

# 耕作措施对缓坡耕地土壤养分分布及肥料利用率的影响

雷金银<sup>1</sup>, 雷晓婷<sup>1</sup>, 周丽娜<sup>1\*</sup>, 何进勤<sup>1</sup>, 贾爱平<sup>2</sup>, 余建军<sup>3</sup>,  
张慧<sup>3</sup>, 路芳<sup>3</sup>

(1. 宁夏农林科学院农业资源与环境研究所 银川 750002; 2. 宁夏银川市农业技术推广服务中心 银川 750002; 3. 固原市原州区  
官厅镇农业服务中心 固原 756000)

**摘要:**为研究不同耕作措施对坡耕地土壤养分坡面分布特征及作物产量与肥料利用率的影响,该研究在2017—2018年期间,以宁南山区10°缓坡耕地为研究对象,开展传统平作(CK)、垄沟种植(NH)、垄沟+秸秆覆盖(SM)和垄沟+地膜覆盖(PM)4种不同耕作措施对坡耕地耕层养分、作物产量的影响及其坡位效应分析研究,探讨不同耕作措施下作物肥料利用率。结果表明,相较于CK,NH、SM和PM3种耕作措施显著提高耕层土壤有机质和土壤速效氮含量,分别提高了18.50%和14.47%、18.22%和17.64%、21.75%和18.71%,3种耕作措施之间差异并不显著。CK处理下耕层土壤有机质含量和速效氮随着坡位自上而下的变化而增加,表现出流失风险,而PM、SM和NH3种措施表现出能够削弱坡位效应的作用,由高到低顺序为坡中、坡下、坡上。相对于CK,其他3种耕作措施下坡耕地土壤有效磷、速效钾有所降低,其中PM措施下土壤有效磷显著低于其他耕作处理。NH、SM和PM显著增加作物产量,玉米和马铃薯产量比CK分别增加27.03%和2.89%、12.85%和8.50%、204.56%和2.52%,且具有显著的坡位效应。2个覆盖措施SM和PM显著提高作物肥料利用率,种植玉米N、P利用率分别提高7.92%和16.83%、217.03%和241.59%,种植马铃薯分别提高89.43%和44.62%、97.31%和49.66%。由此可知,以垄沟、覆盖为核心的保护性耕作措施能够有效阻断养分损失途径,阻控土壤养分的坡面运移,提高肥料利用率和作物产量。

**关键词:**土壤;侵蚀;耕作措施;缓坡耕地;坡位效应;肥料利用率

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2020.18.016

中图分类号: S512.11

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2020)-18-0127-08

雷金银, 雷晓婷, 周丽娜, 等. 耕作措施对缓坡耕地土壤养分分布及肥料利用率的影响[J]. 农业工程学报, 2020, 36(18): 127-134. doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2020.18.016 http://www.tcsae.org

Lei Jinyin, Lei Xiaoting, Zhou Lina, et al. Effects of tillage measures on soil nutrients distribution and fertilizer use efficiency on gentle slope farmland[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2020, 36(18): 127-134. (in Chinese with English abstract) doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2020.18.016 http://www.tcsae.org

## 0 引言

缓坡耕地是水土流失的主要地类和江河泥沙的主要策源地之一,也是山区宝贵的土地资源<sup>[1-2]</sup>。坡耕地由于常年采用传统翻耕为主的耕作措施使得土壤机械扰动频繁从而导致表层土壤结构松散,农田土壤有机质和氮磷钾养分损失严重、土地生产力下降,这已成为全球倍受关注的农业资源与生态环境问题<sup>[3-6]</sup>。同时,由此引发的土壤养分再分配和损失对土壤生态化学计量学特征及其养分循环和平衡的影响也成为全球研究的前沿领域之一<sup>[7-10]</sup>。

宁夏南部山区地处黄土高原,其中固原市原州区地形复杂,气候多变,地面物质和土壤对侵蚀十分敏感,加之人为活动频繁,导致了土壤侵蚀类型多样及水土流失严重。已有研究表明,地形条件、土壤物理性质、耕

作管理措施和土地利用方式等都对土壤养分分布与流失产生重要影响<sup>[11-13]</sup>。当前,垄沟种植、覆膜、免耕、秸秆覆盖和秸秆还田等保护性耕作措施被普遍认为可通过改变缓坡耕地坡面微地形、增加地表覆盖度或改变土壤结构与提升地力等方面来有效控制土壤养分流失、调控土壤肥力。其具有明显的蓄水保墒、增强干旱地区农业抗逆稳产潜力,在当地农业生产与环境资源高效利用中逐步得到认可并被大面积推广应用<sup>[14-15]</sup>。谭春蓉等<sup>[16-17]</sup>研究表明,相较于传统耕作,玉米秸秆覆盖措施可有效提高土壤耕作层的土壤养分。张霞等<sup>[18]</sup>研究表明,免耕-深松处理相比翻耕处理,小麦产量显著增加了14.25%,水分利用效率提高24.98%。李春喜等<sup>[19]</sup>研究表明,秸秆还田处理较不还田处理提高了冬小麦氮素利用率44%。

耕作措施对农田土壤养分变化的影响主要表现在2个方面,一是不同耕作措施对农田土壤进行不同程度的扰动,造成不同农田土壤环境,其必然会对土壤养分贮藏与释放产生不同的影响。二是不同耕作措施对水土流失的影响不同,导致水土流失对土壤养分的再分配和土地生产力产生不同的影响。但是目前大量研究工作主要集中在不同耕作措施对土壤理化性质、土壤肥力变化及产量的影响等

收稿日期: 2019-05-27 修订日期: 2020-08-03

基金项目: 国家自然科学基金项目(41561059);宁夏回族自治区科技支撑项目(2011ZYN156);宁夏农林科学院全产业链创新示范项目(NZ13123)

作者简介: 雷金银,副研究员,博士,主要从事水土资源高效利用与生态环境构建等方面研究。Email: lejinyin@126.com

\*通信作者: 周丽娜,副研究员,主要从事农业生态及植物营养等方面研究。Email: linazhou@163.com

方面<sup>[20-22]</sup>, 而关于不同耕作措施对坡面水土流失动力的影响, 进而造成养分的坡面运移、分配及其对农田生产力影响的研究还较为薄弱或关注甚少。李海强等<sup>[23]</sup>对辽宁无措施坡耕地土壤养分坡面分布研究发现, 0~15 和 15~30 cm 两层次土壤有机质、全氮和有效磷含量均顺坡逐渐增高。因此, 针对宁南山区坡耕地水土流失问题, 开展以垄沟、覆盖为核心的保护性耕作措施下缓坡耕地土壤养分运移特征及养分利用率研究, 可为保护山区坡耕地水土资源、提高耕地水肥利用效率提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

