表 5):不同施肥处理土壤养分含量差异显著。其中 B6 处理土壤有机质从试验前的 11.81 g/kg 提高到 13.0 g/kg,全磷从 0.71 g/kg 提高到 1.03 g/kg,速效磷从 8.62 mg/kg 提高到 26.63 mg/kg,分别提高了

10.1%、45.1%和 208.9%;全氮从 0.96 g/kg 减少到 0.58 g/kg,全钾从 44.68 g/kg 减少到 23.22 g/kg,碱解氮从 75.78 mg/kg 减少到 58.12 mg/kg,速效钾从 148.69 mg/kg 减少到 125.67 mg/kg,分别减少了 39.1%、48.0%、23.3%和 15.5%。传统耕作配施有机无机肥土壤有机质含量不同程度地提高,不仅改善了土壤结构、孔隙、水分和热状况,同时具有培肥土壤的效果。

表 5 传统耕作收获期 0~40 cm 土层土壤养分含量的变化
Table 5 The change of nutriment content of 0~40 cm soil layer in harvesting period of winter wheat under traditional tillage

测定时间 Time	处理 Treatments	有机质 Organic matter (g/kg)	全氮 Total N (g/kg)	全钾 Total K (g/kg)	全磷 Total P (g/kg)	碱解氮 Available N (mg/kg)	速效钾 Available K (mg/kg)	速效磷 Available P (mg/kg)
试验前 Before test	A1B1	11.61bC	0.88bB	39.80bA	0.65cBC	68.37cCD	130.53cCD	1.11dD
	A1B2	12.29aA	0.98bAB	27.87dB	0.68bAB	71.80bBC	128.72cD	5.46cC
	A1B3	12.20aA	1.27aA	32.67cB	0.68bAB	65.75cD	128.63cD	15.31aA
	A1B4	12.15aAB	0.98bAB	29.45cdB	0.62cC	67.72cCD	136.63bBC	1.39dD
	A1B5	12.13aAB	0.95bAB	43.97abA	0.69abA	78.61aA	141.01bB	8.01bB
	A1B6	11.81bBC	0.96bAB	44.68aA	0.71aA	75.78aAB	148.69aA	8.62bB
2006	A1B1	11.75aA	0.94bC	26.28cD	0.60cC	74.62aA	106.82eE	4.74dDE
	A1B2	13.27bB	0.91bC	37.59aA	0.64bcBC	67.82bB	133.03cC	13.54aA
	A1B3	12.24cB	0.98bBC	32.73bB	0.65bABC	56.52dD	127.01dD	4.92dD
	A1B4	13.14bA	0.94bC	27.48cCD	0.60cC	63.09cC	140.86bB	3.02eE
	A1B5	12.25cB	1.09aAB	31.91bBC	0.68abAB	64.46cC	134.90cC	11.62bB
	A1B6	12.21cB	1.16aA	32.31bB	0.71aA	69.23bB	147.03aA	7.83cC
2007	A1B1	11.50cdBC	0.98bcAB	28.22dD	0.65cC	67.43bB	136.72bB	7.54dB
	A1B2	12.67aA	0.94cB	29.33cdCD	0.65cC	75.89aA	128.09cC	8.76cdB
	A1B3	11.66dC	1.06aA	35.25aA	0.69bB	68.52bB	131.90cBC	14.50bA
	A1B4	12.26bAB	0.97bcAB	33.08bB	0.64cC	69.64bAB	138.59bB	7.44dB
	A1B5	11.91cdBC	0.99abcAB	30.07cC	0.69bB	68.91bAB	130.02cC	9.30cB
	A1B6	12.11bcBC	1.03abAB	26.55eE	0.74aA	70.54bAB	154.25aA	16.27aA
2008	A1B1	10.97cD	0.80bBC	23.75aA	0.62bB	54.65bB	109.26cBC	8.74dD
	A1B2	11.1cD	0.69cCD	22.97aA	0.69bB	52.41bB	101.23dD	6.88eE
	A1B3	12.03bB	0.87abAB	20.98bB	0.76bB	56.04bB	102.93dCD	19.76bB
	A1B4	11.8bBC	0.94aA	21.04bB	0.68bB	64.46aA	114.63bB	7.49deD
	A1B5	11.5bcBCD	0.92aA	23.33aA	0.67bB	56.65bAB	109.26cBC	15.40cC
	A1B6	13.0aA	0.58dD	23.22aA	1.03aA	58.12bAB	125.67aA	26.63aA

