

# 土地利用方式对陇中黄土高原 土壤理化性状的影响

李晓东, 魏龙, 张永超, 郭丁, 李旭东, 傅华\*

(农业部草地农业生态系统学重点开放实验室 兰州大学草地农业科技学院, 甘肃 兰州 730020)

**摘要:**对陇中黄土高原至少 50 年传统耕作历史的农耕地和退耕 20 年的草地土壤理化性状进行了比较研究。结果表明, 1) 不同土地利用方式对土壤有机碳、全氮、速效磷、pH 值和容重有显著影响。0~10 cm 土层土壤有机碳含量草地显著高于农田, 全氮含量差异不显著, 20~100 cm 土层有机碳和全氮农田高于草地 ( $P < 0.05$ ); 土壤全磷含量农田虽高于草地但无显著差异。土壤 C/N 除 0~10 cm 土层外, 农田高于草地。在整个土壤剖面上, 草地土壤 pH 值显著高于农田 ( $P < 0.05$ ); 除 10~20 cm 和底层土壤外, 草地土壤容重也高于农田。2) 草地土壤有机碳和全氮随土壤深度增加而降低, 而农田土壤在 0~30 cm 土层随土壤深度的增加而增加, 在 30 cm 土层以下与草地有相同趋势。草地土壤全磷含量各土层间没有显著差异, 农田土壤全磷含量与土壤有机碳和全氮含量变化趋势一致; 草地和农田土壤速效磷含量都呈减少趋势。土壤 pH 值随土壤深度的增加而增加。3) 各样地土壤有机碳、全氮、全磷、速效磷与土壤容重和土壤 pH 值之间呈极显著负相关, 土壤容重与土壤 pH 值呈极显著正相关, 土壤有机碳、全氮、全磷和速效磷之间也呈极显著正相关关系。

**关键词:**草地; 农田; 土壤理化性状; 黄土高原

**中图分类号:** S155.4<sup>+</sup>7      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1004-5759(2009)04-0103-08

\* 土壤是陆地生态系统中最大而又最活跃的有机碳库和氮库, 同时又是土壤肥力最重要的物质基础<sup>[1,2]</sup>。土地利用和管理水平是影响土壤理化性状变化最普遍、最直接的因素之一, 很大程度上影响着土壤质量变化的程度和方向<sup>[3]</sup>。土地利用方式决定了地表植被覆盖程度和采取的管理措施, 直接影响土壤养分物质的输入和输出, 进而影响土壤的养分贮量和养分有效性等<sup>[3~6]</sup>。合理的土地利用可以改善土壤的物理、化学和生物学性状, 增强土壤对外界环境变化的抵抗力; 不合理的土地利用会导致土壤质量下降, 增加土壤侵蚀, 降低生物多样性、土地生产力和生物地球化学循环等<sup>[7,8]</sup>。因此, 研究土地利用和管理措施对土壤理化性状的影响是现代土壤学的主要任务之一<sup>[9,10]</sup>, 它可以帮助了解养分的动态变化、土壤的生态过程, 为制定合理的土地管理措施提供科学的依据。

黄土高原为我国暖温带落叶阔叶林向干旱草原和荒漠化草原过渡的中间地带, 人类对土地资源的不合理利用, 已使该区成为我国水土流失最为严重、生态环境问题最为严峻的地区之一<sup>[8,11,12]</sup>。土地利用方式的多样化是人类干扰下黄土高原最为典型的特点, 国内学者已经对黄土高原不同区域的植被恢复、草田轮作和退耕还林等措施对土壤质量的影响进行了研究<sup>[8,13~15]</sup>。甘肃黄土高原水土流失面积达 10.57 万 km<sup>2</sup>, 占该地区总土地面积的 92.2%<sup>[16]</sup>。本研究通过对甘肃陇中黄土高原区至少已有 50 年传统耕作历史的雨养农耕地和退耕 20 年的草地 2 种生态系统土壤理化性状进行了比较研究, 探讨土地利用方式对土壤理化性状的影响, 为该区土地的合理利用和保护提供技术支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

研究区位于甘肃省榆中县的兰州大学国际地面气候与环境监测站及周围区域, 地理坐标为北纬 35.946°, 东经 104.137°, 海拔 1 965.8 m。地貌为黄土高原残塬梁峁沟壑, 属大陆性半干旱气候, 年平均气温 6.7°C, 年降水量 382 mm, 蒸发量 1 343 mm, 无霜期 90~140 d, 年日照时数约 2 600 h<sup>[17]</sup>。植被类型为半干旱典型草原, 塬面草

\* 收稿日期: 2008-09-24; 改回日期: 2008-11-14

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973 计划)(2006CB400501)和国家基金重点项目(90711002)资助。

