

网络出版时间:2013-07-18 16:03  
网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20130718.1603.030.html>

# 不同土地利用方式下土壤有机碳与其他土壤理化指标的关系

郭月峰<sup>1a</sup>,姚云峰<sup>1a</sup>,秦富仓<sup>1b</sup>,祁伟<sup>2</sup>,王欣<sup>1a</sup>

(1 内蒙古农业大学 a 生态环境学院, b 林学院, 内蒙古 呼和浩特 010018; 2 内蒙古水利水电勘测设计院, 内蒙古 呼和浩特 010020)

**【摘要】**【目的】研究不同土地利用方式下土壤有机碳与其他土壤理化指标的关系,旨在为低山丘陵区土壤改良提供参考。【方法】2012-07-09,在内蒙古赤峰市低山丘陵区,通过野外调查和室内分析,运用灰色关联分析和逐步回归分析,对敖汉旗黄花甸子小流域山杏(*Prunus sibirica*)林、柠条(*Caragana microphylla*)林、小叶杨(*Populus simonii*)林、白榆(*Ulmus pumila*)林、天然草地、油松×山杏(*Pinus tableulaeformis*×*P. sibirica*)混交林、天然次生灌木林及农业用地 8 种土地利用方式下,土壤有机碳、全氮、有效磷、速效钾、微生物生物量碳含量及 pH 值进行了测定,并对土壤有机碳与其他土壤理化指标的关系进行了分析。【结果】山杏林、柠条林、小叶杨林、白榆林、天然草地、油松×山杏混交林、天然次生灌木林及农业用地 0~100 cm 土层有机碳含量平均值差异明显,分别为 7.72,5.23,7.40,6.11,3.14,10.26,17.51 和 5.33 g/kg。不同土地利用方式下土壤有机碳与全氮、pH 值、微生物生物量碳、速效钾及有效磷的关联系数分别为 0.70,0.66,0.63,0.57 及 0.55。在灰色关联分析的基础上,最终建立了土壤有机碳与其他土壤理化指标的最优回归方程。【结论】不同土地利用方式的土壤有机碳含量差异较大,土壤有机碳与其他土壤理化指标的关联系数由大到小排序为:全氮>pH 值>微生物生物量碳>速效钾>有效磷;建立的土壤有机碳(Y)与全氮(X<sub>2</sub>)、pH 值(X<sub>5</sub>)最优回归方程为: $Y=-6.2698+19.3832X_2-0.0102X_5$ , $R^2=0.85$ 。

**【关键词】** 土地利用方式;土壤有机碳;土壤理化指标;内蒙古低山丘陵区

**【中图分类号】** S153 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 1671-9387(2013)08-0103-07

## Relationship between soil organic carbon with other soil physical and chemical indexes of different land use types

GUO Yue-feng<sup>1a</sup>, YAO Yun-feng<sup>1a</sup>, QIN Fu-cang<sup>1b</sup>, QI Wei<sup>2</sup>, WANG Xin<sup>1a</sup>

(1 a College of Ecology and Environmental Science, b College of Forestry, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot, Inner Mongolia 010018, China; 2 Design Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power in Inner Mongolia, Hohhot, Inner Mongolia 010020, China)

**Abstract:** 【Objective】 This study aimed to research the relationship between soil organic carbon and other soil physical and chemical indexes. 【Method】 Field investigation and laboratory analysis using grey correlation and stepwise regression analysis were applied to analyze soil properties including total nitrogen, available P, available K, pH and microbial C in Aohan County of Huanghuadianzi Small Watershed. Eight land use types, *Prunus sibirica* land, *Caragana microphylla* land, *Populus simonii* land, *Ulmus pumila* land, *Pinus tableulaeformis*×*Prunus sibirica* land, secondary forest of natural bush land, natural grassland

\* [收稿日期] 2013-03-27  
[基金项目] 内蒙古应用研究与开发计划项目“农林牧耦合生态系统固碳关键技术”(20110732);中国科学院战略性先导科技专项(XDA05060602)  
[作者简介] 郭月峰(1982—),女,内蒙古乌海人,博士,主要从事水土保持与荒漠化防治研究。  
E-mail: guoyuefeng0525@126.com  
[通信作者] 姚云峰(1959—),男,内蒙古阿拉善左旗人,教授,博士生导师,主要从事水土保持与荒漠化防治研究。  
E-mail: yaoyunfeng@yahoo.com

and agricultural land were adopted to explore the correlation between soil organic carbon and other soil physical and chemical indexes. 【Result】 The results showed that soil organic carbon contents of *Prunus sibirica* land, *Caragana microphylla* land, *Populus simonii* land, *Ulmus pumila* land, natural grassland, *Pinus tableulaeformis* × *Prunus sibirica* land, secondary forest of natural bush land and agricultural land with 0—100 cm soil layer were 7.72, 5.23, 7.40, 6.11, 3.14, 10.26, 17.51 and 5.33 g/kg, respectively and the differences were significant ( $P<0.05$ ). The grey relational coefficients between soil total nitrogen, pH, microbial biomass carbon, soil available K, available P and organic carbon were 0.70, 0.66, 0.63, 0.57 and 0.55, respectively. An optimal stepwise regression equation between organic carbon and other soil chemical indexes was built as well. 【Conclusion】 The contents of soil organic carbons of different land use types were in a decreasing order of secondary forest of natural bush land>mixed plantation forest>pure plantation forest>agricultural land>natural grassland. The grey relational coefficients were in a decreasing order of total nitrogen>pH> microbial C>available K>available P. An optimal stepwise regression equation between soil organic carbon ( $Y$ ) and total nitrogen ( $X_2$ ) and pH ( $X_5$ ) was obtained ( $Y = -6.2698 + 19.3832X^2 - 0.0102X^5, R^2 = 0.85$ ).

