

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第31卷 第18期 Vol.31 No.18 **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 18 期 2011 年 9 月 (半月刊)

目 次

高寒矮嵩草草甸冬季 CO ₂ 释放特征	吴 琴, 胡启武, 曹广民, 等 (5107)
开垦对绿洲农田碳氮累积及其与作物产量关系的影响	黄彩变, 曾凡江, 雷加强, 等 (5113)
施氮对几种草地植物生物量及其分配的影响	祁 瑜, 黄永梅, 王 艳, 等 (5121)
浙江天台山甜槠种群遗传结构的时空自相关分析	祁彩虹, 金则新, 李钧敏 (5130)
大兴安岭林区不同植被对冻土地温的影响	常晓丽, 金会军, 于少鹏, 等 (5138)
樟子松树轮不同组分的稳定碳同位素分析	商志远, 王 建, 崔明星, 等 (5148)
内蒙古不同类型草地叶面积指数遥感估算	柳艺博, 居为民, 朱高龙, 等 (5159)
杭州西湖北里湖荷叶枯落物分解及其对水环境的影响	史 绮, 焦 锋, 陈 莹, 等 (5171)
火干扰对小兴安岭落叶松-苔草沼泽温室气体排放的影响	于丽丽, 牟长城, 顾 韩, 等 (5180)
黄河中游连伯滩湿地景观格局变化	郭东罡, 上官铁梁, 白中科, 等 (5192)
黄土区次生植被恢复对土壤有机碳官能团的影响	李 婷, 赵世伟, 张 扬, 等 (5199)
我国东北土壤有机碳、无机碳含量与土壤理化性质的相关性	祖元刚, 李 冉, 王文杰, 等 (5207)
黄土旱塬裸地土壤呼吸特征及其影响因子	高会议, 郭胜利, 刘文兆 (5217)
宁南山区典型植物根际与非根际土壤微生物功能多样性	安韶山, 李国辉, 陈利顶 (5225)
岩溶山区和石漠化区表土孢粉组合的差异性——以重庆市南川区为例	郝秀东, 欧阳绪红, 谢世友 (5235)
夏蜡梅及其主要伴生种叶的灰分含量和热值	金则新, 李钧敏, 马金娥 (5246)
苏柳 172 和垂柳对 Cu ²⁺ 的吸收特性及有机酸影响	陈彩虹, 刘治昆, 陈光才, 等 (5255)
导入 <i>TaNHX2</i> 基因提高了转基因普那菊苣的耐盐性	张丽君, 程林梅, 杜建中, 等 (5264)
空气湿度与土壤水分胁迫对紫花苜蓿叶表皮蜡质特性的影响	郭彦军, 倪 郁, 郭芸江, 等 (5273)
黄土高原旱塬区土壤贮水量对冬小麦产量的影响	邓振镛, 张 强, 王 强, 等 (5281)
咸阳地区近年苹果林地土壤含水量动态变化	赵景波, 周 旗, 陈宝群, 等 (5291)
苗药大果木姜子挥发油成分变化及其地理分布	张小波, 周 涛, 郭兰萍, 等 (5299)
环境因子对小球藻生长的影响及高产油培养条件的优化	丁彦聪, 高 群, 刘家尧, 等 (5307)
不同基质对北草蜥和中国石龙子运动表现的影响	林植华, 樊晓丽, 雷焕宗, 等 (5316)
安徽沿江浅水湖泊越冬水鸟群落的集团结构	陈锦云, 周立志 (5323)
黑胸散白蚁肠道共生锐滴虫目鞭毛虫的多样性分析与原位杂交鉴定	陈 文, 石 玉, 彭建新, 等 (5332)
基于熵权的珠江三角洲自然保护区综合评价	张林英, 徐颂军 (5341)
专论与综述	
中小尺度生态用地规划方法	荣冰凌, 李 栋, 谢映霞 (5351)
土地利用变化对土壤有机碳的影响研究进展	陈 朝, 吕昌河, 范 兰, 等 (5358)
海洋浮游植物与生物碳汇	孙 军 (5372)
多年冻土退化对湿地甲烷排放的影响研究进展	孙晓新, 宋长春, 王宪伟, 等 (5379)
生源要素有效性及生物因子对湿地土壤碳矿化的影响	张林海, 曾从盛, 仝 川 (5387)
生态网络分析方法研究综述	李中才, 徐俊艳, 吴昌友, 等 (5396)
研究简报	
不同群落中米氏冰草和羊草的年龄结构动态	金晓明, 艾 琳, 刘及东, 等 (5406)
主题分辨率对 NDVI 空间格局的影响	黄彩霞, 李小梅, 沙晋明 (5414)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 314 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 35 * 2011-09



封面图说: 在树上嬉戏的大熊猫——大熊猫是中国的国宝, 自然分布狭窄, 数量极少, 世界上仅分布在中国的四川、陕西、甘肃三省的部分地区, 属第四纪冰川孑遗物种, 异常珍贵。被列为中国国家一级重点保护野生动物名录, 濒危野生动植物种国际贸易公约绝对保护的 CITES 附录一物种名录。瞧, 够得上“功夫熊猫”吧。

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

黄彩变, 曾凡江, 雷加强, 刘镇, 安桂香. 开垦对绿洲农田碳氮累积及其与作物产量关系的影响. 生态学报, 2011, 31(18): 5113-5120.

Huang C B, Zeng F J, Lei J Q, Liu Z, An G X. Effect of cultivation on soil organic carbon and total nitrogen accumulation in Cele oasis croplands and their relation to crop yield. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(18): 5113-5120.