固原市原州区是宁夏南部山区土壤水蚀严重的区域之一, 地处黄土高原, 地形复杂, 气候多变, 地面物质和土壤对侵蚀十分敏感, 加之人为活动频繁, 导致了土壤侵蚀类型多样及水土流失严重。2017 和 2018 年作物生育期内 (4—11 月) 降雨量分别为 448.0 和 616.2 mm, 且分布不均, 其中 6—9 月占 65.6%。降雨不足和干旱频繁是制约当地农、林、牧业发展的主要自然障碍因素。2017 和 2018 年生育期内 (4—11 月) 平均气温分别为 7.2 和 6.4 °C (见图 1),  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  积温 2 400 °C, 无霜期平均 100~150 d。农作物主要以种植玉米、马铃薯和秋杂粮为主。该区坡耕地面积约 61.2 万  $\text{hm}^2$ , 占总耕地 64.8%, 坡耕地土壤侵蚀量占流域总侵蚀量的 50%~60%。试验地试验前 (2017 年) 0~20 cm 耕层土壤有机质 ( $19.2 \pm 1.54$ ) g/kg, 速效氮 ( $101 \pm 2.03$ ) mg/kg, 有效磷 ( $10.3 \pm 0.29$ ) mg/kg, 土壤速效钾 ( $147 \pm 3.18$ ) mg/kg。砂粒 (2.0~0.02 mm) 质量分数 ( $51.5 \pm 1.06$ ) %、粉粒 (0.02~0.002 mm) 质量分数 ( $32.0 \pm 1.45$ ) %、黏粒 (<0.002 mm) 质量分数 ( $16.5 \pm 1.30$ ) %。

### 1.2 试验设计

在宁夏南部山区固原地区选择坡度为  $10^{\circ}$  的缓坡耕地为研究对象, 在 2017—2018 年期间, 第一年种植玉米, 品种富农 821, 第二年在茬玉米的基础上, 免耕种植马铃薯, 品种青薯 9 号, 试验采用完全随机区组试验设计, 共设 4 种不同耕作方式, 分别为:

传统平作 (CK): 传统翻耕平作, 无覆盖措施, 收获后作物秸秆移除;

垄沟种植 (NH): 垄宽 60 cm, 沟宽 30 cm, 垄高 10~15 cm, 无覆盖措施, 收获后作物秸秆移除;

垄沟+秸秆覆盖 (SM): 在起垄的基础上, 采用玉米秸秆覆盖在垄上和垄沟, 覆盖量 7 500  $\text{kg}/\text{hm}^2$ ;

垄沟+地膜覆盖 (PM): 在垄沟上, 采用宽 80 cm、厚 0.08 mm 的塑料薄膜, 覆盖垄上部位, 收获后作物秸秆移除。

试验重复 3 次, 共计 12 个小区, 每个小区面积 4 m $\times$ 24 m。每个处理均设一个不施肥对照。作物种植在垄上, 玉米种植行距 60 cm, 株距 30 cm, 种植密度保持在 55 000 株/ $\text{hm}^2$ 、马铃薯行距 60 cm, 株距 40 cm, 种植密度保持在 40 000 株/ $\text{hm}^2$ 。施肥水平参照当地常规: 两季作物施肥量保持一致, 生物有机肥 (N-P-K 总养分 200 g/kg, 有机质 350 g/kg, 有效活菌数  $\geq 0.2 \times 10^8$  CFU/g) 和磷酸二铵 ( $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ ) 作为种肥一次性施入施用量

分别为 4 500 和 275  $\text{kg}/\text{hm}^2$ , 尿素 ( $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ) 分两次施入, 基施 150  $\text{kg}/\text{hm}^2$ , 拔节期追施 75  $\text{kg}/\text{hm}^2$ 。

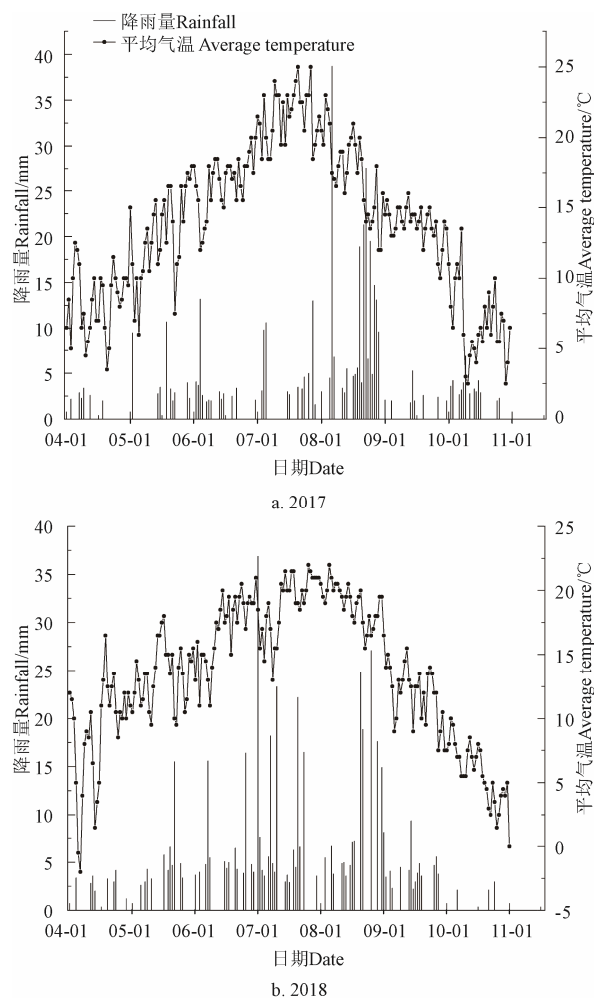


图 1 试验区 2017—2018 年生育期降水量与气温的变化情况  
Fig.1 Changes in precipitation and temperature during the growth period in the experimental area in 2017 and 2018

### 1.3 主要观测指标与方法

土壤样品采集: 坡面自上而下 0~8 m 为坡上位置, 8~16 m 为坡中位置, 16~24 m 为坡下位置。采用 2 m $\times$ 2 m 网格法, 播种前和收获后分别在坡面作物种植行内采集耕层 0~20 cm 土壤样品。

土壤养分指标: 播种前和收获后统一在作物种植行内采集耕层 0~20 cm 土壤样品。土壤有机质采用  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  容量法-外加热法; 速效氮采用碱解扩散法; 有效磷采用  $\text{NaHCO}_3$  浸提-分光光度计法, 速效钾采用乙酸氨浸提-火焰光度计法<sup>[24]</sup>。

