

安塞县农田土壤养分现状分析*

韩磊¹, 李锐^{1,2}, 朱会利³

(1 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2 中国科学院/水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100;

3 陕西理工学院 经贸系, 陕西 汉中 723000)

[摘要] 【目的】分析地处西北内陆黄土高原腹地、具有典型丘陵沟壑特征的陕西省安塞县农田土壤 pH 值和养分的现状及其相关性, 为黄土高原丘陵沟壑区提高土地生产力和培肥土壤提供理论依据。【方法】采集安塞县 12 个乡镇有代表性并能充分反映土壤特性的农田耕层(0~20 cm) 土样 4 231 个, 对其 pH 值及有机质、全氮、碱解氮和速效磷、钾含量进行测定, 分析土壤 pH 值与各养分含量间的相关性。【结果】安塞县农田土壤 pH 值为 8.16, 偏碱性, 变异程度为弱变异。土壤有机质、全氮含量分别为 8.73 和 0.54 g/kg, 碱解氮、速效磷、速效钾含量分别为 31.11, 8.79 和 100.68 mg/kg, 其中只有速效钾的含量达到了中等肥力水平, 其他养分含量均处于中等以下肥力水平; 各养分含量均为中等变异。土壤 pH 值与有机质、碱解氮、速效钾含量呈显著或极显著负相关, 有机质含量与全氮、碱解氮和速效磷含量呈显著或极显著正相关。【结论】安塞县农田土壤养分含量较低, 土壤有机质含量和 pH 值影响着土壤速效养分的含量, 今后应积极推广配方施肥技术, 推进退耕还林还草工程, 以提高土壤肥力水平。

[关键词] 土壤养分; pH; 安塞县

[中图分类号] S158.3

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2011)05-0091-07

Research on the current farmland soil nutrient in Ansai

HAN Lei¹, LI Rui^{1,2}, ZHU Huili³

(1 College of Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2 Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources,

Yangling, Shaanxi 712100, China; 3 Economy & Trade Department, Shaanxi University of

Technology, Hanzhong, Shaanxi 723000, China)

Abstract: 【Objective】 Ansai, a typical hilly-gully region, is located in the middle of the Loess Plateau. The research studied the status and correlation of farmland soil pH value and nutrient content, to provide a basis to improve soil productivity and fertility. 【Method】 Soil pH, organic matter, total N, alkali hydrolyzable nitrogen, available P, and available K were measured in 4 231 farmland soil samples of 0-20 cm from 12 villages in Ansai. The correlation between soil pH and nutrient content was analyzed. 【Result】 The farmland soil pH value was 8.16, which was alkaline, a weak variation. Organic matter, total N, alkali hydrolyzable nitrogen, available P and available K were 8.73 g/kg, 0.54 g/kg, 31.11 mg/kg, 8.79 mg/kg and 100.68 mg/kg, only the available K content was at the medium fertility level, other soil nutrient content was at low or lower level, and the variation of each soil nutrient content was middle. The correlation between pH value and organic matter, alkali hydrolyzable nitrogen and available K was significantly or extremely negative. The correlation between organic matter and total N, alkali hydrolyzable nitrogen and available P was significantly or extremely positive. 【Conclusion】 The fertility of farmland soil was very poor

* [收稿日期] 2011-03-02

[基金项目] 国家重点基础研究发展计划项目“中国主要水蚀区土壤侵蚀过程与调控研究”(2007CB407203)

[作者简介] 韩磊(1979-),男,新疆精河人,博士,主要从事土地管理与空间信息技术研究。E-mail: hanshuanlei@126.com

[通信作者] 李锐(1946-),男,河北磁县人,研究员,博士生导师,主要从事水土保持、水土流失动态遥感监测研究。

E-mail: lirui@ms.iswc.ac.cn

in Ansai. Soil organic matter and pH value affected the content of available nutrient. The implementation of balanced fertilization and the Grain for Green Project could improve soil fertility in the future.

Key words: soil nutrient; pH; Ansai

土壤是农业生产的基础,土壤基本理化性质的分布及与之有关的土质变化,不仅关系到粮食生产和生态环境的持续发展,而且影响着某一区域在全国生态环境战略布局中的地位^[1]。陕西省安塞县地处西北内陆黄土高原腹地,是典型的丘陵沟壑区,土地利用方式多变,土壤类型多样,退化问题突出,肥力水平低下,严重制约着当地农业生产的发展^[2-6]。目前关于安塞县土壤养分的研究工作多集中在坡耕地和小流域方面,在不同利用类型和土层剖面的土壤养分布特征方面取得了较好的成果^[7-11],但是对安塞县农田土壤养分的总体分布特征研究却较少。为此,本研究对安塞县农田土壤 pH 值、有机质、全氮、碱解氮、速效磷、速效钾等养分含量进行了调查,应用 SPSS 统计软件分析土壤养分状况,并与退耕初期土壤养分状况进行比较,探讨了安塞县农田土壤养分分布特征及总体变化趋势,旨在为黄土高原丘陵沟壑区土地生产力的提高和土壤培肥提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况^[8]

