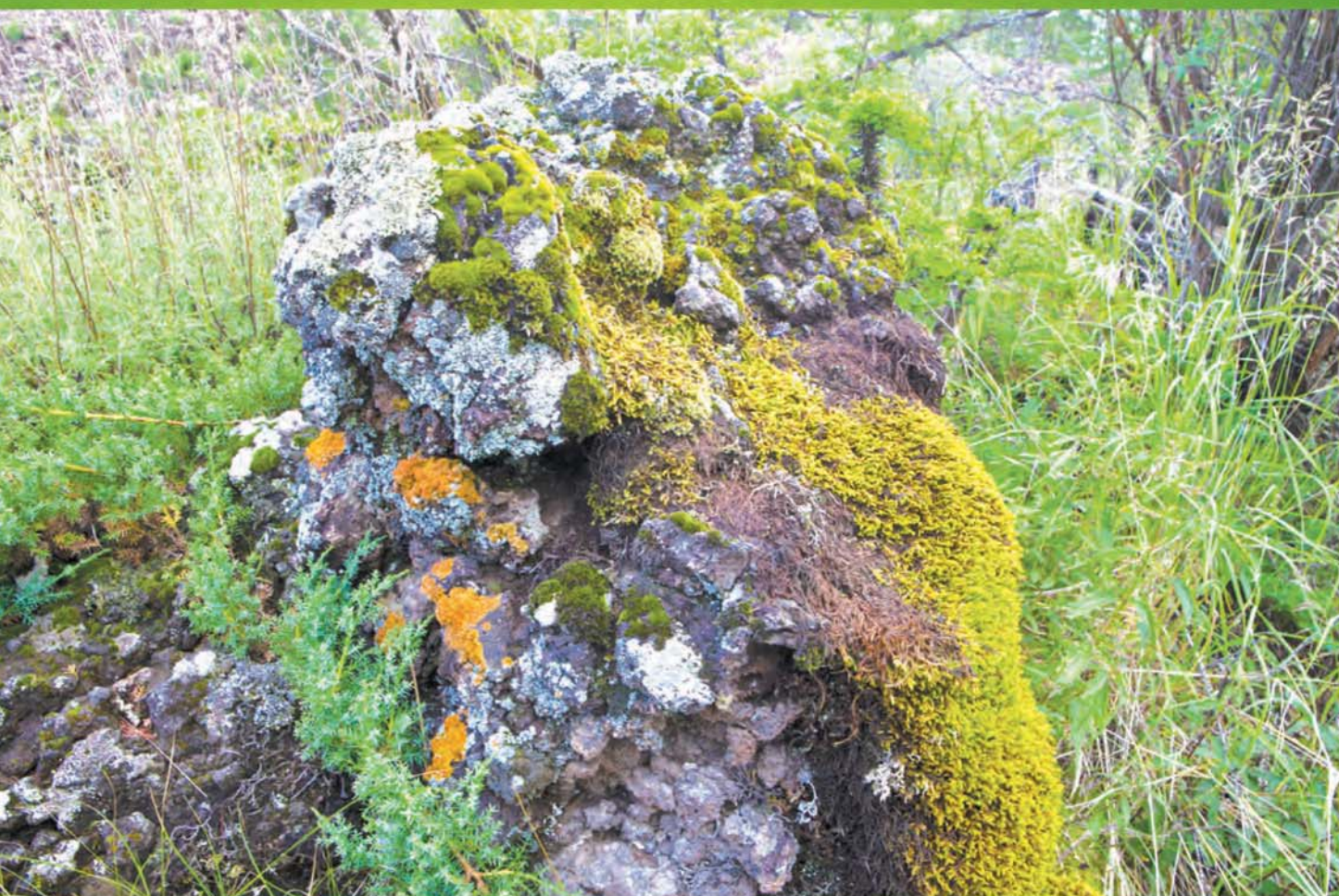


ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第32卷 第6期 Vol.32 No.6 **2012**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 32 卷 第 6 期

2012 年 3 月 (半月刊)

目 次

高原草被退化程度的遥感定量监测——以甘肃省玛曲县为例	周坚华,魏怀东,陈芳,等 (1663)
基于着生藻类的太子河流域水生态系统健康评价	殷旭旺,渠晓东,李庆南,等 (1677)
哀牢山常绿阔叶林水源涵养功能及其在应对西南干旱中的作用	杞金华,章永江,张一平,等 (1692)
青岛沿岸水体原生生物群落与水质状况的关系	杨金鹏,姜勇,胡晓钟 (1703)
增温对青藏高原高寒草甸生态系统固碳通量影响的模拟研究	亓伟伟,牛海山,汪诗平,等 (1713)
三峡水库消落带植物叶片光合与营养性状特征	揭胜麟,樊大勇,谢宗强,等 (1723)
三峡库区澎溪河鱼类时空分布特征的水声学	任玉芹,陈大庆,刘绍平,等 (1734)
强壮前沟藻化感物质分析	冀晓青,韩笑天,杨佰娟,等 (1745)
饥饿对中间球海胆 MYP 基因转录表达的影响	秦艳杰,孙博林,李霞,等 (1755)
贺兰山牦牛冬春季的生境选择	赵宪南,苏云,刘振生,等 (1762)
利用元胞自动机研究一类捕食食饵模型中的斑块扩散现象	杨立,李维德 (1773)
转 <i>Cry1Ab</i> 和 <i>Cry1Ac</i> 融合基因型抗虫水稻对田间二化螟和大螟种群发生动态的影响	李志毅,隋贺,徐艳博,等 (1783)
光谱和光强度对西花蓟马雌虫趋光行为的影响	范凡,任红敏,吕利华,等 (1790)
荧光素对舞毒蛾核型多角体病毒不同地理品系的增效与光保护作用	王树娟,段立清,李海平,等 (1796)
不同利用强度下绿洲农田土壤微量元素有效含量特征	李海峰,曾凡江,桂东伟,等 (1803)
稻田温室气体排放与土壤微生物菌群的多元回归分析	秦晓波,李玉娥,石生伟,等 (1811)
黄土高原典型区域土壤腐殖酸组剖面分布特征	党亚爱,李世清,王国栋 (1820)
紫色土菜地生态系统土壤 N_2O 排放及其主要影响因素	于亚军,王小国,朱波 (1830)
中国亚热带典型天然次生林土壤微生物碳源代谢功能影响因素	王芸,欧阳志云,郑华,等 (1839)
基于 K-均值算法模型的区域土壤数值化分类及预测制图	刘鹏飞,宋轩,刘晓冰,等 (1846)
淹水条件下秸秆还田的面源污染物释放特征	杨志敏,陈玉成,张赞,等 (1854)
推迟拔节水对小麦氮素积累与分配和硝态氮运移的影响	王红光,于振文,张永丽,等 (1861)
江苏省冬小麦温渍害的风险区划	吴洪颜,高苹,徐为根,等 (1871)
草原植物根系起始吸水层深度测定方法及其在不同群落状态下的表现	郭宇然,王炜,梁存柱,等 (1880)
亚热带 6 种树种细根序级结构和形态特征	熊德成,黄锦学,杨智杰,等 (1888)
高寒草原植物群落种间关系的数量分析	房飞,胡玉昆,张伟,等 (1898)
菊花近缘种属植物幼苗耐阴特性分析及其评价指标的确定	孙艳,高海顺,管志勇,等 (1908)
南方菟丝子寄生对喜旱莲子草生长及群落多样性的影响	王如魁,管铭,李永慧,等 (1917)
基于 cDNA 克隆的亚热带阔叶林和针叶林生态系统担子菌漆酶基因多样性及其群落结构研究	陈香碧,苏以荣,何寻阳,等 (1924)
细柄阿丁枫和米槠细根寿命影响因素	黄锦学,凌华,杨智杰,等 (1932)
基于 TM 遥感影像的森林资源线性规划与优化配置研究	董斌,陈立平,王萍,等 (1943)
基于 CFD 的城市绿地空间格局热环境效应分析	刘艳红,郭晋平,魏清顺 (1951)
专论与综述	
生态补偿效率研究综述	赵雪雁 (1960)
研究简报	
黄河三角洲石油生产对东营湿地底栖动物群落结构和水质生物评价的影响	陈凯,肖能文,王备新,等 (1970)
期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 316 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 34 * 2012-03	