植物全氮、全磷、全钾含量测定: 不同生长期各小区分别采集植株根、茎、叶样品, 烘干、粉碎过 0.25 mm 筛, 测定全 N、全 P、全 K 等养分含量。植物样品采用  $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}_2$  消煮分解, 全氮采用半微量开氏法测定, 全磷采用钼锑抗比色测定, 全钾采用火焰光度计法测定。

产量及主要构成因素测定: 收获期在田间小区实收实测, 直接测定其产量和地上生物量。

### 1.4 数据统计分析

肥料利用率的计算:

肥料利用率按养分差减法求得，计算公式如下

肥料利用率 = 
$$\frac{(Y_1 \cdot ZH_1 + J_1 \cdot JH_1) - (Y_0 \cdot ZH_0 + J_0 \cdot JH_0)}{F \cdot FH}$$

式中  $F$  为施肥量,  $\text{kg}/\text{hm}^2$ ;  $FH$  为肥料中某养分含量,  $\text{g}/\text{kg}$ ;  $Y_1$  和  $Y_0$  分别为施肥区和不施肥区籽粒产量,  $\text{kg}/\text{hm}^2$ ;  $J_1$  和  $J_0$  分别为施肥区和不施肥区秸秆产量,  $\text{kg}/\text{hm}^2$ ;  $ZH_1$  和  $ZH_0$  分别代表施肥区和不施肥区籽粒中该养分的含量,  $\text{g}/\text{kg}$ ;  $JH_1$  和  $JH_0$  分别代表施肥区和不施肥区秸秆中该养分的含量,  $\text{g}/\text{kg}$ 。

本文试验数据均采用 EXCEL2007 和 SPSS16.0 软件进行统计处理及方差分析 (LSD)。

2 结果与分析

2.1 不同耕作措施下坡耕地土壤养分坡面分布特征

不同耕作措施下缓坡耕地坡上、坡中、坡下等部位土壤有机质的研究表明 (表 1), 相较于 CK, NH、SM 和 PM 3 种耕作措施分别显著提高耕层土壤有机质 18.50%、18.22%和 21.75% ( $P<0.05$ ), 而 3 种耕作措施之间差异并不显著, 各处理有机质含量由高低到表现为:  $PM>NH>SM>CK$ 。从坡面分布来看, 各耕作处理下耕层土壤有机质含量均表现为坡上小于坡中和坡下, CK 和 PM 处理随着坡位自上而下的变化, 土壤有机质含量逐渐增加, 而 NH 和 SM 处理则表现出先增加后降低的变化特征, 由高到低顺序为: 坡中>坡下>坡上。

不同耕作处理对土壤速效氮的影响与有机质基本一致, 相较于 CK, NH、SM 和 PM 3 种耕作措施分别显著提高耕层土壤速效氮 14.47%、17.64%和 18.71%, 而 3 种耕作措施之间差异不显著。各处理土壤速效氮含量由高低到表现为:  $PM>NH>SM>CK$ 。从坡面分布来看, 各耕作措施下耕层土壤速效氮含量同样地均表现为坡上小于坡中和坡下。CK、NH 和 PM 随着坡位自上而下的变化, 表现出逐渐增加; SM 随着坡位自上而下的变化, 逐渐降低。

由于土壤有效磷的移动性相对较弱, 且当地农业生产中磷肥投入较低, 从不同耕作措施对土壤有效磷的影响结果来看, 土壤有效磷是一个消耗的过程。与 CK 相比, NH 处理耕层土壤有效磷增加 6.71%, 而 SM 和 PM 2 种耕作处理耕层土壤有效磷含量均有所降低, 分别降低 4.01%和 20.97%, 表明覆盖措施不利于土壤有效磷的积累。各处理土壤有效磷含量由高到低表现为:  $NH>CK>SM>PM$ , 其中 PM 与其他 3 种耕作处理差异显著, 其他 3 种耕作处理之间差异不显著。从坡位土壤有效磷分布来看, 各处理土壤有效磷随着坡位自上而下的变化各不相同, CK 处理表现出逐渐降低; PM、SM 和 NH 则表现出先增加再降低, 由高到低的顺序为: 坡中>坡上>坡下。

NH、SM 和 PM 3 种耕作处理与 CK 相比, 耕层土壤速效钾显著降低, 分别降低了 10.48%、10.65%和 7.85%, 而 3 种耕作之间差异不显著, 由高到低表现为:  $CK>PM>NH>SM$ 。这与当地坡耕地钾肥投入较低, 3 种耕作措施促进作物肥料吸收有关。从坡面分布来看, CK、NH 和 SM 表现出先降低后增加, 由高到低的顺序为: 坡上>坡

下>坡中。NH 表现出先降低后增加, 由高到低的顺序为坡下> 坡上>坡中。PM 则表现出现增加后降低, 由高到低的顺序为: 坡中>坡下>坡上。

表 1 不同耕作措施对坡耕地不同坡位土壤养分分布的影响  
Table 1 Effect of different tillages on soil nutrients distribution in different slope locations of sloping farmland

处理 Treatment	坡位 Slope location	速效钾 Available K / ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	速效氮 Available N / ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	有效磷 Available P / ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	有机质 Organic matter/ ( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )
CK	上	208.05±2.05a	76.19±0.00b	14.40±0.14a	17.75±0.54b
	中	184.60±3.11b	80.07±3.05b	10.95±1.13b	18.14±0.54b
	下	206.60±2.97a	80.25±0.51b	8.80±0.07b	18.77±0.10b
NH	上	179.40±0.14b	89.78±14.99a	10.08±1.85b	20.10±0.95ab
	中	175.25±1.06b	89.97±0.76ab	14.55±1.20a	22.20±0.35a
	下	181.75±1.48b	90.98±3.81a	11.81±1.20a	22.47±0.22a
SM	上	185.15±3.18b	92.98±1.02a	9.58±0.28b	19.74±0.03ab
	中	172.35±1.91b	92.91±2.29a	16.55±0.49a	22.69±0.97a
	下	177.90±4.24b	92.34±5.59a	6.65±0.35c	22.19±0.03a
PM	上	174.70±2.67b	91.72±5.33a	8.38±0.42b	21.40±1.57a
	中	195.05±1.73a	93.16±2.54a	10.41±0.64b	22.54±0.38a
	下	182.45±3.29b	95.88±8.64a	8.20±0.28b	22.61±0.22a

注: 小写字母表示同一坡位不同处理在 0.05 水平显著。CK、NH、SM、PM 分别为传统平作、垄沟种植、垄沟+秸秆覆盖、垄沟+地膜覆盖。下同  
Note: the little letters is significant at  $\alpha=0.05$ . CK, conventional tillage, NH, furrow-ridge tillage, SM, furrow-ridge + straw mulching, PM, furrow-ridge + plastic mulching .the same as below.

