

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

# 生态学报

## Acta Ecologica Sinica



第 31 卷 第 14 期 Vol.31 No.14 **2011**

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 31 卷 第 14 期

2011 年 7 月 (半月刊)

## 目 次

|                                       |                      |
|---------------------------------------|----------------------|
| 厦门市三个产业土地利用变化的敏感性·····                | 黄 静,崔胜辉,李方一,等 (3863) |
| 黄河源区沙漠化及其景观格局的变化·····                 | 胡光印,董治宝,逯军峰,等 (3872) |
| 岩溶山区景观多样性变化的生态学意义对比——以贵州四个典型地区为例····· | 罗光杰,李阳兵,王世杰,等 (3882) |
| 基于城市地表参数变化的城市热岛效应分析·····              | 徐涵秋 (3890)           |
| 北京市土地利用生态分类方法·····                    | 唐秀美,陈百明,路庆斌,等 (3902) |
| 长白山红松臭冷杉光谱反射随海拔的变化·····               | 范秀华,刘伟国,卢文敏,等 (3910) |
| 臭冷杉生物量分配格局及异速生长模型·····                | 汪金松,张春雨,范秀华,等 (3918) |
| 渔山岛岩礁基质潮间带大型底栖动物优势种生态位·····           | 焦海峰,施慧雄,尤仲杰,等 (3928) |
| 食物质量差异对树麻雀能量预算和消化道形态特征的影响·····        | 杨志宏,邵淑丽 (3937)       |
| 桂西北典型喀斯特区生态服务价值的环境响应及其空间尺度特征·····     | 张明阳,王克林,刘会玉,等 (3947) |
| 隔沟交替灌溉条件下玉米根系形态性状及结构分布·····           | 李彩霞,孙景生,周新国,等 (3956) |
| 不同抗病性茄子根系分泌物对黄萎菌的化感作用·····            | 周宝利,陈志霞,杜 亮,等 (3964) |
| 镧在草-菇-土系统中的循环与生物富集效应·····             | 翁伯琦,姜照伟,王义祥,等 (3973) |
| 鄱阳湖流域泥沙流失及吸附态氮磷输出负荷评估·····            | 余进祥,郑博福,刘娅菲,等 (3980) |
| 柠条细根的分布和动态及其与土壤资源有效性的关系·····          | 史建伟,王孟本,陈建文,等 (3990) |
| 土壤盐渍化对尿素与磷酸脲氮挥发的影响·····               | 梁 飞,田长彦 (3999)       |
| 象山港海域细菌的分布特征及其环境影响因素·····             | 杨季芳,王海丽,陈福生,等 (4007) |
| 近地层臭氧对小麦抗氧化酶活性变化动态的影响·····            | 吴芳芳,郑有飞,吴荣军,等 (4019) |
| 抑制剂和安全剂对高羊茅根中酶活性和菲代谢的影响·····          | 龚帅帅,韩 进,高彦征,等 (4027) |
| 南苜蓿高效共生根瘤菌土壤的筛选·····                  | 刘晓云,郭振国,李乔仙,等 (4034) |
| 汉江上游金水河流域土壤常量元素迁移模式·····              | 何文鸣,周 杰,张昌盛,等 (4042) |
| 基于地理和气象要素的春玉米生育期栅格化方法·····            | 刘 勤,严昌荣,梅旭荣,等 (4056) |
| 日光温室切花郁金香花期与外观品质预测模型·····             | 李 刚,陈亚茹,戴剑锋,等 (4062) |
| 冀西北坝上旱干区南瓜油葵间作的水分效应·····              | 黄 伟,张俊花,李文红,等 (4072) |
| <b>专论与综述</b>                          |                      |
| 鸟类分子系统地理学研究进展·····                    | 董 路,张雁云 (4082)       |
| 自然保护区空间特征和地块最优选择方法·····               | 王宜成 (4094)           |
| 人类活动是导致生物均质化的主要因素·····                | 陈国奇,强 胜 (4107)       |
| 冬虫夏草发生的影响因子·····                      | 张古忍,余俊锋,吴光国,等 (4117) |
| 自然湿地土壤产甲烷菌和甲烷氧化菌多样性的分子检测·····         | 余晨兴,全 川 (4126)       |
| <b>研究简报</b>                           |                      |
| 塔里木河上游典型绿洲不同连作年限棉田土壤质量评价·····         | 贡 璐,张海峰,吕光辉,等 (4136) |
| 高山森林凋落物分解过程中的微生物生物量动态·····            | 周晓庆,吴福忠,杨万勤,等 (4144) |
| 生物结皮粗糙特征——以古尔班通古特沙漠为例·····            | 王雪芹,张元明,张伟民,等 (4153) |
| 不同海拔茶园害虫、天敌种群及其群落结构差异·····            | 柯胜兵,党凤花,毕守东,等 (4161) |

期刊基本参数:CN 11-2031/Q \* 1981 \* m \* 16 \* 306 \* zh \* P \* ¥ 70.00 \* 1510 \* 33 \* 2011-07



封面图说:内地多呈灌木状的沙棘,在青藏高原就表现为高大的乔木,在拉萨河以及雅鲁藏布江沿岸常常可以看到高大的沙棘林和沼泽塔头湿地相映成趣的美丽景观。

彩图提供:陈建伟教授 国家林业局 E-mail: cites.chenjw@163.com

贡璐, 张海峰, 吕光辉, 桂东伟. 塔里木河上游典型绿洲不同连作年限棉田土壤质量评价. 生态学报, 2011, 31(14): 4136-4143.

Gong L, Zhang H F, Lu G H, Guo D W. Soil quality assessment of continuous cropping cotton fields for different years in a typical oasis in the upper reaches of the Tarim River. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(14): 4136-4143.

## 塔里木河上游典型绿洲不同连作年限 棉田土壤质量评价

贡 璐<sup>1,2,\*</sup>, 张海峰<sup>1,2</sup>, 吕光辉<sup>1,2</sup>, 杜东伟<sup>3,4</sup>

(1. 新疆大学资源与环境科学学院, 乌鲁木齐 830046; 2. 绿洲生态教育部重点实验室, 乌鲁木齐 830046;

3. 中国科学院新疆生态与地理研究所, 乌鲁木齐 830001; 4. 新疆策勒荒漠草地生态系统国家野外科学观测研究站, 策勒 848300)

**摘要:**以塔里木河上游阿拉尔垦区为典型样区, 选择 0、3、8、12、20、30 a 等不同连作年限棉田为研究对象, 综合考虑土壤物理、化学和生物学性质, 分析了 12 个土壤理化及酶活性指标; 基于因子分析和聚类分析法评价棉田间土壤质量的差异并划分等级, 利用产量持续指数验证评价结果。研究表明: 不同连作年限的棉田土壤的理化性质和酶活性均存在一定差异; 棉田的土壤质量随年限呈先上升后下降的趋势, 8、12 a 棉田土壤质量相对较高, 20、30 a 土壤质量有退化趋势; 土壤质量评价与产量持续指数变化趋势一致, 后者略显滞后效应。

**关键词:**土壤质量; 连作棉田; 绿洲; 塔里木河上游

## Soil quality assessment of continuous cropping cotton fields for different years in a typical oasis in the upper reaches of the Tarim River

