

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

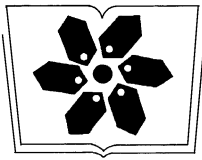
Acta Ecologica Sinica



第33卷 第15期 Vol.33 No.15 **2013**

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 33 卷 第 15 期 2013 年 8 月 (半月刊)

目次

前沿理论与学科综述

- 红树林生态系统遥感监测研究进展..... 孙永光,赵冬至,郭文永,等 (4523)
- 基于能值分析方法的城市代谢过程研究——理论与方法 刘耕源,杨志峰,陈 彬 (4539)
- 关于生态文明建设与评价的理论思考 赵景柱 (4552)

个体与基础生态

- 长江口及邻近海域秋冬季小型底栖动物类群组成与分布..... 于婷婷,徐奎栋 (4556)
- 灌河口邻近海域春季浮游植物的生态分布及其营养盐限制..... 方 涛,贺心然,冯志华,等 (4567)
- 春季海南岛近岸海域尿素与浮游生物的脲酶活性..... 黄凯旋,张云,欧林坚,等 (4575)
- 模拟酸雨对蒙古栎幼苗生长和根系伤流量的影响..... 梁晓琴,刘 建,丁文娟,等 (4583)
- 有机酸类化感物质对甜瓜的化感效应..... 张志忠,孙志浩,陈文辉,等 (4591)
- 稻田土壤氧化态有机碳组分变化及其与甲烷排放的关联性..... 吴家梅,纪雄辉,霍莲杰,等 (4599)
- 双氰胺单次配施和连续配施的土壤氮素形态和蔬菜硝酸盐累积变化..... 王煌平,张 青,翁伯琦,等 (4608)
- 不同类型土壤中分枝杆菌噬菌体分离率的比较..... 徐凤宇,苏胜兵,马红霞,等 (4616)
- 模拟酸雨对小麦产量及籽粒蛋白质和淀粉含量及组分的影响 卞雅姣,黄 洁,孙其松,等 (4623)
- 麻花秦艽种子休眠机理及其破除方法 李兵兵,魏小红,徐 严 (4631)
- 4 种金色叶树木对 SO_2 胁迫的生理响应 种培芳,苏世平 (4639)
- 硫丹及其主要代谢产物对紫色土中酶活性的影响..... 熊佰炼,张进忠,代 娟,等 (4649)

种群、群落和生态系统

- 群落水平食物网能流季节演替特征..... 徐 军,周 琼,温周瑞,等 (4658)
- 千岛湖岛屿社鼠的种群数量动态特征..... 张 旭,鲍毅新,刘 军,等 (4665)
- 黄土丘陵沟壑区不同植被区土壤生态化学计量特征..... 朱秋莲,邢肖毅,张 宏,等 (4674)
- 青藏高原高寒草甸退化与人工恢复过程中植物群落的繁殖适应对策..... 李媛媛,董世魁,朱 磊,等 (4683)
- 杉木人工林土壤质量演变过程中土壤微生物群落结构变化..... 刘 丽,徐明恺,汪思龙,等 (4692)
- 不同玉米品种(系)对玉米蚜生长发育和种群增长的影响 赵 曼,郭线茹,李为争,等 (4707)
- 伏牛山自然保护区森林冠层结构对林下植被特征的影响..... 卢训令,丁圣彦,游 莉,等 (4715)
- 内蒙古武川县农田退耕还草对粪金龟子群落的影响 刘 伟,门丽娜,刘新民 (4724)
- 铜和营养缺失对海州香薷两个种群生长、耐性及矿质营养吸收的差异影响 柯文山,陈世俭,熊治廷,等 (4737)
- 新疆喀纳斯国家自然保护区植被叶面积指数观测与遥感估算..... 咎 梅,李登秋,居为民,等 (4744)

景观、区域和全球生态

基于 LUCC 的生态系统服务空间化研究——以张掖市甘州区为例 梁友嘉,徐中民,钟方雷,等 (4758)

人工管理和自然驱动下盐城海滨湿地互花米草沼泽演变及空间差异 张华兵,刘红玉,侯明行 (4767)

基于 PCA 的滇西北高原纳帕海湿地退化过程分析及其评价 尚 文,杨永兴,韩大勇 (4776)

基于遥感和地理信息系统的图们江地区生态安全评价..... 南 颖,吉 喆,冯恒栋,等 (4790)

呼中林区森林景观的历史变域模拟及评价..... 吴志丰,李月辉,布仁仓,等 (4799)

降水时间对内蒙古温带草原地上净初级生产力的影响..... 郭 群,胡中民,李轩然,等 (4808)

研究简报

我国中东部不同气候带成熟林凋落物生产和分解及其与环境因子的关系.....

..... 王健健,王永吉,来利明,等 (4818)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 304 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 32 * 2013-08



封面图说:石质山区的退耕还林——桂西北地区是我国喀斯特集中分布的地区之一,这里的石漠化不仅造成土地退化、土壤资源逐步消失、干旱缺水和土地生产力下降,而且还导致生态系统退化和植被消亡。桂西北严重的地质生态环境问题,威胁着当地居民的基本生存,严重制约了当地社会经济的发展。增加植被覆盖是防治石漠化的重要举措。随着国家退耕还林、生态移民等治理措施的实施,区域植被碳密度显著增加,生态环境有所好转。图为喀斯特地区农民见缝插针用来耕种的鸡窝地(指小、碎、分散的土地),已经退耕还林了。

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

DOI: 10.5846/stxb201212101772

朱秋莲, 邢肖毅, 张宏, 安韶山. 黄土丘陵沟壑区不同植被区土壤生态化学计量特征. 生态学报, 2013, 33(15): 4674-4682.

Zhu Q L, Xing X Y, Zhang H, An S S. Soil ecological stoichiometry under different vegetation area on loess hilly-gully region. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(15): 4674-4682.

黄土丘陵沟壑区不同植被区土壤生态化学计量特征

朱秋莲^{1,2,3}, 邢肖毅^{1,3}, 张宏^{1,3}, 安韶山^{1,3,*}

(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, 杨陵 712100;
2. 西藏职业技术学院农林系, 拉萨 850030; 3. 西北农林科技大学资源环境学院, 杨陵 712100)

摘要:以黄土丘陵沟壑区 3 个植被区(森林区、森林草原区、草原区)不同坡向土壤作为研究对象,对土壤有机 C、全 N、全 P、全 K 含量及其化学计量特征进行了研究。结果表明,不同植被区、坡向和土层土壤养分含量及其化学计量特征均有明显不同。土壤有机 C、全 N 变异性较大,全 P、全 K 变异性较小。表层土壤养分含量显著高于底层土壤;同一土层之间有机 C、全 N 含量变异性较大,全 P、全 K 含量变异性较小。不同坡向之间养分含量不同,阴坡最大,阳坡最小。土壤养分含量受植被类型及植被盖度的影响,森林区>草原区>森林草原区。土壤 C/N、C/P、C/K、N/P、N/K 比都较稳定,C/N 比的变化范围为 5.65—12.57,平均值为 9.44; C/P 比的变化范围为 3.62—17.32,平均值为 8.15; C/K 比的变化范围为 0.10—0.55,平均值为 0.26; N/P 比的变化范围为 0.43—1.38,平均值为 0.86; N/K 比的变化范围为 0.01—0.05,平均值为 0.03; P/K 比值较稳定,为 0.03。土壤有机 C 和全 N 极显著正相关,全 N 和全 P 极显著正相关。