作者简介: 李晓东(1985-), 男, 青海贵德人, 在读硕士。E-mail: lixd06@lzu.cn

\* 通讯作者。E-mail: fuhua@lzu.edu.cn

地植物主要有本氏针茅(*Stipa bungeana*)、赖草(*Leymus secalinus*)、铁杆蒿(*Tripolium vulgare*)、冷蒿(*Artemisia frigida*)等;土壤主要为灰钙土。农业生产为雨养型,主要作物为谷子(*Setaria italica*)、豌豆(*Pisum sativum*)与马铃薯(*Solanum tuberosum*)等,间歇式耕作,一年一熟制。该区域塬面原为传统的耕作农田,80年代中期部分弃耕,土地撂荒恢复为草地。

## 1.2 研究方法

**1.2.1 样地选择** 在国际地面气候站及周围区域,选择坡向和地势平缓一致的面积各为 2 hm<sup>2</sup> 样地 4 块,分别为自由放牧草地(grazing grassland, GG),围封草地(fenced grassland, FG),马铃薯样地(potato field, PF),休闲耕地(fallow cropland, FC)。1)草地为农田退耕 20 年,现已恢复到天然草地,主要优势种为本氏针茅。围封草地 2005 年开始围封。2)农田以轮作方式种植马铃薯、豌豆和谷子,每 2~3 年休闲。休闲耕地 2005 年种植谷子,2006 年开始休闲;马铃薯样地在 2006 年种植马铃薯。

试验样地选择地区耕作方式与其他地区不同,以连根拔起的收获方式替代传统收割的收获方式,土壤中根的残余物非常少。农田在种植年施入有机肥 3 000 kg/hm<sup>2</sup>,化肥:尿素 30 kg/hm<sup>2</sup>,过磷酸钙 60 kg/hm<sup>2</sup>。

**1.2.2 样品采集** 于 2006 年 5 月在每样地内设置 3 个 50 m×50 m 样区,每个样区内随机设 2 条样线,各样线设置 5 个采样点,采用土钻法按 0~10,10~20,20~30,30~40,40~60,60~80 和 80~100 cm 土层采集土壤样品,每 5 个样点混合为 1 个样本。将土样去除植物根系和石块,充分混匀并用四分法取约 1 kg 的土样带回实验室进行分析。取样同时测定各层的土壤容重,土壤容重采用环刀法测定。

**1.2.3 样品分析** 土壤样品室内风干,去除残留的根系用玻璃管压碎,过 2 mm 筛测定速效磷和 pH 值;四分法分出部分过 0.5 mm 筛,测定有机碳(SOC)、全氮和全磷。有机碳采用重铬酸钾容量法<sup>[8]</sup>。全氮和全磷用 10 mL 硫酸,加 3.3 g 催化剂(K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O=10/1)消化,速效磷用碳酸氢钠溶液提取,全氮、全磷和速效磷均采用流动注射分析仪测定(FIAstar5000)<sup>[18]</sup>。pH 值 1:1 水土比悬液用 pH S23C 型酸度计测定<sup>[19]</sup>。

**1.2.4 数据分析** 采用 Excel 作图,用 SPSS 软件对试验数据进行统计分析。采用 LSD 法对不同土地利用方式和不同土层的土壤容重、有机碳、全氮、全磷、速效磷含量和 pH 值进行单因素方差分析,土壤各性状的相关性采用 Brivariate Correlations 相关分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 土地利用方式对土壤有机碳和土壤全氮的影响

土地利用方式对 SOC 含量有显著影响(图 1a)。0~10 cm 土层,围封草地(9.1 g/kg)等相邻的马铃薯样地(7.5 g/kg)和休闲耕地(7.2 g/kg)SOC 含量高出 21%和 26%,放牧草地提高 19%和 24%( $P<0.05$ )。10~20 cm 土层,2 种土地利用方式下 SOC 含量没有显著差异。20~100 cm,各土层农田 SOC 含量都显著高于草地( $P<0.05$ )。围封和放牧草地 SOC 含量随土壤深度的增加而减少;而马铃薯样地和休闲耕地在表层土壤,随土层的增加而增加,在 30 cm 土层以下与草地有相同趋势。0~10 cm 土层围封草地和放牧草地 SOC 含量最高,分别是 9.1 和 8.9 g/kg,马铃薯样地和休闲耕地 SOC 最大值出现在 30~40 和 20~30 cm 土层,分别是 8.6 和 9.3 g/kg。