GONG Lu<sup>1,2,\*</sup>, ZHANG Haifeng<sup>1,2</sup>, LÜ Guanghui<sup>1,2</sup>, GUI Dongwei<sup>3,4</sup>

1 College of Resources and Environment Science, Xinjiang University, Urumqi 830046, China

2 Key Laboratory of Oasis Ecology, Ministry of Education, Urumqi 830046, China

3 Xinjiang Institute of Ecology and Geography, CAS, Urumqi 830011, China

4 Cele National Station of Observation & Research for Desert-Grassland Ecosystem in Xinjiang, Cele, Xinjiang 848300, China

**Abstract:** Cotton production plays an important role in the local economy of Xinjiang, China. According to traditional theory, long-term continuous cotton cropping will inevitably lead to unbalance in soil nutrients and diminish soil fertility. In 2008, soil samples, as 0–20 cm layers, were collected from native land (without cultivation, as a control) and five continuous cropping cotton fields, with different cultivation times (3, 8, 12, 20 and 30 years, respectively). Based on the analysis of seven physical and chemical properties: soil water content, bulk density, pH, organic matter, total N, available P, and available K, and five soil enzymatic activities: catalase, polyphenol oxidase, urease, invertase, and alkaline phosphatase, this study attempts to evaluate soil quality across continuous cropping cotton fields for different years in the Aler reclamation area of the upper reaches of the Tarim River. The soil quality assessment values (SQAV) were visualized using principal component analysis (PCA), and the soil quality grades were classified with a clustering diagram. The sustainable yield indexes (SYI) were calculated to verify the evaluated results. The results show that there are differences, in terms of the physical, chemical and enzymatic properties, between the continuous cropping cotton fields for the different years, and that continuous cropping of cotton has a significant influence on a number of soil properties. Soil quality initially

**基金项目:**国家重点基础研究发展计划资助项目(2009CB421302); 新疆自然科学基金项目(2011211B04); 新疆维吾尔自治区高校科研计划青年教师培育基金项目(XJEDU2009S09); 新疆维吾尔自治区重点实验室开放课题(XJDX0206-2009-04)

收稿日期: 2010-12-06; 修订日期: 2011-04-18

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: gonglu721@163.com

increased, but then decreased gradually with continuous cropping. The soil quality in continuous cropping cotton fields at 8 and 12 years improved, but was degraded for 20 and 30 years. In the early stages, soil fertility increased through fertilization, irrigation and growth, and soil organic matter, nutrients and enzymatic activity subsequently rose, and soil quality improved. Cropped cotton fields at 3 years exhibited the lowest soil quality. Indicator values and the soil quality assessment values reached their maximum at 12 years. With continuous cotton cropping, soil quality gradually dropped in a monoculture pattern over a long period. Organic matter levels declined significantly, along with total N, polyphenol oxidase, invertase and alkaline phosphatase. Soil ecosystems undergo a series of degradation stages, and the soil texture was appeared to be transforming into brown desert soil. The soil quality assessment values decreased from 0.633 to 0.068 between 12 and 30 years. Different land use intensities and cropping patterns would significantly impact the soil quality, and extended cultivation for more than 10 years may also cause a decline in soil quality, to a varying degree, with unreasonable tillage practices. Soil quality values were consistent with sustainable yield indexes, but the latter lagged the former appreciably. Therefore, management practices need to consider increasing soil quality through irrigation, cotton-green manure usage, crop rotation and the combined application of organic and chemical fertilizers. This study could be beneficial for refining a sustainable agricultural development in the oasis. It is recommended that studies into the soil quality of arid lands be focused on defining a Minimum Data Set (MDS), with the aid of multivariate statistical techniques and an analysis of the relationships between different soil factors.

**Key Words:** soil quality; continuous cropping cotton field; oasis; upper reaches of the Tarim River

土壤作为陆地生态系统功能的基础,其质量状况是全球生物圈可持续发展的重要因素。土地利用方式影响着土壤物理、化学、生物过程及土地生产力,进而导致土壤质量变化。人类对土地不和谐利用和管理已经使全球生物地球化学循环发生改变并加快土壤性质变化的速度<sup>[1]</sup>。农业土壤是在各种自然因素和人类活动的直接作用下形成和发展的,经历了自然、半人工到人工土壤生态系统的过程。尤其垦殖多年的土壤,其质量易在多种因子的综合作用下发生复杂变化。开展农业土壤质量评价已成为保证生态农业持续高效发展的必要环节<sup>[2]</sup>,进一步为实现农业生态系统健康演替提供科学依据。

土壤质量是土壤多种功能的综合体现,对土壤质量的评价必需建立在对土壤实现其功能的能力评价基础上<sup>[3]</sup>,国内外学者选择不同的物理、化学和生物学指标对包括农田在内的土壤质量进行测定和评价。研究中更强调选择反映土壤理化属性的指标<sup>[4-8]</sup>,对土壤生物学参数应用相对较少,且主要为土壤微生物指标。寻找较全面反映土壤生物学肥力质量变化和判别胁迫环境下以及人为扰动下土壤生态系统状态的指标,已成为现代生态学的一项主要任务,有越来越多的证据表明土壤酶活性在这一方面的潜力<sup>[9-12]</sup>。综合选择土壤理化、生物学特性指标,全面表征外部管理或环境条件下土壤性状的变化,对评价土壤质量有着重要意义。

塔里木河流域是我国重要的棉花生产基地。该流域绿洲正处于由传统农业向现代生态农业过渡时期,农业经济带来的“显性”效益使得人们忽视了对为其提供巨大“隐性”服务价值的农耕土壤的保护,高强度的土地资源开发、不合理的灌溉垦殖方式加之原本脆弱的生态环境使得绿洲系统内部负荷逐年加大,土壤贫瘠化、沙化、盐碱化的现状愈发严重<sup>[13]</sup>。区域农业土壤的理化、生物学特性响应于耕作管理方式形成了各自的分异规律,而关于该领域的研究较少涉及,对该流域不同耕作年限特别是长期连作棉田土壤质量的系统研究未见之于文献。

研究以新疆第二大棉区塔里木河上游阿拉尔垦区为典型样区,结合土壤的物理、化学和生物学性质,分析和评价不同连作年限棉田间土壤质量的差异,以期进一步揭示人地关系,为农业土地规划、作物栽培布局和水土保持政策制定提供科学依据。

## 1 研究区概况

阿拉尔垦区地处天山中段南麓,塔克拉玛干沙漠北缘,塔里木河上游,东经 80°30′—81°58′、北纬40°22′—

40°57'之间。属塔里木河冲积平原,沿河岸及冲沟两侧略有抬升,海拔平均 1012 m,属典型的暖温带大陆性干旱荒漠气候,降水稀少,年均温 10.7 ℃,日照 2900 h,无霜期 220 d,土壤母质为棕漠土,适宜长绒棉、细绒棉栽培。该地区属新疆生产建设兵团直辖的县级市,经济发展主要依靠农业,是全国重要的细绒棉和最大的长绒棉生产基地以及新疆特色农副产品转化增值的示范基地。