封面图说: 植物生命演进石——这不是一块普通的火山岩,而是一块集中展示植物“原生演替”过程最有价值的石头。火山熔岩冷却后的玄武岩是无生命无土壤的真正“裸石”,风力使地衣的孢子传入,在一定温湿度环境下,开始出现了壳状地衣,壳状地衣尸体混合了自然风化的岩石碎屑提供的条件使叶状、枝状地衣能够侵入,接着苔藓侵入,是它们启动了土壤的形成,保持了土壤的湿度,并使营养物质反复循环。于是蕨类定居,草丛长了起来,小灌木出现,直到树木生长,最终形成森林。

彩图提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201102110162

党亚爱,李世清,王国栋. 黄土高原典型区域土壤腐殖酸组分剖面分布特征. 生态学报, 2012, 32(6): 1820-1829.

Dang Y A, Li S Q, Wang G D. Distribution characteristics of humus fraction in soil profile for the typical regions in the Loess Plateau. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(6): 1820-1829.

黄土高原典型区域土壤腐殖酸组分剖面分布特征

党亚爱^{1,2}, 李世清^{1,*}, 王国栋²

(1. 西北农林科技大学黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学理学院, 杨凌 712100)

摘要: 黄土高原作为典型的气候敏感带和生态环境脆弱区, 诸多因素影响这个区域的土壤有机碳及其组分的分布特征。以黄土高原典型区域土壤剖面 0—200 cm 土样为对象, 分析了土壤腐殖酸、胡敏酸(HA)和富里酸(FA)含量随地理位置及土层深度的分布特征, 并进一步探讨了土壤腐殖酸、HA 和 FA 与全氮含量及土壤颗粒组成的关系。结果表明, 黄土高原主要类型土壤腐殖酸、HA 和 FA 含量均较低, 且存在明显地理位置和土层分异性; 从南到北同层次土壤腐殖酸、HA 和 FA 含量均显著降低, 同一区域随土层深度增加各组分含量均表现为在 0—60 cm 土层明显下降, 60—120 cm 土层稍有下降, 120 cm 土层以下基本稳定; 土壤腐殖酸占有机碳比例变化范围为 26.6%—54.7%, 相对较小, 且在整个剖面变化幅度不大, 从南向北土壤腐殖酸占有机碳比例有增加趋势; 土垫旱耕人为土在 0—40 cm、40—120 cm 和 120—200 cm 土层中 HA 占腐殖酸比例分别为 39.8%、49.0% 和 53.5%, HA/FA 分别为 0.66、0.96 和 1.15, 黄土正常新成土在以上土层中 HA 占腐殖酸比例分别为 26.3%、33.9% 和 42.3%, HA/FA 分别为 0.36、0.51 和 0.73, 干润砂质新成土在以上土层中 HA 占腐殖酸比例分别为 13.4%、37.1% 和 45.2%, HA/FA 分别为 0.16、0.59 和 0.82, 说明黄土高原南北主要类型土壤腐殖酸品质总体较差, 均属富里酸型土壤, 且从南到北腐殖酸品质逐渐下降; 土壤腐殖酸、HA 和 FA 均与全氮含量呈极显著线性相关($P < 0.01$), 土壤有机碳、腐殖酸及 HA 含量与粘粒及砂粒百分含量亦呈高度线性相关($P < 0.01$)。

关键词: 腐殖质; HA; FA; 剖面分布; 黄土高原

Distribution characteristics of humus fraction in soil profile for the typical regions in the Loess Plateau

DANG Ya'ai^{1,2}, LI Shiqing^{1,*}, WANG Guodong²

1 State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling 712100, China

2 College of Science, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling 712100, China

Abstract: The Loess Plateau is known as a famous climate-sensitive zone and a fragile ecological environmental belt in China. A variety of environmental factors, such as soil type, geographic location, climate, etc., constrain the accumulation of soil organic matter in this region. Thus, quantifying the spatial distribution of soil organic carbon (SOC) and its fraction is significant for better understanding on soil carbon cycle across the Loess Plateau region. Soil humus, as the major soil organic matter component, is a key indicator for the soil quality and fertility. Yet, the distribution characteristics of soil humus and its fractions across the Loess Plateau have been paid little attention and still remain big uncertainty. In this study, we characterized the vertical distribution of humus and its fractions including Humic Acid (HA) and Fulvic Acid (FA) in the 0—200 cm soil profile along south-north gradient in the Loess Plateau. Then, we further explored the correlations among soil humus, HA, FA, soil total nitrogen, and soil particle composition. An intensive field campaign was

基金项目: 公益性行业科研专项 (201103003) 和国家重点基础研究发展计划 (2009CB118604); 中央高校基本科研业务费专项资金资助 (z10921007); 校内博士科研启动项目 (z1110020833)

收稿日期: 2011-02-11; 修订日期: 2011-09-01

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: sqli@ms.iswc.ac.cn

conducted to collect 132 soil samples in some typical sites from the south to the north of the Loess Plateau. The results show that the contents of humus, HA and FA, varying among soil types and along soil profiles, are lower than those in other regions of China reported in previous studies. A decreasing gradient from the south to the north of the Loess Plateau is observed for the contents of humus and its fractions. Along the soil profile, the contents of humus, HA, and FA decrease with depth 0—60 cm, slightly decrease with depth 60—120 cm, and remain low and stable below 120 cm soil layers. The fractions of soil humus in SOC increase from the south to the north of the Loess Plateau, ranging from 26.6% to 54.7%, which is lower than that in other regions across China. However, these observed fractions in the same sites have no significant difference in the entire profile. The fractions of HA in soil humus are 39.8%, 49.0%, and 53.5%, respectively, and the HA/FA ratios are 0.66, 0.96, and 1.15, for 0—40 cm, 40—120 cm and 120—200 cm soil profiles, respectively, for Emn-Orthic-Anthrosol soil type. The fractions of HA in humus are 26.3%, 33.9% and 42.3%, respectively, and the HA/FA ratios are 0.36, 0.51, and 0.73, for 0—40 cm, 40—120 cm and 120—200 cm soil profiles, respectively, for Los-Orthic-Entisol soil type. The fractions of HA in humus are 13.4%, 37.1% and 45.2%, and the HA/FA ratios are 0.16, 0.59, and 0.82, for 0—40 cm, 40—120 cm and 120—200 cm soil profiles, respectively, for Ust-Sandiic-Entisol soil type. This study indicates that all typical soil types that were observed from the south to the north of the Loess Plateau are FA-enriched; the humus quality is relatively poor compared to other regions in China and decreases gradually from the south to the north of the Loess Plateau. Finally, the contents of humus, HA, and FA are significantly ($P < 0.01$) correlated with soil total nitrogen content. On the other hand, the contents of SOC, humus, and HA are significantly ($P < 0.01$) correlated with soil sand and clay contents.