0~20 cm 土层,2 种土地利用方式下土壤全氮含量没有显著差异(图 1b)。在 30~100 cm 土层,各土层农田土壤全氮含量显著高于草地( $P<0.05$ )。土壤全氮在土壤剖面的变化趋势与有机碳基本一致,围封草地在 0~30 cm 土层各层间与放牧草地 0~10 和 10~20 cm 土层差异不显著,而后随土壤深度的增加而降低,最大值出现在 10~20 cm 土层,分别达到 0.94 和 1.06 g/kg;马铃薯和休闲耕地土壤全氮在 0~30 cm 土层随土层增加而增加,30~100 cm 土层沿土壤剖面依次降低,土壤全氮最大值出现在 30~40 和 20~30 cm 土层,分别是 1.11 和 1.57 g/kg,显著高于其他各层。

土壤的 C/N,0~10 cm 土层草地高于农田,围封草地最高为 9.79,比相邻的马铃薯样地和休闲耕地高出 27.9%和 44.6%,比放牧样地高出 11.38%。而 10~100 cm 土层,马铃薯样地 C/N 高于围封草地和休闲耕地。2 个草地 C/N 在土壤剖面上呈减小趋势,变幅在 4.97~9.79,而农田样地 C/N 在土壤剖面上没有显著差异( $P>0.05$ ),马铃薯样地变幅在 7.65~8.88,休闲耕地在 5.74~7.14,并都在 40~60 cm 达到最高(表 1)。

表 1 不同土地利用方式下土壤碳氮比变化

Table 1 Changes of C/N in each layer under different land use

土层 Soil layer (cm)	围封草地 FG	放牧草地 GG	马铃薯样地 PF	休闲耕地 FC
0~10	9.79±1.38 aA	8.79±0.89 aA	7.65±0.60 aA	6.77±0.43 aB
10~20	7.12±0.26 abB	6.02±0.32 abB	8.85±0.86 aA	6.81±0.29 aB
20~30	6.57±0.21 abB	6.96±1.08 abB	8.21±0.55 aA	5.92±0.65 aB
30~40	5.47±0.94 bB	6.03±0.86 bB	7.73±0.68 aA	7.09±0.37 aA
40~60	5.60±0.50 abC	5.87±0.95 bC	8.88±1.40 aA	7.14±0.71 aB
60~80	4.97±0.50 bC	5.13±0.31 bC	8.62±0.71 aA	6.50±0.68 aB
80~100	5.15±0.37 bB	5.54±0.95 abB	7.78±0.42 aA	5.74±0.43 aB

注:表中数据均为均值±标准差,同列不同小写字母表示不同土壤深度土壤碳氮比差异显著( $P<0.05$ ),同行不同大写字母表示不同土地利用方式土壤碳氮比差异显著( $P<0.05$ )。

Note: The datas in the table are average±SE, the different lowercase letters in the same column mean the significance difference ( $P<0.05$ ) of soil C/N in difference soil profile, the difference capital in the same row mean the significance difference ( $P<0.05$ ) of soil C/N in different land use.

## 2.2 土地利用方式对土壤全磷和速效磷的影响

0~100 cm 土层农田土壤全磷含量虽基本高于草地,但除 20~40 cm 土层外(图 1c),其他土层并无显著差异。在土壤剖面上,草地土壤全磷含量各土层间没有显著差异,0~100 cm 土体全磷含量变幅在 0.56~0.67 g/kg。马铃薯样地和休闲耕地土壤全磷含量与土壤有机碳和全氮含量变化趋势一致,0~40 cm 土层随土层的增加而增加,40~100 cm 随土层的增加而降低;土壤全磷含量最高值与土壤有机碳和全氮含量一致,在 30~40 和 20~30 cm 土层,分别是 0.75 和 0.73 g/kg。

土壤速效磷含量,在 0~60 cm 土层马铃薯样地显著高于相邻的 2 块草地和休闲耕地( $P<0.05$ ),其他 3 样地间无显著差异(图 1d)。0~60 cm 马铃薯样地土壤速效磷平均值为 33.0 mg/kg,分别比休闲耕地、放牧草地和围封草地高出 53%,76.9%和 63.6%。在土壤剖面上马铃薯样地速效磷含量随土层增加而呈减少趋势,但在 0~30 cm 土层间差异不显著;休闲耕地仅 0~10 cm 土层显著高于其他各土层,其他各层间差异不显著;草地在 0~30 cm 土层呈减少趋势,40~100 cm 各土层间无显著变化。

## 2.3 土地利用方式对土壤容重和土壤 pH 值的影响

围封草地和放牧草地的土壤容重为 1.18~1.26 g/cm<sup>3</sup>,农田土壤容重为 1.11~1.23 g/cm<sup>3</sup>(图 1e)。在 0~40 cm 土层,除 10~20 cm 外,草地(FG、GG)土壤容重显著高于农田( $P<0.05$ );40~100 cm 土层 2 种土地利用方式没有显著差异。草地土壤容重在 0~30 cm 土层略有减小,在 30~100 cm 土层随土壤深度的增加而增加。农田样地土壤容重除了在 20~30 cm 土层减小外,其余土层都随土壤深度的增加而增加。