安塞县地处西北内陆黄土高原腹地、鄂尔多斯盆地边缘,地理位置为北纬 36°31′~37°19′,东经 108°51′~109°26′,南北长 92 km,东西宽 36 km,东临子长县和宝塔区,西与志丹县交界,南与甘泉县接壤,北与靖边县毗邻。

安塞县属典型的大陆性半干旱季风气候,夏秋

多雨,冬季严寒干燥。年日照时数 2 415.5 h,辐射总量 480.06 kJ/cm²,无霜期 160~180 d,平均气温 8.8℃,≥10℃活动积温 3 177.4℃,年平均降水量 505.3 mm,年蒸发量 1 645.4 mm。该区地形地貌复杂多样,主要为梁峁状黄土丘陵,沟谷发育,土壤侵蚀作用十分强烈。土壤以黄绵土为主,约占总面积的 95%。土壤的成土母质主要有黄土和洪积冲积物 2 大类,黄土土层深厚,县域面积 2 950 km²,水土流失面积 2 320.2 km²,占总土地面积的 78.7%,是黄河中游水土流失重点县之一,也是西北典型的生态环境脆弱区。

1.2 土样采集

土壤采集于 2009-04 在安塞县 12 个乡镇展开,按照地区方位、面积,结合安塞县各乡镇的行政区划,选出有代表性并能充分反映土壤特性的农田按“S”形进行采样,采样深度为 0~20 cm,共采集 4 231 个有代表性的耕层土样。

1.3 测定项目及方法

测定前,将土壤样品自然风干,按常规方法^[12]处理。土壤 pH 值用酸度计测定($V(\text{蒸馏水}) : m(\text{土}) = 1 : 1$),有机质用重铬酸钾容量法测定,全氮含量采用半微量凯氏定氮法测定,碱解氮采用康卫皿法测定,速效磷采用 Olsen 法测定,速效钾用醋酸铵浸提-原子吸收光谱法测定^[12-13]。土壤 pH 值及养分含量的分级标准依据全国第二次土壤普查土壤养分(以纯 N、P、K 表示)分级标准^[14](表 1、表 2)进行。

表 1 土壤 pH 值分级标准

Table 1 Standard of soil pH

分级 Level	极强酸性 Highly acidity	强酸性 Strong acidity	酸性 Acidity	中性 Normal	碱性 Alkaline	强碱性 Strong alkaline	极强碱性 Highly alkaline
土壤 pH pH of soil	≤4.5	4.5~5.5	5.5~6.5	6.5~7.5	7.5~8.5	8.5~9.5	≥9.5

表 2 土壤养分含量分级标准

Table 2 Standard of soil nutrient content

级别 Level	丰缺状况 Rich or lack of conditions	有机质/ (g·kg ⁻¹) Organic matter	全氮/ (g·kg ⁻¹) Total N	碱解氮/ (mg·kg ⁻¹) Available N	速效磷/ (mg·kg ⁻¹) Available P	速效钾/ (mg·kg ⁻¹) Available K
I	极高 Highest	> 40	> 2.0	> 150	> 40	> 200
II	高 High	30~40	1.5~2.0	120~150	20~40	150~200
III	中等 Medium	20~30	1.0~1.5	90~120	10~20	100~150
IV	低 Low	10~20	0.7~1.0	60~90	5~10	50~100
V	较低 Lower	6~10	0.5~0.7	30~60	3~5	30~50
VI	极低 Lowest	< 6	< 0.5	< 30	< 3	< 30

1.4 数据的统计分析

采用 EXCEL2003、SPSS17.0 等软件进行数据录入、统计和分析。

2 结果与分析

2.1 安塞县土壤 pH 值的分布状况

土壤 pH 值既是土壤在其形成过程中受生物、气候、地质、水文等因素综合作用所产生的重要属性,也是影响土壤肥力的一个重要因素。其对土壤的一系列其他性质,如土壤中微生物的活性、元素(包括营养元素和有毒元素)的转化与释放、微量元素(包括重金属元素)的生物有效性强弱、土壤发生过程中元素的迁移等有重要影响^[15-17]。

土壤 pH 值的频率分布特征不仅反映了其在土壤中分布的总貌,而且在某种程度上包含了地形条件、土地利用和土壤类型等环境因素对其影响的相关信息。对土壤 pH 值的频率分布进行检验发现,安塞县土壤 pH 值为左偏态分布,偏度为 -0.03,峰度为 0.12(图 1)。