关键词: 化学计量特征; 黄土丘陵沟壑区; 植被区; 坡向

Soil ecological stoichiometry under different vegetation area on loess hilly-gully region

ZHU Qiulian^{1,2,3}, XING Xiaoyi^{1,3}, ZHANG Hong^{1,3}, AN Shaoshan^{1,3,*}

1 State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Agriculture of Loess Plateau, Northwest A&F University, Yangling, Shanxi, 712100, China

2 Department of Agriculture and Forestry, Tibet Vocational and Technical College, Lhasa 850030, China

3 College of Resource and Environmental Science, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling, Shanxi, 712100, China

Abstract: The objective of this study was to clarify the soil stoichiometric characteristics of three vegetation areas (forest area, forest-meadow area and meadow area) in loess hill and gully region. The soil at different slope aspects were selected to measure their organic carbon (C), total nitrogen (N), total phosphorous (P), and total potassium (K) contents. The results indicated that there were obvious differences in soil nutrient contents and their stoichiometry under different vegetation areas and slope aspects. The C and N had larger variability, the P and K had smaller variability. Soil nutrient contents of surface were higher than the sub-layer soil. The C and N had larger variability than the P and K in the same soil layer. Sunny slope's nutrient content was the least. Soil nutrient contents were influenced by vegetation types and coverage. Soil C/N, C/P, C/K, N/P, N/K ratio were relatively stable, C/N ratio range from 5.65 to 12.57, and the mean value was 9.44; C/P ratio change from 3.62 to 17.32, the mean value was 8.15; C/K ratio change from 0.10 to 0.55, the mean value was 0.26; N/K ratio change from 0.01 to 0.05, the mean value was 0.03; P/K ratio was roughly unchanged at 0.03. The organic C was very significant correlation with the total N and there was significant correlation between total P and K.

基金项目:国家自然科学基金重点基金(41030532); 国家自然科学基金面上项目(41171226); 西北农林科技大学“优秀青年人才科研专项”(QN2011049)资助项目

收稿日期: 2012-12-10; 修订日期: 2013-04-18

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

Key Words: soil ecological stoichiometry; loess hill and gully area; vegetation area; slope aspects

有机体个体 C、N、P 相对比例与所处环境 C、N、P 比的关系的研究,为探索物质和能量供给的改变对物种的影响,评价生物的适合度提供了一种新的途径,由此产生了生态化学计量学^[1]。20 世纪 50 年代,生态化学计量学的概念首先被应用于水生生态系统的研究,90 年代以来,该理论逐渐系统化,并广泛应用于陆地生态系统^[2-4]。国外对生态化学计量学的研究相对较多^[5-7],目前,我国学者对该学科的关注越来越多^[8-10],其研究主要集中于对植物组织的元素生态化学计量学特征^[11-14],而对土壤养分的生态化学计量学研究则相对较少^[15-16]。土壤作为生态系统的重要组成部分,对植物的生长起着关键性的作用,直接影响着植被群落的组成、结构与生产力水平^[17],研究其生态化学计量学特征,可以揭示养分的可获得性,对于认识 C、N、P 元素的循环和平衡机制具有重要意义^[18]。

黄土丘陵地区干旱缺水,生态环境脆弱,水土流失严重,植被恢复重建是治理该区水土流失、改善土壤质量的重要措施之一^[19]。土壤养分状况与植被恢复息息相关,研究土壤养分分布状况可以了解土壤水土流失过程中养分的再分布规律,对植被恢复的合理调控提供科学建议。本研究选择黄土丘陵沟壑区 3 个植被区(森林区、森林草原区、草原区)作为研究对象,对不同坡位的土壤开展研究,关注不同植被区、不同坡位对土壤有机 C、全 N、全 P、全 K 及其比例的影响状况,以期揭示黄土丘陵沟壑区不同植被类型下土壤全量养分和化学计量特征,为该区退化生态系统的植被恢复重建提供一定的决策依据。

1 研究区概况与研究方法

1.1 野外土壤样品采集

1.1.1 研究区域概况

研究区域位于安塞县境内,属于典型的黄土高原丘陵沟壑地区。研究总共选择了 3 个典型流域,流域情况介绍如下:

洞子沟位于延河流域一级支流西川流域,地处安塞县南部楼坪乡,地理坐标为 109°7′34″—109°10′34″E、36°31′13″—36°35′26″N,海拔 1166—1490 m,流域总面积 20.61 km²,土壤类型以黄绵土为主,间有复钙红粘土、典型黑垆土和冲积土,土地利用以林地为主,属森林区。

张家河位于延河流域上游干流,地处安塞县谭家营乡,地理坐标为 109°11′58″—109°14′39″E、36°59′33″—37°2′40″N,海拔 1118—1505 m。流域总面积 10.77 km²,土壤类型以黄绵土为主,间有少量典型黑垆土、冲积土。土地利用以草地和耕地为主,兼有零星林地,属森林草原区。

麻地沟位于延河流域上游干流,地处安塞县镰刀湾乡,地理坐标为 108°58′5″—109°2′52″E、37°12′31″—37°16′36″N,海拔 1270—1379 m,流域总面积 27.31 km²,土壤类型以黄绵土为主,间有复钙红粘土、典型黑垆土和冲积土,土地利用以草地为主,属草原区。

1.1.2 供试土壤采集点植被情况

在 3 个流域选择典型植被生长的梁峁,于峁顶、阳梁/峁坡和阴梁/峁坡分别采样,各个采样点的地貌及植被信息见表 1。

1.1.3 样品采集方法

供试土壤样品采集于 2011 年 7 月,样方大小视植被类型而定(乔木 10 m×10 m,灌木 5 m×5 m,草地 2 m×2 m),在每个样方内以 S 形选取 5 个点,去除土层上枯落物,用土钻按 0—10 cm 和 10—20 cm 分层采集土壤样品,将采集的土样混合,密封后带回实验室内,仔细除去其中可见植物残体及土壤动物,风干,过筛,供室内分析使用,野外设置 3 个重复。土壤有机 C 采用重铬酸钾容量法-外加热法测定,全 N 采用不包含硝态氮和亚硝态氮的半微量凯氏法消化,再用全自动凯氏定氮仪(KDY-9830, KETUO)进行测定,全 P 采用钼锑抗比色法测定,全 K 采用氢氧化钠熔融-火焰光度法测定。