## 2 研究方法

### 2.1 样地选择与取样

为研究不同连作年限棉田的土壤质量状况,用空间代替时间序列的方法,在研究区所属农一师十二团选择同一海拔高度、地理位置相近、土壤性质均一的 0 a(将周边荒草地设为对照组,主要植被覆盖为芦苇、骆驼刺等)、3、8、12、20、30 a 连作棉田为研究样地,采样时间为 2008 年 8 月。样区耕作方式为传统耕作,灌溉与施肥由当地兵团统筹管理;灌溉方式为滴灌,前次灌溉时间为 2008 年 7 月上旬;棉田施肥主要包括尿素、磷酸二胺、硫酸钾及复合肥等。每块样地约 0.15 hm<sup>2</sup>,各年份样地均设置 5 个典型样方,在各样方采集表层土样(0—20 cm),设置 3 次重复,将 3 次重复的土样去除植物根系和石块,充分混匀并用四分法取 1 kg,混匀风干研磨过筛以供测定。待作物收获后对各样地作物产量进行跟踪调查并收集研究区棉田产量的统计数据。

### 2.2 实验方法与数据处理

土壤理化性质测定主要选取了土壤含水量(X1)、土壤容重(X2)、pH 值(X3)、土壤有机质(X4)、全氮(X5)、速效磷(X6)、速效钾(X7)等 7 个指标,具体实验方法如下:土壤含水量采用烘干法;土壤容重采用环刀法;pH 值采用电位法;土壤有机质采用重铬酸钾滴定法;全氮采用半微量凯氏法;速效磷采用碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法;速效钾采用醋酸铵浸提-火焰光度计法。

土壤酶活性的测定主要选取了氧化还原酶类的过氧化氢酶(X8)、多酚氧化酶(X9)以及水解酶类的碱性磷酸酶(X10)、脲酶(X11)、转化酶(X12)共计 5 种酶<sup>[14-15]</sup>,具体实验方法如下:过氧化氢酶活性采用高锰酸钾滴定法;多酚氧化酶采用邻苯三酚比色法;碱性磷酸酶采用磷酸苯二钠比色法;脲酶采用扩散滴定法;蛋白酶活性采用茚三酮比色法;转化酶活性采用硫代硫酸钠滴定法。对每个土样所测指标进行 3 次平行测定,结果取其平均值。

实验获取数据通过 Excel 整理后,采用 SPSS 17.0 软件进行数据统计分析;在数据正态分布检验和数据转换的基础上,计算均值( $n=5$ )和标准差(SD),对各项指标进行单因素方差分析(one-way ANOVA),利用 LSD(Least Significant Difference)方法进行不同连作年限棉田土壤质量评价指标的差异显著性多重比较,差异显著性水平为  $\alpha=0.05$ ,最后通过 KMO 抽样测定与 Bartlett 球形检验,确定数据是否适合因子分析。

由因子分析法中的主成分分析提取因子,计算不同连作年限棉田土壤质量评价分值:

$$SQAV = \sum a_i z_i \quad (1)$$

式中, SQAV 为土壤质量评价分值;  $a_i$  为各因子的方差贡献率;  $z_i$  为因子得分,  $z_i = \sum w_{ij} x_{ij}$ ,  $w_{ij}$  为第  $i$  个变量在第  $j$  个因子处的因子得分系数,  $x_{ij}$  为第  $i$  个变量在第  $j$  个因子处的标准化值。

最后用系统聚类法对其进行类型划分,并通过各样地作物产量计算产量持续指数<sup>[16]</sup>,进一步验证评价结果:

$$SYI = \sum (\bar{Y} - \sigma) / Y_{\max} \quad (2)$$

式中, SYI 为产量可持续性指数;  $\bar{Y}$  为平均产量;  $\sigma$  为标准差;  $Y_{\max}$  为最高产量。

## 3 结果分析

### 3.1 不同连作年限棉田的土壤理化性质比较

不同连作年限棉田的土壤理化性质差异比较见图 1。

土壤水分在不同连作年限棉田的样点存在显著差异:棉田原本土壤类型为棕漠土,耕作初始地表覆被低,土壤水分值上升幅度不大;耕至 12 a,其水分蒸发速度慢,保水作用明显,土壤水分值显著高于 3、8 a 棉田,达

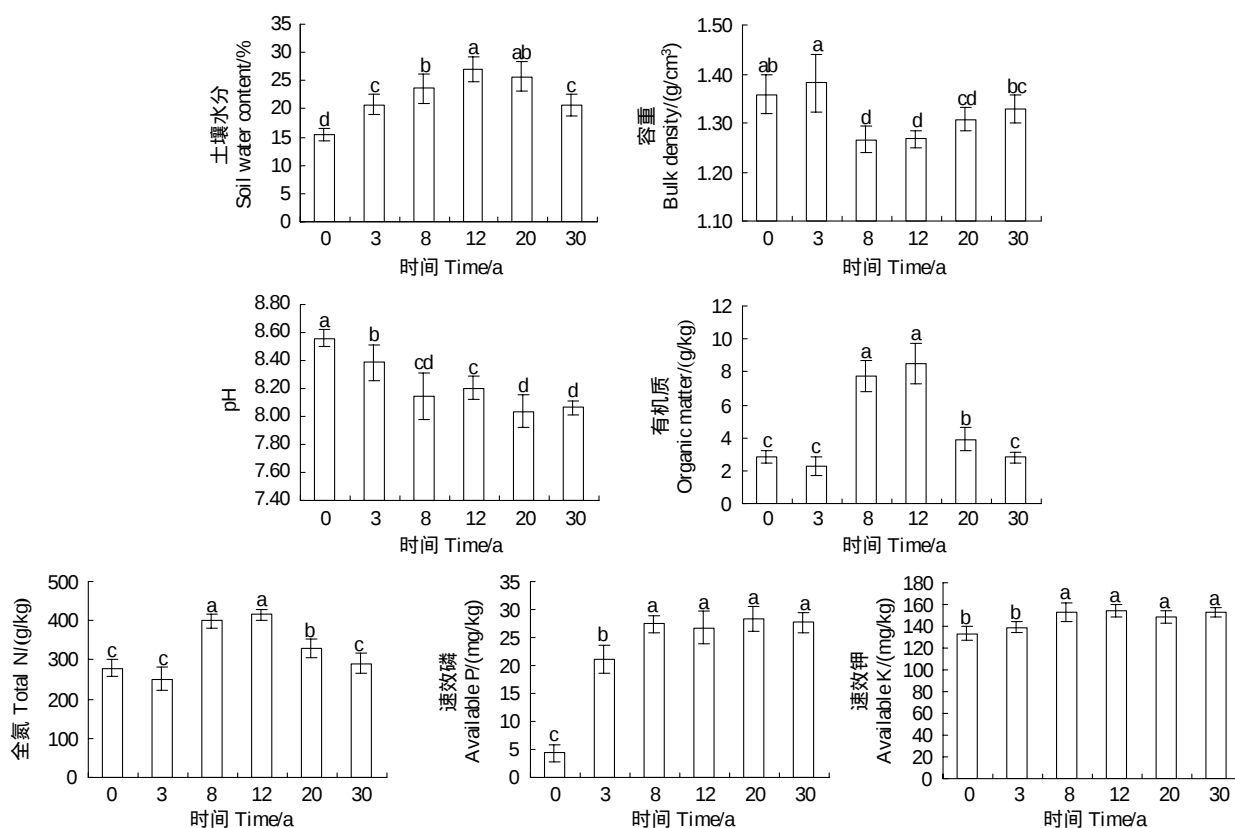


图1 不同连作年限棉田的土壤理化性质

Fig.1 Soil physical and chemical properties of continuous cropping cotton field for different years