Key Words: humus; HA; FA; profile distribution; the Loess Plateau

土壤有机质(Soil Organic Carbon, SOC)是土壤中较活跃部分,其含量及动态变化在土壤质量演变和碳循环中起着十分重要的作用^[1]。腐殖质是土壤有机质的主体^[2],其组成和性质随生物气候条件不同而存在显著差异,不同类型土壤腐殖酸组成和性质不同,而相同地带土壤腐殖酸组成和性质也因土壤母质不同而异,可以反映一定的成土条件和过程,是区分土壤类型的重要诊断指标之一^[3-5]。腐殖质按其在酸碱溶液中的溶解度分为胡敏酸(Humic Acid, HA)、富里酸(Fulvic Acid, FA)和胡敏素。HA和FA是组成土壤腐殖质的最重要组分,在改善土壤团粒、提高和保持土壤肥力等方面有着显著作用。目前,国内外专家对森林、农田、湿地和草原等土壤腐殖酸含量及其组成特征等方面已展开了大量研究^[4-14],但主要集中在施肥、植被条件变化等对土壤腐殖质的影响,而对黄土高原土壤剖面腐殖质特征研究较少。黄土高原作为我国主要生态脆弱区之一,多种不利因素制约着该区土壤腐殖质积累,因此了解这一地区土壤腐殖酸及其组分空间分布特征和相关关系,对了解土壤碳库组成、大小和变化,进一步调节土壤养分流,提高土壤内在生产力,正确评价该区域土壤碳循环均具有重要意义。经过长期自然环境和人为干扰形成的土壤剖面,记录了土壤形成环境和条件变化的历史进程,为人们提供了理解土壤形成及肥力演变的自然载体^[14],为此,本文以黄土高原北部神木、中部延安和南部杨凌等典型土壤剖面为对象,通过研究黄土高原典型区域主要类型土壤不同土层、不同土地利用类型下土壤腐殖酸及其组分的含量及其相互关系,以期阐明土壤类型及不同土地利用方式对不同土层腐殖酸及组分的影响,为了解黄土高原有机碳库分布规律及其有机质特征提供一定理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

黄土高原位于我国内陆腹地,地处黄河中上游与海河上游地区,东起太行山,西至乌鞘岭,南达秦岭,北至阴山,位于东经100°54'—114°33',北纬33°43'—41°16'之间,面积为62.80×10⁴km²,占国土面积的6.54%。该区地貌、气候、植被和土壤均具有明显分异特征。从南至北,地貌由渭河阶地、黄土台塬、高原沟壑、丘陵沟壑向风沙丘陵过渡;气候由东南部的暖温带半湿润区向西北部中温带干旱半干旱区过渡。年均气温为3.6—

14.3℃,年均降水量为150—750mm,降水主要集中在7—9月,占年降水量的60%—80%,降水量低而不稳。

1.2 野外采样

选取黄土高原北部神木、中部延安和南部杨凌3个代表性地区(图1),每一地区分别选择代表性农田和草地各两处采集土壤样品。每个样点分层采取0—200cm土层土样,20cm以上每10cm为一层采样,20cm以下每20cm为一层,每个土样均为3—4个样点混合样。各采样点具体情况见表1。

1.3 土壤腐殖酸及其组分含量的测定^[15]

土壤腐殖质分组采用焦磷酸钠-氢氧化钠溶液提取法,有机碳含量采用重铬酸钾氧化-外加热法测定,全氮分析采用凯氏半微量定氮法,颗粒分布采用英国马尔文公司生产的MS2000型激光粒度测量仪测定。

1.4 数据处理

采用SPSS13.0软件包中的相应程序和Excel软件对测定结果进行统计分析,文中统计值均为同一地理位置相同土地利用方式下同土层两个样品(各有3个重复)的总平均值,多重比较采用LSD法,采用Excel软件进行作图。

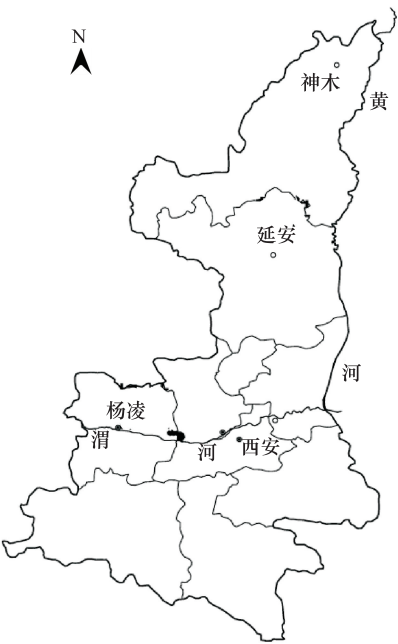


图1 采样地理位置示意图
Fig.1 The position of sampling site

表1 土壤采样点基本情况
Table 1 Basic status of sampling site

地点 Location	土壤类型 Soil type	GPS 定位及海拔高度 GPS location and elevation	农田/草地 Cropland/Grassland	气候类型 Climate condition
神木(六道沟)	干湿砂质新成土	E 110°22.137' N38°47.650', 1221m	农田 1(土豆, ≥10a)	中温带半干旱草原季风气候, 年平均气温 8.4℃, 年均降水量 400mm
		E 110°22.026' N38°47.595', 1188m	农田 2(豆子, ≥12a)	
		E 110°22.195' N 38°47.571', 1240m	草地 1(≥10a, 野苜蓿, 白羊草和铁杆蒿等)	
		E 110°22.168' N38°47.620', 1236m	草地 2(≥10a, 茭蒿、铁杆蒿等)	
延安(五枣园)	黄土正常新成土	E 109°20.126' N 36°20.505', 1105m	农田 1(土豆, ≥15a)	暖温带半干旱气候, 年平均气温 8.8℃, 年均降水量 550mm
		E 109°20.166' N 36°20.195', 1110m	农田 2(谷子, ≥12a)	
		E 109°20.076' N 36°20.513', 1104m	草地 1(≥10a, 白羊草和铁杆蒿等)	
		E 109°20.026' N36°20.265', 1115m	草地 2(≥15a, 达乌里胡枝子, 白羊草等)	
杨凌(西北农林科技大学试验田)	土垫旱耕人为土	E 108°070' N34°310', 511m	草地 1(≥15a, 狗尾草, 铁杆蒿等)	暖温带半湿润气候, 年平均气温 13℃, 年均降水量 578.9mm
		E 108°076' N34°317', 511m	草地 2(≥10a, 狗尾草, 艾蒿等)	
		E 108°067' N34°294', 511m	农田 1(玉米, ≥15a)	
		E 108°068' N 34°293', 511m	农田 2(苜蓿, ≥10a)	

2 结果与分析

2.1 土壤腐殖酸含量在地理位置及剖面上的分布规律

腐殖酸是土壤腐殖质中可提取部分,由 HA 和 FA 两部分组成。黄土高原从南到北典型区域土壤腐殖酸含量随土层深度的变化规律见图 2。整体来看,土壤腐殖酸含量在 0—40 cm 土层随深度增加显著下降,40—120 cm 土层有一定下降,但幅度不及 0—40 cm 土层,120 cm 土层以下趋于稳定。土垫早耕人为土在 0—40 cm、40—120 cm 和 120—200 cm 土层土壤腐殖酸含量分别为 (1.71 ± 0.87) g/kg、 (1.02 ± 0.38) g/kg 和 (0.71 ± 0.10) g/kg,黄土正常新成土腐殖酸含量分别为 (1.25 ± 0.40) g/kg、 (0.56 ± 0.13) g/kg 和 (0.52 ± 0.10) g/kg,干润砂质新成土在以上土层中腐殖酸含量分别为 (1.19 ± 0.19) g/kg、 (0.35 ± 0.13) g/kg 和 (0.31 ± 0.12) g/kg。与我国其他区域土壤类型相比^[7,16],黄土高原主要类型土壤腐殖酸含量较低,这主要是由于黄土高原较干旱的气候环境及强烈的矿化作用,使有机质腐殖化过程进行缓慢,导致腐殖质较难大量累积。