土壤 pH 值是土壤酸碱性的最直接反映。在整个土壤剖面上土壤 pH 值,草地显著高于农田( $P<0.05$ ),草地为 8.36~8.90,农田为 8.20~8.63,草地比农田高 0.16~0.27(图 1f)。各样地土壤 pH 值在 0~100 cm 土层都随土壤深度的增加而增加,但都表现出 0~30 cm 土层差异不显著。

## 2.4 土壤理化性状之间的关系

各样地土壤容重和 pH 值与土壤有机碳、全氮、全磷和速效磷呈极显著负相关,土壤容重与土壤 pH 值呈极显著正相关(表 2),土壤有机碳、全氮、全磷和速效磷之间也呈极显著正相关关系。

## 3 讨论

### 3.1 土壤有机碳、全氮和碳氮比

不同土地利用方式土壤有机碳含量的差异与碳素的输入和土壤有机碳的稳定性有关,将自然植被转变为耕作农田,会导致土壤碳库的迅速下降<sup>[20]</sup>。本研究结果表明,当农田退耕转变为自然植被,土壤有机碳含量在表层(0~10 cm)显著增加(图 1a),这可能是由于大量植物残余物的返还导致<sup>[13]</sup>。Li 等<sup>[17]</sup>的研究也表明围封草地和放牧草地 0~100 cm 土层地下生物量的 55%和 39%分布在 0~10 cm 土层,而植物残余物和根系分泌物直接增加了土壤有机碳含量。Chen 等<sup>[21]</sup>研究指出农田转变为草地后,土壤有机碳固存主要表现在表层土壤;Guo 和