到(26.9±2.2)%;随着耕作年限的增加,人为扰动更加强烈,加大了土壤水分蒸发,水分含量下降趋势明显。

土壤容重是土壤紧实度的敏感性指标,土壤容重小则土壤疏松,有利拦渗蓄水,反之亦然。各连作年限棉田的土壤容重总体水平较高,存在较大差异:由荒草地转为棉田后,耕作初期垦殖破坏了原有的土壤结构,容重增加,3 a 棉田达到(1.382±0.059) g/cm<sup>3</sup>;其后 8、12 a 分别降至(1.266±0.028)、(1.268±0.018) g/cm<sup>3</sup>;在耕作后期又有所上升,说明连作导致土体紧实,结构性变差<sup>[17]</sup>。

各年限棉田的 pH 值均呈弱碱性,有下降趋势。采样区盐渍化问题较为严重,初始年限 pH 值为 8.56±0.06,显著高于其他年限,随后呈下降趋势。一方面,翻土、排灌等农行为使得土壤的 pH 值降低;另一方面,可能与农业土壤施加氮素、磷素等肥料所引起的土壤酸化有关<sup>[18]</sup>。

在不同连作年限棉田中,12 a 棉田的土壤有机质含量最高,达(8.530±1.226) g/kg,其次为 8 a 棉田,两者显著高于其他各年限棉田。20、30 a 棉田有机质降幅较大,接近于对照组 0 a 水平。虽然耕作初期由于作物的凋落物残体分解补充了土壤中有机质,但作物在生长过程中也会吸收大量的土壤养分,而返还到土壤中的有机物较少,因此多年连作垦殖的棉田正在接近于荒地的有机质含量。

氮磷钾是作物生长的三大营养元素。土壤全氮反映了土壤氮素的供应能力,常与有机质的变化趋势一致,12、8 a 棉田的土壤全氮显著高于其他各年限土壤,分别为(398.82±16.04)、(414.82±15.61) g/kg。土壤速效磷和速效钾分别标志能为作物直接吸收和利用的土壤磷素和钾素养分,8、12、20、30 a 棉田土壤速效磷和速效钾差异不显著。棉田耕作前期持续施用磷肥和钾肥,植物对其需求相对氮肥而言较少,使得该两种元素在土壤中富集,因而长期耕作后其含量相对稳定。

### 3.2 不同连作年限棉田的土壤酶活性比较

不同连作年限棉田的土壤酶活性存在着不同程度的差异,如图 2 所示。

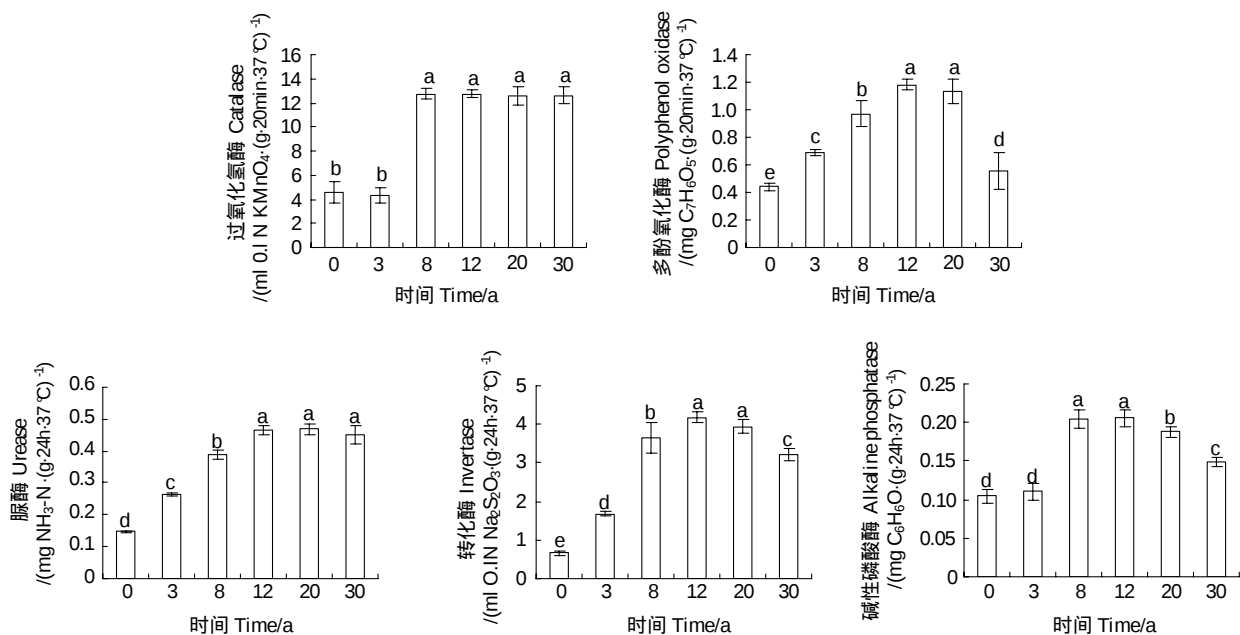


图2 不同连作年限棉田的土壤酶活性

Fig. 2 Soil enzymatic activities of continuous cropping cotton field for different years

过氧化氢酶和多酚氧化酶属重要的氧化还原酶系,是土壤腐殖化的媒介。8、12、20、30 a 棉田过氧化氢酶活性与3 a 棉田差异显著,但这4个时期的酶活性彼此无显著差异,最高值( $12.750 \pm 0.492$ ) mL 0.1 N  $\text{KMnO}_4 / (\text{g} \cdot 20 \text{ min } 37^\circ \text{C})$  出现在8 a,其后有微弱下降趋势。各年限棉田土壤多酚氧化酶活性差异显著,12 a 达到最高值( $1.182 \pm 0.038$ ) mg 没食子酸/ $(\text{g} \cdot 20 \text{ min } 37^\circ \text{C})$ ,随后降低趋势明显。

脲酶催化尿素水解成氨,影响土壤氮素的有效性。连作各年限土壤脲酶含量不断上升,至12 a 活性相对稳定。转化酶活性与土壤有机质、N、P 含量、微生物数量、土壤呼吸等均有一定关系,常用来表征土壤的熟化程度;磷酸酶活性的可作为作物磷素丰缺的指标。转化酶、磷酸酶活性在各年限差异均显著,且趋势都为先升后降,均在12 a 达到极值分别为( $4.18 \pm 0.130$ ) mL 0.1 N  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 / (\text{g} \cdot 24 \text{ h } 37^\circ \text{C})$ 、( $0.2058 \pm 0.011$ ) mg 苯酚/ $(\text{g} \cdot 24 \text{ h } 37^\circ \text{C})$ 。

从土壤酶活性的变化趋势可以看出,酶活性的最高值大部分出现在8、12a 棉田,酶活性的最低值除对比样地0 a 外,基本出现在3 a 棉田。多酚氧化酶与土壤有机质的形成有关,有机质和全氮含量直接影响磷酸酶、蔗糖酶活性<sup>[19]</sup>,3种酶均表现为酶活性逐渐上升至8 a 或12 a 开始下降的趋势。而过氧化氢酶和脲酶在20、30 a 依然保持较高酶活性可能与农田耕作过程中持续施加尿素有一定关系。