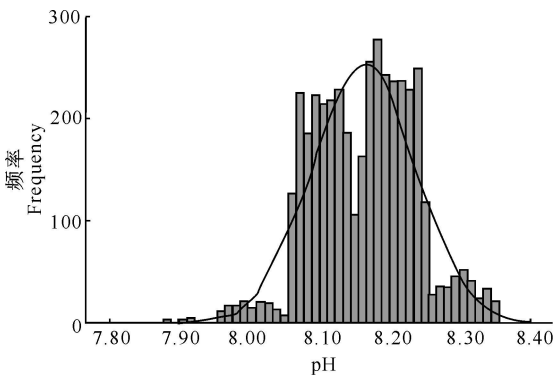


图 1 陕西省安塞县农田土壤 pH 值的频率分布

Fig. 1 Frequency distribution of farmland soil pH in Ansai County of Shaanxi Province

由表 3 和表 4 可看出,在安塞县 12 个乡镇中,王窑乡土壤 pH 值最高,为 8.19;真武洞镇土壤 pH 值最低,为 8.14。安塞县土壤 pH 值为 5.10~10.21,平均值为 8.16,属于碱性土壤。易亮等^[18]和侯琳等^[19]研究表明,可用变异系数(CV)来反映土壤的变异性,认为 $CV \leq 10\%$ 时为弱变异性, $10\% < CV \leq 100\%$ 时为中等变异性, $CV > 100\%$ 时为强变异性。安塞县土壤 pH 值变异系数为 1.10%,属于弱变异性,说明安塞县土壤 pH 值变异程度很小,这与研究区的自然环境有关。自然条件下土壤的 pH 值主要取决于土壤的盐基状况,而土壤盐基状况又取决于淋溶过程和复盐基过程的强弱^[20]。在研究

区多年平均降水量较少的情况下(505.3 mm),土壤淋溶过程和复盐基过程较弱,短期内对土壤 pH 值影响不大,所以土壤 pH 值实际上由成土母质和生物过程控制,而研究区成土母质和生物过程的变异较小^[21],因此,安塞县土壤 pH 值的变异也较小。从区域上来讲,安塞县南部沟壑塌坝区土壤 pH 最低(8.15),中部川台坝区和北部梁峁沟壑区土壤 pH 值相同(8.16)。同时,与 2000 年安塞县的土壤 pH 平均值(8.20,数据来源于安塞县农业技术推广站,未公开报道)相比,2009 年 pH 平均值下降了 0.04。

表 3 陕西省安塞县农田土壤的 pH 值
Table 3 Farmland soil pH in Ansai County of Shaanxi Province

区域 Area	乡镇名称 Countries and towns	pH
北部梁峁沟壑区 The ridge hill and gully region in the north	镰刀湾乡 Liandaowan Country	8.15
	化子坪镇 Huaziping Town	8.15
	王家湾乡 Wangjiawan Country	8.16
	楼坪乡 Louping Country	8.16
中部川台坝区 The loess terrace like plain and deposited behind dam region in the middle	建华镇 Jianhua Town	8.15
	真武洞镇 Zhenwudong Town	8.14
	王窑乡 Wangyao Country	8.19
南部沟壑塌坝区 The gully and deposited behind dam region in the south	招安镇 Zhaoan Town	8.16
	沿河湾镇 Yanhewan Town	8.17
	砖窑湾镇 Zhuanyaowan Town	8.15
	高桥乡 Gaoqiao Country	8.15
	坪桥镇 Pingqiao Town	8.15

表 4 陕西省安塞县农田土壤 pH 值的统计特征值
Table 4 Statistical feature values of farmland soil pH in Ansai County of Shaanxi Province

指标 Index	pH
平均值 Average	8.16
最大值 Maximum	10.21
最小值 Minimum	5.10
标准差 SD	0.09
变异系数/ % CV	1.10

2.2 安塞县土壤养分含量的分布状况

土壤肥力是作物生长发育的重要限制因子,其养分状况是制定各种规划、进行农林牧合理布局 and 产业结构调整的主要依据之一。

土壤有机质含量是土壤肥力分级的重要指标和肥力高低的综合表现,影响有机质含量的因素很多,其中包括耕作模式、施肥状况、降水量、海拔和温度等^[22]。安塞县土壤有机质频率分布为右偏态分布,偏度为 0.28,峰度为 2.74(图 2)。由表 5 和表 6 可以看出,安塞县土壤有机质含量为 3.19~19.13 g/kg,平均为 8.73 g/kg。依据全国第二次土壤普查土壤养分分级标准^[14],安塞县土壤有机质平均含