对全部供试土壤平均结果分析发现,腐殖酸含量随土层深度增加呈指数下降趋势,其回归模型为:

$$y = 1.2874e^{-0.0063x} \quad R^2 = 0.7972$$

式中, y 为土壤腐殖酸含量(g/kg), x 为土层深度(cm)。

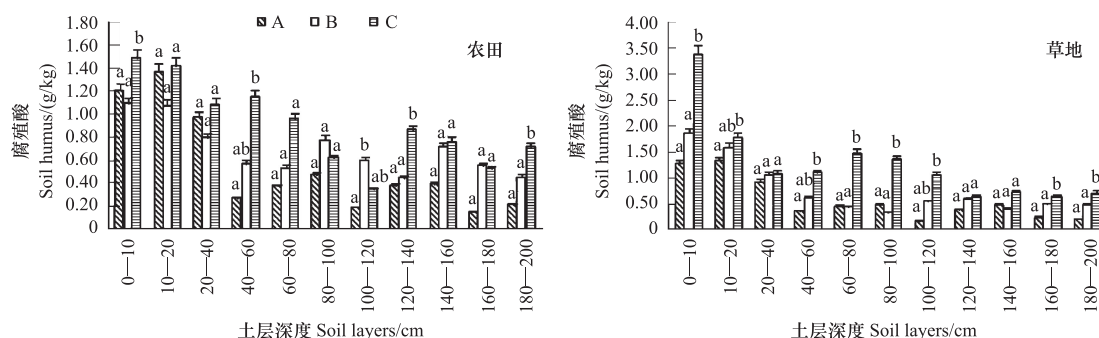


图 2 土壤腐殖酸含量随土层深度的变化

Fig.2 The contents of soil humus with soil depth/(g/kg)

A:干润砂质新成土,B:黄土正常新成土,C:土垫早耕人为土;同层次不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)

从南到北,同层次、同种土地利用方式下土壤腐殖酸含量呈下降趋势。显著性分析进一步表明,干润砂质新成土和黄土正常新成土腐殖酸含量在整个剖面土层中差异不显著($P > 0.05$),但这两种土壤与土垫早耕人为土腐殖酸含量差异显著($P < 0.05$),且农田土壤腐殖酸含量的差异更为显著。分析图 2 发现,相同土壤类型 0—120 cm 土层草地土壤腐殖酸含量均高于同层次农田土壤,120 cm 土层以下差异不显著,可能与耕作等措施加速了土壤腐殖酸碳分解有关^[17]。

黄土高原主要类型土壤腐殖酸占有机碳比例在全剖面变化幅度不大(表 2),且比例较小。土垫早耕人为土在 0—40 cm、40—120 cm 和 120—200 cm 土层土壤腐殖酸占有机碳比例分别为 32.7%、30.3% 和 27.1%,黄土正常新成土分别为 32.9%、32.9% 和 33.7%,干润砂质新成土在以上土层中腐殖酸占有机碳比例分别为 50.6%、48.8% 和 41.3%。除表层外,从南向北,土壤腐殖酸占有机碳比例呈增加趋势,这与土壤有机碳总量及腐殖酸含量的分布规律截然相反,说明从南到北,相同土层腐殖酸含量下降的幅度低于有机碳总量的下降幅度。

2.2 土壤 HA 含量在地理位置及剖面上的分布规律

HA 是土壤腐殖质的重要组成部分,其含量及特性在一定程度上能反映土壤腐殖质类型及性质^[18]。从图 3 可以看出,黄土高原主要类型土壤 HA 含量随土层深度变化与土壤腐殖酸含量变化有相似规律。土垫早耕人为土在 0—40 cm、40—120 cm 和 120—200 cm 土层 HA 含量分别为 (0.68 ± 0.33) g/kg、 (0.50 ± 0.16) g/kg 和 (0.38 ± 0.12) g/kg,黄土正常新成土 HA 含量分别为 (0.33 ± 0.15) g/kg、 (0.19 ± 0.07) g/kg 和 (0.22 ± 0.06) g/kg。

g/kg,干润砂质新成土在以上土层中 HA 含量分别为 (0.16 ± 0.04) g/kg、 (0.13 ± 0.02) g/kg 和 (0.14 ± 0.03) g/kg,总体来看,黄土高原南北主要类型土壤 HA 含量较低。

表 2 不同土壤剖面腐殖酸占土壤有机碳比例/%

Table 2 The fraction of humus in SOC in different soil layers

土层深度 Soil Depth /cm	干润砂质新成土 Ust-Sandiic-Entisols			黄土正常新成土 Los-Orthic-Entisol			土垫旱耕人为土 Eum-Orthic-Anthrosol		
	农田 Cropland	草地 Grassland	平均 Average	农田 Cropland	草地 Grassland	平均 Average	农田 Cropland	草地 Grassland	平均 Average
0—10	31.1	38.2	34.7	29.8	26.5	28.2	30.2	42.5	36.4
10—20	52.2	58.1	55.2	34.3	33.0	33.7	34.5	28.3	31.4
20—40	68.2	55.5	61.9	35.1	38.3	36.7	38.8	21.5	30.2
40—60	34.3	50.5	42.4	30.3	48.5	39.4	49.5	26.8	38.2
60—80	37.1	67.1	52.1	24.5	36.0	30.3	26.1	33.1	29.6
80—100	63.4	66.1	64.8	39.8	22.3	31.1	23.2	36.3	29.8
100—120	50.1	21.4	35.8	28.3	32.8	30.6	14.3	33.1	23.7
120—140	48.3	58.1	53.2	29.1	38.1	33.6	46.8	17.3	32.1
140—160	40.5	43.4	42.0	45.1	28.3	36.7	35.4	18.5	27.0
160—180	23.3	47.4	35.4	27.8	36.5	32.2	20.3	23.1	21.7
180—200	41.6	41.7	34.7	31.2	33.0	32.1	29.5	25.8	27.7

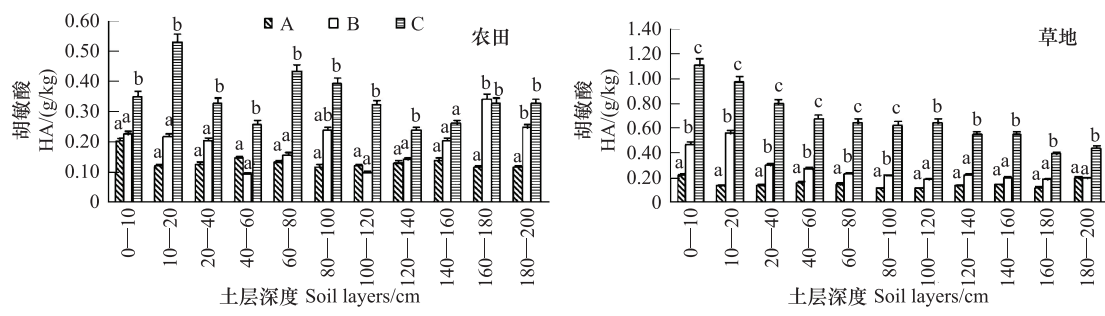


图 3 土壤 HA 含量随土层深度的变化

Fig. 3 The contents of soil HA with soil depth

全部供试土样 HA 含量随土层深度增加呈指数形式下降,其回归模型为:

$$y=0.3696e^{-0.0027x} \quad R^2=0.6783$$

式中, y 为土壤 HA 含量 (g/kg), x 为土层深度 (cm)

从南到北,同层次土壤 HA 含量呈下降趋势。土垫旱耕人为土的 HA 含量显著大于干润砂质新成土和黄土正常新成土。比较干润砂质新成土和黄土正常新成土 HA 含量发现,农田土壤 HA 含量在整个剖面土层上差异不显著 ($P>0.05$),而草地土壤 HA 含量在 0—80 cm 土层上差异显著 ($P<0.05$)。

从图 3 还可以看出,土地利用方式对土壤 HA 含量有一定影响,0—120 cm 土层草地土壤 HA 含量均高于同层次农田土壤,而 120 cm 土层以下差异不显著。