### 3.3 不同连作年限棉田的土壤质量评价

对标准化的数据进行 KMO 抽样测定和 Bartlett 球形检验,KMO 值为  $0.784 > 0.6$ ,Bartlett 球形检验相伴概率为  $0.000 < 0.05$  时,拒绝 Bartlett 球形检验零假设,表明数据适合因子分析。通过因子分析,数据由最大正交旋转法旋转后得到相关系数矩阵、特征值及贡献率、因子载荷矩阵。由表1可知,前2个因子可以代表原有12个指标的93.369%的信息。

表1 因子特征值及方差贡献

Table 1 The eigenvalues and squared loadings of components

| 因子<br>Component | 特征值<br>Eigenvalue | 方差贡献率/%<br>Variance | 累计贡献率/%<br>Cumulative |
|-----------------|-------------------|---------------------|-----------------------|
| 1               | 6.066             | 50.549              | 50.549                |
| 2               | 5.138             | 42.82               | 93.369                |

第一主因子中,相关性较高(>0.9)的指标分别为 X3、X6、X10,其次(>0.8)为 X7、X8、X11,包括了速效磷、速效钾 2 个速效养分指标和过氧化氢酶、脲酶、蔗糖酶 3 个酶活性指标,相关值最高的为 pH,且为负相关,由盐碱化向中性土壤演变的过程更有利于养分和酶活性的提高。第二主因子与 X4、X5 有较大的正相关,与土壤 X2 呈负相关,较低的土壤容重使得有机质和全氮易于积累。

表 2 旋转后的因子载荷矩阵  
Table 2 Matrices of principal component loadings

| 指标<br>Index | 第一因子<br>Principal Component 1 | 第二因子<br>Principal Component 2 | 指标<br>Index | 第一因子<br>Principal Component 1 | 第二因子<br>Principal Component 2 |
|-------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------|-------------------------------|-------------------------------|
| X1          | 0.703                         | 0.589                         | X2          | -0.442                        | -0.869                        |
| X3          | -0.972                        | -0.168                        | X4          | 0.161                         | 0.973                         |
| X5          | 0.278                         | 0.956                         | X6          | 0.927                         | 0.249                         |
| X7          | 0.804                         | 0.521                         | X8          | 0.804                         | 0.506                         |
| X9          | 0.509                         | 0.715                         | X10         | 0.931                         | 0.338                         |
| X11         | 0.829                         | 0.557                         | X12         | 0.602                         | 0.789                         |

通过因子得分系数矩阵,获得各因子在不同连作年限水平上的得分,最后由各因子方差贡献率和因子得分加权得到各年限棉田土壤质量的评价结果(表 3)。12 a 棉田土壤质量最高,其次分别为 8、20、30、3 a 棉田,最后是作为对比样地的 0 a 棉田,即荒草地。整体来看,棉田的土壤质量呈现先上升后下降的趋势。

进一步通过聚类分析对评价结果划分等级,以不同连作年限的主因子得分作为变量,以欧氏距离作为衡量各处理肥力差异的大小,采用最短距离法对各处理进行系统聚类,如图 3 所示。结合评价结果,对不同连作年限棉田的土壤质量划分为几个等级:一级为 8、12 a,二级为 20、30 a,三级为 3 a,四级为 0 a。荒草地开垦为棉田初始,灌溉、施肥等农耕行为使土壤质量自 3、8、12 a 不断提高,但其后棉田没有得到适当的休耕、轮作,多年连续耕作的土壤质量呈现退化趋势。利用跟踪获取的作物产量数据计算得到产量持续指数(图 4),该排序与质量评价结果相似,但略有差异。20 a 棉田土壤质量评价价值低于 8 a 棉田,产量持续指数略高于 8 a 棉田,土地生产力对应于土壤质量评价价值存在滞后效应,但二者自 12 a 后的降低趋势是一致的。

表 3 不同连作年限棉田土壤质量评价结果  
Table 3 Results of soil quality assessment of cotton field cultivated for different years

|                                         |                         | 连作年限 Continuous cropping for years |        |       |       |        |        |
|-----------------------------------------|-------------------------|------------------------------------|--------|-------|-------|--------|--------|
|                                         |                         | 0a                                 | 3a     | 8a    | 12a   | 20a    | 30a    |
| 第一因子<br>Principal Component 1           | 因子得分<br>Component Score | -1.807                             | -0.355 | 0.021 | 0.134 | 0.860  | 1.147  |
|                                         | 方差贡献率 Variance          | 0.505                              |        |       |       |        |        |
| 第二因子<br>Principal Component 2           | 因子得分<br>Component Score | -0.214                             | -0.930 | 1.077 | 1.320 | -0.057 | -1.196 |
|                                         | 方差贡献率 Variance          | 0.428                              |        |       |       |        |        |
| 综合评价价值<br>Soil Quality Assessment Value |                         | -1.005                             | -0.578 | 0.472 | 0.633 | 0.410  | 0.068  |
| 排名 Order                                |                         | 6                                  | 5      | 2     | 1     | 3      | 4      |

4 结论与讨论

绿洲化过程中土壤生态系统的演变是评价农业利用与管理水平的一个重要方面<sup>[20]</sup>。研究区耕作初始,施肥、灌溉和农作物的生长提高了原有的土壤肥力,有机质、养分和土壤酶活性不断提高,土壤质量转好,这与丁峰等<sup>[21]</sup>对新疆天山北坡经济带不同年限(0—11 a)的连作滴灌棉田土壤质量变化趋势的研究结果相同。周斌等<sup>[19]</sup>也提出 13 a 的耕作中,化肥与有机肥配施对提高绿洲灰漠土农田的土壤质量效果明显。但伴随着长时间周而复始种植棉花,单一的种植模式、连续耕作使得棉田土壤质量不断退化。其中,土壤有机质下降尤为显著,全氮、多酚氧化酶、转化酶、磷酸酶也均有较为明显的下降。土壤逆行演替至棕漠土的趋势可见,加之

农田外围的荒漠化,甚至有向风沙土方向演变的可能。唐光木等<sup>[22]</sup>研究发现对新疆绿洲未开垦地开垦会增加土壤总有机碳的含量,但是随着种植年限的延长,增加趋势减缓,有机碳中的活性组分砂粒有机碳垦殖 10 a 开始下降,土壤质量有下降或退化风险。韩春丽等<sup>[23]</sup>在南疆的沙井子垦区分别选择新开垦 1 a 和连续植棉 5、15、20、30 a 的棉田从微量元素的变化揭示土壤质量变化特点,发现随连作年限延长,各耕作层的元素均不同程度降低,有些下降到初始耕作水平。以上研究选择表征土壤质量的指标不同,但结果均说明长期连作棉田的土壤质量不容乐观。不同利用强度、种植模式对农田土壤质量会产生显著性影响,人为土地利用方式下不合理的耕作措施和管理方法,使得农田土壤出现了不同程度的退化<sup>[12,24-25]</sup>。有研究表明,5—10 a 将是比较合适的垦殖年限,其后需要进行耕作和种植方式的调整(如轮作、倒茬等)来缓解土壤质量的恶化,使土壤质量向良性发展<sup>[26]</sup>。因此,研究区可通过适当的休耕、绿肥与棉田轮作、有机无机肥配合施用等措施缓解土壤压力。