免耕土壤养分测定结果表明(表 6):不同施肥处理土壤养分含量差异显著。其中 B6 处理有机质从试验前的 11.80 g/kg 提高到 13.93 g/kg,全磷从 0.71 g/kg 增加到 1.03 g/kg,速效磷从 8.62 mg/kg 提高到 26.53 mg/kg,分别提高了 18.1%、45.1%、207.7%;全氮从试验前的 0.96 g/kg 减少到 0.88 g/kg,全钾从 24.22 g/kg 减少到 23.31 g/kg,碱解氮从 68.12 mg/kg 减少到 57.49 mg/kg,速效钾从

156.47 mg/kg 减少到 122.69 mg/kg,分别减少了 8.3%、3.8%、15.6%、21.6%。各施肥处理免耕 1 a 后土壤有机质增量最多,随着免耕年限的增加,有机质含量增量逐渐减少,但总体呈增大趋势。

耕作 3 a 后 A2B6 较 A1B6 有机质、全钾、全氮含量分别提高了 7.15%、0.39%、51.72%;全磷、碱解氮、速效磷、速效钾含量分别减少了 33.98%、1.08%、0.38%、2.37%。免耕相比于传统耕作,由

于其土壤管理方式的改变,使得土壤有机质达到了一个新的、更高一级的平衡状态,这样土壤有机质含量水平可大大提高^[15],究其原因既为免耕避免了对土壤的扰动,因而降低了土壤有机碳的矿化作用,这与 TE^[16]、Ding^[17]等的研究结果:免耕可显著改善土壤肥力,显著提高土壤有机质含量相一致。翻耕处理的土壤温度较高,透气性条件好,微生物活动比较强烈,增加了有机质的氧化速率^[18],免耕处理则由于土壤扰动小,温度较低,有机质分解慢,有机质含量得到稳定增加。也有研究表明:在土壤表层(0~

30 cm)有机碳初始含量 3.6 g/hm² 的情况下,一年内传统耕作可以矿化掉 0.95 g/hm²,而免耕仅矿化掉 0.45 g/hm²^[19];翻耕处理中,植物残体以及连年施入的有机肥则随机械耕翻而均匀地分布于 0~20 cm 耕层中,由于稀释效应使 0~5 cm 土层有机碳含量降低^[20]。也有研究认为,耕作扰动改变了分解作用的条件,加快了呼吸速率,从而导致土壤有机质含量下降;而且耕作扰动也破坏了土壤团聚体,使得被稳定吸附的有机质暴露而加速其分解^[21]。

表 6 免耕收获期 0~40 cm 土壤土壤养分含量的变化

Table 6 The change of nutriment content of 0~40 cm soil layer in harvesting period of winter wheat under no-tillage