土壤腐殖化度(土壤 HA 占有机碳的百分比)是衡量腐殖质品质优劣及稳定性的标志之一^[18]。土垫旱耕人为土在 0—40 cm、40—120 cm 和 120—200 cm 土层土壤 HA 占腐殖酸比例分别为 39.8%、49.0% 和 53.5%,黄土正常新成土分别为 26.3%、33.9% 和 42.3%,干润砂质新成土在以上土层中 HA 占腐殖酸比例分别为 13.4%、37.1% 和 45.2%,可以看出,随土层深度的增加,土壤腐殖化度呈增加趋势。

2.3 土壤 FA 含量在地理位置及剖面上的分布规律

黄土高原从南到北土壤 FA 含量随土层深度的变化规律见图 4。分析表明,土壤 FA 含量随土层深度的变

化规律与土壤腐殖酸的变化规律相似。土垫旱耕人为土在 0—40 cm、40—120 cm 和 120—200 cm 土层土壤 FA 含量分别为 (1.03 ± 0.67) g/kg、 (0.52 ± 0.31) g/kg 和 (0.33 ± 0.17) g/kg, 黄土正常新成土 FA 含量分别为 (0.92 ± 0.28) g/kg、 (0.37 ± 0.14) g/kg 和 (0.31 ± 0.11) g/kg, 干润砂质新成土在以上土层中 FA 含量分别为 (1.03 ± 0.35) g/kg、 (0.22 ± 0.13) g/kg 和 (0.17 ± 0.12) g/kg。

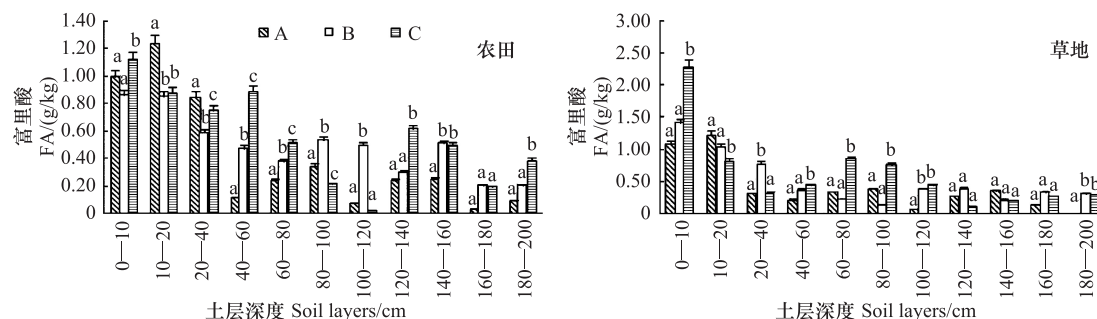


图 4 土壤 FA 含量随土层深度的变化

Fig. 4 The contents of soil FA with soil depth/ (g/kg)

分析表明,从南到北,除少量表层土壤外,相同土地利用方式下同层次土壤 FA 含量呈下降趋势;土地利用方式变化对 FA 含量的影响与对 HA 的影响结果类似。

全部供试土壤 FA 含量随土层深度增加也呈指数形式下降,其回归模型为:

$$y = 0.9069e^{-0.0085x} \quad R^2 = 0.8160$$

式中, y 为 FA 含量 (g/kg), x 为土层深度 (cm)

土垫旱耕人为土在 0—40 cm、40—120 cm 和 120—200 cm 土层土壤 FA 占腐殖酸比例分别为 60.2%、51.0% 和 46.5%, 黄土正常新成土分别为 73.6%、66.1% 和 57.7%, 干润砂质新成土在以上土层中 FA 占腐殖酸比例分别为 86.6%、62.9% 和 54.8%。总体看,FA 对腐殖酸总量的贡献大于胡敏酸,说明黄土高原南北主要类型土壤腐殖化程度整体较低。

2.4 土壤 HA/FA 在地理位置及剖面上的分布规律

在土壤腐殖质的组成中,胡敏酸的腐殖化程度较富里酸高,具体表现为胡敏酸的芳构化程度、缩合程度较富里酸高,胡敏酸的分子量较大^[19]。因此,土壤胡敏酸与富里酸含量的比值 (HA/FA) 可以在一定程度上反映土壤有机质的稳定性。土壤 HA 与 FA 比值越大,土壤腐殖物质的聚合程度越高,质量也越好^[20]。图 5 表明,黄土高原从南到北主要类型土壤 HA/FA 随土层深度增加呈增加趋势。分析表明,HA/FA 在 0—40 cm 土层内增加幅度最大,40—120 cm 土层有一定增加但幅度不大,120 cm 土层以下基本趋于稳定。土垫旱耕人为土在 0—40 cm、40—120 cm 和 120—200 cm 土层土壤 HA/FA 分别为 0.66、0.96 和 1.15, 黄土正常新成土 HA/FA 分别为 0.36、0.51 和 0.73, 干润砂质新成土在以上土层中 HA/FA 分别为 0.16、0.59 和 0.82。

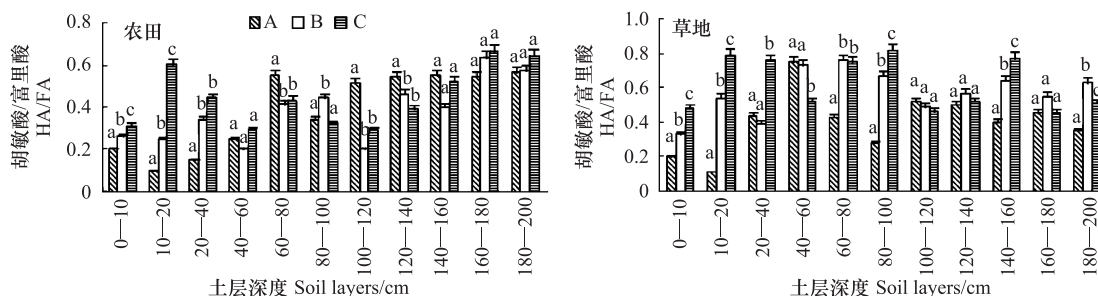


图 5 土壤 HA/FA 随土层深度的变化

Fig. 5 The changes of HA/FA ratios with soil depth

从南到北,相同土地利用方式下同层次土壤 HA/FA 呈下降趋势。显著性分析表明,除个别层次土壤外,三类土壤在 0—120 cm 土层 HA/FA 差异显著($P<0.05$)。相同土壤类型下农田土壤 HA/FA 随土层深度变化规律不及草地明显。

3 讨论

土壤全氮与有机质的消长规律基本一致,土壤氮素循环在一定程度上决定着有机碳库的累积与分解,而土壤对碳的固持常常受土壤氮水平制约^[4, 21]。分析发现黄土高原典型区域土壤有机碳、腐殖酸、HA 和 FA 均与全氮含量呈极显著线性正相关($P<0.01$) (表 3),说明在土壤全氮含量增加情况下,土壤有机碳、腐殖酸、HA 和 FA 均显著增长,腐殖质质量明显改善,研究结果与过去研究结论相一致^[4];土壤颗粒组成与有机质也存在一定关系,土壤粘粒及砂粒体积百分含量与土壤有机碳、腐殖酸及 HA 高度线性相关(表 3),而与 FA 关系较差,粉粒体积百分含量除与 HA 相关外,与其它组分均没有密切相关性,说明粘粒与砂粒在维持黄土高原土壤有机碳、腐殖酸及 HA 上具有重要作用,而粉粒在平衡 HA 上发挥作用,不同土壤颗粒对不同土壤有机质组分影响不同,可能与不同土壤颗粒与有机质组分形成的有机-无机复合体的稳定性不同有关,但这仍需进一步研究。