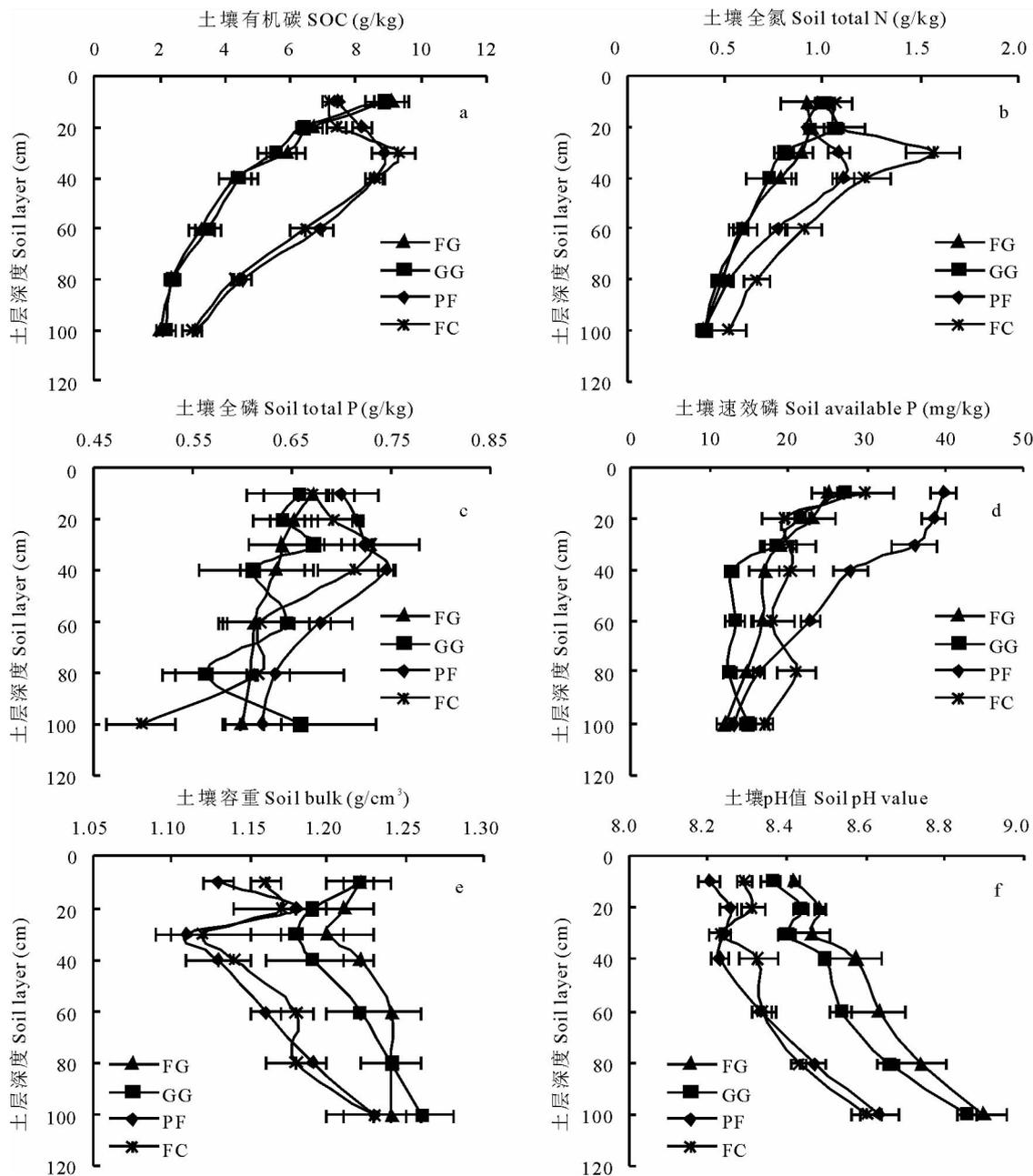


图 1 不同土地利用方式下土壤性质

Fig. 1 Soil properties under different land use conditions

表 2 各样地土壤理化性状之间的相关系数

Table 2 Correlation coefficients among soil physical and chemical properties

项目 Item	容重 Bulk	有机碳 SOC	全氮 Total N	全磷 Total P	速效磷 Available P	pH 值 pH value
容重 Bulk	1					
有机碳 SOC	-0.760**	1				
全氮 Total N	-0.785**	0.907**	1			
全磷 Total P	-0.738**	0.785**	0.726**	1		
速效磷 Available P	-0.633**	0.740**	0.574**	0.646**	1	
pH 值 pH value	0.877**	-0.889**	-0.832**	-0.692**	-0.742**	1

注: \*\* 表示相关系数达到  $P < 0.01$  水平。

Note: \*\* indicate correlation coefficients significant at the 0.01 level.

Gifford<sup>[22]</sup>的研究表明农田转变为草地后可以导致土壤有机碳的增加,增加量可达 30%,表层土壤对碳的积累更加敏感<sup>[23]</sup>。在 20 cm 以下土层,土壤有机碳含量农田显著高于草地,这表明长期的施肥增加了土壤有机碳的固存<sup>[24]</sup>,而黄土高原地区土壤严重的侵蚀淋溶可能导致上层土壤有机碳下移,使整个土层土壤有机碳含量均高于草地<sup>[14,24]</sup>,不同土地利用方式影响土壤有机碳在土壤剖面上的分布。草地土壤有机碳含量随土壤深度的增加而减少,主要是由于草地地下生物量随土壤深度增加而减少。农田土壤 0~10 和 10~20 cm 土层土壤有机碳含量显著低于 20~30 和 30~40 cm 土层,是因为耕作改善了土壤水分和氧气利用效率,加速表层土壤有机碳的分解<sup>[26]</sup>。另外,由于本地区特殊的收获方式,大多数作物的残余物包括根系都从农田移出,仅有少量的植物残余物输入土壤。

土壤氮素是土壤肥力中最活跃的因素,也是农业生产中限制作物产量的主要因子。土壤全氮含量受各种因素的影响,其含量处在动态变化过程中,而农田土壤氮素含量则受人类生产活动,尤其是耕种方式影响最大<sup>[27]</sup>。本研究表明,农田土壤全氮含量总体要高于草地系统,这可能是由于农田每种植年向土壤投入氮肥所致。0~20 cm 土层各样地土壤全氮含量没有显著差异,可能与植物的吸收利用与氮素的淋溶有关;在 20 cm 以下土层,草地和农田系统土壤全氮含量呈现出与有机碳含量相似的分布趋势,且与有机碳呈极显著正相关关系(图 1b),土壤中的氮素 90%以上以有机态存在,凡是影响土壤有机质含量的因素均能不同程度地影响土壤全氮含量<sup>[28]</sup>。马铃薯样地土壤全氮含量较休闲耕地低,可能因为 2005 年休闲耕地种植并施肥,由于作物种的原因吸收利用的氮素较少。而马铃薯样地 2005 年休闲后种植马铃薯,由于人为干扰增加了土壤有机质分解和矿化,最终导致氮随土壤耕作的损失<sup>[29]</sup>,另外休闲耕地对土壤有机质的积累及土壤氮的增加起到积极的作用,因此土壤氮含量在 20~100 cm 要高于其他样地。

土壤中的 C/N 对土壤微生物的活动产生直接影响,通常被认为是土壤氮素矿化能力的标志,C/N 低则有利于微生物的分解,氮的矿化率就高。Ogutu<sup>[29]</sup>研究指出,土壤 C/N 一般情况下在人为干扰的土壤中要比没有受干扰的森林土壤和草地土壤高,主要因为人为干扰增加了土壤有机质分解和矿化,最终导致氮随土壤耕作的损失。本研究结果也得出相似的结论,农田土壤 C/N 除在表层低于草地外,其余土层都高于草地,特别是当年耕作的马铃薯样地,显著高于 2 个草地和休闲耕地;草地表层高,主要由于草地表层土壤有机碳显著高于农田。