2.2 不同耕作措施对作物产量的影响

分析 2017 年和 2018 年轮作玉米、马铃薯产量可知, 不同耕作措施对作物产量影响显著 (表 2)。2017 年坡耕地各耕作措施下 CK、NH、SM 和 PM 处理的玉米平均产量分别为 1 574.46、2 000.04、1 806.55 和 4 795.19  $\text{kg}/\text{hm}^2$ , 相对于 CK, NH、SM 和 PM 分别增产 27.03%、12.85%和 204.56%。2018 年坡耕地各耕作措施下马铃薯平均产量分别为 35 939.17、36 976.50、39 279.60 和 43 672.50  $\text{kg}/\text{hm}^2$ , 相对于 CK, NH、SM 和 PM 产量分别增加 2.89%、9.29%、21.52%。从坡面分布来看, 随着坡位自上而下的变化, 不同耕作措施下玉米产量均逐渐增加。马铃薯产量则表现为 CK 随着坡位下降而增加; NH 和 PM 产量先增加后降低, 坡中产量最高, 坡下最低, 坡上居中; SM 先降低后增加, 坡下最高、坡中最低, 坡上居中。

表 2 不同耕作措施对坡耕地不同坡位玉米及马铃薯产量的影响  
Table 2 Effect of different tillages on yield of maize and potato at different slope locations of sloping land ( $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ )

处理 Treatment	坡位 Slope location	玉米 Maize	马铃薯 Potato
CK	上	1 197.67±363.60d	29 200.50±638.47c
	中	1 555.26±48.79d	37 503.00±749.56c
	下	1 970.45±36.12c	41 114.00±902.14a
NH	上	1 897.00±100.81b	36 571.50±354.26b
	中	1 934.72±900.46b	41 310.00±313.60b
	下	2 168.41±842.13b	33 048.00±417.89b
SM	上	1 519.64±17.21c	38 839.50±457.68b
	中	1 723.02±51.62bd	38 070.00±512.44c
	下	2 177.00±195.77b	40 929.30±297.65a
PM	上	4 261.45±717.12a	42 687.00±734.55a
	中	4 397.52±506.28a	48 357.00±821.66a
	下	5 726.61±638.48a	39 973.50±657.92a

### 2.3 不同耕作措施下土壤养分及作物产量的坡位效应分析

通过对 2017—2018 两季作物在不同耕作措施条件下,不同坡位土壤养分、作物产量的方差分析表明(表 3),各耕作措施土壤养分、作物产量在坡位之间的差异极显著,表现出明显的坡位效应。2017 和 2018 年土壤有机质在不同耕作措施和不同坡位均表现出极显著差异( $P<0.01$ ),土壤速效氮各耕作措施之间 2017 年表现出显著差异( $F=1.88$ ,  $P<0.05$ ), 2018 年表现为极显著差异( $F=117.71$ ,  $P<0.01$ ), 坡位之间 2017 和 2018 年均表现为极显著差异( $F=3.43$  和  $F=19.60$ ,  $P<0.01$ )。土壤有效磷处理之间 2017 年显著( $F=1.35$ ,  $P<0.05$ ), 2018 年不显著( $F=0.5$ ,  $P>0.05$ ), 坡位之间 2017 年差异极显著

( $F=6.74$ ,  $P<0.01$ ), 2018 年显著( $F=3.91$ ,  $P<0.05$ )。土壤速效钾 2017 年耕作措施之间不显著( $F=21.63$ ,  $P>0.05$ ), 2018 年极显著( $F=5.72$ ,  $P<0.01$ ), 坡位之间 2017 年显著( $F=10.89$ ,  $P<0.05$ ), 2018 年不显著( $F=1.18$ ,  $P>0.05$ )。2017 年产量在不同耕作措施之间和不同坡位之间均表现出极显著差异( $P<0.01$ ), 2018 年产量在不同耕作措施之间和不同坡位之间均表现出显著差异( $P<0.05$ )。总体来讲,缓坡耕地土壤养分和作物产量的坡位效应明显,差异贡献率高于耕作措施,但是,从 2017 和 2018 年两年来看,耕作措施效应随着耕作年限的增加逐步显现,在耕作措施条件下坡位效应逐步减弱。表明耕作措施可有效阻断养分损失途径,削弱土壤侵蚀动力,阻控土壤水分、养分的坡面运移。

表 3 2017—2018 年缓坡耕地土壤养分、作物产量的坡位效应分析  
Table 3 Analysis of slope locations effect on soil nutrients and crop yield of sloping land in 2017 and 2018

项目 Item	差异来源 Source	2017					2018				
		自由度 df	离均差平方和 SS	均方 MS	F	P	自由度 df	离均差平方和 SS	均方 MS	F	P
有机质 Organic matter	处理	3	0.8	0.3	0.6	0.007**	3	192.3	64.1	74.2	$P<0.01^{**}$
	坡位	2	36.6	18.3	39.2	$<0.01^{**}$	2	59.7	29.8	34.5	$<0.01^{**}$
	处理×坡位	6	3.1	0.5	1.2	0.4	6	1.6	0.3	0.2	1.0
	误差	18	8.4	0.5			18	15.6	0.9		
	总变异	23	45.9				23	267.5			
速效氮 Available N	处理	3	208.0	69.3	1.9	0.017*	3	4 381.8	1 460.6	117.7	$<0.01^{**}$
	坡位	2	253.4	126.7	3.4	0.002**	2	486.4	243.2	19.6	$<0.01^{**}$
	处理×坡位	6	268.8	44.8	1.4	0.3	6	62.5	10.4	0.8	0.6
	误差	18	665.0	36.9			18	223.4	12.4		
	总变异	23	1 126.4				23	5091.6			
有效磷 Available P	处理	3	30.4	10.1	1.4	0.019*	3	6.1	2.0	0.5	0.7
	坡位	2	101.4	50.7	6.7	0.007**	2	31.3	15.7	3.9	0.039*
	处理×坡位	6	126.7	21.1	29.1	$<0.01^{**}$	6	26.8	4.5	1.2	0.4
	误差	18	135.4	7.5			18	72.1	4.0		
	总变异	23	267.2				23	109.5			
速效钾 Available K	处理	3	1 880.8	626.9	21.6	0.1	3	821.1	273.7	5.7	0.006**
	坡位	2	631.4	315.7	10.9	0.017*	2	112.6	56.3	1.2	0.3
	处理×坡位	6	426.9	71.2	9.0	$<0.01^{**}$	6	517.8	86.3	3.0	0.049*
	误差	18	521.8	29.0			18	861.3	47.9		
	总变异	23	3 034.0				23	1 795.0			
作物产 量 Crop yield	处理	3	64 084 771.0	21 361 590.0	149.0	$<0.01^{**}$	3	279 972 004.0	93 324 001.0	3.8	0.02**
	坡位	2	4 960 374.0	2 480 187.0	17.3	$<0.01^{**}$	2	231 229 937.0	115 614 968.0	4.7	0.016**
	处理×坡位	6	1 416 924.0	236 154.0	2.0	0.1	6	601 192 954.0	100 198 826.0	18.4	$<0.01^{**}$
	误差	30	4 302 511.0	143 417.0			30	731 579 489.0	24 385 983.0		
	总变异	35	73 347 656.0				35	1 242 781 430.0			

注: \*\*表示在 0.01 水平差异极显著, \* 表示在 0.05 水平差异显著。

Note: \*\*indicates significant difference at the 0.01 level, and \* indicates significant difference at the 0.05 level.