研究表明,黄土高原从南到北主要类型土壤腐殖酸及其组分含量存在明显地理位置和土层分异性:腐殖酸及其各组分含量均表现为在上层 0—40 cm 随土层深度增加下降明显,中层 40—120 cm 缓慢下降,下层 120 cm 以下基本稳定,随土层深度变化均符合指数下降曲线。从南到北同层次土壤腐殖酸及其各组分含量均显著降低,即土垫旱耕人为土>黄土正常新成土>干润砂质新成土。显然,作为有机碳重要组成的腐殖酸及其组分的这种分布格局与黄土高原南北主要类型土壤有机碳分布规律类似^[22],这与采样点的气候类型、植物根系分布及相应土壤层次所接受的外来碳源数量的差异有关。温度和水分的综合配置决定着土壤有机物质的矿化和腐殖化过程,黄土高原从南到北,气候逐渐从暖温带半湿润气候向中温带半干旱草原季风气候过渡,气温逐渐降低,降雨量显著减小,水蚀风蚀强度逐渐加强,土壤腐殖化程度逐渐降低,且干旱低温也不利于发生腐殖质缩合反应,最终导致黄土高原土壤腐殖酸及其组分含量从南到北显著下降的分布规律。

表 3 土壤有机碳及其组分与全氮及土壤颗粒组成间的相关性系数

Table 3 The correlation coefficient (R) among soil humus, HA, FA, total nitrogen and soil particle

	有机碳 SOC	腐殖酸 humus	胡敏酸 HA	富里酸 FA
全氮 Total nitrogen	0.958 **	0.661 **	0.682 **	0.608 **
粘粒 Clay/%	0.563 **	0.443 **	0.693 **	0.114
粉粒 Silt/%	0.270 *	0.105	0.381 **	0.190
砂粒 Sand/%	0.590 **	0.520 **	0.694 **	0.255 *

** 表示相关性极显著($P<0.01$), * 表示相关性显著($P<0.05$) ($n=66, R \geq 0.241$ ($P<0.05$), $R \geq 0.313$ ($P<0.01$))

从大的尺度来看,土壤有机碳及组分的水平分布特征主要受气候条件的影响,但其在土壤剖面上的垂直分布主要受植被类型及根系分布的影响^[23]。黄土高原主要类型土壤腐殖酸占有有机碳比例在全剖面变化幅度不大,其比例的变化范围为 27.1%—50.6%。杨继松等^[4]对三江平原典型湿地土壤腐殖质的剖面分布及其组成特征分析表明,上层土壤(草根层和泥炭层)中 HA 和 FA 的累计含量在整个剖面总量中的比例均大于 70%,本研究中腐殖酸占有有机碳比例与以往研究结论相比较小,但其特点在于下层土壤腐殖酸占有有机碳比例相对较高。说明从南到北,同土层土壤腐殖酸含量下降的幅度低于有机碳总量的下降幅度。土壤腐殖酸大致可以分成新形成的和原有的两部分,根据黄土母质的风成学说^[24-25],由风带来而沉积的细小颗粒本身携带了一定的物质结构组成,而相同土壤有机质在黄土高原较干燥条件下腐殖化过程缓慢,腐殖酸不易大量积累,因此,在整个剖面中,腐殖酸含量的变化较有机碳变化幅度小,同时因上层非腐殖酸有机物含量较多,因而导致黄土高原南北主要类型土壤腐殖酸占有有机碳比例在整个剖面上随土层深度增加有一定下降,但差异不显著。Wershaw 等^[26]研究发现腐殖酸包含有植物组织的降解产物,因而不同地理环境和植被类型使腐殖酸的组成

也会存在一定的差异^[27],杨凌的暖温带半湿润气候条件和较强的生物循环过程更有利于有机碳的积累和微生物生长繁殖,但因腐殖酸累积速度远小于有机碳累积,最终形成了从南向北土壤腐殖酸在土壤有机碳中所占比例有增加趋势。

腐殖酸中 HA 所占比例决定着腐殖酸的品质,一般认为,HA 比例越高,腐殖酸品质越好^[20]。刘育红等^[16]对不同草甸植被下土壤腐殖酸组成及特征的研究表明,可提取腐殖质中 HA 所占比例为 47.99%—56.98%;杨继松等^[4]发现三江平原典型湿地土壤草根层和泥炭层中 HA 和 FA 相对含量分别高于 35% 总有机碳和 23% 总有机碳。本研究表明,黄土高原典型区域土壤剖面 HA 含量在腐殖酸中的比例变化范围为 13.4%—53.5%。可以看出,黄土高原土壤腐殖酸品质整体较低,随土层深度的增加,土壤腐殖化度稍有增加趋势;从南到北,同层次土壤腐殖化程度呈下降趋势,说明土壤腐殖酸品质从南到北逐渐下降。

进一步分析表明,除个别层次,黄土高原南北主要类型土壤 HA/FA 均小于 1,土垫旱耕人为土在 0—40 cm、40—120 cm 和 120—200 cm 土层土壤 HA/FA 分别为 0.66、0.96 和 1.15,黄土正常新成土 HA/FA 分别为 0.36、0.51 和 0.73,干润砂质新成土在以上土层中 HA/FA 分别为 0.16、0.59 和 0.82,以上数据说明黄土高原主要类型土壤腐殖酸品质总体较差,主要为 FA 型土壤,且从南到北腐殖酸品质逐渐下降,但随土层深度增加,HA/FA 稍有增加,这与上层腐殖酸更新较快,而下层相对稳定有关。分析表明,相同土地利用方式下同层次土壤 HA/FA 从南到北呈下降趋势的变化规律主要与黄土高原特殊环境条件有关。有研究表明^[16],低温不利于 HA 形成,也不利于其芳化度的增大,结构简单、活性较强的 FA 很难进一步缩合形成 HA。黄土高原从南向北,气温逐渐降低,且北部相对干燥、寒冷,在一定程度上限制了微生物活动,加上植被覆盖度降低,枯落物较少,使土壤腐殖质含量相对降低,腐殖质形成也多集中在 FA 合成阶段;另一方面,从南到北每年输入土壤的新鲜同化产物较少,且同化产物矿化强烈,形成的 HA 相对较少,最终导致供试土样 HA 含量较低、HA/FA 也相对较低的分布规律。本研究结果显示,所有研究区域 0—10 cm 土层土壤 HA/FA 均低于其它土层,从 0—10 cm 到 10—20 cm 土层 HA/FA 显著增加,表明对黄土高原主要类型土壤在表层形成结构简单、活性较强的 FA 向 HA 的缩合形成受到了一定限制。因此,表层土壤腐殖酸的稳定性较深层土壤差,这显然与表层土壤有机碳库更新较快有关。

4 结论

4.1 黄土高原从南到北主要类型土壤腐殖酸及各组分含量随地理位置和土层深度变化而异,土壤腐殖酸含量较低;从南到北土壤腐殖酸及其各组分含量均逐渐下降,随土层变化均表现为在 0—60 cm 明显下降,60—120 cm 土层随深度增加稍有下降,120 cm 土层以下基本稳定;土壤腐殖酸占有有机碳比例在全剖面变化幅度不大,且相对较小。

4.2 土垫旱耕人为土在 0—40 cm、40—120 cm 和 120—200 cm 土层土壤 HA 占腐殖酸比例分别为 39.8%、49.0% 和 53.5%,HA/FA 分别为 0.66、0.96 和 1.15,黄土正常新成土在以上土层中 HA 占腐殖酸比例分别为 26.4%、33.9% 和 42.3%,HA/FA 分别为 0.36、0.51 和 0.73,干润砂质新成土在以上土层中 HA 占腐殖酸比例分别为 13.4%、37.1% 和 45.2%,HA/FA 分别为 0.16、0.59 和 0.82,说明黄土高原主要类型土壤腐殖酸品质总体较差,均属富里酸型土壤,且从南到北土壤腐殖酸品质逐渐下降。