开垦对绿洲农田碳氮累积及其与作物产量关系的影响

黄彩变^{1,2,*}, 曾凡江^{1,2}, 雷加强^{1,2}, 刘 镇^{1,2}, 安桂香^{1,2}

(1. 中国科学院新疆生态与地理研究所, 乌鲁木齐 830011;

2. 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:以新疆策勒绿洲近百年来不同开垦年限农田为研究对象,采用空间序列换算时间序列的方法,研究绿洲农田开垦过程中土壤有机碳和全氮密度、碳氮比(C/N)及速效氮含量的垂直变化特征,并探讨了农田土壤碳氮变化与作物产量的关系。结果表明:荒漠土壤开垦后,显著增加了表层土壤(0—20 cm)有机碳和全氮密度,随开垦年限延长对深层土壤(40—200 cm)有机碳密度也有一定的影响,如在开垦 30 a 左右时下降了 36.4%,但在 100 a 左右时则增加了 52.0%。耕层土壤 C/N 随开垦年限延长而明显增加,深层土壤除 100 a 农田外其它均有不同程度下降;不同土层 C/N 与速效氮含量呈负相关关系,仅在开垦初期(0—10 a)达到显著水平。不同年限农田的玉米产量存在显著差异,且和有机碳及全氮密度(0—200 cm)均呈显著正相关;棉花除 100 和 10 a 农田产量差异较小外,在其它农田间均达显著水平,但和有机碳及全氮密度无明显相关性。由此可见,在现有投入条件下,提高土壤碳氮累积量对增加玉米产量仍有十分重要作用,但对棉花产量的影响不明显。

关键词:绿洲农田;有机碳;全氮;速效氮;产量

Effect of cultivation on soil organic carbon and total nitrogen accumulation in Cele oasis croplands and their relation to crop yield

HUANG Caibian^{1,2,*}, ZENG Fanjiang^{1,2}, LEI Jiaqiang^{1,2}, LIU Zhen^{1,2}, AN Guixiang^{1,2}

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

2 Cele National Field Science Observation and Research Station for Desert-Grassland Ecology, Cele 848300, Xinjiang, China

Abstract: Soil organic carbon storage and total nitrogen contents are not only important indicators of soil quality and sustainable crop production, but are also an option for offsetting increasing atmospheric CO₂ and N₂O concentrations. Cultivation often causes deterioration of physical soil conditions and reduces nutrient status and humus content, and therefore is considered the main cause of changes in soil organic carbon and nitrogen. Most studies show a decline in soil carbon after cultivation, averaging about 30%. However, some research has suggested that organic carbon contents significantly increase after soils with low natural organic matter levels are converted to cropland. Therefore, soil organic carbon storage and the dynamics of carbon change in cropland have become important issues in evaluating the impact of agricultural management. However, many researchers pay more attention to changes in soil carbon stocks in the plough layer than to changes in deep soil layers. Twenty cropland sites in the Cele oasis, which have been cultivated for up to 100 years, were selected to study the effects of cultivation on changes in the vertical distribution of soil organic carbon, total nitrogen, and available nitrogen by using the method of trading space with time. Based on differences in soil organic carbon and total nitrogen accumulation, five sites representing 100, 80, 30, 15 and 10 years of cultivation were chosen to investigate relationships between crop yield and soil organic carbon or total nitrogen. Soil organic carbon and total nitrogen density in

基金项目:国家重点基础研究发展计划项目(2009CB421302);国家博士后面上基金(20100471680);国家科技支撑计划项目(2009BAC54B01);新疆科技重大项目(200733144-2)

收稿日期:2011-01-17; 修订日期:2011-06-27

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: huangcaibian@tom.com

the surface soil layers increased significantly with longtime cultivation. Soil organic carbon densities (0—20 cm) in croplands cultivated for 100, 80, 30, 15 and 10 years were, respectively, 231.7%, 302.9%, 146.3%, 116.6%, and 130.5% higher than those in an uncultivated desert soil. Corresponding values for total nitrogen density were, respectively, 160.1%, 217.6%, 123.6%, 106.5%, and 125.1%. The organic carbon density in deep soil layers (40—200 cm) was also influenced by longtime cultivation, being 36.4% lower after 30 years' cultivation than that in the desert soil. However, in the 100-year cropland it increased by 52.0%. Similar results were not found for total nitrogen density. The C/N ratio in the 0—40 cm soil layers of the sites cultivated for 100, 80, 30, 15, and 10 years increased by 28.3%, 23.0%, 15.7%, 10.4%, and 6.5%, respectively, compared with that in the desert soil. However, the C/N ratio decreased in deep soil layers of the sites cultivated for 0 to 80 years. Significant negative correlations between C/N ratios and soil available nitrogen in the different soil layers were present only in the desert and 10-year cropland soils. There were significant differences in maize yield in the different croplands. In addition, maize yield was significantly positively correlated with soil organic carbon and total nitrogen density in the 0—200 cm layers, but a corresponding correlation was not found for cotton yield. This suggests that increases in soil organic carbon and total nitrogen were very important for improving maize yield at the Cele oasis, but this was not the case for cotton yield.