### 3.2 土壤全磷和速效磷

土壤磷素是土壤肥力的重要组成因子,是植物生长不可缺少的大量营养元素,具有重要的营养生理功能<sup>[30]</sup>。本研究结果显示,2 种土地利用方式对土壤全磷含量没有显著影响,土壤全磷主要受成土母质的影响。草地土壤磷含量在土壤剖面上没有显著差异,0~100 cm 土体全磷含量在(0.56±0.04)~(0.67±0.07) g/kg,并且各土层之间没有差异。土壤-植物系统磷素的循环主要是植物的吸收和植物通过各种形式将磷归还土壤,而植物体含磷较低,返回土壤的磷对土壤影响较小,因此草地土壤磷含量在各土层没有显著差异。农田土壤全磷含量在 0~40 cm 土层,随土层的增加而略有增加,来璐等<sup>[31]</sup>研究也指出有机、无机肥料配施土壤剖面活性、有机磷含量均有增加,耕层增加最为明显。

土壤速效磷含量并不能反映土壤磷素的有效性,只能说明土壤磷库的变化情况以及土壤相对的供磷水平。本研究结果显示,0~60 cm 土层马铃薯样地速效磷含量显著高于其他样地( $P<0.05$ ),其平均值为 33.0 g/kg,分别比休闲耕地、放牧草地和围封草地高出 53.0%,76.9%和 63.6%(图 1d)。这可能和种植年施肥有关,周宝库和张喜林<sup>[32]</sup>研究指出,施磷肥处理,土壤速效磷显著增加,土壤速效磷含量与施磷水平呈显著正相关。2 种土地利用方式下土壤速效磷含量均随土壤深度的增加而降低(图 1d),农田可能主要是由于土壤施磷肥以及施氮态氮肥降低土壤的 pH 值,利于 Ca-P 的转化和溶解<sup>[33]</sup>,增加了上层土壤速效磷含量;而草地凋落物的归还以及根系分泌物对磷的活化<sup>[34]</sup>可能是其表层土壤速效磷含量较高的主要原因。Lajtha<sup>[35]</sup>的研究也指出,根系在土壤剖面上随深度的增加而减少,因此土壤速效磷在土壤剖面上也有类似的趋势。

### 3.3 土壤容重和土壤 pH 值

对于草地,持续放牧增加了表层土壤(0~40 cm)容重,这可能是由于家畜的践踏导致<sup>[36~38]</sup>。农田土壤,长期的耕作导致除犁底层外的表层土壤容重降低。较高的土壤有机碳含量可能是 20~30 cm 土壤容重较低的原因,

所有样地土壤容重和土壤有机碳含量之间呈显著负相关关系。土壤有机质的增加能够改善土壤结构,导致土壤容重有所降低<sup>[39]</sup>。

土壤 pH 值是土壤在形成过程中受生物、气候、地质、水文等因素的综合作用所产生的重要属性,土壤 pH 值受母质、生物气候及农业措施等条件的制约,它是土壤肥力的重要影响因子之一<sup>[40]</sup>,土壤 pH 值的变化直接影响着土壤营养元素的存在状态和有效性,它也影响着土壤肥力形成和土壤质量演变过程<sup>[41]</sup>。本研究结果表明,土地利用方式对土壤 pH 值产生显著的影响,草地土壤 pH 值要显著高于农田(图 1f)。张电学等<sup>[42]</sup>研究指出,农田土壤腐殖质含量很高,腐殖酸等能够使土壤 pH 值有着较大程度的降低。2 种土地利用方式土壤 pH 值都随土壤深度的增加而增加(图 1f),这与植被凋落物在土壤表层积累、分解转化<sup>[43]</sup>及其土壤有机碳含量及碱性离子的淋溶有关,土壤 pH 值与土壤有机碳含量呈极显著的正相关。植物根系分泌物和凋落物在分解过程中释放出大量的有机酸,显著降低了表层土壤 pH 值,邱莉萍和张兴昌<sup>[15]</sup>研究得出,不同植被恢复类型坡地 0~15 cm 土壤 pH 值低于 15~30 cm 土层土壤,本研究结果与此一致。农田表层土壤 pH 值较低,这可能也和农田土壤使用氮素肥料所引起的土壤酸化有关。