### 2.4 不同耕作措施对作物肥料利用率的影响

通过对不同耕作措施对 N、P 利用率的计算分析可知(表 4), 2017 年不同耕作措施下种植玉米, NH、SM 和

PM 的 N、P 利用率分别比对照提高 6.47%和 11.75%、7.92%和 16.83%、217.03%和 241.59%; PM 处理 N、P 利用率明显高于其他 3 种措施, NH、SM 与 CK 之间的 N、

P 利用率差异不显著。2018 年马铃薯 NH、SM、PM 处理下的 N、P 利用率分别提高 26.40%和 17.37%、89.43%和 44.62%、97.31%和 49.66%。其中，N 肥利用率 2 个覆盖措施 SM 和 PM 之间差异不显著，其他各耕作措施之间差异显著；P 肥利用率 CK 和 NH 之间不显著，SM 和 PM 之间不显著，其他各耕作措施之间差异显著。

表 4 不同耕作措施对玉米及马铃薯 N、P 利用率的影响  
Table 4 Effect of different tillages on utilization of N and P in maize and potato

年份 Year	耕作措施 Tillages	处理小区 Treatment	N				P				
			块茎 Tubers (g.kg <sup>-1</sup> )	地上茎叶 stems and leaves (g.kg <sup>-1</sup> )	总吸收量 Total absorption (kg.hm <sup>-2</sup> )	利用率 Utilization rate /%	块茎 Tubers (g.kg <sup>-1</sup> )	地上茎叶 stems and leaves (g.kg <sup>-1</sup> )	总吸收量 Total absorption/ (kg.hm <sup>-2</sup> )	利用率 Utilization rate/%	
2017	玉米 Maize	CK	施肥区	15.0	7.9	31.13	15.15a	3.8	1.9	5.43	3.15a
			空白区	10.3	2.6			3.0	1.2		
		NH	施肥区	19.8	8.8	33.14	16.13a	3.2	2.5	6.08	3.52a
			空白区	12.8	3.2			2.8	1.1		
		SM	施肥区	18.1	10.2	33.61	16.35a	3.8	2.6	6.35	3.68a
			空白区	13.2	3.6			3.0	1.5		
		PM	施肥区	17.5	10.8	98.70	48.03c	3.4	2.2	18.56	10.76b
			空白区	14.2	4.0			2.9	1.1		
2018	马铃薯 Potato	CK	施肥区	13.9	12.4	34.39	16.74a	1.1	0.9	33.18	19.23a
			空白区	16.8	17.5			0.8	0.3		
		NH	施肥区	20.9	18.1	43.49	21.16b	1.2	0.9	38.93	22.57a
			空白区	17.6	18.8			0.8	0.3		
		SM	施肥区	22.0	20.1	65.17	31.71c	1.4	1.1	47.96	27.81b
			空白区	18.9	18.5			0.9	0.4		
		PM	施肥区	19.5	17.5	67.87	33.03c	1.2	1.1	49.65	28.78b
			空白区	18.1	16.9			0.9	0.4		

注：小写字母表示不同处理在 0.05 水平显著。  
Note: Lower case letters indicate that different treatments are significant on levels of 0.05.

3 讨 论

耕作活动是影响土壤理化性质的重要人为因素之一。Almaraz 等<sup>[25-27]</sup>研究表明，不同耕作措施由于对土壤的扰动程度、土壤温度、土壤湿度、土壤通气状况、地表起伏度等影响不同，进而引起土壤养分状况的显著差异。耕作方式对土壤有机质分解的环境条件起到调节作用，常规耕作下，CO<sub>2</sub> 全年平均通量明显多于免耕和秸秆覆盖，免耕、秸秆覆盖等措施降低土壤干扰，减少了土壤 CO<sub>2</sub> 的排放，有利于土壤有机碳的积累。董智<sup>[28]</sup>研究认为，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。秸秆覆盖增加了土壤的有机质和全氮等养分含量<sup>[29]</sup>。本研究结果也基本相似，相对于 CK、NH、SM 和 PM 3 种措施下的土壤有机质和速效氮含量有所增加。但是对于土壤速效钾、有效磷是一个消耗的过程，采用该 3 种措施后有所降低。这与当地坡耕地农田管理中磷钾肥投入不足，而 3 种措施增加作物养分吸收有关。值得一提的是 PM 处理下土壤有效磷最低，且与其他 3 种耕作方式差异显著，这与董智的研究结果相似，主要是因为宁南山区地膜覆盖提高土壤温度和作物产量，造成作物对磷素吸收率高引起的。

坡耕地作为一种易发生水土流失的特殊耕地类型，在考虑不同耕作措施对土壤养分的转化、吸收等生物化学循环影响的同时，更要注重耕作措施对水土肥迁移途径的阻控引起的土壤养分再分布特征。林艺等<sup>[30-32]</sup>研究表明，坡耕地由于水土流失引起的土壤氮、磷损失不容

忽视。陈静蕊等<sup>[33]</sup>通过不同耕作措施对陡坡耕地土壤养分流失的影响研究表明，单一的横坡垄作对陡坡地的养分流失截留效果有限，而横坡垄作+秸秆覆盖组合处理可以显著减少陡坡地的径流，对土壤氮、磷养分有较好的保持、截留作用。本研究通过对坡耕地土壤养分在不同耕作措施下的坡面分布研究表明，CK 处理下土壤养分随着坡位自上而下逐渐增加，进一步说明坡面缓坡耕地土壤养分存在坡面运移风险，土壤侵蚀引起的养分输移是土壤养分分布变化的主要动力作用之一。NH、SM 和 PM 3 种耕作措施与 CK 之间养分差异显著，而 3 种措施之间差异不显著，各耕作措施不同坡位之间差异极显著，进一步说明不同耕作措施坡耕地土壤养分变化和分布特征主要是由以下两方面引起：一方面是耕作措施引起的土壤内部变化，另一方面则是阻控水土流失路径和动力所致。从本试验 2017 和 2018 年两年来看，随着耕作年限的增加，在保护性耕作措施条件下的坡位效应逐步减弱，耕作措施之间的差异逐渐显现。表明耕作措施可有效阻断养分损失途径，削弱土壤侵蚀动力，阻控土壤水分、养分的坡面运移。本文只是用两年试验数据的分析得出的初步结论，还有待进一步获取长期稳定的试验数据来进行验证和完善。