Key Words: oasis cropland; organic carbon; total nitrogen; available nitrogen; yield

农田作为自然土壤开垦后最重要的土地利用类型之一,其碳氮含量变化不仅与土地质量的可持续能力密切相关,在一定程度上还决定着国家粮食安全,同时也是固碳减排的重要决策依据^[1-3]。因此,国内外对自然土壤开垦后土壤碳氮含量变化已给予了广泛关注。有研究发现草地土壤转变为农田 8、16、41 a 后,有机碳含量分别下降 25%、39% 和 55%^[4]。焦燕等^[5]也发现天然草地转变为农田 5、10、15、20、35、50 a 后,表层土壤有机碳含量分别下降 36%、47%、43%、57%、68% 和 68%。Bowman 等^[6]则指出,开垦几乎在所有的情况下都会造成草地土壤碳氮含量的降低。对其它自然土壤如林地、湿地开垦后也发现土壤碳氮含量随开垦年限增加而有下降趋势^[7-8]。然而,并非所有自然土壤开垦为农田后都将导致有机碳和全氮的降低,干旱区荒漠土壤转化为农田的研究中已有类似发现^[9-10],但此类研究目前主要集中在耕层,有关其垂直剖面分布变化还需进一步研究。

土壤有机碳和氮素是植物生长发育的主要营养源,和土地生产力密切相关。有研究表明当我国耕地表层有机质含量变动 1% 时,将引起低有机质省区产出变动 0.425%,高有机质省区产出变动 0.154%^[11];当土壤有机碳含量增加 1 g/kg,低有机质地区春玉米产量约可增加 328 kg/hm²,而高有机质地区玉米产量可增加 176 kg/hm²^[3]。Pan 等^[12]研究也发现施肥条件下水稻增产量和有机碳累积速率成线性正相关。对新疆绿洲农田而言,大部分是由土壤碳氮初始值较低的荒漠土壤开垦而来,那么在开垦过程中其碳氮含量变化对作物生产力是否也存在正效应,目前还鲜有报道。为此,本研究以塔克拉玛干沙漠南缘策勒绿洲为研究区域,选取 5 个代表不同开垦年限的样点,运用空间序列代替时间序列的方法,分析了不同开垦年限的绿洲农田土壤有机碳、全氮和速效氮含量垂直分布特征差异,探讨了土壤碳氮储量变化和作物产量的关系,研究结果对绿洲农田土壤环境的改善和生产力的维持具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区域位于塔克拉玛干沙漠南缘中段的策勒绿洲(80°43'45.9"E, 37°01'20.7"N),海拔为 1340—1380 m。该地区属于暖温带极端干旱区,年平均气温 11.9℃,1 月平均气温 -11.7℃,7 月平均气温 25.2℃;极端最高气温 41.9℃,极端最低气温 -23.9℃,5 月和 7 月的降雨次数相对较多,但是降雨量很少。绿洲平原区年均降水量仅 35.1 mm,年均蒸发量高达 2595.3 mm,多年平均无霜期约为 209 d。策勒绿洲外围西北方向的绿洲-沙漠过渡带是当地主要垦荒区,植被以骆驼刺(*Alhagi sparsifolia* SHAP)群落为主,并伴生有少量的怪柳

(*Tamarix ramosissima*) 和花花柴 (*Karelinia capsica*), 盖度约为 38.9%。农田土壤以风沙土为主, 肥力较低, 有机质含量平均为 4.27 g/kg, 全量氮、磷、钾含量平均值分别为 0.38、0.67、15.1 g/kg, 速效氮、速效磷、速效钾含量相应为 14.5、8.3、122 mg/kg。

1.2 研究方法

基于实地调查, 荒漠土壤开垦为农田后, 普遍采取的是一种粗放或相对初级的管理方式, 如灌溉方式均为策勒河洪水及地下水大水漫灌, 施肥方式和强度与多年开垦农田差异不大。此外, 因人为干扰程度不同, 及水资源和环境条件等因素限制, 绿洲农田土壤质量差异明显, 且有研究表明, 以开垦年限对土壤质量的影响最为突出^[13]。

本研究采用以空间位置换算时间差异的方法来研究不同开垦年限农田土壤碳氮储量的变化, 为能更好对比不同年限农田碳氮累积的差异性, 根据当地农户调查和县志查阅, 选取策勒绿洲五个代表不同开垦年限的农田样点, 各样点具体情况见表 1。样点 I 和 II 位于绿洲内部, 开垦前 20 a 左右主要种植玉米, 近 3 a 分别连续种植小麦和玉米; 样点 III 位于绿洲边缘, 开垦前 10 a 主要种植玉米, 近 3 a 为棉花连作; 样点 IV 和 V 位于荒漠-绿洲交错带边缘, 种植方式为玉米连作。在绿洲外围新垦农田附近选择一块骆驼刺对照样地 (VI), 代表未开垦前的自然状态。

2010 年 3 月作物种植前, 在每个样点附近分别选取开垦年限、种植和管理方式相近的 4 块农田, 每块农田为一重复, 随机选取 3 个点, 取样深度为 200 cm, 每 20 cm 为 1 个样, 相同土层混在一起。与此同时挖剖面, 同样 20 cm 为 1 层, 用 100 cm³ 环刀取土测定容重。土壤样品烘干处理后, 采用低温外加热重铬酸钾氧化法测定土壤有机碳; 全氮采用半微量凯氏法测定; 土壤有效氮测定采用碱解蒸馏法测定。