量为 V 级, 土壤肥力较低。土壤有机质含量最大值与最小值之间差异高达 6 倍, 变异系数为 14.71%, 属于中等变异。在安塞县 12 个乡镇中, 有机质含量最高的为真武洞镇和镰刀湾乡, 均为 9.28 g/kg; 其

次为招安镇和高桥乡, 有机质含量分别为 9.25 和 9.20 g/kg; 最低的为王家湾乡, 有机质含量为 7.50 g/kg, 均属较低肥力土壤。

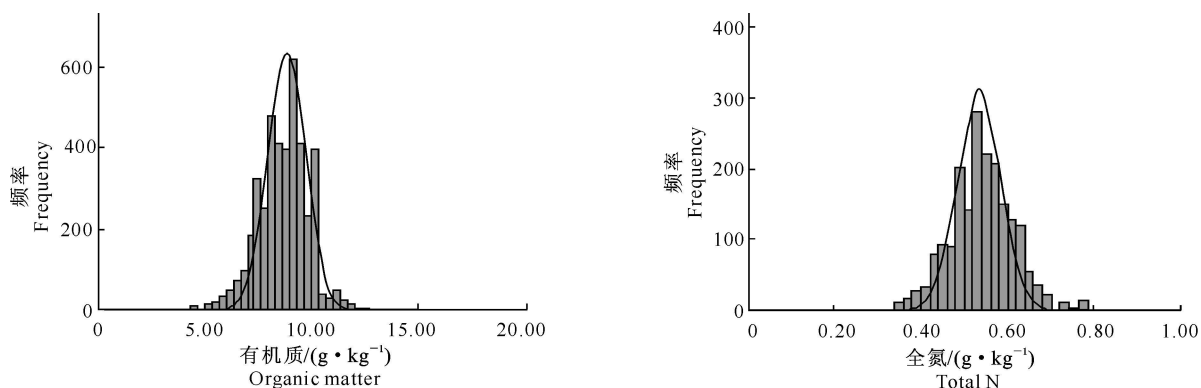


图 2 陕西省安塞县农田土壤有机质和全氮的频率分布

Fig.2 Frequency distribution of farmland soil organic matter and total N in Ansai County of Shaanxi Province

表 5 陕西省安塞县农田土壤养分含量

Table 5 Farmland soil nutrient content in Ansai County of Shaanxi Province

区域 Area	乡镇名称 Countries and towns	有机质/ (g·kg ⁻¹) Organic matter	全氮/ (g·kg ⁻¹) Total N	碱解氮/ (mg·kg ⁻¹) Alkali hydrolyzabled nitrogen	速效磷/ (mg·kg ⁻¹) Available P	速效钾/ (mg·kg ⁻¹) Available K
北部梁峁沟壑区 The ridge hill and gully region in the north	镰刀湾乡 Liandaowan Country	9.28	0.57	28.75	8.98	98.28
	化子坪镇 Huaziping Town	7.66	0.50	22.92	7.15	95.50
	王家湾乡 Wangjiawan Country	7.50	0.49	25.31	7.44	94.03
	楼坪乡 Louping Country	8.29	0.54	25.80	9.00	96.78
	建华镇 Jianhua Town	8.26	0.53	24.84	8.43	97.73
中部川台坝区 The loess terrace like plain and deposited behind dam region in the middle	真武洞镇 Zhenwudong Town	9.28	0.55	37.43	8.98	113.76
	王窑乡 Wangyao Country	8.92	0.54	37.00	9.26	96.07
	招安镇 Zhaoan Town	9.25	0.54	36.58	9.60	112.59
	沿河湾镇 Yanhewan Town	8.96	0.53	36.35	9.08	99.74
南部沟壑坝区 The gully and deposited behind dam region in the south	砖窑湾镇 Zhuanyaowan Town	8.99	0.53	30.24	9.14	98.43
	高桥乡 Gaoqiao Country	9.20	0.58	27.90	9.18	96.00
	坪桥镇 Pingqiao Town	8.49	0.51	25.55	8.59	89.64

表 6 陕西省安塞县农田土壤养分含量的统计特征值

Table 6 Statistical feature values of farmland soil nutrient content in Ansai County of Shaanxi Province

指标 Index	有机质/(g·kg ⁻¹) Organic matter	全氮/(g·kg ⁻¹) Total N	碱解氮/(mg·kg ⁻¹) Alkali hydrolyzabled nitrogen	速效磷/(mg·kg ⁻¹) Available P	速效钾/(mg·kg ⁻¹) Available K
平均值 Average	8.73	0.54	31.11	8.79	100.68
最大值 Maximum	19.13	0.87	77.00	14.56	196.00
最小值 Minimum	3.19	0.15	13.00	3.50	55.00
标准差 SD	1.28	0.07	7.86	1.32	14.81
变异系数/% CV	14.71	13.84	25.26	15.02	14.71