**Key words:** land use type; soil organic carbon; other soil physical and chemical indexes; the low hilly land in Inner Mongolia

土壤有机碳不仅是土壤肥力的物质基础之一,而且还是土壤结构形成并起稳定作用的核心物质,间接影响土壤理化性状<sup>[1]</sup>。不同土地利用方式对土壤有机碳含量影响不同,植被通过改变土壤中有机物向下输入的数量和质量以及土壤有机质的分解速率,进而影响土壤有机碳含量,并导致土壤性状、肥力不同<sup>[2-4]</sup>。有关学者对不同土地利用方式下土壤有机碳状况进行了报道,但这些研究主要集中在有机碳含量比较<sup>[5-8]</sup>及有机碳与其他土壤因子相关性的定性研究方面<sup>[9-16]</sup>,而有关具体土壤理化指标对有机碳影响程度的排序,以及采用这些因子建立的有机碳最优回归模型还鲜见报道。本试验对内蒙古赤峰黄花甸子流域不同土地利用方式下土壤有机碳、全氮、有效磷、速效钾、pH 值及微生物生物量碳变化进行了研究,运用灰色关联法分析了有机碳与其他土壤理化指标的关联程度,在此基础上进一步运用逐步回归分析原理建立了土壤有机碳的最优回归模型,旨在为研究区土壤改良及科学施肥提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

研究区位于内蒙古赤峰市敖汉旗西部黄花甸子流域,该流域位于老哈河中游南岸,科尔沁沙地南缘,该地区总体属于低山丘陵区,地处 42°17'N~42°33'N, 119°36'E~119°53'E,海拔在 440~906 m。属于中温带半干旱大陆性季风气候区,四季分明。

年均降雨量为 400~470 mm,年均蒸发量为 2 290~2 400 mm。全年日照数为 2 940~3 060 h,历年平均日照数 2 999.3 h,10℃以上积温为 3 189℃。春季风力大、持续时间较长,年平均风速 4~6 m/s。土壤类型大部分为栗钙土,伴随着少量的风沙土,pH 值呈弱碱性或碱性。该流域主要有天然草地、灌丛林、乔灌混交林、针阔混交林和阔叶纯林等森林植被类型,主要以人工植被为主。主要乔灌木有山杏(*Prunus sibirica*)、柠条(*Caragana microphylla*)、小叶杨(*Populus simonii*)、白榆(*Ulmus pumila*)、油松(*Pinus tableulaeformis*)等。

### 1.2 研究方法

调查取样于 2012-07-09 进行,布点取样按照全面性、均衡性、客观性的原则<sup>[17]</sup>,先调查后分析。对流域内主要土地利用方式进行典型选样,样地详情见表 1。林、草地每种模式选定 3 个 20 m×20 m 的植被样方,按照对角线法分别于样方的四角和中心进行土壤样品采集。农业用地选择生长状况基本一致的田块,按照随机取样布点法,共布置土壤样点数 75 个。取土深度均为 100 cm,分为 0~10, 10~20, 20~40, 40~60 及 60~100 cm 5 个土层,每个土层取 3 个重复。本研究分析数据均取 0~100 cm 土层的平均值。

土样测定指标有土壤有机碳、全氮、有效磷、速效钾、pH 值及微生物生物量碳。有机碳含量测定采用重铬酸钾-浓硫酸外加热法,全氮含量测定采用半微量开氏蒸馏法,有效磷含量测定采用碳酸氢钠

浸提-钼锑抗比色法,速效钾含量测定采用乙酸氨浸提-火焰光度法,pH 值测定采用 pH 酸度计电位法,微生物生物量碳含量测定采用氯仿熏蒸法<sup>[18]</sup>。