表 1 样地概况

Table 1 The sample plot situation

编号 Number	开垦年限 Years of cultivation	作物种植历史 Cropping history	地理位置 Geographic location	
			纬度 Latitude	经度 Longitude
I	100±5	玉米, 小麦	37°0.8′	80°47′
II	80±5	玉米, 棉花	37°0.2′	80°45′
III	30±5	玉米, 棉花	37°1′	80°45′
IV	15±2	玉米	37°1′	80°43′
V	10±2	玉米	37°0.3′	80°43′
VI	0	骆驼刺 <i>Alhagi sparsifolia</i> , 花花柴 <i>Karelinia capsica</i> , 怪柳 <i>Tamarix ramosissima</i>	37°1′	80°43′

根据土壤碳氮含量情况, 在每个取样点选取有代表性的一块农田, 面积约 0.2 hm², 编号与样点一致即为: I (100 a)、II (80 a)、III (30 a)、IV (15 a)、V (10 a)。每块样地分为 2 份, 中间由 2 m 宽的保护带隔开, 分别种植玉米和棉花。所有样地均种植同一品种棉花和玉米, 施肥、灌水和常规管理与当地农民一致。棉花品种为陆地棉, 播种前施磷酸二铵 150 kg/hm² 和农家肥 15000 kg/hm², 分别在苗期和花铃期灌水时追施尿素 225 kg/hm²。整个生长期总灌水量为 860 mm。玉米品种为沈玉 2002, 播种前施农家肥 15000 kg/hm², 整个生长期施尿素 300 kg/hm², 灌水量为 800 mm。收获期在每个小区设置 4 个 1 m² 小样方, 计算棉花籽棉和玉米籽粒产量。

1.3 数据处理

土壤全氮密度和有机碳密度一样, 是反映土壤固持氮能力的重要指标, 其大小与土壤容重和全氮含量密切相关。土壤有机碳及全氮密度计算公式均为^[14]:

$$SOC_i = B_i C_i H_i$$

式中, SOC_i 表示第 i 层土壤碳或氮密度; B_i 代表土壤容重 (g/cm³); C_i 代表地类 i 的土壤有机质或全氮含量; H_i 表示土壤厚度, 由于 >2 mm 砾石几乎没有, 这里土层厚度取 20 cm。

数据分析采用 SPSS13.0 软件,选择单因素方差分析(one-way ANOVA)进行不同样地间差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 土壤有机碳及全氮密度变化

由图 1 可以看出,除Ⅲ号地外 0—200 cm 土层碳氮密度随开垦年限延长显著增加。与未开垦的自然土壤(Ⅵ)相比,Ⅰ、Ⅱ、Ⅳ和Ⅴ号地有机碳密度分别增加了 94.9%、39.6%、16.2% 和 7.1%,全氮密度也分别增加了 87.4%、50.4%、39.8% 和 17.0%;Ⅲ号地有机碳密度却降低了 12.1%,全氮密度只增加了 3.6%。可以看出,开垦时间越久,农田土壤碳氮截获能力也越强,但在开垦初期(如Ⅳ和Ⅴ)变化不明显,甚至还有降低的趋势(如Ⅲ)。

2.2 土壤有机碳及全氮密度垂直分布特征

自然土壤(Ⅵ)有机碳密度在垂直方向变化较小,全氮密度却由表层向下小幅下降,在 60 cm 以下又趋于稳定(图 2)。开垦为农田后,碳氮密度均在 0—20 cm 土层显著增加,Ⅰ至Ⅴ号地有机碳密度分别增加了 231.7%、302.9%、146.3%、116.6% 和 130.5%,氮密度也相应增加了 160.1%、217.6%、123.6%、106.5% 和 125.1%。在 20—40 cm 土层,Ⅰ和Ⅱ号农田碳氮密度仍显著高于自然土壤,其它样点增加却不明显。在 40 cm 以下土层,Ⅰ号农田碳密度最高,总量高于自然土壤 52.0%,Ⅲ号最低,低于自然土壤 36.4%,其它样点变化较小。全氮密度却不同,在 40—60 cm 土层除Ⅰ号农田显著增加外,其它样点变化很小;60 cm 以下土层不同年限农田变化均不明显。这表明荒漠土壤开垦为农田后,随开垦年限延长不但能显著增加表层土壤碳氮累积,对深层土壤碳累积也有一定的促进作用。

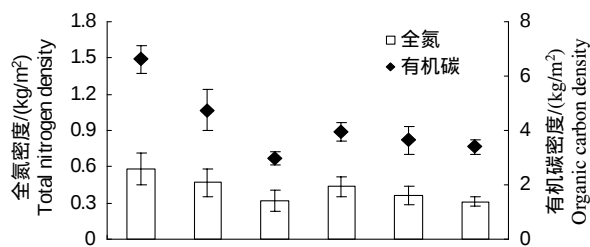


图 1 0—200 cm 土层有机碳和全氮密度变化

Fig. 1 Changes of soil organic carbon and total nitrogen density in 0—200 cm soil layers