表 1 试验样地的基本信息

Table 1 The general information of the sampling transects							
流域 Vally	坡向 Slope aspect	坡位 Slope position	坡度 /(°) Slope gradient	乔木/ 盖度/% Arbor/ coverage	灌木/盖度% Shrub/coverage	草本/盖度/% Grass/coverage	群落名称 Vegetation types
洞子沟	北偏东	阴梁崩坡	25			铁杆蒿/10、茭蒿/3、达乌里胡枝子/3、长芒草/1	铁杆蒿、茭蒿
		崩顶	8	刺槐/7	狼牙刺/5、 杠柳/3	铁杆蒿/18、达乌里胡枝子/8、长芒草/4	刺槐+狼牙刺、杠柳+铁杆蒿
	南偏西	阳梁崩坡	27		狼牙刺/8、灌木 铁线莲/1、杠柳/1	白羊草/7、长芒草/6、达乌里胡枝子/3.7、菊叶委陵菜/1.7、铁杆蒿/0.8、阿尔泰狗娃花/0.7、猪毛蒿/0.3	狼牙刺+白羊草、达乌里胡枝子
张家河	北	阴梁崩坡	37		沙棘	茭蒿/6、铁杆蒿/6、野菊花/3、阿尔泰狗娃花/1.5、大针茅/1	茭蒿、铁杆蒿
		崩顶	9			铁杆蒿/3、长芒草/0.5	铁杆蒿
	南	阳梁崩坡	30			白羊草/5.5、铁杆蒿/3、达乌里胡枝子/1.25、茭蒿/0.5	白羊草、铁杆蒿、茭蒿
麻地沟	北	阴梁崩坡	36		沙棘	铁杆蒿/3、百里香/2.7、野菊花/2.3、大针茅/0.8、达乌里胡枝子/0.5	铁杆蒿
		崩顶	8			大针茅/4.7、达乌里胡枝子/2.7、阿尔泰狗娃花/2.3、芦苇/2、猪毛蒿/1.3、铁杆蒿/0.3	大针茅、达乌里胡枝子
	南	阳梁崩坡	42			铁杆蒿/5.7、茭蒿/5、冷蒿/3.3、达乌里胡枝子/1.2	铁杆蒿、茭蒿、冷蒿、达乌里胡枝子

1.2 数据处理方法

数据分析和作图采用 Microsoft Excel 2003 软件,方差分析及相关性分析采用 SAS 8.0 软件包中相应程序进行。

2 结果与分析

2.1 土壤有机 C、全 N、全 P、全 K 含量

对土壤有机 C、全 N、全 P、全 K 含量进行土层、植被区、坡位的 3 因素方差分析,对于土壤总有机 C 和全 N,土层、植被区和坡位间的差异均达到了显著水平,对于全 P,植被区间差异显著,而全 K 均差异不显著。根据三因素方差分析结果,进行单因素方差分析及多重比较。

2.1.1 不同坡位土壤有机 C、全 N、全 P、全 K 含量

土壤有机 C、全 N、全 P、全 K 含量在同一植被区不同坡位的含量如图 1 所示,均表现为 0—10 cm 土层显著高于 10—20 cm 土层,而两个土层养分的变化规律大致相同。土壤有机 C 含量介于 2.10—10.65 mg/g,森林区和森林草原区均以阴坡含量最高,崩顶居中,阳坡最低,而草原区以崩顶最高,其次为阴坡,阳坡最低,三者之间具有显著性差异。土壤全 N 含量介于 0.25—0.90 mg/g,0—10 cm 土层,森林区崩顶含量最高,阴坡居中,阳坡最小,但差异不显著;森林草原区为阴坡最高,其次是崩顶,阳坡最低,且显著性差异;草原区为崩顶>阴坡>阳坡,三者之间具有显著性差异。土壤全 P 的变异性较小。森林区和草原区均以崩顶最大,显著大于阳坡和阴坡,而森林草原区为崩顶最小。K 含量与 P 一样,变异较小,仅森草区在不同坡位间表现出了差异性,两个土层,均是阳坡含量最高,而阴坡与崩顶无显著性差异。总的来说,有机 C 和全 N 含量变异较大,但总体上还是表现为阴坡与崩顶含量较高,显著高于阳坡,但两者间不具有显著性差异。全 P 和全 K 的含量较稳定,在不同坡位间含量虽略有不同,但都不具有显著性差异。