作物产量和肥料利用率是耕作措施对土壤生产力影响的最直接反应。陈玉章等<sup>[34-35]</sup>研究表明，相对于传统耕作，地膜覆盖、秸秆覆盖、免耕等耕作措施均显著提高作物产量，且覆盖要比不覆盖措施产量高。高亚军等<sup>[36]</sup>研究表明，历年平均降雨量在 600 mm 左右的半湿润易旱

地区的杨凌和渭北旱塬的彬县冬小麦田秸秆覆盖不增产,甚至显著减产,主要是由于秸秆覆盖容易造成土壤温度较低,影响出苗有关。谢瑞芝等<sup>[37]</sup>通过已发表文章统计分析得出,保护性耕作中减产的数据占 10.92%。本研究结果表明,相对于 CK,3 种耕作措施均提高宁南山区缓坡耕地作物产量和肥料利用效率,且表现为覆盖措施比不覆盖措施较好。究其原因与保护性耕作措施减弱水土流失,引起土壤水分、养分的截留保蓄和再分布有关,从而导致产量和肥力利用率提高,且产生坡位效应。因此,今后应该深入开展土壤养分、水分以及作物生物响应的坡位效应研究,对于我们更加精确的研究缓坡耕地不同耕作措施对土壤养分转化、运移特征及其养分循环机制和增产机理具有重要的意义。

#### 4 结 论

1) 相较于传统平作,垄沟种植、垄沟+秸秆覆盖和垄沟+地膜覆盖 3 种耕作处理显著提高耕层土壤有机质和土壤速效氮含量,但 3 种耕作措施之间差异并不显著;土壤有效磷、速效钾有所降低,其中垄沟+地膜覆盖措施下土壤有效磷显著低于其他耕作处理。

2) 土壤养分不同坡位之间的差异极显著,表现出明显的坡位效应。传统平作处理下耕层土壤有机质含量和速效氮随着坡位自上而下的变化而增加,表现出坡位流失风险。垄沟种植、垄沟+秸秆覆盖和垄沟+地膜覆盖 3 种措施能够削弱坡位效应,由高到低依次为坡中、坡下、坡上。土壤速效钾、有效磷的流失风险较小,措施之间的差异主要与肥料投入和作物吸收利用有关。

3) 不同耕作措施对作物产量影响显著。相对于传统平作,垄沟种植、垄沟+秸秆覆盖和垄沟+地膜覆盖种植玉米和马铃薯均增产且具有显著的坡位效应,N、P 利用效率提高。

#### 参 考 文 献

- [1] 史云. 坡耕地治理措施对水土流失的影响[J]. 南方农机, 2019, 50(8): 49.
- [2] 吴洁, 孙旭, 刘小艳, 等. 论水土保持在治理生态环境中的应用及发展[J]. 环境与发展, 2017, 29(10): 170-172. Wu Jie, Sun Xu, Liu Xiaoyan, et al. Discussion on the application and future development of soiland water conservation in the treatment of ecological environment[J]. Environment and Development, 2017, 29(10): 170-172. (in Chinese with English abstract)
- [3] Blum W E H. Soil degradation caused by industrialization and urbanization[J]. Advances in Geoecology, 1997, 31: 755-766.
- [4] 陈正发, 史东梅, 金慧芳, 等. 基于土壤管理评估框架的云南坡耕地耕层土壤质量评价[J]. 农业工程学报, 2019, 35(3): 256-267. Chen Zhengfa, Shi Dongmei, Jin Huifang, et al. Evaluation on cultivated-layer soil quality of sloping farmland in Yunnan based on soil management assessment framework (SMAF)[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2019, 35(3): 256-267. (in Chinese with English abstract)
- [5] Bronick C J, Lal R. Soil structure and management: A review[J]. Geoderma, 2004, 124(1):3-22.
- [6] 范亚琳, 刘贤赵, 高磊, 等. 不同施肥措施对红壤坡耕地土壤有机碳流失的影响[J]. 土壤学报, 2019, 56(3): 638-649. Fan Yalin, Liu Xianzhao, Gao Lei, et al. Effects of fertility-building practices on soil organic carbon loss with sediment in sloping cropland of red soil[J]. Acta Pedologica Sinica, 2019, 56(3): 638-649. (in Chinese with English abstract)
- [7] 张丽, 张乃明, 张仕颖, 等. AMF 和间作对作物产量和坡耕地土壤径流氮磷流失的影响[J]. 农业工程学报, 2019, 35(22): 216-224. Zhang Li, Zhang Naiming, Zhang Shiyang, et al. Effects of AMF and intercropping on crop yield and soil nitrogen and phosphorus loss by runoff on slope farmland[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2019, 35(22): 216-224. (in Chinese with English abstract)
- [8] Dalal R C, Carter O R. Soil organic matter dynamics and sequestration in Australian tropical soils[J]. Advances in Soil Science, 2000, 4: 283-314.
- [9] 王旭. 陕北黄土高原坡耕地保护性耕作土壤养分恢复效果和水蚀防控效应研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2013. Wang Xu. Nutrient Restoration Effect and Water Erosion Prevention and Control of Slope Farmland of Conservative Tillage Loess Plateau in Northern Shaanxi[D]. Yanglin: Northwest Agriculture and Forestry University, 2013. (in Chinese with English abstract)
- [10] 董会娇. 不同土地利用方式水土流失规律研究[J]. 吉林水利, 2018(2): 51-53.
- [11] Blaikie P, Brookfield H. Land Degradation and Society[M]. London: Methuen, 1987.
- [12] 史东梅, 金慧芳, 蒋光毅. 土壤侵蚀对坡耕地耕层质量退化作用及其评价趋势展望[J]. 农业工程学报, 2019, 35(18): 118-126. Shi Dongmei, Jin Huifang, Jiang Guangyi. Degradation effect of soil erosion on tillage-layer quality of slope farmland and its evaluation trend[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2019, 35(18): 118-126. (in Chinese with English abstract)
- [13] 许艳, 张仁陟. 陇中黄土高原不同耕作措施下土壤磷动态研究[J]. 土壤学报, 2017, 54(3): 670-681. Xu Yan, Zhang Renzhi. Dynamics of soil phosphorus as affected by tillage on the loess plateau in central Gansu, China[J]. Acta Pedologica Sinica, 2017, 54(3): 670-681. (in Chinese with English abstract)
- [14] 王改玲, 郝明德, 许继光, 等. 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[J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(3): 539-544. Wang Gailing, Hao Mingde, Xu Jiguang, et al. Effect of conservation tillage on wheat yield and soil physicochemical properties in the south of loess plateau[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2011, 17(3): 539-544. (in Chinese with English abstract)
- [15] Igor Dekemati, Barbara Simon, Szergej Vinogradov, et al. The effects of various tillage treatments on soil physical properties, earthworm abundance and crop yield in Hungary[J]. Soil & Tillage Research, 2019, 194: 1-12.
- [16] 谭春荐. 保护性耕作对坡耕地土壤养分维持及水蚀防控效应研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2015. Tan Chunjian. Effects of Conservation Tillage on the Soil