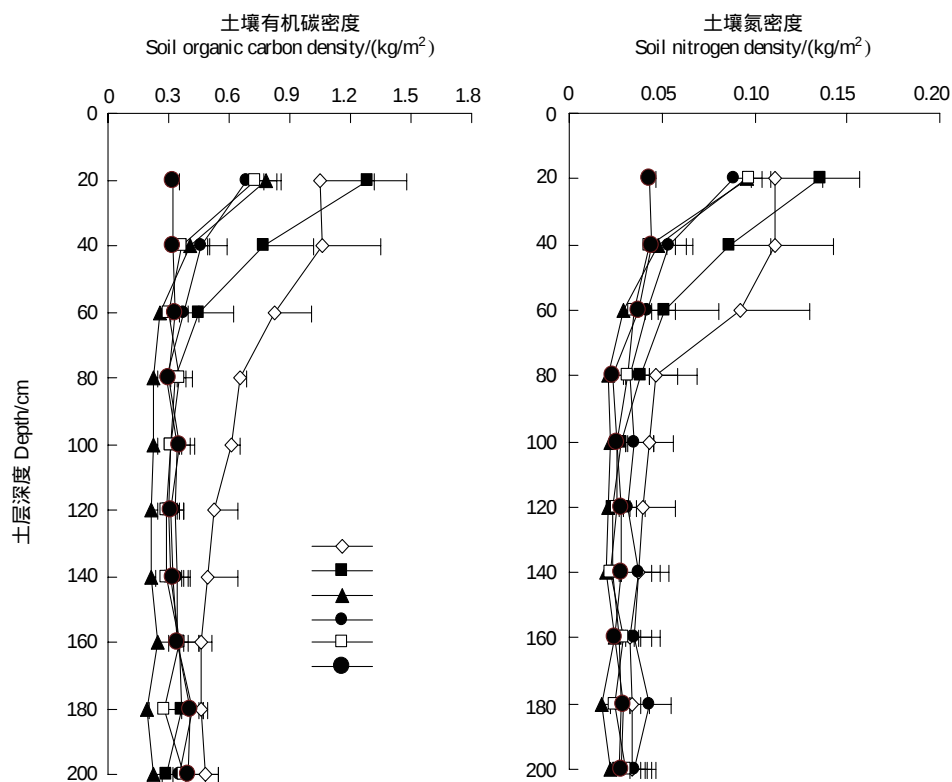


图 2 绿洲不同农田有机碳及全氮密度垂直分布特征

Fig. 2 The vertical differences of soil organic carbon and total nitrogen for different oasis croplands

2.3 土壤碳氮比及速效氮含量变化

荒漠土壤 C/N 在 0—60 cm 土层变化较小(7.4—7.6),60 cm 土层以下波动较大,平均为 11.8,变异系数为 9.2%(图 3)。开垦后,随种植时间延长在 0—40 cm 迅速增加,Ⅰ—Ⅴ号地分别高于荒漠土壤 28.3%、23.0%、15.7%、10.4% 和 6.5%,但在 40—60 cm 又迅速下降并接近自然土壤。在 60 cm 土层以下相对趋于稳定,Ⅰ—Ⅴ号地 C/N 平均值分别为 12.2、10.2、9.3、8.7 和 11.1,变异系数相应为 1.6%、7.9%、3.9%、6.8% 和 6.2%。可以看出,开垦对 0—40 cm 土层有机碳累积的促进作用超过氮素,开垦年限越久影响越明显;对深层土壤氮素累积的促进作用更明显,但开垦 100 a 左右的农田情况却相反。

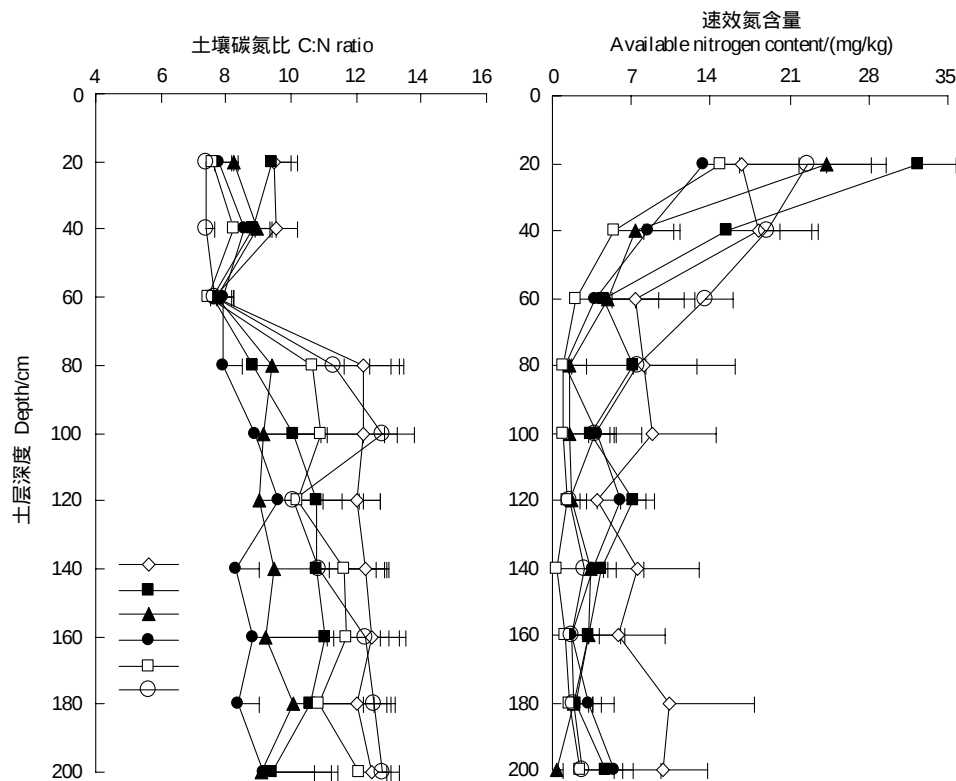


图 3 土壤碳氮比及速效氮含量的垂直变化特征

Fig. 3 Vertical changes of C:N ratio and available nitrogen content

随土层深度增加,对照样地(Ⅵ)速效氮含量迅速下降,在 120 cm 土层以下趋于稳定。开垦后除Ⅱ和Ⅲ号农田在 0—20 cm 分别增加了 42.7% 和 6.9% 外,其它土层和样地在 20—80 cm 均有不同程度的下降。在 100 cm 土层以下,Ⅰ号样地各土层均表现出增加趋势,其它样地也波动性增长,但变化幅度较小。通常认为土壤速效养分含量和 C/N 密切相关,因此对不同土层速效氮含量与 C/N 进行相关分析(表 2),结果表明除Ⅴ与Ⅵ号地二者成显著负相关外,其它样地均无明显相关关系。