#### 参考文献:

- [1] 潘根兴,李恋卿,张旭辉. 土壤有机碳库与全球变化研究的若干前沿问题——兼开展中国水稻土有机碳固定研究的建议[J]. 南京农业大学学报, 2002, 25(3): 100-109.
- [2] 朱祖祥. 土壤学[M]. 北京:农业出版社,1983. 276-279.
- [3] 廖晓勇,陈治谏,刘邵权,等. 三峡库区小流域土地利用方式对土壤肥力的影响[J]. 生态环境,2005,14(1):99-101.
- [4] 刘世梁,傅伯杰,刘国华,等. 我国土壤质量及其评价研究的进展[J]. 土壤通报,2006,37(1):137-143.
- [5] Parr J F, Papendick R I, Hornick S B. Soil quality: Attributes and relationship to alternative and sustainable agriculture[J]. American Journal of Alternative Agriculture, 1992, 7: 5-11.
- [6] Sharma P K, Aggarwal G C. Soil structure under different land uses[J]. Catena, 1984, 11: 91-201.
- [7] 潘根兴. 地球表层系统土壤学[M]. 北京:地质出版社, 2000. 47-49.
- [8] 巩杰,陈利顶,傅伯杰,等. 黄土丘陵区小流域土地利用和植被恢复对土壤质量的影响[J]. 应用生态学报,2004, 15(12): 2292-2296.
- [9] 李新宇,唐海萍,赵云龙,等. 怀来盆地不同土地利用方式对土壤质量的影响分析[J]. 水土保持学报, 2004,19(6): 103-107.
- [10] 侯鹏程,徐向东,潘根兴. 不同利用方式下吴江市耕地土壤环境质量变化[J]. 生态环境,2007,16(1): 152-157.
- [11] 杨文治,邵明安. 黄土高原土壤水分研究[M]. 北京:科学出版社,2000. 4-11.
- [12] 周萍,刘国彬,侯喜禄. 黄土丘陵区铁杆蒿群落植被特性及土壤养分特征研究[J]. 草业学报,2008,17(2):9-18.
- [13] 吴建国,张效全,徐德应. 六盘山林区几种土地利用方式对土壤有机碳矿化影响的比较[J]. 植物生态学报,2004,28(4): 530-538.
- [14] 刘守赞,郭胜利,白岩. 黄土高原沟壑区梁坡地土壤有机碳质量分数与土地利用方式的响应[J]. 浙江林学院学报,2005, 22(5): 490-494.
- [15] 邱莉萍,张兴昌. 子午岭不同土地利用方式对土壤性质的影响[J]. 自然资源学报,2006,21(6):965-976.
- [16] 傅伯仁. 甘肃黄土高原生态环境建设的问题与政策建议[J]. 中国农业资源与区划,2006,27(6):30-34.
- [17] Li X D, Fu H, Li X D, *et al.* Effects of land-use regimes on carbon sequestration in the Loess Plateau, northern China[J]. New Zealand Journal of Agricultural Research, 2008, 51(1): 45-52.
- [18] 王俊,李凤民,贾宇,等. 半干旱黄土区苜蓿草地轮作农田土壤氮、磷和有机质变化[J]. 应用生态学报,2005,16(3):439-444.
- [19] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海:上海科技出版社,1978.
- [20] Solomon D, Lehmann J, Kinyangi J, *et al.* Long-term impacts of anthropogenic perturbations on dynamics and speciation of organic carbon in tropical forest and subtropical grassland ecosystems[J]. Global Change Biology, 2007, 13: 511-530.
- [21] Chen L D, Gong J, Fu B J. Effect of land use conversion on soil organic carbon sequestration in the loess hill area, loess plateau of China[J]. Ecological Research, 2007, 22: 641-648.
- [22] Guo L B, Gifford R M. Soil carbon stocks and land use change: A meta analysis[J]. Global Change Biology, 2002, 8: 345-

360.