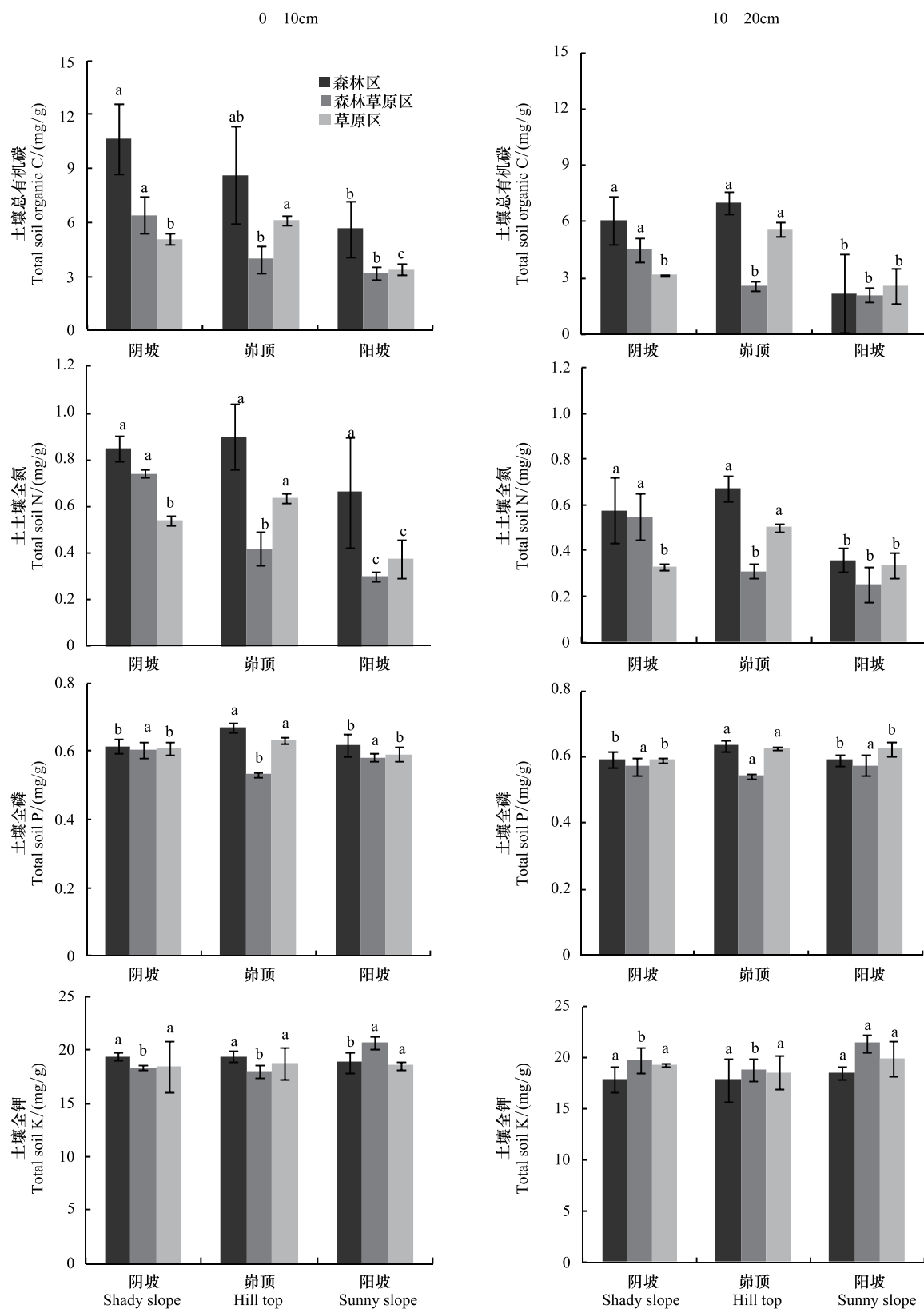


图 1 不同坡位间土壤有机 C、全 N、全 P、全 K 含量

Fig. 1 Contents of soil organic carbon, total nitrogen, phosphorus and potassium of different slope position

小写字母相同表示差异不显著 ($P < 0.05$)

2.1.2 不同植被区土壤有机 C、全 N、全 P、全 K 含量

土壤有机 C、全 N、全 P、全 K 在不同植被区的含量如图 2 所示。0—10 cm 土壤显著高于 10—20 cm 土壤,且两个土层变化规律基本相同。土壤有机 C 含量,阴坡和阳坡均以森林区最高,森林草原区居中,草原区最低,崩顶则以森林区最高,森草区最低。土壤全 N 的变化规律与有机 C 相似,均表现为森林区最高,而阴坡草原区最低,0—10 cm 土层 3 个植被区之间差异显著,10—20 cm 土层森林区与森林草原区之间差异不显著,与草原区差异显著;崩顶森草区最低,3 个植被区间具有显著性差异;阳坡为森林草原区最低,0—10 cm 土层森林区与森草区和草原区具有显著性差异,10—20 cm 土层森林区与草原区差异性不显著,与森林草原区差异性显著。全 P 含量稳定,变异性小,仅崩顶表现出了差异,森林区含量最高,其次是草原区,森林草原区最小,且差异显著,阴坡和阳坡植被区间无显著性差异。全 K 含量 0—10 cm 土层仅阳坡的土壤全钾表现出显著的差异,表现为森林草原区显著高于森林区和草原区,10—20 cm 土层下崩顶 3 个植被区间不具有显著性差异,阴坡与阳坡都以草原区最高,森林区最低,两者差异显著。

2.2 土壤有机 C、全 N、全 P、全 K 的生态化学计量特征

表 2 所示为土壤的生态化学计量比,土壤 C/N、C/P、C/K、N/P、N/K 比都比较稳定,变异系数都不大。土壤 C/N 比的变化范围为 5.65—12.57,平均值为 9.44,变异系数为 21%,两土层的 C/N 比具有相同的变化规律,3 因素方差分析表明,3 个植被区不同坡位以及不同土层之间都不具有显著性差异。土壤全 P、全 K 含量较稳定,因而 P/K 比很稳定,除森林区 10—20 cm 土层为 0.04 外,其余都为 0.03。3 因素方差分析表明,C/P、C/K、N/P、N/K 比在不同土层、不同植被区、不同坡位间均表现出显著性差异,表层土壤显著高于底层土壤;森林区显著高于森林草原区及草原区,后两者之间差异性不显著;阴坡及崩顶显著高于阳坡,而前两者之间差异性不显著。C/P 比的变化范围为 3.62—17.32,平均值为 8.15,变异系数为 20%,C/K 比的变化范围为 0.10—0.55,平均值为 0.26,变异系数为 22%,N/P 比的变化范围为 0.43—1.38,平均值为 0.86,变异系数为 13%,N/K 比的变化范围为 0.01—0.05,平均值为 0.03,变异系数为 15%。这是因为 P、K 元素含量较稳定,所以 C/P 比与 C/K 比以及 N/P 比与 N/K 比就只受 C、N 元素含量的影响,故 C/P 比与 C/K 比与有机 C 的变化规律一致,而 N/P 比和 N/K 比与全 N 的变化规律一致。

表 2 土壤化学计量特征
Table 2 The soil stoichiometric characteristics (means±S. E.)

土层厚度 Soil layer /cm	植被区 Vegetation area	坡位 Slope position	C/N	C/P	C/K	N/P	N/K	P/K
0—10	森林区 Arbor-shrub-grass	阴坡	12.57±2.15a	17.32±2.83a	0.55±0.09a	1.38±0.06a	0.04±0.00a	0.03±0.00a
		崩顶	9.43±1.57a	12.93±4.16ab	0.45±0.14ab	1.35±0.22a	0.05±0.01a	0.03±0.00a
		阳坡	9.51±4.08a	9.24±2.69b	0.30±0.08b	1.06±0.33a	0.03±0.01a	0.03±0.00a
	森林草原区 Shrub-grass	阴坡	8.70±1.30a	10.62±1.29a	0.35±0.05a	1.22±0.05a	0.04±0.00a	0.03±0.00a
		崩顶	9.63±2.50a	7.44±1.46b	0.22±0.05b	0.79±0.12b	0.02±0.00b	0.03±0.00a
		阳坡	10.64±1.73a	5.53±0.46c	0.16±0.02b	0.52±0.04c	0.01±0.00c	0.03±0.00a
	草原区 Grass	阴坡	9.40±0.29a	8.39±0.39b	0.28±0.06a	0.89±0.02a	0.03±0.01a	0.03±0.01a
		崩顶	9.64±0.50a	9.68±0.33a	0.33±0.03a	1.00±0.02a	0.03±0.00a	0.03±0.00a
		阳坡	9.20±1.27a	5.75±0.73c	0.18±0.02b	0.64±0.16b	0.02±0.00b	0.03±0.00a
10—20	森林区	阴坡	10.92±2.95a	10.22±2.16a	0.34±0.07a	0.97±0.20a	0.03±0.01a	0.04±0.00a
		崩顶	10.48±1.53a	11.02±0.67a	0.40±0.07a	1.06±0.10a	0.04±0.01a	0.03±0.00a
		阳坡	5.65±4.78a	3.62±3.42b	0.12±0.11b	0.61±0.07b	0.02±0.00b	0.03±0.00a
	森林草原区	阴坡	8.29±0.51a	7.91±1.40a	0.23±0.04a	0.96±0.21a	0.03±0.01a	0.03±0.00a
		崩顶	8.43±1.35a	4.73±0.49b	0.14±0.02b	0.57±0.06b	0.02±0.00ab	0.03±0.00a
		阳坡	9.14±3.18a	3.68±0.79b	0.10±0.02b	0.43±0.13b	0.01±0.00b	0.03±0.00a
	草原区	阴坡	9.58±0.46a	5.32±0.11b	0.16±0.00b	0.56±0.03b	0.02±0.00b	0.03±0.00a
		崩顶	11.16±0.93a	8.96±0.68a	0.31±0.05a	0.80±0.03a	0.03±0.00a	0.03±0.00a
		阳坡	7.56±1.67b	4.42±1.73b	0.13±0.05b	0.57±0.11b	0.02±0.00b	0.03±0.00a