2.4 土壤碳氮储量对作物产量的影响

不同年限农田籽棉产量的大小顺序为Ⅱ>Ⅳ>Ⅰ>Ⅴ>Ⅲ,除Ⅰ和Ⅴ号地产量差异不明显外,其它样地均达显著水平(图 4)。玉米产量则不同,不同样地间差异均达显著水平,大小顺序依次为Ⅰ>Ⅱ>Ⅴ>Ⅳ>Ⅲ。对作物产量和土壤碳氮储量分别进行相关分析发现,不同年限农田籽棉产量与 0—200 cm 土层有机碳和全氮储量之间相关性较差,相关系数(R)分别为 0.32 和 0.43;与玉米产量均成显著正相关, R 值分别为 0.90 ($P<0.05$) 和 0.88 ($P<0.05$)。可以看出在碳氮密度最小的Ⅲ号地,棉花和玉米产量均最低,但从总体来看土壤碳氮累积对玉米产量的影响明显要高于棉花。

表 2 不同土层土壤碳氮比和速效氮含量的关系
Table 2 Correlation between C:N ratio and available nitrogen content for different oasis farmlands

样地编号 Number	回归方程 Regression equation	相关系数 (R) Correlation coefficient
I	$y = -1.21x + 23.3$	-0.455
II	$y = -2.02x + 28.0$	-0.244
III	$y = -5.47x + 54.3$	-0.514
IV	$y = -0.58x + 9.99$	-0.097
V	$y = -1.63x + 19.6$	-0.646 *
VI	$y = -3.02x + 39.5$	-0.874 **

* 在 0.05 水平差异显著 $P<0.05$; ** 在 0.01 水平差异显著 $P<0.01$

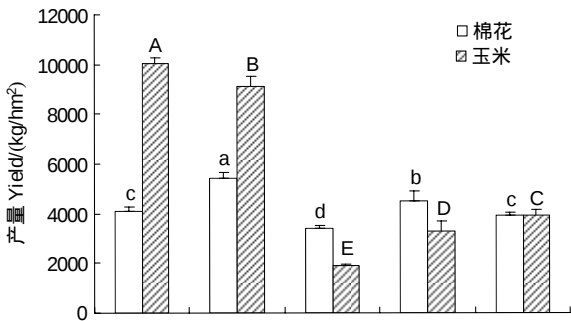


图 4 不同农田棉花和玉米产量差异
Fig. 4 The differences of cotton and maize yields in different oasis farmlands
小写字母表示棉花产量间差异 ($P<0.05$), 大写字母表示玉米产量间差异 ($P<0.05$)

3 讨论

有资料显示免耕和优化施肥管理对土壤有机碳累积的影响可达 100 cm^[15-16]。还有研究表明不同利用方式对潮棕壤土有机碳含量的影响甚至可达 150 cm^[17]。本研究表明,荒漠草甸植被骆驼刺被砍伐开垦为农田后,显著增加了 0—20 cm 土层碳氮累积,开垦时间越长增加越明显。开垦 80—100 a 期间对 40—200 cm 土层有机碳累积也有一定的促进作用,但在 30 a 左右时却出现下降。可以看出,绿洲农田表层土壤有机碳和全氮累积变化很难准确地反映人为耕作活动对土壤碳氮的长期影响。这与草地、林地和湿地在开垦后的研究结果不一致,主要原因可能是荒漠土壤有机碳和氮的初始值较低,开垦后通过农田防护林建设、施肥和灌溉等措施提高了作物生产力,加上秸秆还田等措施,增加了耕层有机物料的输入量,从而促进耕层土壤有机碳氮的富集。植物根系分布是影响土壤有机碳垂直分布的最直接因素,因为大量的死根通过老化、腐烂、分解,为土壤提供了丰富的碳源^[18]。研究区域主要种植的 3 种植物中以玉米根系生物量最大,扎根也较深^[19]。还有研究指出玉米连作或者玉米大豆轮作能产生较高的植株残体归还量^[20],而棉花生产出的残体数量较小^[21]。因此,开垦多年后无论是小麦-玉米还是棉花-玉米种植体系对深层土壤有机碳均有一定的促进作用,而开垦 30 a 左右农田深层土壤有机碳的下降可能与近几年来连续种植棉花有关。