土壤质量是通过评价物理、化学和生物参数来评估的,生物参数中的土壤酶参与土壤中几乎所有的生化反应过程,在整个陆地生态系统中发挥着重要的作用<sup>[27]</sup>。本研究尝试选择土壤理化和土壤酶活性指标,结合因子分析法较为客观的评价了研究区农业生态系统的土壤质量,实现了土壤酶指标在评价土壤质量中的应用,进一步补充了干旱区农业生态系统棕漠土土壤质量评价的成果。由于研究时段较短,研究中并未选取每个主成分中载荷值最高或者在最高载荷值 10% 以内的因子获得最小数据集(MDS)。土壤酶活性与土壤的物理特性、有机和无机化学组分以及农业管理和技术措施等密切相关,仅靠数学方法剔除参评因子可以减少数据冗余,但容易丢失参评因子中包含的土壤质量信息。实验数据还需要进一步的积累,在利用多年观测数据深入分析土壤各类因子之间的相互关系的基础上,结合数学方法<sup>[28]</sup>筛选和确定最小评价集,更加科学的展开干旱区各类生态系统土壤质量评价,是未来工作的重点。

## References:

- [1] Liu Z F, Fu B J, Liu G H, Zhu Y G. Soil quality: concept, indicators and its assessment. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(3): 901-913.
- [2] Aparicio V, Costa J L. Soil quality indicators under continuous cropping systems in the Argentinean Pampas. *Soil and Tillage Research*, 2007, 96(1/2): 155-165.
- [3] Arshad M A, Martin S. Identifying critical limits for soil quality indicators in agro-ecosystem. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2002, 88(2): 153-160.
- [4] Kibblewhite M G. Soil quality assessment and management // McGilloway D A, ed. *Grassland: A Global Resource*. Wageningen: Wageningen Academic Publishers, 2005: 219-226.
- [5] Gil-Sotres F, Trasar-Cepeda C, Leirós M C, Seoane S. Different approaches to evaluating soil quality using biochemical properties. *Soil Biology and Biochemistry*, 2005, 37(5): 877-887.
- [6] Morari F, Lugato E, Giardini L. Olsen phosphorus, exchangeable cations and salinity in two long-term experiments of north-eastern Italy and assessment of soil quality evolution. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2008, 124(1/2): 85-96.
- [7] Zhang X Y, Chen L D, Fu B J, Li Q, Qin X, Ma Y. Effects of land use and management practice on farm land soil quality in Yanhuai basin of Beijing. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(2): 303-309.
- [8] Gui D W, Lei J Q, Zeng F J, Mu G J, Yang F X. Effects of different management intensities on soil nutrients of farm land during oasisization. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(7): 1780-1788.

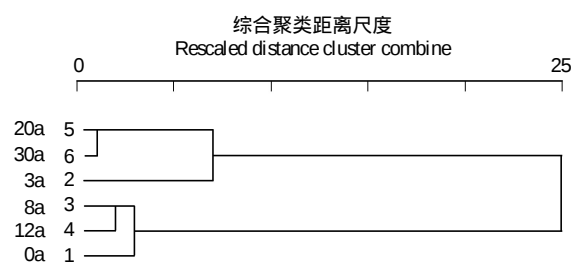


图3 不同连作年限棉田土壤质量评价系统聚类图

Fig.3 Hierarchical clustering diagram of soil quality assessment of continuous cropping cotton field different years

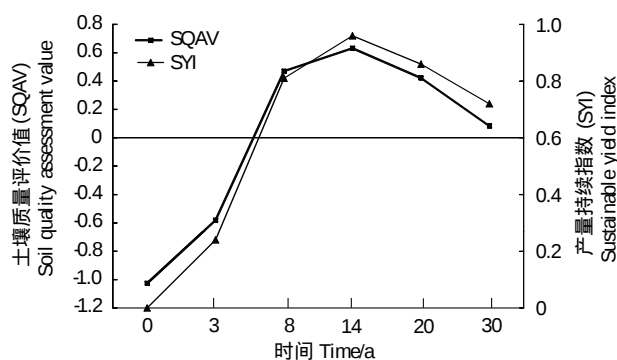


图4 土壤质量评价与产量持续指数的变化

Fig.4 Changes of soil quality assessment value and sustainable yield index

- [9] Bastida F, Moreno J L, Hernández T, García C. Microbiological degradation index of soils in a semiarid climate. *Soil Biology and Biochemistry*, 2006, 38(12): 3463-3473.
- [10] García-Ruiz R, Ochoa V, Hinojosa M B, Carreira J A. Suitability of enzyme activities for the monitoring of soil quality. *Soil Biology and Biochemistry*, 2008, 40(9): 2137-2145.
- [11] Liu X M, Li Q, Liang W J, Jiang Y. Distribution of soil enzyme activities and microbial biomass along a latitudinal gradient in farmlands of Songliao Plain, Northeast China. *Pedosphere*, 2008, 18(4): 431-440.
- [12] Ramos M E, Benítez E, García P A, Robles A B. Cover crops under different managements vs. frequent tillage in almond orchards in semiarid conditions: effects on soil quality. *Applied Soil Ecology*, 2010, 44(1): 6-14.
- [13] Zhang H F, Gong L, Lv G H. Influence of different land use ways on soil enzymatic activities in typical oasis of Tarim River Valley. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2010, 47(4): 770-773.
- [14] Zornoza R, Mataix-Solera J, Guerrero C, Arcenegui V, Mataix-Beneyto J, Gómez I. Validating the effectiveness and sensitivity of two soil quality indices based on natural forest soils under Mediterranean conditions. *Soil Biology and Biochemistry*, 2008, 40(9): 2079-2087.
- [15] Sant'anna S A C, Fernandes M F, Ivo W M P M, Costa J L S. Evaluation of soil quality indicators in sugarcane management in sandy loam soil. *Pedosphere*, 2009, 19(3): 312-322.
- [16] Sharma K L, Mandal U K, Srinivas K, Vittal K P R, Mandal B, Grace J K, Ramesh V. Long-term soil management effects on crop yields and soil quality in a dryland Alfisol. *Soil and Tillage Research*, 2005, 83(2): 246-259.
- [17] Chai Z P, Liang Z, Wang X M, Jia H T. The Influence of the continuous cropping to the physical properties of cotton soil. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2008, 24(8): 192-195.
- [18] Qi S, Zhao X R, Zheng H X, Lin Q M. Changes of soil biodiversity in Inner Mongolia steppe after 5 years of N and P fertilizer applications. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(20): 5518-5526.
- [19] Zhou B, Qiao M, Wang Z Q. Effects of long-term located fertilization on soil quality of grey desert soil. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2007, 15(2): 33-36.
- [20] Wang X F, Su Y Z, Yang R. Characteristics of soil nematode community along an age sequence of sandy desert soil cultivation in a marginal oasis of middle reaches of Heihe River. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2010, 21(8): 2125-2131.
- [21] Ding F, Xu W L, Liang Z, Zhou B, Zhu M, Qin Q. Study on soil quality change in the Xinjiang Tianshan's north ascent of economic district with drop irrigation of cotton field. *Bulletin of Agricultural Science and Technology*, 2009, (3): 42-45.
- [22] Tang G M, Xu W L, Sheng J D, Liang Z, Zhou B, Zhu M. The variation of soil organic carbon and soil particle-size in Xinjiang oasis farmland of different years. *Acta Pedologica Sinica*, 2010, 47(2): 279-285.
- [23] Han C L, Liu J, Xiao C H, Zhang W F, Liu M, Huang J J. The study on temporal and spatial variation of soil microelement contents in monocultural cotton field in Xinjiang. *Acta Pedologica Sinica*, 2010, 47(6): 1194-1201.
- [24] Fuentes M, Govaerts B, De León F, Hidalgo C, Dendooven L, Sayre K D, Etchevers J. Fourteen years of applying zero and conventional tillage, crop rotation and residue management systems and its effect on physical and chemical soil quality. *European Journal of Agronomy*, 2009, 30(3): 228-237.
- [25] Qi Y B, Darilek J L, Huang B, Zhao Y C, Sun W X, Gu Z Q. Evaluating soil quality indices in an agricultural region of Jiangsu Province, China. *Geoderma*, 2009, 149(3/4): 325-334.
- [26] Xu W L, Tang G M, Sheng J D, Liang Z, Zhou B, Zhu M. Effects of cultivation on organic carbon fractionation and aggregate stability in Xinjiang oasis soils. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(7): 1773-1779.
- [27] Zhang Y L, Chen L J, Zhang L L. Enzymological indicators of soil quality. *Chinese Journal of Soil Science*, 2005, 36(4): 598-604.
- [28] Li G L, Chen J, Sun Z Y, Tan M Z. Establishing a minimum dataset for soil quality assessment based on soil properties and land use change. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(7): 2715-2724.