安塞县土壤全氮频率分布为右偏态分布, 偏度为 0.05, 峰度为 1.01(图 2)。由表 5 和表 6 可以看出, 土壤全氮含量为 0.15~0.87 g/kg, 平均为 0.54 g/kg, 为 V 级, 属于较低水平; 变异系数为 13.84%, 属于中等变异。在安塞县 12 个乡镇中, 高桥乡土壤全氮含量最高, 为 0.58 g/kg; 其次为镰刀湾乡, 为 0.57 g/kg; 王家湾乡最低, 为 0.49 g/kg, 土壤全氮含量属于极低水平。

安塞县土壤碱解氮频率分布为右偏态分布, 偏度为 0.65, 峰度为 1.06(图 3)。由表 5 和表 6 可以看出, 土壤碱解氮含量为 13.00~77.00 mg/kg, 平均为 31.11 mg/kg, 为 V 级, 属于较低水平; 土壤碱解氮变异系数为 25.26%, 属于中等变异。在安塞县 12 个乡镇中, 真武洞镇土壤碱解氮含量最高, 为 37.43 mg/kg; 其次为王窑乡和招安镇, 分别为 37.00 和 36.58 mg/kg; 化子坪镇最低, 为 22.92 mg/kg。

安塞县土壤速效磷频率分布为左偏态分布, 偏度为-0.02, 峰度为1.07(图3)。由表5和表6可以看出, 土壤速效磷含量为3.50~14.56 mg/kg, 平均值为8.79 mg/kg, 为IV级, 属于低水平; 变异系数为15.02%, 属中等变异。在安塞县12个乡镇中, 招安镇土壤速效磷含量最高, 为9.60 mg/kg; 其次为王窑乡和高桥乡, 分别为9.26和9.18 mg/kg; 化子坪镇最低, 为7.15 mg/kg。

安塞县土壤速效钾频率分布为右偏态分布, 偏度为1.03, 峰度为2.01(图3)。由表5和表6可以看出, 土壤速效钾含量为55.00~196.00 mg/kg, 平均值为100.68 mg/kg, 为II级, 属于中等水平; 变异系数为14.71%, 属中等变异。在安塞县12个乡镇中, 真武洞镇和招安镇土壤速效钾含量均较高, 分别为113.76和112.59 mg/kg, 均属于中等水平; 坪桥镇最低, 为89.64 mg/kg, 属于低水平。

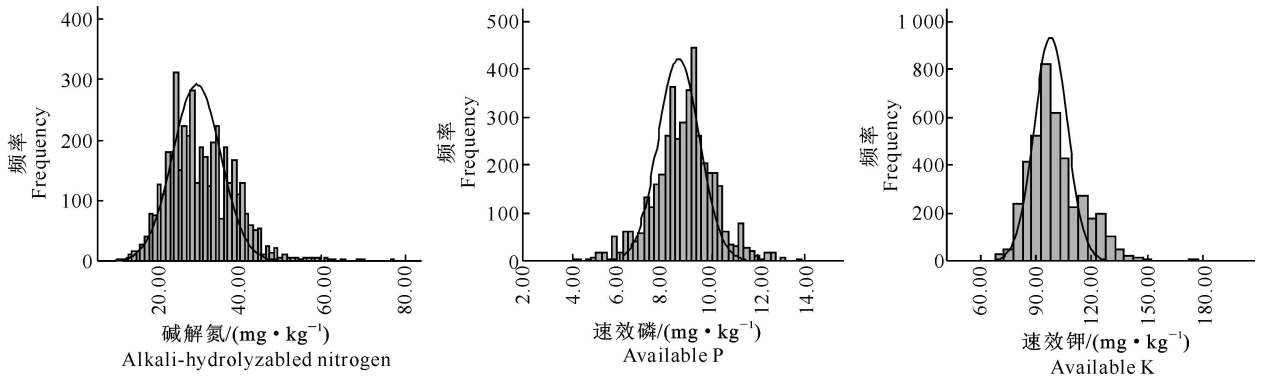


图 3 陕西省安塞县农田土壤碱解氮、速效磷和速效钾的频率分布

Fig. 3 Frequency distribution of farmland soil alkali hydrolyzabled nitrogen, available P and available K in Ansai County of Shaanxi Province