土壤 C/N 是衡量土壤 C、N 营养平衡状况的重要指标,在土壤有机质分解中具有重要作用。本研究表明,耕层 C/N 随开垦年限延长逐渐增加,60 cm 以下土层除 100 a 左右的样点略有增加外,其它均低于荒漠土壤并开始趋于稳定。这与林地^[17]和天然草地^[22]开垦后的情况相反,可能是因为林地和天然草地本身有机碳含量很高,对耕层土壤扰动后因加速了有机质的分解而导致有机碳含量的降低。荒漠土壤碳氮含量起始值较低,开垦后因凋落物和根系的残留对耕层有机碳有明显补给作用,但由于作物根系较浅,植物残体分解较慢,在短时间内对下层土壤的补给很有限。氮素虽然也出现耕层富集的现象,但因连年翻耕和大水漫灌,加之风沙土的保水保肥性差,土壤中可溶性氮及化学氮肥除了被植物吸收利用外,会被淋溶到下层土壤并累积起来。因此,荒漠土壤开垦后对耕层土壤有机碳的影响要比对土壤氮素的影响大,在开垦 10—80 a 期间对深层土壤氮素累积的影响则更明显。

对某一特定土壤,C/N 基本为一常数,这意味着土壤有机碳含量水平在某种程度上取决于土壤中能够同化成腐殖质的有效氮含量水平^[23]。有研究表明土壤固碳能力与速效氮含量呈显著正相关^[24],但近年来还有学者指出高有机碳含量或土壤肥力达到一定水平后,两者之间不一定是正相关^[25]。本研究发现,不同土层速效氮含量与 C/N 仅在荒漠土壤和新垦农田((10±2)a)表现出显著负相关关系。土壤有效氮主要来自土壤有机质的矿化和施入土壤中肥料的速效成分,很容易流失和淋溶,受土壤结构性因子(如土壤成土母质、地形和土壤类型等)和农业生产管理措施共同作用。人为干扰强度较小,土壤 C/N 比值也较小时,速效养分会因

土壤微生物活性增强和有机碳矿化加速而增加^[26];相反,比值增大时土壤分解作用则减弱,因此,土壤 C/N 和速效氮含量成负相关关系。随开垦年限的延长,受人为施肥、灌溉、耕作等农业生产管理措施的影响增强,速效氮含量的空间异质性也相应增加,从而和有机碳的相关性降低。

耕作会引起农田有机碳储量的明显变化,而有机碳的动态变化又将通过影响土壤质量进而影响土地生产力^[27]。本研究表明,不同开垦年限农田有机碳和全氮贮量仅与玉米产量呈显著正相关,与棉花产量相关性较差。这可能与二者肥料投入水平差异有关。在该区域,玉米施肥量明显低于棉花,而且又为须根系植物,因此对耕层土壤养分的依赖性可能要高于棉花(直根系)。进一步分析还发现在碳氮累积量最高的农田棉花产量却较低,且和新垦农田差异不明显。这说明对棉花来讲,在土壤碳氮条件增加到一定程度时,施肥对其产量的影响更为明显,且目前的施肥水平可能已过量。张兴义等^[28]也认为土壤有机碳(质)虽对作物产量构成有一定的影响,但不如施肥的作用明显。这可能是由于土壤有机碳对作物产量的影响存在一个阈值,超过该值二者不存在相关关系^[29]。据此,推测绿洲农田碳氮累积和棉花产量的关系的不确定性,可能与当地棉花施肥时未考虑土壤基础肥力差异有关,从而造成多年开垦农田出现施肥的负效应。

总之,荒漠土壤开垦为农田后有利于耕层土壤有机碳和全氮累积,对有机碳的影响更为明显,在开垦多年后对深层土壤有机碳累积也有一定的促进作用。这说明对生态环境脆弱的荒漠土壤来说,长期的人为耕作活动对土壤质量的影响应为正效应。开垦后土壤有机碳和全氮变化对土壤生产力的影响受作物种类、耕作方式、施肥制度等多重因素的综合影响,但从目前投入水平来看,策勒绿洲农田碳氮变化对玉米产量提高仍有明显影响。因此,针对绿洲不同年限农田的碳氮累积差异,应采取相应的施肥和耕作措施以充分挖掘各种作物的生产潜力,这对实现绿洲农田的可持续利用具有重要意义。

致谢:感谢策勒站穆桂金研究员对本研究的帮助。

References:

- [1] Lal R. Carbon sequestration in dry lands. *Annals of Arid Zone*, 2000, 39(1): 1-10.
- [2] Li Y Y, Shao M A, Zheng J Y, Zhang X C. Spatial-temporal changes of soil organic carbon during vegetation recovery at Ziwoiling, China. *Pedosphere*, 2005, 15(5): 601-610.
- [3] Qiu J J, Wang L G, Li H, Tang H J, Li C S, van Ranst E. Modeling the impacts of soil organic carbon content of croplands on crop yields in China. *Scientia Agricultura Sinica*, 2009, 42(1): 154-161.
- [4] Wu R G, Tiessen H. Effect of land use on soil degradation in Alpine grassland soil, China. *Soil Science Society of America Journal*, 2002, 66(5): 1648-1655.
- [5] Jiao Y, Zhao J H, Xu Z. Effects of a conversion from grassland to cropland on soil physical-chemical properties in the agro-pastoral ecotone of Inner Mongolia; analysis of a 50-year chronosequence. *Ecology and Environmental Sciences*, 2009, 18(5): 1965-1970.
- [6] Bowman R A, Vigil M F, Nielsen D C, Anderson R L. Soil organic matter changes in intensively cropped dryland systems. *Soil Science Society of America Journal*, 1999, 63(1): 186-191.
- [7] Zeng X B, Huang X X, Liu Z G, Li L F, Yang J B. Effects of the period of wetland reclamation on the character of soil profiles, C and N contents in Sanjiang Plain. *Scientia Agricultura Sinica*, 2006, 39(6): 1186-1195.
- [8] Celik I. Land-use effects on organic matter and physical properties of soil in a southern Mediterranean highland of Turkey. *Soil and Tillage Research*, 2005, 83(2): 270-277.
- [9] Xu W Q, Chen X, Luo G P, Zhang Q, Zhang Y F, Tang F. The impact of land reclamation and management practices on the dynamics of soil organic carbon in the arid region of North-western China as simulated by CENTURY model. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(14): 3707-3716.
- [10] Xu W L, Tang G M, Sheng J D, Liang Z, Zhou B, Zhu M. Effects of cultivation organic carbon fractionation and aggregate stability in Xinjiang oasis soils. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(7): 1773-1779.
- [11] Wang W, Li X B. Study on the marginal productivity of cultivated land with change of soil organic matter in China. *Scientia Geographica Sinica*, 2002, 22(1): 24-28.
- [12] Pan G X, Zhou P, Li Z P, Smith P, Li L Q, Qiu D S, Zhang X H, Xu X B, Shen S Y, Chen X M. Combined inorganic/organic fertilization enhances N efficiency and increases rice productivity through organic carbon accumulation in a rice paddy from the Tai Lake region, China. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2009, 131(3/4): 274-280.
- [13] Gui D W, Lei J Q, Zeng F J, Mu G J, Yang F X, Su Y L, Pan Y F. Fractal dimension of particle size distribution and its affecting factors in oasis farmland soils in southern marginal zones of Tarim Basin. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2010, 18(4): 730-735.
- [14] Shi L J, Zheng L B, Mei X Y, Yu L Z, Jia Z C. Characteristics of soil organic carbon and total nitrogen under different land use types in