表 1 不同土地利用方式下各样地的基本特征  
Table 1 Basic characteristics of different land use types

| 土地利用方式<br>Land use type                                            | 平均年<br>龄/年<br>Average<br>age | 林分密度/<br>(株·m <sup>-2</sup> )<br>Density | 盖度/%<br>Coverage | 林分郁<br>闭度/%<br>Canopy<br>density | 平均<br>树高/m<br>Average<br>height                                                          | 平均<br>胸径/cm<br>Average<br>diameter                                                    | 主要地被物<br>Ground cover                                                                                                                                                                                        |
|--------------------------------------------------------------------|------------------------------|------------------------------------------|------------------|----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 山杏林<br><i>P. sibirica</i><br>land                                  | 28                           | 0.08                                     | 45               | —                                | 2.30                                                                                     | —                                                                                     | 赖草、达乌里胡枝子、苜蓿及萎陵菜<br><i>Leymus secalinus</i> (Georgi) Tzvel,<br><i>Lespedeza davurica</i> , <i>Medicago sativa</i> Linn.,<br><i>Potentilla chinensis</i> ser                                                  |
| 柠条林<br><i>C. microphylla</i><br>land                               | 29                           | 0.25                                     | 55               | —                                | 1.57                                                                                     | —                                                                                     | 达乌里胡枝子、铁杆蒿<br><i>L. davurica</i> , <i>Compositae</i>                                                                                                                                                         |
| 小叶杨林<br><i>P. simonii</i><br>land                                  | 28                           | 0.04                                     | —                | 29                               | 6.40                                                                                     | 11                                                                                    | 甘草、麻籽、猪毛菜、麻披子草、蒺藜及狗尾草<br><i>Glycyrrhiza uralensis</i> , <i>Cannabis stiva</i> L.,<br><i>Salsola collina</i> Pall., <i>Elymus nutans</i> .,<br><i>Medicago tuncatula</i> , <i>Setaira Viridis</i> (L.)        |
| 白榆林<br><i>U. pumila</i><br>land                                    | 30                           | 0.10                                     | —                | 39                               | 5.10                                                                                     | 9                                                                                     | 铁杆蒿、达乌里胡枝子及萎陵菜<br><i>Compositae</i> , <i>L. davurica</i> ,<br><i>P. chinensis</i> ser                                                                                                                        |
| 天然草地<br>Natural<br>grassland                                       | —                            | —                                        | 25.3             | —                                | —                                                                                        | —                                                                                     | 达乌里胡枝子、铁杆蒿及甘草<br><i>L. davurica</i> , <i>Compositae</i> ,<br><i>G. uralensis</i>                                                                                                                             |
| 油松×山杏混交林<br><i>P. tableulaeformis</i> ×<br><i>P. sibirica</i> land | 28                           | 0.05                                     | 44               | —                                | 油松<br><i>P. tableulae-</i><br><i>formis</i><br>5.74,<br>山杏<br><i>P. sibirica</i><br>1.90 | 油松<br><i>P. tableulae-</i><br><i>formis</i><br>2.18,<br>山杏<br><i>P. sibirica</i><br>— | 萎陵菜、达乌里胡枝子、铁杆蒿、<br>沙打旺及苜蓿<br><i>P. chinensis</i> ser, <i>L. davurica</i> ,<br><i>Compositae</i> , <i>Astragalus adsurgens</i> ,<br><i>M. sativa</i> Linn.                                                    |
| 天然次生灌木林<br>Secondary forest<br>of natural<br>bush land             | —                            | —                                        | 67               | —                                | —                                                                                        | —                                                                                     | 黄榆、虎榛子、土庄绣线菊及针茅<br><i>Ulmus macrocarpa</i> ,<br><i>Ostryopsis davidiana</i> ,<br><i>S. pubescens</i> Turcz. var. <i>lasiocarpa</i> ,<br><i>Stipa capillata</i> Linn.                                         |
| 农业用地<br>Agricultural land                                          | —                            | —                                        | —                | —                                | —                                                                                        | —                                                                                     | 谷子、高粱、玉米、黍子、荞麦及绿豆<br><i>Setaria italica</i> , <i>Sorghum vulgare</i> ,<br><i>Zea mays</i> L.,<br><i>Panicum miliaceum</i> ,<br><i>Fagopyrum esculentum</i> , <i>Vigna</i><br><i>radiata</i> (Linn.) Wilczek) |

1.3 数据处理

1.3.1 不同土地利用方式下各土壤指标可靠性的检验 在进行灰色关联分析之前,为确保分析数据的可靠性,应对试验数据的统计学特征进行分析,本试验中各土壤指标的基本参数主要包括均值、极差、方差、标准差、标准误、变异系数、偏度系数及峰度系数,各参数具体计算方法详见文献[19]。

1.3.2 灰色关联分析 灰色关联分析法的基本思路是:根据各比较数列集构成的曲线族与参考数列构成的曲线之间的几何相似程度,来确定二者间的关联程度,曲线越接近,关联系数越大,相应序列之间的关联程度就越大,反之就越小<sup>[20]</sup>。

参考数列设为  $Y_0(k)$ ,比较数列设为  $Y_i(k)$ ,  $i=1,2,3,\dots,m$ ,序列长为  $N$ ,关联分析主要为确定  $Y_i(k)$ 与  $Y_0(k)$ 之间的关联系数。计算方法见文献[20]。

1.3.3 逐步回归分析 逐步回归分析的基本原理是从一个自变量开始,根据各自变量对因变量  $Y$  作用的显著程度,依次将各自变量引入回归方程,当引入的自变量对  $Y$  影响不显著时,需将该变量及后面引入的变量剔除。当引入一个自变量或从方程中剔除一个自变量时,都要对方程进行  $F$  值检验,以确保每次引入新变量前回归方程中只包括对  $Y$  作用显著的变量。这个过程反复进行,直至既无不显著变量从方程中剔除,又无显著变量可引入方程时为止。