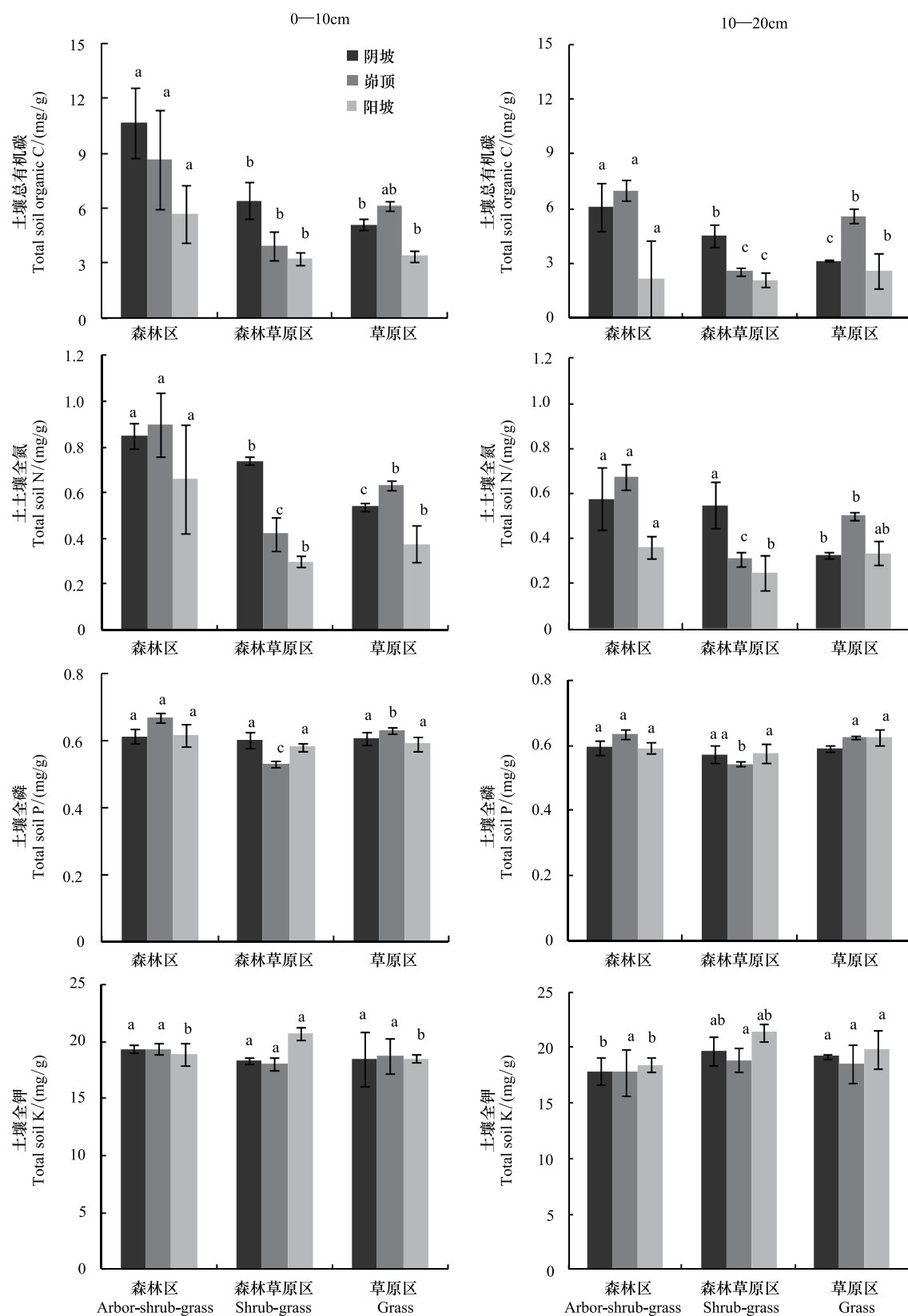


图2 不同植被区土壤有机 C、全 N、全 P、全 K 含量

Fig. 2 Contents of soil organic carbon, total nitrogen, phosphorus and potassium under different vegetation area

2.3 土壤有机 C、全 N、全 P、全 K 的生态化学计量比的相关性

对土壤全 N、有机 C、全 P、全 K 以及全 N、有机 C、全 P、全 K 化学计量比之间的相关性分析得出,养分全量之间全 N 和有机 C 具有极显著正相关关系($P<0.01$),表现出相对一致的变化规律;有机 C 和全 P,全 N 和全 P 之间虽然也呈极显著的相关关系,但相关系数相对较小。全 K 和有机 C、全 N、全 P 之间都相关性不显著。

养分全量和化学计量比之间的相关性分析可知,全 N 和 C/P、C/K 比具有极显著的相关关系;全 C 和 N/P、N/K 比具有极显著的相关关系;全 P 和 C/K 比相关性显著,和 N/K 比相关性极显著。

表 3 土壤养分含量与化学计量比之间的相关性分析

Table 3 The correlation analysis between soil nutrient content and the stoichiometric ratio

	N	C	P	K	C/N	C/P	C/K	N/P	N/K	P/K
N	1	0.947 **	0.614 **	-0.344	—	0.932 **	0.950 **	—	—	0.194
C			0.564 *	-0.287	—	—	—	0.940 **	0.865 **	0.219
P				-0.070	0.230	—	0.556 *	—	0.652 **	—
K					-0.072	-0.309	—	-0.382	—	—