测定时间 Time	处理 Treatments	有机质 Organic matter (g/kg)	全氮 Total N (g/kg)	全钾 Total K (g/kg)	全磷 Total P (g/kg)	碱解氮 Available N (mg/kg)	速效钾 Available K (mg/kg)	速效磷 Available P (mg/kg)
试验前 Before test	A2B1	11.99abA	1.06abcAB	47.57aA	0.66bBC	77.01abcAB	138.74dD	5.91eC
	A2B2	12.06aA	0.99cB	34.98bB	0.68abAB	80.50aA	136.53dD	4.91cdCD
	A2B3	12.02aA	1.14aA	27.86cdBC	0.68aAB	73.98cB	128.70eE	4.55cdCD
	A2B4	11.38cB	1.00bcB	28.45cdBC	0.69aA	74.94bcAB	163.69aA	3.40dD
	A2B5	11.72bAB	1.04bcAB	33.38bcB	0.62cD	78.26abAB	146.33cC	10.86bB
	A2B6	11.80abA	1.09abAB	24.22dC	0.64cC	68.12dC	156.47bB	13.86aA
2006	A2B1	12.13cC	0.96bB	24.70dD	0.65bB	68.64abA	99.06dCD	5.11cC
	A2B2	12.50cBC	0.96bB	31.92aA	0.65bB	74.69aA	100.93dD	4.20cC
	A2B3	12.24cBC	1.18aA	32.67aA	0.68abAB	70.01abA	92.85eD	13.25aA
	A2B4	12.69bcBC	0.92cC	28.26bB	0.65bB	65.90bA	120.72bB	8.98bB
	A2B5	13.40bAB	0.98bB	25.88cC	0.72aA	71.09abA	112.84cC	11.99aAB
	A2B6	14.55aA	0.98bB	29.20bB	0.64bAB	74.24aA	127.34aA	11.75aAB
2007	A2B1	12.20bB	0.95bcBC	40.09aA	0.68bcBC	65.71aA	130.19eD	4.81cC
	A2B2	12.58abAB	0.94cBCD	33.02cB	0.66cCD	62.67bAB	134.77dD	8.63bB
	A2B3	12.94aA	0.88dD	28.65dC	0.82aA	60.42bcBC	140.51cC	8.79bB
	A2B4	12.40bAB	0.99bB	35.21bB	0.63dD	55.35dD	183.34aA	5.42cC
	A2B5	12.93aA	0.91cdCD	33.81bcB	0.70bB	58.60cCD	142.53cC	11.14aA
	A2B6	13.02aA	1.07aA	29.81dC	0.68bcBC	62.88bAB	158.57bB	5.64cC
2008	A2B1	11.77deC	0.99aA	22.74abAB	0.63bC	57.01bB	102.80dD	5.21eE
	A2B2	12.93bB	0.81bB	20.46dC	0.71aA	79.51aA	101.38deD	6.10eDE
	A2B3	11.62cC	0.87bB	22.58abcAB	0.71aA	58.47bB	99.44eE	17.28bB
	A2B4	12.63cB	0.79bB	21.61bcdABC	0.69aAB	63.15bB	133.83aA	8.74dD
	A2B5	11.99dC	0.81bB	21.36cdBC	0.71aA	60.10bB	111.22cC	13.58cC
	A2B6	13.93aA	0.88bAB	23.31aA	0.68bBC	57.49bB	122.69bB	26.53aA

3 结论与讨论

1) 从不同耕作方式来看,深耕播种是传统的耕作方式,在保证小麦高产和高水分利用效率方面仍然存在一定的优势,连续免耕会造成冬小麦减产,仍要实施深浅轮耕的耕作方法;从不同施肥处理来看,不同年份各施肥处理的产量差异虽然较大,但产量

大小及增产趋势基本一致,即 B6>B5>B4>B3>B2>B1,不同耕作方式各施肥处理水分利用效率与产量变化一致,即 B6>B5>B4>B3>B2>B1;长期单施氮肥、单施磷肥或单施有机肥增产作用较小,而有机无机肥配施则产量有逐年递增的趋势。因此,在陇东黄土旱塬采用传统耕翻与有机无机结合和按降水施肥是抗逆减灾的基本原则。

2) 本研究结果表明:免耕与传统耕作相比,不同施肥处理土壤有机质和全氮含量均有不同程度的增加,造成这种现象的原因主要有以下两方面:一方面在耕种过程中,土壤表层的环境经常处于变动之中,耕作措施被认为是引起农田土壤有机质含量下降的主要原因,耕作的机械扰动使土壤发生破碎、分散和混合,直接或非直接地造成土壤有机质含量的下降^[22]。同时传统耕作会使潜在生物有机碳库裸露,活泼的有机碳不断被矿化而损失,而土壤全氮含量的减少与有机碳含量的降低有直接关系,受其它因素影响较小;另一方面免耕不扰动土壤,使得植物残体以及连年施入的有机肥主要积累在表土层,结果造成有机质和氮素营养的表层富集。免耕可以提高土壤速效磷含量,降低碱解氮含量,这与杨云马的免耕可显著降低麦田土壤硝态氮含量,增加麦田土壤速效磷含量的研究结果一致^[23]。