构建回归方程是否可以使用的诊断依据为:1)回归方程方差分析的  $F$  值 $\geq F_{0.05}$ ,且表示显著水平的  $P\leq 0.05$ ,否则所建立的方程不能用;2)Durbin-Watson 检验统计量  $d$  是否接近于 2;3)各个回归系数的偏相关系数  $Pr\leq 0.05$ <sup>[20]</sup>。

2 结果与分析

2.1 不同土地利用方式下土壤有机碳含量的比较

不同土地利用方式下土壤有机碳含量的比较见表 2。由表 2 可以看出,8 种土地利用方式下土壤有机碳含量方差均较小,即实测值围绕均值的波动较

小;变异系数在 0.05~0.35,属弱变异。小叶杨林地土壤有机碳的峰度系数大于 3,说明土壤有机碳含量基本围绕均值波动;其余土地利用方式下土壤有机碳含量偏度系数、峰度系数基本在 1 左右,故认为土壤有机碳含量接近正态分布,试验数据可靠。

表 2 不同土地利用方式下土壤有机碳含量的比较

Table 2 Comparison of soil organic carbon contents of different land use types

| 土地利用方式<br>Land use type                                         | 样本容量<br>Sample size | 均值/<br>(g·kg <sup>-1</sup> )<br>Average | 极差/<br>(g·kg <sup>-1</sup> )<br>Range | 方差<br>Variance | 标准差/<br>(g·kg <sup>-1</sup> )<br>Standard deviateon | 标准误/<br>(g·kg <sup>-1</sup> )<br>Standard error | 变异系数<br>Variation coefficient | 偏度系数<br>Skewness | 峰度系数<br>Kurtosis |
|-----------------------------------------------------------------|---------------------|-----------------------------------------|---------------------------------------|----------------|-----------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------|------------------|------------------|
| 山杏林 <i>P. sibirica</i> land                                     | 45                  | 7.72 bcd                                | 2.72                                  | 0.92           | 0.96                                                | 0.14                                            | 0.12                          | -0.14            | -1.53            |
| 柠条林 <i>C. microphylla</i> land                                  | 45                  | 5.23 d                                  | 2.21                                  | 0.37           | 0.61                                                | 0.09                                            | 0.11                          | 0.19             | -0.05            |
| 小叶杨林 <i>P. simonii</i> land                                     | 45                  | 7.40 bcd                                | 3.69                                  | 0.81           | 0.90                                                | 0.13                                            | 0.12                          | -1.35            | 3.72             |
| 白榆林 <i>U. pumila</i> land                                       | 45                  | 6.11 ab                                 | 4.12                                  | 1.69           | 1.30                                                | 0.19                                            | 0.21                          | 0.86             | -0.07            |
| 天然草地 Natural grassland                                          | 45                  | 3.14 cd                                 | 2.58                                  | 1.22           | 1.11                                                | 0.16                                            | 0.35                          | -0.40            | -2.11            |
| 油松×山杏混交林<br><i>P. tableulaeformis</i> × <i>P. sibirica</i> land | 45                  | 10.26 bc                                | 2.72                                  | 0.79           | 0.89                                                | 0.13                                            | 0.09                          | -1.12            | 0.12             |
| 天然次生灌木林<br>Secondary forest of<br>natural bush land             | 45                  | 17.51 cd                                | 2.73                                  | 0.80           | 0.89                                                | 0.13                                            | 0.05                          | 0.03             | -1.41            |
| 农业用地 Agricultural land                                          | 225                 | 5.33 cd                                 | 2.7                                   | 0.66           | 0.77                                                | 0.11                                            | 0.16                          | 0.46             | 0.56             |

注:同列数据后标不同小写字母者表示差异显著( $P<0.05$ )。  
Note:The data in same column with different lowercase letters indicate significant difference( $P<0.05$ ).

由表 2 还可知,不同土地利用方式下土壤有机碳含量差异明显,土壤有机碳含量由大到小排序依次为:天然次生灌木林地>油松×山杏混交林地>人工纯林(山杏、小叶杨、白榆、柠条)地>农业用地>天然草地。天然草地土壤有机碳含量比山杏林地、柠条林地、小叶杨林地、白榆林地、油松×山杏混交林地及天然次生灌木林地分别低 59.33%,39.96%,57.57%,40.14%,69.40%,82.07%。天然次生灌木林地有机碳含量比山杏林地、柠条林地、小叶杨林地、白榆林地、油松×山杏混交林地及农业用地分别高 126.81%,234.80%,136.21%,186.58%,70.66%,228.51%。这是因为天然次生灌木林受人为扰动程度较轻,有机碳流失相对较少,