以上研究表明, 安塞县土壤养分含量总体较低, 变异程度均为中等偏下, 土壤肥力变化不大。从区域上讲, 安塞县中部川台坝区土壤养分含量(有机质含量9.11 g/kg、全氮含量0.54 g/kg、碱解氮含量36.84 mg/kg、速效磷含量9.23 mg/kg、速效钾含量105.54 mg/kg)最高, 其次为南部沟壑坝区(有机质含量8.89 g/kg、全氮含量0.54 g/kg、碱解氮含量27.90 mg/kg、速效磷含量8.97 mg/kg、速效钾含量94.69 mg/kg), 北部梁峁沟壑区(有机质含量8.19 g/kg、全氮含量0.53 g/kg、碱解氮含量25.52 mg/kg、速效磷含量8.20 mg/kg、速效钾含量96.46 mg/kg)最低。同时, 与2000年安塞县土壤养分测定数据(数据来源于安塞县农业技术推广站, 未曾公开报道)相比, 2009年有机质(8.73 g/kg)、全氮

(0.54 g/kg)、碱解氮(31.11 mg/kg)、速效磷(8.79 mg/kg)、速效钾(100.68 mg/kg)含量分别为2000年土壤养分含量(有机质含量6.21 g/kg、全氮含量0.38 g/kg、碱解氮含量23.14 mg/kg、速效磷含量4.85 mg/kg、速效钾含量92.67 mg/kg)的1.41, 1.42, 1.34, 1.81和1.08倍。表明各养分含量均得到了不同程度的提高, 其中全氮和碱解氮含量由极低水平提高至较低水平, 速效磷含量由较低水平提高至低水平, 速效钾含量由低水平提高至中等水平, 说明安塞县土壤养分条件得到了一定的改善。

2.3 安塞县土壤 pH 值和养分含量的相关性分析
土壤养分受诸多因素影响, 各养分之间既各自独立又相互联系, 共同对作物生长发育提供支持^[23-25]。土壤 pH 值和养分含量的相关性分析见表7。

表 7 陕西省安塞县农田土壤 pH 值和养分含量的相关性分析

Table 7 Correlation between farmland soil pH and nutrient content in Ansai County of Shaanxi Province

指标 Index	有机质 Organic matter	全氮 Total N	碱解氮 Alkali hydrolyzabled nitrogen	速效磷 Available P	速效钾 Available K	pH
有机质 Organic matter	1.000					
全氮 Total nitrogen	0.653*	1.000				
碱解氮 Alkali hydrolyzabled nitrogen	0.620**	0.440*	1.000			
速效磷 Available P	0.668**	0.471*	0.562	1.000		
速效钾 Available K	0.507	0.384	0.518	0.490**	1.000	
pH	-0.371*	-0.473	-0.504**	0.131	-0.612*	1.000

注: * 表示在 0.05 水平相关性显著; ** 表示在 0.01 水平相关性极显著。

Note: * means weak relative at the 0.05 probability levels; ** means weak relative at the 0.01 probability levels.

由表 7 可以看出, 土壤 pH 值与土壤有机质和速效钾含量均呈显著负相关, 相关系数分别为 -0.371 和 -0.612; 与土壤碱解氮含量呈极显著负相关, 相关系数为 -0.504。土壤有机质含量与全氮含量呈显著正相关, 相关系数为 0.653; 与土壤碱解氮、速效磷含量呈极显著正相关, 相关系数分别为 0.620 和 0.668。表明速效养分作为土壤重要组分和植物直接利用的有效成分, 其含量受土壤 pH 值和有机质含量的影响较大。

3 结论与讨论

1) 安塞县农田土壤属于碱性土壤, 变异程度很小, 为弱变异性, 2009 年 pH 值较 2000 年下降了 0.04。2009 年土壤各养分含量变异度不大, 均为中等变异, 总体含量偏低, 其中有机质、全氮、碱解氮含量处于较低肥力水平, 速效磷含量处于低肥力水平, 而速效钾含量达到了中等肥力水平, 各养分含量较 2000 年有了一定的提高。究其原因, 可能是因为安塞县自推行退耕还林工程以来, 总计退耕面积达 $7.64 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 而退耕土地多为水土流失严重、肥力贫瘠的农田, 这就使得现有的农田整体养分含量有所提高; 退耕还林使水土流失得以控制, 缓解了土壤养分的大量流失, 为养分的累积和生物利用奠定了基础。此外, 2009 年安塞县农田化肥施用量为 105.66 kg/hm^2 (折纯量), 2000 年为 92.58 kg/hm^2 (折纯量), 增加了 14.1%, 化肥施用量的增加也提高了土壤的养分含量 (数据根据《安塞县统计年鉴 (2000, 2009)》计算整理)。

2) 安塞县土壤 pH 值、有机质含量与土壤速效养分含量之间关系密切。作为土壤重要组分和植物直接利用的有效成分, 土壤速效养分含量受土壤 pH 值和有机质含量的影响较大。本研究发现, 安塞县土壤 pH 值、有机质含量和速效养分含量间存在着较好的相关性, 其中 pH 值与土壤有机质和速效钾含量呈显著负相关, 与土壤碱解氮含量呈极显著负相关; 土壤有机质含量与土壤全氮、碱解氮、速效磷含量的相关性也达到了显著或极显著水平, 说明安塞县土壤中有机质的转化与 N 素循环及 P 素转化关系密切, 且相互影响。