3) 随着耕作年限的增加,不同耕作方式各施肥处理土壤容重总体呈增大的趋势;免耕各施肥处理土壤容重增幅高于传统耕作,原因在于免耕不进行土壤耕作,在土壤自身重力及降雨等外界因素的作用下,各施肥处理其土壤容重重要高于传统耕作。说明免耕更易加剧土壤物理性能的恶化。

4) 增施有机肥是培肥土壤,提高土壤肥力的基本途径。目前增施有机肥的常见做法是施用农家肥、种植绿肥作物、秸秆还田。从本试验结果来看,随着耕作年限的增加,传统耕翻配施有机无机肥不同程度地提高了土壤有机质含量,增加了全磷和速效磷含量,提高了土壤持续供肥能力,缓解作物吸肥高峰期对土壤速效养分的吸收压力,有利于改善冬小麦产量性状,增加产量、提高水分利用效率。因此,传统耕翻配施有机无机肥是目前陇东黄土旱塬培肥土壤的行之有效的措施。

参考文献:

- [1] 黄昌勇.土壤学[M].北京:中国农业出版社,2000:871—878.
- [2] 邵月红,潘剑君,孙波.不同森林植被下土壤有机碳的分解特征及碳库研究[J].水土保持学报,2005,19(3):24—28.
- [3] 张海林,高旺盛,陈卓,等.保护性耕作研究现状、发展趋势及对策[J].中国农业大学学报,2005,10(1):16—20.
- [4] 郭清毅,黄高宝,GuangdiLi,等.保护性耕作对旱地麦豆双序列轮作农田土壤水分利用效率的影响[J].水土保持学报,2005,19(3):165—169.
- [5] Elliott E T, Coleman D C. Let the soil work for us[J]. Ecological Bulletins, 1988,39:24.
- [6] 李琳,李素娟,张海林,等.保护性耕作下土壤碳库管理指数的研究[J].水土保持学报,2006,20(3):106—109.
- [7] 金柯,蔡典雄,吕军杰,等.耕作对坡耕地水土流失和冬小麦产量的影响[J].水土保持学报,2006,20(4):1—5.
- [8] 曹敏建.耕作学[M].北京:中国农业出版社,2002:168—176.
- [9] 王昌全,魏成明,李延强.不同免耕方式对作物产量和土壤理化性状的影响[J].四川农业大学学报,2001,19,(2):152—154,187.
- [10] 徐阳春,沈其荣,冉伟.长期免耕与施用有机肥对土壤微生物量碳、氮、磷的影响[J].土壤学报,2002,39(1):89—95.
- [11] Shipitalo M J, Protz R. Comparison of morphology and porosity of a soil under conventional and zero tillage[J]. Can.J. Soil Sci, 1987,67(3):445—446.
- [12] 赵洪利,李军,贾志宽,等.不同耕作方式对黄土高原旱地麦田土壤物理性状的影响[J].干旱地区农业研究,2009,27(3):17—21.
- [13] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:农业出版社,2005:30—107.
- [14] 刘一.施肥对黄土高原旱地冬小麦产量及土壤肥力的影响[J].水土保持研究,2003,10(1):61—64.
- [15] 彭世逸,吉牛拉惹.四川凉山盐中灌区高产稳产农田土壤培肥研究[J].安徽农业科学,2008,36(13):5532—5534.
- [16] Staley T E. Soil microbial and organic component alteration in no tillage chromo sequence[J]. Soil Sci, 1988,52(4):998—1005.
- [17] Ding G, Novak J M, Amarasingwardena D, et al. Soil Organic Matter Characteristics as Affected by Tillage Management[J]. Soil Sci Soc Am J, 2002,66:421—429.
- [18] Drijber R A, Doran J W, Parkhurst A M, et al. Changes in soil microbial community structure with tillage under long-term wheat-fallow management[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2000,32:1419—1430.
- [19] 逢蕾.旱地免耕覆盖对土壤有机质的影响[D].兰州:甘肃农业大学,2004.
- [20] 徐阳春,沈其荣.水旱轮作下免耕和施用有机肥对土壤某些肥力性状的影响[J].应用生态学,2000,11(4):549—552.
- [21] Paustain K, Six J, Elliott E T. Management options for reducing CO₂ emissions from agricultural soil[J]. Biochemical, 2000,48:147—163.
- [22] Beare M H, Hendrix P F, Coleman D C. Water-stable aggregates and organic matter fractions in conventional and no-tillage soils[J]. Soil Science Society of America Journal, 1994,58:777—786.
- [23] 杨云马,贾树龙,孟春香.免耕麦田土壤速效养分含量动态研究[J].河北农业科学,2005,9(3):25—28.