所以有机碳含量较高。油松×山杏混交林地有机碳含量之所以高于人工纯林地,是因混交林更能合理地利用林地资源,进而对有机碳积累起到了一定的积极作用。天然草地有机碳含量较低,是因为天然草地土壤质地相对较黏,结构紧实,不利于拦渗蓄水,加之径流的冲刷,故其截留养分能力相对较差<sup>[21]</sup>。而农业用地由于每年进行施肥,这为土壤有机碳的积累起到了一定促进作用。

2.2 不同土地利用方式下土壤有机碳与其他土壤理化指标的灰色关联分析

不同土地利用方式下土壤微生物生物量碳、全氮、有效磷、速效钾含量及 pH 值测定结果见表 3。

表 3 不同土地利用方式下土壤理化指标的测定结果

Table 3 Soil physical and chemical indexes of different land use types

| 不同土地利用方式<br>Land use type                                       | 微生物生物量碳/<br>(mg·kg <sup>-1</sup> )<br>Microbial biomass C | 全氮/<br>(g·kg <sup>-1</sup> )<br>Total N | 有效磷/<br>(mg·kg <sup>-1</sup> )<br>Available P | 速效钾/<br>(mg·kg <sup>-1</sup> )<br>Available K | pH   |
|-----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------|------|
| 山杏林 <i>P. sibirica</i> land                                     | 387.45                                                    | 0.64                                    | 1.82                                          | 55.15                                         | 8.41 |
| 柠条林 <i>C. microphylla</i> land                                  | 395.19                                                    | 0.37                                    | 0.64                                          | 59.14                                         | 8.57 |
| 小叶杨林 <i>P. simonii</i> land                                     | 285.34                                                    | 0.53                                    | 3.86                                          | 59.15                                         | 8.56 |
| 白榆林 <i>U. pumila</i> land                                       | 607.40                                                    | 0.45                                    | 4.46                                          | 76.84                                         | 8.69 |
| 天然草地 Natural grassland                                          | 382.16                                                    | 0.38                                    | 0.96                                          | 57.49                                         | 8.61 |
| 油松×山杏混交林<br><i>P. tableulaeformis</i> × <i>P. sibirica</i> land | 796.22                                                    | 0.62                                    | 3.32                                          | 84.13                                         | 8.39 |
| 天然次生灌木林<br>Secondary forest of natural bush land                | 637.47                                                    | 0.95                                    | 5.26                                          | 71.23                                         | 8.40 |
| 农业用地 Agricultural land                                          | 366.19                                                    | 0.52                                    | 5.31                                          | 92.22                                         | 8.49 |

本研究对 8 种土地利用方式下的土壤微生物生物量碳、全氮、有效磷、速效钾及 pH 值的基本参数进行了计算,可知各指标的平均方差、极差、标准差、标准误和变异系数分别为 1.14,4.02,1.07,0.14 和 0.28;偏度系数和峰度系数基本在 1 左右,最大不超过 4,说明本试验数据可靠(因篇幅所限,本文未详

表 4 不同土地利用方式下土壤有机碳与其他土壤理化指标的均值化处理结果

Table 4 Averaged results between soil organic carbon and other soil physical and chemical indexes of different land use types

| 不同土地利用方式<br>Land use type                                       | 微生物生物量碳<br>(X <sub>1</sub> )<br>Microbial biomass C | 全氮<br>(X <sub>2</sub> )<br>Total N | 有效磷<br>(X <sub>3</sub> )<br>Available P | 速效钾<br>(X <sub>4</sub> )<br>Available K | pH<br>(X <sub>5</sub> ) | 有机碳<br>(Y)<br>Organic C |
|-----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 山杏林 <i>P. sibirica</i> land                                     | 0.86                                                | 1.15                               | 0.46                                    | 0.70                                    | 0.97                    | 1.07                    |
| 柠条林 <i>C. microphylla</i> land                                  | 0.89                                                | 0.68                               | 0.16                                    | 0.77                                    | 1.01                    | 0.75                    |
| 小叶杨林 <i>P. simonii</i> land                                     | 0.63                                                | 0.97                               | 0.98                                    | 0.76                                    | 0.10                    | 1.05                    |
| 白榆林 <i>U. pumila</i> land                                       | 1.34                                                | 0.81                               | 1.13                                    | 0.99                                    | 1.01                    | 0.86                    |
| 天然草地 Natural grassland                                          | 0.83                                                | 0.68                               | 0.24                                    | 0.72                                    | 0.99                    | 0.44                    |
| 油松×山杏混交林<br><i>P. tableulaeformis</i> × <i>P. sibirica</i> land | 1.75                                                | 1.11                               | 0.83                                    | 1.06                                    | 0.96                    | 1.42                    |
| 天然次生灌木林 Secondary<br>forest of natural bush land                | 1.38                                                | 1.68                               | 1.29                                    | 0.89                                    | 0.95                    | 2.40                    |
| 农业用地 Agricultural land                                          | 0.83                                                | 0.96                               | 1.36                                    | 1.20                                    | 0.10                    | 0.76                    |