3) 安塞县山高坡陡、沟壑纵横, 水土流失是导致该县土壤退化、肥力水平低的主要原因^[8]。今后应积极推广配方施肥技术, 增加肥料施用量, 推进退耕还林还草工程, 防止土壤侵蚀, 控制水土流失, 以提高安塞县土壤肥力水平, 促进农业生产。

志谢: 本研究得到了安塞县人民政府、农业技术推广站的大力帮助, 在此表示感谢。

[参考文献]

- [1] 马博虎, 刘毅, 李世清, 等. 黄土高原生态环境建设与土壤质量演变 [J]. 生态经济, 2007(3): 39-46.
Ma B H, Liu Y, Li S Q, et al. Effect of eco system environment rebuild in the Loess Plateau on soil quality [J]. Ecological Economy, 2007(3): 39-46. (in Chinese)
- [2] 唐克丽. 中国水土保持 [M]. 北京: 科学出版社, 2004.
Tang K L. Soil and water conservation in China [M]. Beijing: China Science Press, 2004. (in Chinese)
- [3] 王闰平, 高志强, 苗果园, 等. 黄土丘陵沟壑区实施退耕还林还草战略资源条件与对策 [J]. 中国生态农业学报, 2001, 9(3): 43-44.
Wang R P, Gao Z Q, Miao G Y, et al. Resource conditions and countermeasures implementing the strategy of returning the grain plots to forestry and grass on Loess Hilly Area [J]. Chinese Journal of Eco Agriculture, 2001, 9(3): 43-44. (in Chinese)
- [4] 李香兰, 宋才焱. 安塞新修黄绵土农地有机质分解及土壤有效态养分变化 [J]. 水土保持研究, 1996, 3(2): 29-35.
Li X L, Song C C. Decomposition of organic matter and variation of available nutrient in newly built farmland of loessal in Ansai County [J]. Research of Soil and Water Conservation, 1996, 3(2): 29-35. (in Chinese)
- [5] 刘新卫, 陈百明. 黄土丘陵区安塞县县域粮食生产潜力及其开发 [J]. 农业工程学报, 2004, 20(6): 286-290.
Liu X W, Chen B M. Potential grain productivity and its exploitation of a county in Loess hilly gully region [J]. Transactions of the CSAE, 2004, 20(6): 286-290. (in Chinese)
- [6] 杜英, 杨改河, 刘志超. 黄土丘陵沟壑区退耕还林还草工程生态服务价值评估 [J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2008, 36(6): 131-139.
Du Y, Yang G H, Liu Z C. Evaluation on ecosystem service value of converting farmland into forest and grassland project in Loess Hilly and Gully Areas [J]. Journal of Northwest A & F University: Nat Sci Ed, 2008, 36(6): 131-139. (in Chinese)
- [7] 张晓霞, 李占斌, 李鹏. 陕北黄土高原坡耕地土壤养分特征研究 [J]. 沈阳农业大学学报, 2010, 41(3): 342-345.
Zhang X X, Li Z B, Li P. Soil nutrient characteristics of slope farmland in Loess Plateau [J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2010, 41(3): 342-345. (in Chinese)
- [8] 刘梦云, 寇宝平, 常庆瑞, 等. 安塞小流域土壤养分分布特征研究 [J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2002, 30(6): 21-24.
Liu M Y, Kou B P, Chang Q R, et al. Soil nutrient distribution in the small watershed of Ansai [J]. Journal of Northwest A & F University: Nat Sci Ed, 2002, 30(6): 21-24. (in Chinese)
- [9] 马祥华, 焦菊英. 黄土丘陵沟壑区退耕地自然恢复植被特征及其与土壤环境的关系 [J]. 中国水土保持科学, 2005, 3(2): 15-22.