- [23] 苏永中,赵哈林. 科尔沁沙地不用土地利用和管理方式对土壤质量性状的影响[J]. 应用生态学报,2003,14(10):1681-1686.
- [24] Morari F, Lugato E, Berti A, *et al.* Long-term effects of recommended management practices on soil carbon changes and sequestration in north-eastern Italy[J]. Soil Use and Management, 2006, 22: 71-81.
- [25] Jobbágy E G, Jackson R B. The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation[J]. Ecological Applications, 2000, 10: 423-436.
- [26] Martens D A, Reedy T E, Lewis D T. Soil organic carbon content and composition of 130-year crop, pasture and forest land-use managements[J]. Global Change Biology, 2003, 9: 65-78.
- [27] 邹焱,苏以荣,路鹏,等. 洞庭湖区不同耕种方式下水稻土壤有机碳、全氮和全磷含量状况[J]. 土壤通报,2006,37(4):671-674.
- [28] 吴建国,韩梅,裴伟,等. 祁连山中部高寒草甸土壤氮矿化及其影响因素研究[J]. 草业学报,2007,16(6):39-46.
- [29] Ogotu Z A. An investigation of the influence of human disturbance on selected soil nutrients in Narok District, Kenya[J]. Environmental Monitoring and Assessment, 1999, 58: 39-60.
- [30] 向万胜,黄敏,李学垣. 土壤磷素的化学组分及其植物有效性[J]. 植物营养与肥料学报,2004,10(6):663-670.
- [31] 来璐,郝明德,彭令发,等. 黄土高原旱地长期施肥条件下土壤有机磷的变化[J]. 土壤,2003,35(5):413-418.
- [32] 周宝库,张喜林. 长期施肥对黑土磷素积累、形态转化及其有效性影响的研究[J]. 植物营养与肥料学报,2005,11(2):143-147.
- [33] 陆景陵. 植物营养学(上册)[M]. 北京:中国农业大学出版社,2003.
- [34] 赵琼,曾德慧. 陆地生态系统磷素循环及其影响因素[J]. 植物生态学报,2005,29(1):153-163.
- [35] Lajtha K. Nutrient reabsorption efficiency and the response to phosphorus fertilization in the desert shrub *Larrea tridentata* (DC.) Cov[J]. Biogeochemistry, 1987, 4(3): 265-276.
- [36] Su Y Z, Zhao H L, Zhang T H. Influences of grazing and enclosure on carbon sequestration in degraded sandy grassland, Inner Mongolia, North China[J]. New Zealand Journal of Agricultural Research, 2003, 46: 321-328.
- [37] 傅华,陈亚明,周志宇,等. 阿拉善荒漠草地恢复初期植被与土壤环境的变化[J]. 中国沙漠,2003,23(6):661-664.
- [38] 王启兰,王长庭,杜岩功,等. 放牧对高寒高草草甸土壤微生物量碳的影响及其与土壤环境的关系[J]. 草业学报,2008,17(2):39-46.
- [39] Hajabbasi M A, Jalalian A, Karimzadeh H R. Deforestation effects on soil physical and chemical properties, Lordegan, Iran [J]. Plant and Soil, 1997, 190: 301-308.
- [40] 高富,沙粒清. 西庄河流域土地利用方式对土壤肥力影响的研究[J]. 土壤与环境,2000,9(3):223-226.
- [41] Urszula K,Carinne A P, Rufus L,*et al.* The effect of pH on metal accumulation in two alyssum species[J]. Journal of Environmental Quality, 2004, 33: 2090-2102.
- [42] 张电学,韩志卿,王秋兵,等. 长期不同施肥制度下土壤有机质质量动态变化规律[J]. 土壤通报,2007,38(2):251-255.
- [43] 赵其国,孙波,张桃林. 土壤质量与持续环境 II. 土壤质量评价的碳氮指标[J]. 土壤,1997,4:169-175.

## Effects of land use regimes on soil physical and chemical properties in the Longzhong part of Loess plateau

LI Xiao-dong, WEI Long, ZHANG Yong-chao, GUO Ding, LI Xu-dong, FU Hua

(Key Laboratory of Grassland Agro-ecosystem, Ministry of Agriculture, College of Pastoral Agricultural Science and Technology, Lanzhou University, Lanzhou 730020, China)

**Abstract:** In this study we analyzed soil physical and chemical properties in croplands which were cultivated under traditional tillage for at least 50 years and grasslands which had been restored from cropping for 20 years in the Loess Plateau in Gansu Longzhong. 1) Different land uses resulted in significant differences in soil organic carbon (SOC), total nitrogen, total phosphorous, available phosphorous, soil bulk density and soil pH. In surface soil (0–10 cm), SOC contents were significantly higher in grasslands than those in croplands, while total nitrogen was not significantly different. In the soil layers from 20 to 100 cm, SOC and total nitrogen contents were significantly ( $P < 0.05$ ) higher in croplands than those in grasslands. The soil total phosphorous was higher in croplands than that in grasslands but not significantly so. In the soil profile down to 100 cm, the C/N ratios in croplands were much higher than those in grasslands, except for the 0–10 cm layer. The soil pH in grasslands was significantly ( $P < 0.05$ ) higher than that in croplands in each layer. The soil bulk densities in the grasslands were higher than in croplands, except for the 10–20 cm layer. 2) The SOC and total nitrogen decreased with soil depth in grasslands, but this was only found in the soil layers below 30 cm in croplands; In the upper 30 cm soil layers, SOC increased with depth. Total phosphorous did not show significant differences in different soil layers in grasslands while in croplands, the changes of total phosphorous showed the same trends as those of SOC and total nitrogen. The available phosphorous contents decreased with soil depth in both grasslands and croplands while the soil pH was the reverse. 3) In both grasslands and croplands, soil organic carbon, total nitrogen, total phosphorous and available phosphorous showed significant negative correlations with soil BD and soil pH. There were significant positive correlation between soil BD and soil pH. Significant positive correlations were also found between SOC, total nitrogen, total phosphorous and available phosphorous.

**Key words:** grassland; cropland; soil physical and chemical properties; Loess plateau