表 5 土壤有机碳与其他土壤理化指标的关联系数

Table 5 Correlation coefficients between soil organic carbon and other soil physical and chemical indexes

| 编号<br>Code     | 因子<br>Factor                   | 关联系数<br>Correlation coefficient |
|----------------|--------------------------------|---------------------------------|
| X <sub>2</sub> | 全氮 Total N                     | 0.70                            |
| X <sub>5</sub> | pH                             | 0.66                            |
| X <sub>1</sub> | 微生物生物量碳<br>Microbial biomass C | 0.63                            |
| X <sub>4</sub> | 速效钾 Available K                | 0.57                            |
| X <sub>3</sub> | 有效磷 Available P                | 0.55                            |

从表 5 可以看出,有机碳与其他土壤理化指标的关联系数由大到小为:全氮>pH>微生物生物量碳>速效钾>有效磷。可知土壤有机碳与全氮和 pH 值关联较为密切,关联系数均较高;与微生物生物量碳、速效钾的关联次之;与有效磷关联最不密切,相比全氮与有机碳的关联系数相差 0.15。

2.3 土壤有机碳与其他土壤理化指标最优回归方程的确定

在确定了土壤有机碳与其他土壤理化指标关联系数的基础上,可进一步来确定他们之间的最优回归方程。在 DPS 操作系统下,首先引入与土壤有机碳(Y)关联系数最大的全氮(X<sub>2</sub>),可得到他们二者之间的回归方程为:

$$Y=-4.018\ 6+23.527\ 4X_2,\ R^2=0.65。$$

经计算此方程的  $F=19.15>F_{0.05(1,10)}=4.96$ ,  $P=0.001\ 3<0.05$ ,说明全氮对土壤有机碳影响显著;经 Durbin-Watson 检验,可知统计量  $d=1.84\approx 2$ ;偏相关系数  $Pr(Y,X_2)=0.001\ 0<0.05$ 。说明

列各参数值)。

不同土地利用方式下土壤有机碳含量与其他土壤理化指标的量纲不同,因此需对原始数据进行消量纲处理。本研究采用均值化对原始数据进行处理,结果见表 4。采用表 4 数据,求得的有机碳与其他土壤理化指标的关联系数如表 5 所示。

所建立的回归方程可用。

依次引入与土壤有机碳灰关联系数较高的因子 pH(X<sub>5</sub>),构建的土壤有机碳与全氮、pH 值三者之间的回归方程为:

$$Y=-6.269\ 8+19.383\ 2X_2-0.010\ 2X_5,\ R^2=0.85。$$

经计算可知该方程  $F=19.78>F_{0.05(2,9)}=4.26$ ,  $P=0.000\ 5<0.05$ ,说明 pH 对土壤有机碳影响显著;经 Durbin-Watson 检验,可知统计量  $d=2.478$ ;偏相关系数  $Pr(Y,X_2)=0.001\ 3<0.05$ ,  $Pr(Y,X_5)=0.019\ 8<0.05$ 。可知构建的回归方程可用。

依次引入第 3 个因子微生物生物量碳(X<sub>1</sub>),构建的回归方程为:

$$Y=-2.191\ 5+0.055\ 2X_1+19.060\ 2X_2-0.010\ 9X_5,\ R^2=0.81。$$

经计算,  $F=4.129>F_{0.05(3,8)}=4.07$ ,表明微生物生物量碳对土壤有机碳的影响显著,但微生物生物量碳对土壤有机碳影响程度较前 2 个因子要小;经 Durbin-Watson 检验,可知统计量  $d=2.711\approx 3$ ;  $Pr(Y,X_1)=0.197\ 2>0.05$ ,  $Pr(Y,X_2)<0.05$ ,  $Pr(Y,X_5)=0.013\ 0<0.05$ 。综合分析,引入微生物生物量碳(X<sub>1</sub>)后所建方程不可用。

鉴于引入微生物生物量碳时所建方程已不可用,所以剩余因子速效钾和有效磷的引入没有意义。故最终确定的土壤有机碳与其他土壤理化指标的最优回归方程为:

$$Y=-6.269\ 8+19.383\ 2X_2-0.010\ 2X_5,\ R^2=0.85。$$

### 3 结 论

不同土地利用方式下 0~100 cm 土层有机碳含量由大到小排序为天然次生灌木林地>油松×山杏混交林地>人工纯林(山杏、小叶杨、白榆、柠条)地>农业用地>天然草地。通过灰色关联分析可知,有机碳与其他土壤理化性质关联程度由大到小的排序为:全氮>pH>微生物生物量碳>速效钾>有效磷;在此基础上建立的土壤有机碳( $Y$ )与全氮( $X_2$ )、pH 值( $X_5$ )最优回归方程为: $Y=-6.269\ 8+19.383\ 2X_2-0.010\ 2X_5$ , $R^2=0.85$ 。

### [参考文献]

[1] 周程爱,张于光,肖 烨,等. 土地利用变化对川西米亚罗林土壤活性碳库的影响 [J]. 生态学报,2009,29(8):4542-4547.  
Zhou C A,Zhang Y G,Xiao Y,et al. The effect of land use changes on soilactive organic carbon pool in Miyaluo forest zone of the western Sichuan [J]. Acta Ecologica Sinica,2009,29(8):4542-4547. (in Chinese)

[2] Eswaran H, Van den Berg E, Reich P. Organic carbon in soils of the world [J]. Soil Science Society of America Journal,1993,57:192-194.