- Ma X H, Jiao J Y. Characteristics of vegetation with natural restoration in removal lands in loess hilly-gully region and the relationship between the characteristics and soil environment [J]. Science of Soil and Water Conservation, 2005, 3(2): 15-22. (in Chinese)
- [10] 黄思光,李世清,王启勇,等.黄土高原丘陵沟壑区植被恢复过程对土壤剖面矿质氮累积影响:以纸坊沟流域试验区为例[J].水土保持学报,2004,18(6):58-62.
Huang S G, Li S Q, Wang Q Y, et al. Influence of vegetation restoration process on mineral nitrogen accumulation in soil profile in hilly and gully region of Loess Plateau: Sample with Zhifanggou watershed experimental area [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2004, 18(6): 58-62. (in Chinese)
- [11] 阿守珍,卜耀军,温仲明,等.黄土丘陵区不同植被类型土壤养分效应研究[J].西北林学院学报,2006,21(6):58-62.
E S Z, Bo Y J, Wen Z M, et al. Research on effect of different types of vegetation on nutrient changes in Loess Hilly Region [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2006, 21(6): 58-62. (in Chinese)
- [12] 中国科学院南京土壤研究所.土壤理化分析[M].上海:上海科学技术出版社,1978.
Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences. Analysis of soil physical and chemical properties [M]. Shanghai: Shanghai Scientific & Technical Publishers, 1978. (in Chinese)
- [13] 中国农业大学.农业化学[M].北京:农业出版社,1979.
China Agriculture University. Agriculture chemistry [M]. Beijing: China Agriculture Press, 1979. (in Chinese)
- [14] 陕西省农业勘察设计院.陕西农业土壤[M].西安:陕西科学技术出版社,1982.
Survey and Design Institute of Agriculture in Shaanxi. Agricultural soil in Shaanxi [M]. Xi'an: Shaanxi Scientific & Technical Publishers, 1982. (in Chinese)
- [15] Crocker R L. Soil development in relation to vegetation and surface age at Glacier Bay, Alaska [J]. Journal of Ecology, 1955, 43: 427-448.
- [16] Viereck L A. Plant succession and soil development on gravel outwash of the Muldrow Glacier, Alaska [J]. Ecological Monographs, 1966, 36: 181-199.
- [17] 杨士琦,杨正礼.黄土高原生态系统演替进程中土壤有机质和pH值变化规律[J].水土保持研究,2008,15(2):159-163.
Yang S Q, Yang Z L. The changes of soil organic matter and pH in the course of ecosystem succession in the Loess Plateau [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2008, 15(2): 159-163. (in Chinese)
- [18] 易亮,李凯荣,张冠华,等.渭北黄土高原经济林地土壤养分特征研究[J].水土保持研究,2009,16(2):186-190.
Yi L, Li K R, Zhang G H, et al. Research on soil nutrients characteristics of economic forest in Weiwei Loess Plateau [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2009, 16(2): 186-190. (in Chinese)
- [19] 侯琳,雷瑞德,王得祥,等.黄龙山林区封育油松林土壤养分研究[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2007,35(2):63-68.
Hou L, Lei R D, Wang D X, et al. Study on soil nutrient and enzyme in hill closed and afforested natural secondary *Pinus tabulaeformis* forest land in Huanglong mountain [J]. Journal of Northwest A&F University: Nat Sci Ed, 2007, 35(2): 63-68. (in Chinese)
- [20] 黄昌勇.土壤学[M].北京:中国农业出版社,2000.
Huang C Y. Soil science [M]. Beijing: China Agricultural Press, 2000. (in Chinese)
- [21] 魏孝荣,邵明安.黄土高原小流域土壤pH、阳离子交换量和有机质分布特征[J].应用生态学报,2009,20(11):2710-2715.
Wei X R, Shao M A. Distribution characteristics of soil pH, CEC and organic matter in a small watershed of the Loess Plateau [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2009, 20(11): 2710-2715. (in Chinese)
- [22] 钟国辉,田发益,旺姆,等.西藏主要农区农田土壤肥力研究[J].土壤学报,2005,42(6):1030-1034.
Zhong G H, Tian F Y, Wang M, et al. Soil fertility of croplands in major agricultural areas in Tibet [J]. Acta Pedologica Sinica, 2005, 42(6): 1030-1034. (in Chinese)
- [23] 韩凤朋,张兴昌,郑纪勇.黄河中游土壤有机质与氮磷相关性分析[J].人民黄河,2007,29(4):58-59.
Han F P, Zhang X C, Zheng J Y. Study on correlation between soil organic and N, P in soil in middle reaches of Yellow River [J]. Yellow River, 2007, 29(4): 58-59. (in Chinese)
- [24] 张建杰,李富忠,胡克林,等.太原市农业土壤全氮和有机质的空间分布特征及其影响因素[J].生态学报,2009,29(6):3163-3172.
Zhang J J, Li F Z, Hu K L, et al. Spatial characteristics and impact factors of soil total nitrogen and soil organic matter in Taiyuan [J]. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(6): 3163-3172. (in Chinese)
- [25] 周永娟,侯彦林,李红英,等.吉林省玉米主产区土壤有机质和速效养分分布特征[J].土壤通报,2008,39(5):1038-1041.
Zhou Y J, Hou Y L, Li H Y, et al. Distribution of soil organic matter and available nutrient in maize zone of Jilin province [J]. Chinese Journal of Soil Science, 2008, 39(5): 1038-1041. (in Chinese)