#### 参考文献:

- [1] 刘占锋, 傅伯杰, 刘国华, 朱永官. 土壤质量与土壤质量指标及其评价. *生态学报*, 2006, 26(3): 901-913.
- [7] 张心昱, 陈利顶, 傅伯杰, 李琪, 齐鑫, 马岩. 农田生态系统不同土地利用方式与管理措施对土壤质量的影响. *应用生态学报*, 2007, 18(2): 303-309.
- [8] 桂东伟, 雷加强, 曾凡江, 穆桂金, 杨发相. 绿洲化进程中不同利用强度农田对土壤质量的影响. *生态学报*, 2010, 30(7): 1780-1788.
- [13] 张海峰, 贡璐, 吕光辉. 塔里木河流域典型绿洲不同土地利用方式对土壤酶活性的影响. *新疆农业科学*, 2010, 47(4): 770-773.
- [17] 柴仲平, 梁智, 王雪梅, 贾宏涛. 连作对棉田土壤物理性质的影响. *中国农业通报*, 2008, 24(8): 192-195.
- [18] 齐莎, 赵小蓉, 郑海霞, 林启美. 内蒙古典型草原连续 5 年施用氮磷肥土壤生物多样性的变化. *生态学报*, 2010, 30(20): 5518-5526.
- [19] 周斌, 乔木, 王周琼. 长期定位施肥对灰漠土农田土壤质量的影响. *中国生态农业学报*, 2007, 15(2): 33-36.
- [20] 王雪峰, 苏永中, 杨荣. 黑河中游绿洲不同开垦年限农田土壤线虫群落特征. *应用生态学报*, 2010, 21(8): 2125-2131.
- [21] 丁峰, 徐万里, 梁智, 周勃, 朱敏, 秦巧. 新疆天山北坡经济带滴灌棉田土壤质量演变趋势分析. *农业科技通讯*, 2009, (3): 42-45.
- [22] 唐光木, 徐万里, 盛建东, 梁智, 周勃, 朱敏. 新疆绿洲农田不同开垦年限土壤有机碳及不同粒径土壤颗粒有机碳变化. *土壤学报*, 2010, 47(2): 279-285.
- [23] 韩春丽, 刘娟, 肖春华, 张旺锋, 刘梅, 黄建军. 新疆绿洲连作棉田土壤微量元素含量的时空变化研究. *土壤学报*, 2010, 47(6): 1194-1201.
- [26] 徐万里, 唐光木, 盛建东, 梁智, 周勃, 朱敏. 垦殖对新疆绿洲农田土壤有机碳组分及团聚体稳定性的影响. *生态学报*, 2010, 30(7): 1773-1779.
- [27] 张玉兰, 陈利军, 张丽莉. 土壤质量的酶学指标研究. *土壤通报*, 2005, 36(4): 598-604.
- [28] 李桂林, 陈杰, 孙志英, 檀满枝. 基于土壤特征和土地利用变化的土壤质量评价最小数据集确定. *生态学报*, 2007, 27(7): 2715-2724.

# ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 14 July, 2011 (Semimonthly)

## CONTENTS

|                                                                                                                                                              |                                                               |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| The sensitivity of Xiamen's three industrial sectors to land use changes .....                                                                               | HUANG Jing, CUI Shenghui, LI Fangyi, et al (3863)             |
| Desertification and change of landscape pattern in the Source Region of Yellow River .....                                                                   | ..... HU Guangyin, DONG Zhibao, LU Junfeng, et al (3872)      |
| Comparison of ecological significance of landscape diversity changes in karst mountains: a case study of 4 typical karst area in Guizhou Province .....      | ..... LUO Guangjie, LI Yangbing, WANG Shijie, et al (3882)    |
| Analysis on urban heat island effect based on the dynamics of urban surface biophysical descriptors .....                                                    | ..... XU Hanqiu (3890)                                        |
| Primary exploration on the ecological land use classification in Beijing .....                                                                               | TANG Xiumei, CHEN Baiming, LU Qingbin, et al (3902)           |
| Changes of spectral reflectance of <i>Pinus koraiensis</i> and <i>Abies nephrolepis</i> along altitudinal gradients in Changbai Mountain .....               | ..... FAN Xiuhua, LIU Weiguo, LU Wenmin, et al (3910)         |
| Biomass allocation patterns and allometric models of <i>Abies nephrolepis</i> Maxim .....                                                                    | ..... WANG Jinsong, ZHANG Chunyu, FAN Xiuhua, et al (3918)    |
| Niche analysis of dominant species of macrobenthic community at a tidal flat of Yushan Island .....                                                          | ..... JIAO Haifeng, SHI Huixiong, YOU Zhongjie, et al (3928)  |
| The influence of different food qualities on the energy budget and digestive tract morphology of Tree Sparrows <i>passer montanus</i> .....                  | ..... YANG Zhihong, SHAO Shuli (3937)                         |
| The response of ecosystem service values to ambient environment and its spatial scales in typical karst areas of northwest Guangxi, China .....              | ..... ZHANG Mingyang, WANG Kelin, LIU Huiyu, et al (3947)     |
| Root morphology characteristics under alternate furrow irrigation .....                                                                                      | LI Caixia, SUN Jingsheng, ZHOU Xinguo, et al (3956)           |
| Allelopathy of the root exudates from different resistant eggplants to verticillium wilt ( <i>Verticillium dahliae</i> Kleb. ) .....                         | ..... ZHOU Baoli, CHEN Zhixia, DU Liang, et al (3964)         |
| Biological cycle and accumulation of lanthanum in the forage-mushroom-soil system .....                                                                      | ..... WENG Boqi, JIANG Zhaowei, WANG Yixiang, et al (3973)    |
| Evaluation of soil loss and transportation load of adsorption N and P in Poyang Lake watershed .....                                                         | ..... YU Jinxiang, ZHENG Bofu, LIU Yafei, et al (3980)        |
| Effects of soil resource availabilities on vertical distribution and dynamics of fine roots in a <i>Caragana korshinskii</i> plantation .....                | ..... SHI Jianwei, WANG Mengben, CHEN Jianwen, et al (3990)   |
| Effects of soil salinization on ammonia volatilization characteristics of urea and urea phosphate .....                                                      | ..... LIANG Fei, TIAN Changyan (3999)                         |
| Distribution of marine bacteria and their environmental factors in Xiangshan Bay .....                                                                       | ..... YANG Jifang, WANG Haili, CHEN Fusheng, et al (4007)     |
| Concentration of O <sub>3</sub> at the atmospheric surface affects the changes characters of antioxidant enzyme activities in <i>Triticum aestivum</i> ..... | ..... WU Fangfang, ZHENG Youfei, WU Rongjun, et al (4019)     |
| Effects of inhibitor and safener on enzyme activity and phenanthrene metabolism in root of tall fescue .....                                                 | ..... GONG Shuaishuai, HAN Jin, GAO Yanzheng, et al (4027)    |
| Screening of highly-effective rhizobial strains on Alfalfa ( <i>Medicago polymorpha</i> ) in soil .....                                                      | ..... LIU Xiaoyun, GUO Zhenguo, LI Qiaoxian, et al (4034)     |
| Geochemical evolution processes of soil major elements in the forest-dominated Jinshui River Basin, the upper Hanjiang River .....                           | ..... HE Wenming, ZHOU Jie, ZHANG Changsheng, et al (4042)    |
| Integrating geographic features and weather data for methodology of rasterizing spring maize growth stages .....                                             | ..... LIU Qin, YAN Changrong, MEI Xurong, et al (4056)        |
| A model for predicting flowering date and external quality of cut tulip in solar greenhouse .....                                                            | ..... LI Gang, CHEN Yaru, DAI Jianfeng, et al (4062)          |
| Moisture effect analysis of pumpkin and oil sunflower intercropping in semi-arid area of northwest Hebei Province .....                                      | ..... HUANG Wei, ZHANG Junhua, LI Wenhong, et al (4072)       |
| <b>Review and Monograph</b>                                                                                                                                  |                                                               |
| Theoretical backgrounds and recent advances in avian molecular phylogeography .....                                                                          | DONG Lu, ZHANG Yanyun (4082)                                  |
| A review on spatial attributes of nature reserves and optimal site-selection methods .....                                                                   | WANG Yicheng (4094)                                           |
| Human activities are the principle cause of biotic homogenization .....                                                                                      | CHEN Guoqi, QIANG Sheng (4107)                                |
| Factors influencing the occurrence of <i>Ophiocordyceps sinensis</i> .....                                                                                   | ZHANG Guren, YU Junfeng, WU Guangguo, et al (4117)            |
| Molecular detection of diversity of methanogens and methanotrophs in natural wetland soil .....                                                              | SHE Chenxing, TONG Chuan (4126)                               |
| <b>Scientific Note</b>                                                                                                                                       |                                                               |
| Soil quality assessment of continuous cropping cotton fields for different years in a typical oasis in the upper reaches of the Tarim River .....            | GONG Lu, ZHANG Haifeng, LÜ Guanghui, et al (4136)             |
| Dynamics of microbial biomass during litter decomposition in the alpine forest .....                                                                         | ..... ZHOU Xiaoqing, WU Fuzhong, YANG Wanqin, et al (4144)    |
| The aerodynamic roughness length of biological soil crusts: a case study of Gurbantungut Desert .....                                                        | ..... WANG Xueqin, ZHANG Yuanming, ZHANG Weimin, et al (4153) |
| Differences among population quantities and community structures of pests and their natural enemies in tea gardens of different altitudes .....              | KE Shengbing, DANG Fenghua, BI Shoudong, et al (4161)         |

# 2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊★

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

| 排序<br>Order | 期刊<br>Journal                           | 总被引频次<br>Total citation | 排序<br>Order | 期刊<br>Journal | 影响因子<br>Impact factor |
|-------------|-----------------------------------------|-------------------------|-------------|---------------|-----------------------|
| 1           | 生态学报                                    | 11764                   | 1           | 生态学报          | 1.812                 |
| 2           | 应用生态学报                                  | 9430                    | 2           | 植物生态学报        | 1.771                 |
| 3           | 植物生态学报                                  | 4384                    | 3           | 应用生态学报        | 1.733                 |
| 4           | 西北植物学报                                  | 4177                    | 4           | 生物多样性         | 1.553                 |
| 5           | 生态学杂志                                   | 4048                    | 5           | 生态学杂志         | 1.396                 |
| 6           | 植物生理学通讯                                 | 3362                    | 6           | 西北植物学报        | 0.986                 |
| 7           | JOURNAL OF INTEGRATIVE<br>PLANT BIOLOGY | 3327                    | 7           | 兽类学报          | 0.894                 |
| 8           | MOLECULAR PLANT                         | 1788                    | 8           | CELL RESEARCH | 0.873                 |
| 9           | 水生生物学报                                  | 1773                    | 9           | 植物学报          | 0.841                 |
| 10          | 遗传学报                                    | 1667                    | 10          | 植物研究          | 0.809                 |

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

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 31 卷 第 14 期 (2011 年 7 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA  
(Semimonthly, Started in 1981)  
Vol. 31 No. 14 2011

|               |                                                                                                                    |                 |                                                                                                                                                                                 |
|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 编 辑           | 《生态学报》编辑部<br>地址:北京海淀区双清路 18 号<br>邮政编码:100085<br>电话:(010)62941099<br>www.ecologica.cn<br>shengtaixuebao@rcees.ac.cn | Edited by       | Editorial board of<br>ACTA ECOLOGICA SINICA<br>Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China<br>Tel:(010)62941099<br>www.ecologica.cn<br>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           | 中国生态学会<br>中国科学院生态环境研究中心<br>地址:北京海淀区双清路 18 号<br>邮政编码:100085                                                         | Sponsored by    | Ecological Society of China<br>Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS<br>Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China                                 |
| 出 版           | 科 学 出 版 社<br>地址:北京东黄城根北街 16 号<br>邮政编码:100717                                                                       | Published by    | Science Press<br>Add:16 Donghuangchenggen North Street,<br>Beijing 100717, China                                                                                                |
| 印 刷           | 北京北林印刷厂                                                                                                            | Printed by      | Beijing Bei Lin Printing House,<br>Beijing 100083, China                                                                                                                        |
| 发 行           | 科 学 出 版 社<br>地址:东黄城根北街 16 号<br>邮政编码:100717<br>电话:(010)64034563<br>E-mail:journal@csppg.net                         | Distributed by  | Science Press<br>Add:16 Donghuangchenggen North<br>Street, Beijing 100717, China<br>Tel:(010)64034563<br>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<br>地址:北京 399 信箱<br>邮政编码:100044                                                                         | Foreign         | China International Book Trading<br>Corporation<br>Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China                                                                                      |
| 广告经营<br>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