[3] 孟静娟,史学军,潘剑君,等. 农业利用方式对土壤有机碳库大小及周转的影响研究 [J]. 水土保持学报,2009,23(6):144-148.  
Meng J J, Shi X J, Pan J J, et al. Effects of agricultural land use types on soil organic carbon pool size and turnover [J]. Journal of Soil and Water Conservation,2009,23(6):144-148. (in Chinese)

[4] 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.  
Shao Y H, Pan J J, Sun B. Study on characteristics of soil organic carbon decompositions and carbon pool under different vegetations [J]. Journal of Soil and Water Conservation,2005,19(3):24-28. (in Chinese)

[5] 贾国梅,张宝林,刘 成,等. 三峡库区不同植被覆盖对土壤碳的影响 [J]. 生态环境,2008,17(5):2037-2040.  
Jia G M,Zhang B L,Liu C,et al. Effects of different vegetation cover on soil carbon in Three Gorges Reservoir [J]. Ecology and Environment,2008,17(5):2037-2040. (in Chinese)

[6] 何牡丹. 土壤有机质及全量养分变异特征研究:以新疆和田绿洲及其过渡带为例 [D]. 乌鲁木齐:新疆师范大学,2008.  
He M D. Study on the variability of soil organic matter and entire nutrient:Take Hotan oasis and the desert-oasis ecotone in Xinjiang as the example [D]. Urumqi:Xinjiang Normal University,2008. (in Chinese)

[7] Abrams M M,Jacobson P J,Jacobson K M,et al. Survey of soil chemical properties across a landscape in the Namib desert [J]. Journal of Arid Environments,1997,35:29-38.

[8] 张 杨,梁爱华,王平平,等. 黄土丘陵区不同植被恢复模式土

壤养分效应 [J]. 西北农业学报,2010,19(9):114-118.  
Zhang Y,Liang A H,Wang P P,et al. Effect of different vegetation restoration models on soil fertility in Zhifanggou watershed in gully region of Loess region [J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica,2010,19(9):114-118. (in Chinese)

[9] 林培松,高全洲. 韩江流域典型区几种森林土壤有机碳储量和养分库分析 [J]. 热带地理,2009,29(4):329-334.  
Lin P S,Gao Q Z. Soil organic carbon storage and nutrients pools of several forest types in typical area of Hanjiang River Basin [J]. Tropical Geography,2009,29(4):329-334. (in Chinese)

[10] 李 强,马明东,刘跃建,等. 几种人工林土壤有机碳和养分研究 [J]. 土壤通报,2008,39(5):1035-1037.  
Li Q,Ma M D,Liu Y J,et al. Study on soil organic carbon and nutrients under the different plantations [J]. Chinese Journal of Soil Science,2008,39(5):1035-1037. (in Chinese)

[11] 蒋文伟,周国模,余树全,等. 安吉山地主要森林类型土壤养分状况的研究 [J]. 水土保持学报,2004,18(4):73-76,100.  
Jiang W W,Zhou G M,Yu S Q,et al. Research on nutrient status of soils under main forest types in Anji Mountainous Region [J]. Journal of Soil and Water Conservation,2004,18(4):73-76,100. (in Chinese)

[12] 刘 伟,陈积民,高 阳,等. 黄土高原草地土壤有机碳分布及其影响因素 [J]. 土壤学报,2012,49(1):68-76.  
Liu W,Cheng J M,Gao Y,et al. Distribution of soil organic carbon in grassland on loess plateau and its influencing factous [J]. Acta Pedologica Sinica,2012,49(1):68-76. (in Chinese)

[13] 吕盼忠,李保国,崔 燕. 不同植被群落下土壤有机质和有效磷的小尺度空间变异 [J]. 中国农业科学,2006,39(8):1581-1588.  
Lü Y Z,Li B G,Cui Y. Micro-Scale spatial variance of soil nutrients under different plant communitis [J]. Scientia Agricultura Sinica,2006,39(8):1581-1588. (in Chinese)

[14] 贺 亮. 黄土高原和秦岭地区几种人工林有机碳储量及植被对环境影响的初步研究 [D]. 陕西杨凌:西北农林科技大学,2007.  
He L. A preliminary study of the impact on the environment of several plantations organic carbon storage and vegetation in Loess Plateau and Qinling [D]. Yangling,Shaanxi:Northwest A&F University,2007. (in Chinese)

[15] 赵锐锋,张丽华,赵海莉,等. 黑河中游湿地土壤有机碳分布特征及其影响因素 [J]. 地理科学,2013(2):55-62.  
Zhao R F,Zhang L H,Zhao H L,et al. Distribution of soil organic carbon of wetlands in the middle reaches of the Heihe River and its influencing factors [J]. Scientia Geographica Sinica,2013(2):55-62. (in Chinese)

[16] Tan Z X,Lal R,Smeck N E,et al. Relationships between surface soil organic carbon pool and site variables [J]. Geoderma,2004,121(3/4):187-195.