References:

- [1] Wei X R, Shao M A, Gao J L. Relationships between soil organic carbon and environmental factors in gully watershed of the loess plateau. *Chinese Journal of Environment Science*, 2008, 29(10): 2879-2884.
- [2] Rusanov A M, Anilova L V. The humus formation and humus in forest-steppe and steppe chernozems of the southern Cisural region. *Eurasian Soil Science*, 2009, 42(10): 1101-1108.
- [3] Chang Q R, Lei M, Yan X. A study on the specific properties of soil humus in the altitudinal belt of Mountain's Qinling Northern Slope. *Acta Universitatis of Agriculturae Boreali-Occidentalis*, 1997, 25(4): 39-44.
- [4] Yang J S, Yu J B, Liu J S, Wang J D. Humus distribution and fraction of typical marsh soil depth profiles in the Sanjiang Plain. *Chinese Journal*

- of Soil Science, 2006, 37(5): 865-869.
- [5] Zhang J J, Dou S, Li C L, Wang S H. Studies on fractionation of soil humus. Chinese Journal of Soil Science, 2004, 35(6): 706-709.
- [6] Pei H K, Zhu Z H, Qiao Y M, Li X L, Sun H Q. Humus in soil and type of organic phosphorus of soil on different alpine meadow vegetation. Acta Prataculturae Sinica, 2001, 10(4): 18-23.
- [7] Li Z P, Cheng L L, Lin X X. Composition of humus in relation to soil fertility in red soil region. Soils, 2002, 34(1): 9-15.
- [8] Yu S F, Yang L, Zhang Y L, Liu W Y. Influence of long-term fertilization on humus composition of soil. Chinese Journal of Soil Science, 2002, 33(3): 165-167.
- [9] Zhao L P, Wang J, Liu J S, Liu S X, Wang Y L, Wang H B, Zhang Z D. Humus composition of black soil and its organic-mineral complexes under different fertility level. Chinese Journal of Applied Ecology, 2005, 16(1): 93-99.
- [10] Gong W, Yan X Y, Wang J Y, Hu T X, Gong Y B. Effects of long-term fertilization on soil humus carbon and nitrogen fractions in a wheat-maize cropping system. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2009, 15(6): 1245-1252.
- [11] He B, Wen Y G, Liu S R, He T P. Composition and properties of soil humus of different mangrove communities in Yingluogay of Guangxi. Acta Pedologica Sinica, 2006, 43(3): 517-520.
- [12] Shi J P, Zhang F D, Lin B. Effects of long-term located fertilization on the physico-chemical property of soil humus. Scientia Agricultura Sinica, 2002, 35(2): 174-180.
- [13] Abakumov E, Fujitake N, Kosaki T. Humus and humic acids of luvisol and cambisol of Jiguli Ridges, Samara Region, Russia. Applied and Environmental Soil Science, 2009, 2009: Article ID 671359, 5 pages.
- [14] Dergacheva M I, Ondar E E, Zakharova E G. Humus profiles of mountain-chestnut soils of a complex catena in Central Tuva. Contemporary Problems of Ecology, 2010, 3(3): 299-304.
- [15] Nanjing Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences. Soil Physical and Chemical Analysis. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1978: 136-138.
- [16] Liu Y H, Pei H K. Study on composition and characteristics of soil Humus under Alpine-arctic Meadow vegetation. Chinese Journal of Soil Science, 2004, 35(5): 563-567.
- [17] Li Y Q, Xia J G. Effects of the land-using model on the composition and combining form of soil humus in the western mountain of Sichuan basin. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2008, 36(6): 2441-2444.
- [18] Sheng W T, Yang C D, Fan S H. Variation of soil properties of Chinese fir plantation. Forest Research, 2003, 16(4): 377-385.
- [19] Wang X H. Spatial variation of organic matter in horizontal zonal soils in China. Scientia Geographica Sinica, 2001, 21(1): 19-23.
- [20] Anderson DW, Paul E A. Organo-mineral complexes and their study by radiocarbon dating. Soil Science Society of America Journal, 1984, 48(2): 298-301.
- [21] Liu J S, Yang J S, Yu J B, Wang J D. Study on vertical distribution of soil organic carbon in wetlands Sanjiang Plain. Journal of Soil and Water Conservation, 2003, 17(3): 5-8.
- [22] Dang Y A, Li S Q, Wang G D, Shao M A. Distribution characteristics of soil organic carbon and microbial biomass carbon on the Loess Plateau. Journal of Natural Resources, 2007, 22(6): 936-945.
- [23] Zhou L, Li B G, Zhou G S. Advances in controlling factors of soil organic carbon. Advance in Earth Science, 2005, 20(1): 99-105.
- [24] Liu D S. Loess Accumulation in China. Beijing: Science Press, 1965.
- [25] Zhu X M. The formation of loess plateau and its harnessing measures. Bulletin of Soil and Water Conservation, 1991, (1): 1-8.
- [26] Wershaw R L. Evaluation of conceptual models of natural organic matter (Humus) from a consideration of the chemical and biochemical processes of humification. Scientific Investigations Report 2004-5121. Denver: US Department of the Interior, US Geological Survey, 2004: 2-5.
- [27] Liang C S, Liu C Q, Dang Z. Application of modern analysis technology in study on soil humus. Soils, 2001, 33(3): 154-158.

参考文献:

- [1] 魏孝荣, 邵明安, 高建伦. 黄土高原沟壑区小流域土壤有机碳与环境因素的关系. 环境科学, 2008, 29(10): 2879-2884.
- [3] 常庆瑞, 雷梅, 阎湘. 秦岭北坡垂直带谱土壤腐殖质特性研究. 西北农业大学学报, 1997, 25(4): 39-44.
- [4] 杨继松, 于家宝, 刘景双, 王金达. 三江平原典型湿地土壤腐殖质的剖面分布及其组成特征. 土壤通报, 2006, 37(5): 865-869.
- [5] 张晋京, 窦森, 李翠兰, 王淑华. 土壤腐殖质分组研究. 土壤通报, 2004, 35(6): 706-709.
- [6] 裴海昆, 朱志红, 乔有明, 李希来, 孙海群. 不同草甸植被类型下土壤腐殖质及有机磷类型探讨. 草业学报, 2001, 10(4): 18-23.
- [7] 李忠佩, 程励励, 林心雄. 红壤腐殖质组成变化特点及其与肥力演变的关系. 土壤, 2002, 34(1): 9-15.
- [8] 于淑芳, 杨力, 张玉兰, 刘文妍. 长期施肥对土壤腐殖质组成的影响. 土壤通报, 2002, 33(3): 165-167.
- [9] 赵兰坡, 王杰, 刘景双, 刘淑霞, 王艳玲, 王鸿斌, 张志丹. 不同肥力条件下黑土及其有机无机复合体的腐殖质组成. 应用生态学报,