The effects of different tillage methods and fertilizer treatments on yield of winter wheat and soil fertility in the loess plateau of east Gansu

ZHANG Jian-jun^{1,2}, WANG Yong^{1,2}, TANG Xiao-ming^{1,2},

FAN Ting-lu^{1,2}, LI Shang-zhong¹, DANG Yi¹, WANG Lei¹

(1. Dryland Agriculture Institute, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou, Gansu 730070, China;

2. Key Laboratory of Northwest Drought-resistant Crop Farming, Ministry of Agriculture, Lanzhou, Gansu 730070, China)

Abstract: The effects of different tillage methods and fertilizer treatments on the yield and water use efficiency (WUE) of winter wheat and soil fertility was studied in loess plateau of east Gansu through fixed experiment for 3 years. The results showed that traditional tillage improved the yield and the water use efficiency of winter wheat, while more than two consecutive years of no-tillage resulted in the reduction of yield, so the third year should be with tillage. With the elongation of cultivation duration, the organic carbon content in both traditional tillage and no-tillage increased, which was improved from 11.75 g/kg to 13.0 g/kg in traditional tillage and from 11.75 g/kg to 13.93 g/kg in no-tillage method. Analyzed from yield, water use efficiency and soil fertility, traditional tillage had a positive effect on the yield and water use efficiency of winter wheat and soil fertility. So traditional tillage combined with mixed application of organic and inorganic fertilizer is an effective way for soil fertility and disaster reduction in the loess plateau of east Gansu at present.

Keywords: tillage method; winter wheat; yield; WUE; soil fertility

(上接第 246 页)

Study on crop rotation patterns for field with continuous cropping of cotton in Northern Xinjiang

LI Yin-ping¹, LIN Zhong-dong², LI Xiao-bin², XU Wen-xiu¹, WANG Ting¹,

YANG Tao¹, HOU Song-shan¹, HAN Jing-lei¹, HOU Meng¹

(1. Cotton Research Center of Ministry of Education, Xinjiang Agricultural University, Urumqi, Xinjiang 830052, China;

2. Agricultural Technique Station in Dafengzhen, Hutubi County, Xinjiang 831205, China)

Abstract: In 2007 ~ 2008 we selected field with years of continuous cropping of cotton to plant different crops so as to study their influence on soil fertility of cotton yield and to select the best rotational cropping mode. The results showed that soil organic matter, available nutrient content and cotton yield of the field where cotton is rotated with different crops are higher than that of continuous cropping of cotton (CK). And tomato is the best for soil fertility, and the yield of cotton production is: wheat-soybean→cotton > tomato→cotton > corn//soybean→cotton > wheat→cotton > corn→cotton > CK. So planting wheat-corn or tomato can be used as the best choice in rotating or inverting in the continuous cropping of cotton.

Keywords: rotation patterns; soil fertility; continuous cropping; yield; cotton