* 表示显著相关($P<0.05$); ** 表示极显著相关($P<0.01$); “—”表示存在自相关关系,不宜进行相关分析

3 讨论

3.1 土壤有机 C、全 N、全 P、全 K 及其生态化学计量特征对土层、坡向及植被区的响应

在所研究的区域,土壤养分随着土层的加深而降低,其中以有机 C 和全 N 含量降低最多,而全 P、全 K 降低较少,这与魏孝荣和邵明安^[18]得出的实验结果一致。这是因为表层土壤受外界环境因素及植被枯落物养分归还的影响,导致养分首先在土壤表层密集,然后再随水或者其他介质向下层迁移扩散,而且土壤 C、N 除受土壤母质的影响外,还受枯落物的分解以及植物的吸收利用的影响,因而存在着较大的空间变异性,而 P、K 主要受土壤母质的影响,因而变异性较小^[19]。本研究所得的 C/N 比的平均值为 9.44,低于中国土壤的 C/N 比平均值(中国土壤的 C/N 比平均值在 10—12^[20]),土壤有机层的 C/N 比较低表明有机质具有较快的矿化作用,从有机层到矿物层,随着土壤厚度的增加,C/N 比一般会降低^[8],而本研究得出不同土层间的 C/N 比差异性不显著,这可能是因为本研究所采土样的深度太浅,未深入到矿物层的缘故。与土壤有机 C 和全 N 相比,土壤 C/N 比维持相对稳定,这验证了不同生态系统土壤 C/N 比相对稳定的结果^[21-22],这同时也符合化学计量学的基本原则,即有机物质的形成需要一定数量的氮和其他营养成分与其相应的相对固定比率的碳^[3]。不同土层间 C/P、C/K、N/P、N/K 比差异性显著,这是因为土壤中全 P、全 K 含量相对稳定,C/P、C/K、N/P、N/K 比主要受土壤有机 C 或者全 N 含量的影响,因而呈现较大的变异性。

坡向对土壤有机 C、全 N、全 P、全 K 以及 C/N、C/P、C/K、N/P、N/K、P/K 比影响较为明显,本研究结果得出,3 个植被区不同坡位间养分含量都表现为阴坡>山顶>阳坡,阳坡土壤养分含量最小,与阴坡及山顶几乎都具有显著性差异,显示了土壤养分阴坡聚集,山顶和阳坡流失的特征。这是因为阴坡植被茂盛,养分较易富集,山顶宽阔、平坦,侵蚀相对较弱,较之阳坡土壤养分得到了一定的积累,阳坡植被稀疏,水土流失严重,导致养分流失也较为严重。周萍等^[23]的研究表明,黄土丘陵区阴坡草本群落的物种高达 20 多种,较阳坡高 30%,物种多样性不同,导致地上生物量及枯落物也存在差异,这可能也是阳坡与阴坡差异性显著的原因。不同坡位间 C/N 比不具有显著性差异,而 C/P、C/K、N/P、N/K 比都表现为阴坡及山顶显著大于阳坡,这是因为阳坡的有机 C、全 N 含量小于阴坡及山顶的含量,而 P、K 含量稳定,因而阳坡的 C/P、C/K、N/P、N/K 比显著低于阴坡及山顶。

植被类型也对土壤养分有着重要的影响,各坡面上的植物群落不相同,不同植物群落根系活动深度不同,对土壤养分的吸收强度和深度也不同,从而在对土壤养分的影响强度和深度上存在显著的差异^[18]。本研究结果得出,土壤有机 C、全 N、全 P 三元素含量为森林区(平均值为 6.70、0.67、0.62 mg/g)>草原区(平均值为 4.32、0.45、0.61 mg/g)>森林草原区(平均值为 3.79、0.43、0.57 mg/g),这可能与本实验选取的植被区植被

类型和盖度不同有关,森林区有辽东栎、刺槐,灌木狼牙刺等以及各类草本,植被总盖度平均值为 39%;森林草原区有灌木沙棘及各种草本植物,植被总盖度平均值为 23%;草原区生长有大量的灌木沙棘及各类草本植物,植被总盖度平均值为 56%,就植被盖度而言草原区>森林区>森林草原区,而森林区生长有深根系的乔木,这可能是导致森林区的土壤养分含量大于森林草原区的原因,这与赵护兵等^[47]研究得出的乔木植被类型的生物量、氮磷养分累积量明显高于灌木植被类型,灌木植被类型则高于草地植被类型的结论相一致。

3.2 土壤 C/N/P 比的指示作用

土壤 C/N/P 比是有机质或其他成分中的 C 素与 N 素、P 素总质量的比值,是土壤有机质组成和质量程度的一个重要指标。土壤 C/N/P 比主要受区域水热条件和成土作用特征的控制,由于气候、地貌、植被、母岩、年代、土壤动物等土壤形成因子和人类活动的影响,土壤 C、N、P 总量变化很大土壤 C、N、P 总量变化很大,使得土壤 C/N/P 比的空间变异性较大^[8]。有关研究指出,植物、凋落物和土壤 C/N/P 比值可以作为养分限制、C/N/P 饱和的诊断和有效预测指标^[25-26]。C/N 比是土壤质量的敏感指标,而且 C/N 比会影响到土壤中有机 C 和 N 的循环^[27]。本研究表明,在不同土层,不同植被区及不同坡位 C/N 比差异不明显,这与王维奇等^[28]的研究结果相一致,主要是因为 C、N 元素之间具有极显著的相关关系,而且对环境变化的响应几乎是同步的^[21],同时 C 和 N 作为结构性成分,其积累和消耗过程存在相对固定的比值^[22]。目前部分土壤 N 储量估算和生态系统 C 模型研究中常将土壤 C/N 比视为一个常数,并根据土壤和生物量中 C 含量以及 C/N 比,近似估计大部分土壤和生物量的 N 储量^[1]。N/P 比可用作 N 饱和的诊断指标,并被用于确定养分限制的阈值^[25-26]。本研所得土壤 N/P 比的平均值为 0.86,其中森林区的平均值为 1.07,森林草原区的平均值为 0.75,草原区的平均值为 0.74,都远远低于其他研究所得的 N/P 比,而 P 含量与其他研究所得结果相差不大,这从另一个方面验证了黄土丘陵地区土壤的 N 缺乏。

4 结论

土壤养分受土层、植被类型及坡向的影响。表层土壤显著高于底层土壤;森林区>森林草原区>草原区;阴坡>山顶>阳坡。

土壤 C/N 较稳定,平均值为 9.44,低于中国土壤的平均值,P/K 比值不变,为 0.03,C/P、C/K、N/P、N/K 在不同土层、不同植被区、不同坡位间均表现出显著性差异,N/P 比较低。

土壤有机 C 和全 N 极显著正相关,全 N 和全 P 极显著正相关。

土壤养分含量受植被类型及植被盖度的影响,森林区>草原区>森林草原区。

References:

- [1] Han X G, Li L H, Huang J H. An introduction to biogeochemistry. Beijing: Higher Education Press, 1999.
- [2] Elser J J, Fagan W F, Denno R F, Dobberfuhl D, Folarin A, Huberty A, Interlandi S, Kilham S S, McCauley E, Schulz K L, Siemann E H, Sterner R W. Nutritional constraints in terrestrial and freshwater food webs. *Nature*, 2000, 408: 578-580.
- [3] Sterner R W, Elser J J. Ecological stoichiometry: the biology of elements from molecules to the biosphere. Princeton: Princeton University Press, 2002.
- [4] He J S, Han X G. Ecological stoichiometry: Searching for unifying principles from individuals to ecosystems. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2010, 34(1): 2-6.
- [5] Elser J J, Sterner R W, Gorokhova E, Fagan W F, Markow T A, Cotner J B, Harrison J F, Hobbie S E, Odell G M, Weider L J. Biological stoichiometry from genes to ecosystems. *Ecology Letters*, 2000, 3(6): 540-550.
- [6] Elser J J, Acharya K, Kyle M, Cotner J B, Makino W, Markow T A, Watts T D, Hobbie S E, Fagan W F, Schade J, Hood J, Sterner R W. Growth rate-stoichiometry couplings in diverse biota. *Ecology Letters*, 2003, 6: 936-943.
- [7] Tessier J T, Raynal D J. Use of nitrogen to phosphorus ratios in plant tissue as indicator of nutrient limitation and nitrogen saturation. *Journal of Applied Ecology*, 2003, 40: 523-534.
- [8] Wang S Q, Yu G R. Ecological stoichiometry characteristics of ecosystem carbon, nitrogen and phosphorus elements. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(8): 3937-3947.
- [9] Zhang L X, Bai Y F, Han X G. Application of N:P stoichiometry to ecology studies. *Acta Botanica Sinica*, 2003, 45: 1009-1018.
- [10] Zeng D H, Chen G S. Ecological stoichiometry: a science to explore the complexity of living systems. *Acta Phytocologica Sinica*, 2005, 29(6): 1007-1019.

- [11] Gao S P, Li J X, Xu M C, Chen X, Dai J. Leaf N and P stoichiometry of common species in successional stages of the evergreen broad-leaved forest in Tiantong National Forest Park, Zhejiang Province, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(3): 947-952.
- [12] Ren S J, Yu G R, Tao B, Wang S Q. Leaf nitrogen and phosphorus stoichiometry across 654 terrestrial plant species in NSTEC. *Environmental Science*, 2007, 28(12): 2665-2673.
- [13] Zhang L X, Bai Y F, Han X G. Differential responses of N:P stoichiometry of *Leymus chinensis* and *Carex korshinskyi* to N additions in a steppe ecosystem in Nei Mongol. *Acta Botanica Sinica*, 2004, 46(3): 259-270.
- [14] Han W, Fang J Y, Guo D, Zhang Y. Leaf nitrogen and phosphorus stoichiometry across 753 terrestrial plant species in China. *New Phytologist*, 2005, 168: 377-385.
- [15] Luo Y Y, Zhang Y, Zhang J H, Ka Z J, Shang L Y, Wang S Y. Soil stoichiometry characteristics of alpine meadow at its different degradation stages. *Chinese Journal of Ecology*, 2012, 31(2): 254-260.
- [16] Tian H Q, Chen G S, Zhang C, Melillo J M, Hall C A S. Pattern and variation of C:N:P ratios in China's soils: a synthesis of observational data. *Biogeochemistry*, 2010, 98(1/3): 139-151.
- [17] Liu R, Zhang W G, Jiang X L, Zhang J. Study on the characteristics of degradation succession of *Elymus nutans* community and its correlation to soil properties. *Pratacultural Science*, 2010, 27(10): 96-103.
- [18] Wei X R, Shao M A. The distribution of soil nutrients on sloping land in the gully region watershed of the Loess Plateau. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(2): 603-612.
- [19] Liu X Z, Zhou G Y, Zhang D Q, Liu S Z, Chu G W, Yan J H. N and P stoichiometry of plant and soil in lower subtropical forest successional series in southern China. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2010, 34(1): 64-71.
- [20] Huang C Y, Pedology. Beijing: Chinese Agricultural Press, 2000.
- [21] Cleveland C C, Liptzin D. C:N:P stoichiometry in soil: is there a "Redfield ratio" for the microbial biomass?. *Biogeochemistry*, 2007, 85: 235-252.
- [22] Chapin S F III, Matson P, Mooney H A. Principles of terrestrial ecosystem ecology. Springer Verlag, New York, 2002.
- [23] Zhou P, Liu G B, Hou X L. Biomass and species diversity of herbosa at different position and aspects of slope in the hilly-gully region of Loess Plateau. *Science of Soil and Water Conservation*, 2009, 7(1): 67-73.
- [24] Zhao H B, Liu G B, Hou X L. The main vegetation types loess hilly-gully region basin nutrient cycle characteristics. *Acta Prataculturae Sinica*, 2006, 15(3): 63-69.
- [25] Gusewell S, Koerselman W, Verhoeven J T A. Biomass N:P ratios as indicators of nutrient limitation for plant populations in wetlands. *Ecological Applications*, 2003, 13(2): 372-384.
- [26] Tessier J T, Raynal D J. Use of nitrogen to phosphorus ratios in plant tissue as an indicator of nutrient limitation and nitrogen saturation. *Journal of Applied Ecology*, 2003, 40: 523-534.
- [27] Ren S J, Cao M K, Tao B, Li K R. The Effects of Nitrogen Limitation on Terrestrial Ecosystem Carbon Cycle: a Review. *Progress in Geography*, 2006, 25(4): 58-67.
- [28] Wang W Q, Tong C, Jia R X, Zeng C S. Ecological stoichiometry characteristics of wetland soil carbon, nitrogen and phosphorus in different water-flooded frequency. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2010, 24(3): 238-242.

参考文献:

- [1] 韩兴国, 李凌浩, 黄建辉. 生物地球化学概论. 北京: 高等教育出版社, 1999.
- [4] 贺金生, 韩兴国. 生态化学计量学: 探索从个体到生态系统的统一化理论. *植物生态学报*, 2010, 34(1): 2-6.
- [8] 王绍强, 于贵瑞. 生态系统碳氮磷元素的生态化学计量学特征. *生态学报*, 2008, 28(8): 3937-3947.
- [10] 曾德慧, 陈广生. 生态化学计量学: 复杂生命系统奥秘的探索. *植物生态学报*, 2005, 29(6): 1007-1019.
- [11] 高三平, 李俊祥, 徐明策, 陈熙, 戴洁. 天童常绿阔叶林不同演替阶段常见种叶片 N、P 化学计量学特征. *生态学报*, 2007, 27(3): 947-952.
- [12] 任书杰, 于贵瑞, 陶波, 王绍强. 中国东部南北样带 654 种植物叶片氮和磷的化学计量学特征研究. *环境科学*, 2007, 28(12): 2665-2673.
- [13] 张丽霞, 白永飞, 韩兴国. 内蒙古典型草原生态系统中 N 素添加对羊草和黄囊苔草 N:P 化学计量学特征的影响. *植物学报*, 2004, 46(3): 259-270.
- [15] 罗亚勇, 张宇, 张静辉, 卡召加, 尚伦宇, 王少影. 不同退化阶段高寒草甸土壤化学计量特征. *生态学杂志*, 2012, 31(2): 254-260.
- [17] 刘蓉, 张卫国, 江小雷, 张军. 2010. 垂穗披碱草群落退化演替的植被特性及其与土壤性状的相关性研究. *草业科学*, 27(10): 96-103.
- [18] 魏孝荣, 邵明安. 黄土高原沟壑区小流域坡地土壤养分分布特征. *生态学报*, 2007, 27(2): 603-612.
- [19] 刘兴诏, 周国逸, 张德强, 刘世忠, 褚国伟, 闫俊华. 南亚热带森林不同演替阶段植物与土壤中 N、P 的化学计量特征. *植物生态学报*, 2010, 34(1): 64-71.
- [20] 黄昌勇. 土壤学. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [23] 周萍, 刘国斌, 侯喜禄. 黄土丘陵区不同坡向及坡位草本群落生物量及多样性研究. *中国水土保持科学*, 2009, 7(1): 67-73.
- [24] 赵护兵, 刘国彬, 侯喜禄. 黄土丘陵区流域主要植被类型养分循环特征. *草业学报*, 2006, 15(3): 63-69.
- [27] 任书杰, 曹明奎, 陶波, 李可让. 陆地生态系统氮状态对碳循环的限制作用进展. *地理科学进展*, 2006, 25(4): 58-67.
- [28] 王维奇, 全川, 贾瑞霞. 不同淹水频率下湿地土壤碳氮磷生态化学计量特征. *水土保持学报*, 2010, 24(3): 238-242.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 15 Aug. ,2013(Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- A review on the application of remote sensing in mangrove ecosystem monitoring SUN Yongguang, ZHAO Dongzhi, GUO Wenyong, et al (4523)
- Urban metabolism process based on emergy synthesis: Theory and method LIU Gengyuan, YANG Zhifeng, CHEN Bin (4539)
- Theoretical considerations on ecological civilization development and assessment ZHAO Jingzhu (4552)