- Nutrients Maintenance and Control of Water Erosion of Sloping Farmland[D]. Yangling: Northwest Agriculture and Forestry University, 2016. (in Chinese with English abstract)
- [17] 张冬梅, 张伟, 姜春霞, 等. 旱地玉米不同耕作覆盖措施的土壤环境及产量效应[J]. 中国农业大学学报, 2019, 24(6): 26-37.  
Zhang Dongmei, Zhang Wei, Jia Chunxia, et al. Effects of different tillage and mulch treatments on the soil environment and yield of dryland maize[J]. Journal of China Agricultural University, 2019, 24(6): 26-37. (in Chinese with English abstract)
- [18] 张霞, 张育林, 刘丹, 等. 种植方式和耕作措施对土壤结构与水分利用效率的影响[J]. 农业机械学报, 2019, 50(3): 250-261.  
Zhang Xia, Zhang Yulin, Liu Dan, et al. Effects of planting methods and tillage systems on soil structure and water use efficiency[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2019, 50(3): 250-261. (in Chinese with English abstract)
- [19] 李春喜, 陈惠婷, 马守臣, 等. 不同耕作措施对麦田土壤碳储量和作物水氮利用效率的影响[J]. 华北农学报, 2016, 31(4): 220-226.  
Li Chunxi, Chen Huiting, Ma Shouchen, et al. Effects of different tillage methods on carbon storage of soil and utilization efficiency of water and nitrogen in wheat[J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2016, 31(4): 220-226. (in Chinese with English abstract)
- [20] 于亚莉, 史东梅, 蒋平. 不同土壤管理措施对坡耕地土壤氮磷养分流失的控制效应[J]. 水土保持学报, 2017, 31(1): 30-36, 42.  
Yu Yali, Shi Dongmei, Jiang Ping. Effect of different soil management measures on controlling soil nitrogen and phosphorus loss from slop farmland[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2017, 31(1): 30-36, 42. (in Chinese with English abstract)
- [21] 马传功, 陈建军, 郭先华, 等. 坡耕地不同种植模式对农田水土保持效应及土壤养分流失的影响[J]. 农业资源与环境学报, 2016, 33(1): 72-79.  
Ma Chuangong, Chen Jianjun, Guo Xianhua, et al. Effects of different cropping patterns on soil and water conservation benefits and soil nutrients loss on sloping land[J]. Journal of Agricultural Resources and Environment, 2016, 33(1): 72-79. (in Chinese with English abstract)
- [22] 周晗, 严俊霞, 李洪建, 等. 晋西黄土区坡耕地不同下垫面水土流失对侵蚀性降雨的响应[J]. 水土保持研究, 2019, 26(4): 7-12.  
Zhou Han, Yan Junxia, Li Hongjian, et al. Response of soil and water loss on different underlying surfaces of sloping farmland to erosive rainfall in the loess area of western Shanxi Province[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2019, 26(4): 7-12. (in Chinese with English abstract)
- [23] 李海强, 郭成久, 蔡楚雄, 等. 水土保持措施对坡耕地土壤养分时空变异影响[J]. 土壤通报, 2017, 48(3): 707-714.  
Li Haiqiang, Guo Chenjiu, Cai Chuxiong, et al. Effect of soil and water conservation measures on temporal and spatial variability of soil nutrients in sloping farmland[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2017, 48(3): 707-714. (in Chinese with English abstract)
- [24] 中华人民共和国环境保护部. 土壤有机碳的测定重铬酸钾氧化-分光光度法: HJ615-2100[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2011.
- [25] Almaraz J J, Zhou X, Mabood F, et al. Greenhouse gas fluxes associated with soybean production under two tillage systems in southwestern Quebec[J]. Soil and Tillage Research, 2009, 104(1): 134-139.
- [26] 徐钰, 刘兆辉, 朱国梁, 等. 不同农业管理措施对华北地区麦田温室气体排放的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2016(2): 7-13.  
Xu Yu, Liu Zhaohui, Zhu Guoliang, et al. Effects of greenhouse gas emission under different agricultural management practices in wheat field in the North China Plain[J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2016(2): 7-13. (in Chinese with English abstract)
- [27] 吕锦慧, 武均, 张军, 等. 不同耕作措施下旱作农田土壤 CH<sub>4</sub>、CO<sub>2</sub> 排放特征及其影响因素[J]. 干旱区资源与环境, 2018, 32(12): 26-33.  
Lü Jinhui, Wu Jun, Zhang Jun, et al. Characteristics and influencing factors of soil CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> emissions under different tillage measures[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2018, 32(12): 26-33. (in Chinese with English abstract)
- [28] 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]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2013.  
Dong Zhi. Accumulation of Soil Organic Matter and Maize Growing Process by Different Stover Mulching Quantity in No-Tillage System[D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2013. (in Chinese with English abstract)
- [29] 解文艳. 旱作褐土覆盖耕作措施对土壤环境的影响及玉米生长的响应[D]. 太原: 太原理工大学, 2015.  
Xie Wenyan. Effect of Different Mulching Methods on Soil Environment of Rainfed Cinnamon Soil and Related Maize Responses[D]. Taiyuan: Taiyuan University of Technology, 2015. (in Chinese with English abstract)
- [30] 林艺, 秦凤, 郑子成, 等. 不同降雨条件下垄作坡面地表微地形及土壤侵蚀变化特征[J]. 中国水土保持科学, 2015, 13(3): 32-38.  
Lin Yi, Qin Feng, Zheng Zicheng, et al. Characteristics of variations in soil surface micro-topography and soil erosion on the cross ridge slope under different rainfall conditions[J]. Science of Soil and Water Conservation, 2015, 13(3): 32-38. (in Chinese with English abstract)
- [31] 周怡雯, 戴翠婷, 刘窑军, 等. 耕作措施及雨强对南方红壤坡耕地侵蚀的影响[J]. 水土保持学报, 2019, 33(2): 49-54.  
Zhou Yiwen, Dai Cuiting, Liu Yaojun, et al. Effects of cultivation measures and rainfall intensities on the slope erosion in red soil sloping cropland[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2019, 33(2): 49-54. (in Chinese with English abstract)
- [32] 任瑞雪, 张凤宝, 杨明义, 等. 坡面侵蚀过程中泥沙有机碳流失特征分析[J]. 水土保持学报, 2017, 31(6): 15-19.  
Ren Ruixue, Zhang Fengbao, Yang Mingyi, et al. Characteristics of sediment organic carbon loss during slope erosion process[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2017, 31(6): 15-19. (in Chinese with English abstract)
- [33] 陈静蕊, 刘佳, 王惠明, 等. 保护性耕作措施对陡坡地养分流失的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2018(1): 146-152.  
Chen Jingrui, Liu Jia, Wang Huiming, et al. Effect of conservation tillage on soil nutrient loss from a steep hillslope soil[J]. China Soil and Fertilizer, 2018(1): 146-152. (in Chinese with English abstract)
- [34] 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 Yuzhang, Chai Shouxi, Fan Yingdan, 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. (in Chinese with English abstract)
- [35] 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 Xiukang, Li Zhanbin, Xing Yingying. Effects of mulching and fertilization on maize yield, soil temperature and nitrate-N distribution[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizer, 2015, 21(4): 884-897. (in Chinese with English abstract)
- [36] 高亚军, 李生秀. 旱地秸秆覆盖条件下作物减产的原因及作用机制分析[J]. 农业工程学报, 2005, 21(7): 15-19.
- Gao Yajun, Li Shengxiu. Cause and mechanism of crop yield reduction under straw mulch in dryland[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2005, 21(7): 15-19. (in Chinese with English abstract)
- [37] 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 Ruizhi, Li Shaokun, Li Xiaojun, 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. (in Chinese with English abstract)