[17] 罗佑新,张龙庭,李 敏. 灰色系统理论及其在机械工程中的应用 [M]. 长沙:国防科技大学出版社,2001.  
Luo Y X,Zhang L T,Li M. Gray system theory and its appli-

cation in mechanical engineering [M]. Changsha: National University of Defense Technology Press, 2001. (in Chinese)

[18] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.

Bao S D. Soil agricultural chemistry analysis [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2000. (in Chinese)

[19] 马金惠. 内蒙古河套灌区不同引水水平对地下水环境变化的预测研究 [D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2011.

Ma J H. Prediction and Research on the change of groundwater environment on the conditions of different diversion level in Hetao irrigation district of Inner Mongolia [D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2011. (in Chinese)

[20] 唐启义. DPS 数据处理系统 [M]. 北京: 科学出版社, 2010.

Tang Q Y. The DPS data processing system [M]. Beijing: Science Press, 2010. (in Chinese)

[21] 李品荣, 孟广涛, 李国昌. 不同土地利用方式下土地地力变化和水土流失状况研究 [J]. 水土保持研究, 2009, 16(3): 95-99.

Li P R, Meng G T, Li G C. Study on land capacity change and soil erosion on different landuse types [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2009, 16(3): 95-99. (in Chinese)

.....

(上接第 102 页)

[20] 陈 峰, 袁玉江, 魏文寿, 等. 树轮记录的过去 384a 乌鲁木齐河源 7 月温度变化 [J]. 冰川冻土, 2011, 33(1): 55-63.

Chen F, Yuan Y J, Wei W S, et al. July temperature at the upper treeline recorded in the tree-ring in the headwaters of the Urumqi river [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2011, 33(1): 55-63. (in Chinese)

[21] 陈 峰, 袁玉江, 魏文寿, 等. 用西伯利亚落叶松年轮最大密度重建和布克赛尔 5—8 月份平均最高温度 [J]. 生态学报, 2010, 30(17): 4652-4658.

Chen F, Yuan Y J, Wei W S, et al. Dendroclimatic reconstruction of mean maximum May-August temperature from the maximum density of the *Larix sibirica* in Hoboksar, China [J]. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(17): 4652-4658. (in Chinese)

[22] 吴征镒. 中国植被 [M]. 北京: 科学出版社, 1980: 1-1382.

Wu Z Y. China vegetation [M]. Beijing: Science Press, 1980: 1-1382. (in Chinese)

[23] 孙 毓, 王丽丽, 陈 津, 等. 利用兴安落叶松树轮最大晚材密度重建大兴安岭北部 5—8 月气温变化 [J]. 科学通报, 2012, 57(19): 1785-1793.

Sun Y, Wang L L, Chen J, et al. Reconstructing mean maximum temperatures of May—August from tree-ring maximum density in North Dahinggan Mountains, China [J]. Chinese Science Bulletin, 2012, 57(19): 1785-1793. (in Chinese)

[24] 王经民, 戴夏燕, 柳建军. 树木年轮所标志的气候演变过程的动力学特征 [J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2005, 33(12): 73-77.

Wang J M, Dai X Y, Liu J J. Dynamic character of climatic evolutionary process for tree growth-ring [J]. Journal of Northwest A&F University: Natural Science Edition, 2005, 33(12): 73-77. (in Chinese)

[25] 刘 禹, 王财勇, 郝文俊, 等. 利用树轮宽度重建过去 238 年来内蒙古喀喇沁年降水量 [J]. 科学通报, 2011, 56(25): 2052-2059.

Liu Y, Wang C Y, Hao W J, et al. Tree-ring-based annual precipitation reconstruction in Kalaqin, Inner Mongolia for the last 238 years [J]. Chinese Science Bulletin, 2011, 56(25): 2052-2059. (in Chinese)

[26] Allen K, Drew D M, Downes G M, et al. Ring width, climate and wood density relationship in two long-lived Tasmanian tree species [J]. Dendrochronologia, 2012, 30: 167-177.

[27] Chen F, Yuan Y J, Wei W S. Climatic response of *Picea crassifolia* tree-ring parameters and precipitation reconstruction in the western Qilian Mountains, China [J]. Journal of Arid Environment, 2011, 75: 1121-1128.

[28] 梁尔源, 邵雪梅, 黄 磊, 等. 中国中西部地区树木年轮对 20 世纪 20 年代干旱灾害的指示 [J]. 自然科学进展, 2004, 14(4): 469-474.

Liang E Y, Shao X M, Huang L, et al. The indicator of the nineteen twenties drought from tree-ring data in the central and western regions of China [J]. Progress in Natural Science, 2004, 14(4): 469-474. (in Chinese)

[29] Meehl G A, Arblaster J M. The tropospheric biennial oscillation and Indian Monsoon rainfall [J]. Geophysical Research Letters, 2001, 28: 1731-1734.

[30] Marcin K, Philipp D. Tree ring width and wood density as the indicators of climatic factors and insect outbreaks affecting spruce growth [J]. Ecological Indicators, 2012, 23: 332-337.