Autecology & Fundamentals

- Assemblage composition and distribution of meiobenthos in the Yangtze Estuary and its adjacent waters in autumn-winter season Yu Tingting, XU Kuidong (4556)
- Ecological distribution and nutrient limitation of phytoplankton in adjacent sea of Guanhe Estuary in spring FANG Tao, HE Xinran, FENG Zhihua, et al (4567)
- The distribution of urea concentrations and urease activities in the coastal waters of Hainan Island during the spring HUANG Kaixuan, ZHANG Yun, OU Linjian, et al (4575)
- Effects of simulated acid rain on growth and bleeding sap amount of root in *Quercus mongolica* LIANG Xiaoqin, LIU Jian, DING Wenjuan, et al (4583)
- Allelopathic effects of organic acid allelochemicals on melon ZHANG Zhizhong, SUN Zhihao, CHEN Wenhui, et al (4591)
- Fraction changes of oxidation organic carbon in paddy soil and its correlation with CH₄ emission fluxes WU Jiamei, JI Xionghui, HUO Lianjie, et al (4599)
- Changes of soil nitrogen types and nitrate accumulation in vegetables with single or multiple application of dicyandiamide WANG Huangping, ZHANG Qing, WENG Boqi, et al (4608)
- Comparison of isolation rate of mycobacteriophage in the different type soils XU Fengyu, SU Shengbing, MA Hongxia, et al (4616)
- Effects of different acidity acid rain on yield, protein and starch content and components in two wheat cultivars BIAN Yajiao, HUANG Jie, SUN Qisong, et al (4623)
- The causes of *Gentiana straminea* Maxim. seeds dormancy and the methods for its breaking LI Bingbing, WEI Xiaohong, XU Yan (4631)
- Physiological responses of four golden-leaf trees to SO₂ stress CHONG Peifang, SU Shiping (4639)
- Influence of endosulfan and its metabolites on enzyme activities in purple soil XIONG Bailian, ZHANG Jinzhong, DAI Juan, et al (4649)

Population, Community and Ecosystem

- Seasonal dynamics of food web energy pathways at the community-level XU Jun, ZHOU Qiong, WEN Zhourui, et al (4658)
- Population dynamics of *Niviventer confucianus* in Thousand Island Lake ZHANG Xu, BAO Yixin, LIU Jun, et al (4665)
- Soil ecological stoichiometry under different vegetation area on loess hilly-gully region ZHU Qiulian, XING Xiaoyi, ZHANG Hong, et al (4674)
- Adaptation strategies of reproduction of plant community in response to grassland degradation and artificial restoration LI Yuanyuan, DONG Shikui, ZHU Lei, et al (4683)
- Effect of different *Cunninghamia lanceolata* plantation soil qualities on soil microbial community structure LIU Li, XU Mingkai, WANG Silong, et al (4692)
- Effects of different maize hybrids (inbreds) on the growth, development and population dynamics of *Rhopalosiphum maidis* Fitch ZHAO Man, GUO Xianru, LI Weizheng, et al (4707)
- Effects of forest canopy structure on understory vegetation characteristics of Funiu Mountain Nature Reserve LU Xunling, DING Shengyan, YOU Li, et al (4715)

- Influence of restoring cropland to grassland on dung beetle assemblages in Wuchuan County, Inner Mongolia, China LIU Wei, MEN Lina, LIU Xinmin (4724)
- Cu and nutrient deficiency on different effects of growth, tolerance and mineral elements accumulation between two *Elsholtzia haichouensis* populations KE Wenshan, CHEN Shijian, XIONG Zhiting, et al (4737)
- Measurement and retrieval of leaf area index using remote sensing data in Kanas National Nature Reserve, Xinjiang ZAN Mei, LI Dengqiu, JU Weimin, et al (4744)
- Landscape, Regional and Global Ecology**
- An spatial ecosystem services approach based on LUCC: a case study of Ganzhou district of Zhangye City LIANG Youjia, XU Zhongmin, ZHONG Fanglei, et al (4758)
- Spatiotemporal characteristics of *Spartina alterniflora* marsh change in the coastal wetlands of Yancheng caused by natural processes and human activities ZHANG Huabing, LIU Hongyu, Hou Minghang (4767)
- Process analysis and evaluation of wetlands degradation based on PCA in the lakeside of Napahai, Northwest Yunnan Plateau SHANG Wen, YANG Yongxing, HAN Dayong (4776)
- On eco-security evaluation in the Tumen River region based on RS&GIS NAN Ying, JI Zhe, FENG Hengdong, et al (4790)
- Evaluation and simulation of historical range of variability of forest landscape pattern in Huzhong area WU Zhifeng, LI Yuehui, BU Rencang, et al (4799)
- Effects of precipitation timing on aboveground net primary productivity in inner mongolia temperate steppe GUO Qun, HU Zhongmin, LI Xuanran, et al (4808)
- Research Notes**
- Litter production and decomposition of different forest ecosystems and their relations to environmental factors in different climatic zones of mid and eastern China WANG Jianjian, WANG Yongji, LAI Liming, et al (4818)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的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;新书评价和学术、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,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 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

本期责任副主编 赵景柱

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 33 卷 第 15 期 (2013 年 8 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 15 (August, 2013)

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	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
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:100717	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@csppg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@csppg.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 90.00 元