- 2005, 16(1): 93-99.
- [10] 龚伟, 颜晓元, 王景燕, 胡庭兴, 宫渊波. 长期施肥对小麦-玉米作物系统土壤腐殖质组分碳和氮的影响. 植物营养与肥料学报, 2009, 15(6): 1245-1252.
- [11] 何斌, 温远光, 刘世荣, 和太平. 英罗港不同红树植物群落土壤腐殖质组成及特性的研究. 土壤学报, 2006, 43(3): 517-520.
- [12] 史吉平, 张夫道, 林葆. 长期定位施肥对土壤腐殖质理化性质的影响. 中国农业科学, 2002, 35(2): 174-180.
- [15] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析. 上海: 上海科学技术出版社, 1978: 136-138.
- [16] 刘育红, 裴海昆. 高寒草甸植被土壤腐殖质组成及性质的研究. 土壤通报, 2004, 35(5): 563-567.
- [17] 李玉琴, 夏建国. 土地利用方式对川西低山区土壤腐殖质组成以及结合形态的影响. 安徽农业科学, 2008, 36(6): 2441-2444.
- [18] 盛炜彤, 杨承栋, 范少辉. 杉木人工林的土壤性质变化. 林业科学研究, 2003, 16(4): 377-385.
- [19] 王秀红. 我国水平地带性土壤中有机质的空间变化特征. 地理学报, 2001, 21(1): 19-23.
- [21] 刘景双, 杨继松, 于君宝, 王金达. 三江平原沼泽湿地土壤有机碳的垂直分布特征研究. 水土保持学报, 2003, 17(3): 5-8.
- [22] 党亚爱, 李世清, 王国栋, 绍明安. 黄土高原典型土壤有机碳和微生物碳分布特征的研究. 自然资源学报, 2007, 22(6): 936-945.
- [23] 周莉, 李保国, 周广胜. 土壤有机碳的主导影响因子及其研究进展. 地球科学进展, 2005, 20(1): 99-105.
- [24] 刘东生. 中国的黄土堆积. 北京: 科学出版社, 1965.
- [25] 朱显谟. 黄土高原的形成与整治对策. 水土保持通报, 1991, (1): 1-8.
- [27] 梁重山, 刘丛强, 党志. 现代分析技术在土壤腐殖质研究中的应用. 土壤, 2001, 33(3): 154-158.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 6 March, 2012 (Semimonthly)

CONTENTS

Quantitatively monitoring undergoing degradation of plateau grassland by remote sensing data; a case study in Maqu County, Gansu Province, China	ZHOU Jianhua, WEI Huaidong, CHEN Fang, et al (1663)
Using periphyton assemblages to assess stream conditions of Taizi River Basin, China	YIN Xuwang, QU Xiaodong, LI Qingnan, et al (1677)
Water-holding capacity of an evergreen broadleaf forest in Ailao Mountain and its functions in mitigating the effects of Southwest China drought	QI Jinhua, ZHANG Yongjiang, ZHANG Yiping, et al (1692)
The relationship between protistan community and water quality along the coast of Qingdao	YANG Jinpeng, JIANG Yong, HU Xiaozhong (1703)
Simulation of effects of warming on carbon budget in alpine meadow ecosystem on the Tibetan Plateau	QI Weiwei, NIU Haishan, WANG Shiping, et al (1713)
Features of leaf photosynthesis and leaf nutrient traits in reservoir riparian region of Three Gorges Reservoir, China	JIE Shenglin, FAN Dayong, XIE Zongqiang, et al (1723)
Spatio-temporal distribution of fish in the Pengxi River arm of the Three Gorges reservoir	REN Yuqin, CHEN Daqing, LIU Shaoping, et al (1734)
Analysis on allelochemicals in the cell-free Filtrates of <i>Amphidinium carterae</i>	JI Xiaoqing, HAN Xiaotian, YANG Baijuan, et al (1745)
Effect of starvation on expression patterns of the MYP gene in <i>Strongylocentrotus intermedius</i>	QIN Yanjie, SUN Bolin, LI Xia, et al (1755)
Habitat selection of feral yak in winter and spring in the Helan Mountains, China	ZHAO Chongnan, SU Yun, LIU Zhensheng, et al (1762)
Using cellular automata to study patchy spread in a predator-prey system	YANG Li, LI Weide (1773)
Effects of insect-resistant transgenic <i>Bt</i> rice with a fused <i>Cry1Ab+Cry1Ac</i> gene on population dynamics of the stem borers, <i>Chilo suppressalis</i> and <i>Sesamia inferens</i> , occurring in paddyfield	LI Zhiyi, SUI He, XU Yanbo, et al (1783)
Effect of spectral sensitivity and intensity response on the phototaxis of <i>Frankliniella Occidentalis</i> (Pergande)	FAN Fan, REN Hongmin, LU Lihua, et al (1790)
The synergistic action and UV protection of optical brightener on three different geographic isolates of Asian Gypsy Moth Nucleopolyhedrovirus (LdMNPV)	WANG Shujuan, DUAN Liqing, LI Haiping, et al (1796)
The availability of trace elements in an oasis soil under different utilization intensity in an arid area in China	LI Haifeng, ZENG Fanjiang, GUI Dongwei, et al (1803)
Multivariate regression analysis of greenhouse gas emissions associated with activities and populations of soil microbes in a double-rice paddy soil	QIN Xiaobo, LI Yu'e, SHI Shengwei, et al (1811)
Distribution characteristics of humus fraction in soil profile for the typical regions in the Loess Plateau	DANG Ya'ai, LI Shiqing, WANG Guodong (1820)
N ₂ O emissions from vegetable farmland with purple soil and the main factors influencing these emissions	YU Yajun, WANG Xiaoguo, ZHU Bo (1830)
Relationships between carbon source utilization of soil microbial communities and environmental factors in natural secondary forest in subtropical area, China	WANG Yun, OUYANG Zhiyun, ZHENG Hua, et al (1839)
Numerical soil classification using fuzzy K-means algorithm and predictive soil mapping at regional scale	LIU Pengfei, SONG Xuan, LIU Xiaobing, et al (1846)
Releasing characteristics of nonpoint source pollutants from straws under submerging condition	YANG Zhimin, CHEN Yucheng, ZHANG Yun, et al (1854)
Effects of delayed irrigation at jointing stage on nitrogen accumulation and its allocation, and NO ₃ -N migration in wheat	WANG Hongguang, YU Zhenwen, ZHANG Yongli, et al (1861)
Risk division on winter wheat suffering from spring wet damages in Jiangsu Province	WU Hongyan, GAO Ping, XU Weigen, et al (1871)
Determination of the initial depth of water uptake by roots of steppe plants in restored and overgrazed communities, Inner Mongolia, China	GUO Yuran, WANG Wei, LIANG Cunzhu, et al (1880)
Fine root architecture and morphology among different branch orders of six subtropical tree species	XIONG Decheng, HUANG Jinxue, YANG Zhijie, et al (1888)
Numerical analysis of inter-specific relationships in Alpine steppe community in Bayanbulak	FANG Fei, HU Yukun, ZHANG Wei, et al (1898)
Analysis of shade-tolerance and determination of evaluation indicators of shade-tolerance in seedlings of <i>Chrysanthemum grandiflorum</i> and its closely related genera	SUN Yan, GAO Haishun, GUAN Zhiyong, et al (1908)
Effect of the parasitic <i>Cuscuta australis</i> on the community diversity and the growth of <i>Alternanthera philoxeroides</i>	WANG Rukui, GUAN Ming, LI Yonghui, et al (1917)
Diversity and community structure of basidiomycete laccase gene from subtropical broad-leaved and coniferous forest ecosystems based on cDNA cloning	CHEN Xiangbi, SU Yirong, HE Xunyang, et al (1924)
Fine root longevity and controlling factors in subtropical <i>Alingia grilipes</i> and <i>Castanopsis carlesii</i> forests	HUANG Jinxue, LING Hua, YANG Zhijie, et al (1932)
Linear programming and optimal distribution of the forest resources based on TM remote sensing images	DONG Bin, CHEN Liping, WANG Ping, et al (1943)
Urban green space landscape patterns and thermal environment investigations based on computational fluid dynamics	LIU Yanhong, GUO Jinping, WEI Qingshun (1951)
Review and Monograph	
Review of the ecological compensation efficiency	ZHAO Xueyan (1960)
Scientific Note	
The effects of petroleum exploitation on water quality bio-assessment and benthic macro-invertebrate communities in the Yellow River Delta wetland, Dongying	CHEN Kai, XIAO Nengwen, WANG Beixin, et al (1970)

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 70 元/册,全年定价 1680 元。

国内邮发代号:82-7 国外邮发代号:M670 标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 32 卷 第 6 期 (2012 年 3 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 6 2012

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:1000717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元