## Effects of tillage measures on soil nutrients distribution and fertilizer use efficiency on gentle slope farmland

Lei Jinyin<sup>1</sup>, Lei Xiaoting<sup>1</sup>, Zhou Lina<sup>1\*</sup>, He Jinqin<sup>1</sup>, Jia Aiping<sup>2</sup>, Yu Jianjun<sup>3</sup>, Zhang Hui<sup>3</sup>, Lu Fang<sup>3</sup>

(1. Institute of Agricultural Resources and Environment, Ningxia Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Yinchuan 750002, China; 2. Ningxia Yinchuan Municipal Agricultural Technology Extension and Service Center, Yinchuan 750002, China; 3. Guan ting Agro-technical Service Center Yuanzhou District Guyuan City, Guyuan 756000, China)

**Abstract:** The research was carried out on 10° slope land of southern Ningxia during 2017-2018, and four different tillage measures, including conventional tillage (CK), furrow-ridge tillage (NH), furrow-ridge + straw mulching (SM) and furrow-ridge+plastic mulching (PM) were employed. The results showed that NH, SM and PM significantly increased the content of soil organic matter and available nitrogen compared with CK, increasing by 18.50% and 14.47%, 18.22% and 17.64%, 21.75% and 18.71%, respectively, however, there was no significant difference between the three tillage measures. The topsoil organic matter and available nitrogen of CK treatment increased from up slope to down slope showing the risk of losing from slope land. Whereas, NH, SM and PM exhibited the function of weakening the slope location effect, with the order of organic matter and available nitrogen from high to low: mid slope > down slope > up slope. Compared with CK, the soil available phosphorus and available potassium on slope land was decreased, where the soil available phosphorus under PM significantly was lower than others. The soil available phosphorus and available potassium showed low losing risk from slope land. The difference between tillages is mainly related to fertilizer input and crop absorption and utilization. NH, SM and PM significantly increased the crop yields, and the yield of maize and potato were increased by 27.03 % and 2.89%, 12.85% and 9.29%, 204.56% and 21.52%, respectively, showing significant slope location effect. From the perspective of slope distribution, as the slope position changes from up slope to down slope, corn yields gradually increased under NH, SM and PM. Potato yields of CK increased gradually with the slope position changes from up slope to down slope; Its NH and PM increased firstly and then decreased, with the highest yield on mid slope and the lowest on down slope; Its SM decreased firstly and then increased, with the highest yield on down slope and the lowest on mid slope. Two mulching tillage methods, SM and PM, significantly improved crop N, P fertilizer use efficiency, and in the first maize planting season they were increased by 7.92% and 16.83%, 217.03% and 241.59%, respectively, while in the second potato-planting season, they were increased by 89.43% and 44.62%, 97.31% and 49.66%, respectively. The variance analysis was performed on the soil nutrients and crop yields at different slope positions under different tillages in 2017 and 2018. From the perspective of soil organic matter and crop yield analysis, tillages and slope positions both showed extremely significant differences between 2017 ( $P < 0.01$ ) and significant differences in 2018 ( $P < 0.05$ ). From the perspective of available nitrogen analysis, tillages showed significant differences ( $F=1.88$ ,  $P < 0.05$ ) in 2017 and extremely significant differences ( $F=117.71$ ,  $P < 0.01$ ) in 2018, slope positions both showed extremely significant differences in 2017 and 2018 ( $F=3.43$  and  $F=19.60$ ,  $P < 0.01$ ). From the perspective of available phosphorus analysis, tillages showed significant differences ( $F=1.35$ ,  $P < 0.05$ ) in 2017 and no significant difference ( $F=0.5$ ,  $P > 0.05$ ) in 2018, slope positions showed extremely significant differences ( $F=6.74$ ,  $P < 0.01$ ) in 2017 and significant differences ( $F=3.91$ ,  $P < 0.05$ ) in 2018. From the perspective of available potassium analysis, tillages showed no significant difference ( $F=21.63$ ,  $P > 0.05$ ) in 2017 and extremely significant differences ( $F=5.72$ ,  $P < 0.01$ ) in 2018, slope positions showed significant differences ( $F=10.89$ ,  $P < 0.05$ ) in 2017 and no significant differences ( $F=1.18$ ,  $P > 0.05$ ) in 2018. Hence, it was believed that protective tillages focused on furrows and mulches can effectively block the nutrients lose, combat soil nutrients migration on slop farmland, and increase crop yield and fertilizer use efficiency.

**Keywords:** soil; erosion; tillage method; gentle slop land; slop location effect; fertilizer use efficiency