- Shanghai. Chinese Journal of Applied Ecology, 2010, 21(9): 2279-2287.
- [15] Pan G X, Wu L S, Li L Q, Zhang X H, Gong W, Wood Y. Organic carbon stratification and size distribution of three typical paddy soils from Taihu Lake region, China. Journal of Environmental Science, 2008, 20(4): 456-463.
- [16] Boddey R M, Jantalia C P, Conceic P C, Zanatta J A, Bayer C, Mielniczuk J, Dieckow J, Santos H P, Denardin J, Aita C, Giacomini S J, Alves B J, Urquiaga S. Carbon accumulation at depth in Ferralsols under zero-till subtropical agriculture. Global Change Biology, 2010, 16(2): 784-795.
- [17] Jiang Y, Zhang Y G, Liang W J, Wen D Z. Profile distribution and storage of soil organic carbon in an aquic brown soil as affected by land use. Scientia Agricultura Sinica, 2005, 38(3): 544-550.
- [18] Jobbágy E G, Jackson R B. The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. Ecological Application, 2002, 10(2): 423-436.
- [19] Yang J, Shen Y Y, Nan Z B, Gao C Y, Niu Y N, Wang X Z, Luo C Y, Li G D. Effects of conservation tillage on crop yield and carbon pool management index on top soil within a maize-wheat-soy rotation system in the Loess Plateau. Acta Prata Culturae Sinica, 2010, 19(1): 75-82.
- [20] Eghball B, Mielke L N, McCallister D L, Doran J W. Distribution of organic carbon and inorganic nitrogen in a soil under various tillage and crop sequences. Journal of Soil and Water Conservation, 1994, 49(2): 201-205.
- [21] Bordovsky D G, Choudhary M, Gerard C J. Effect of tillage, cropping, and residue management on soil properties in the Texas rolling plains. Soil Science, 1999, 164(5): 331-340.
- [22] Schipper L A, Sparling G P. Accumulation of soil organic C and change in C:N ratio after establishment of pastures on reverted scrubland in New Zealand. Biogeochemistry, 2011, 104: 49-58.
- [23] Brady A C, Weil R R. The Nature and Properties of Soils. 13th ed. Upper Saddle River; Prentice Hall, 2002: 21-526.
- [24] Gong W, H T X, Wang J Y, Gong Y B, Ran H. Soil carbon pool and fertility under natural evergreen broad-leaved forest and its artificial regeneration forests in Southern Sichuan Province. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(6): 2536-2545.
- [25] Blair G J, Lefroy R D B, Lisle L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems. Australian Journal of Agricultural Research, 1995, 46(7): 1459-1466.
- [26] Mazzarino M J, Bertillier M B, Sain C, Satti P, Coronato F. Soil nitrogen dynamics in northeastern Patagonia steppe under different precipitation regimes. Plant and Soil, 1998, 202(1): 125-131.
- [27] Jiang Y, Zhuang Q L, Liang W J. Soil organic carbon pool and its affecting factors in farmland ecosystem. Chinese Journal of Ecology, 2007, 26(2): 278-285.
- [28] Zhang X Y, Sui Y Y, Wang Q C, Yu T Y, Zhang S L, Cheng W. Relationship between black soil organic matter content and corn productivity. Chinese Journal of Soil Science, 2007, 38(4): 657-660.
- [29] Song C Y, Zhang X Y, Liu X B, Gao C S. Effect of soil organic matter on soil fertility and crop productivity. System Sciences and Comprehensive Studies in Agriculture, 2008, 24(3): 357-362.

参考文献:

- [3] 邱建军, 王立刚, 李虎, 唐华俊, Li C S, van Ranst E. 农田土壤有机碳含量对作物产量影响的模拟研究. 中国农业科学, 2009, 42(1): 154-161.
- [5] 焦燕, 赵江红, 徐柱. 农牧交错带开垦年限对土壤理化特性的影响. 生态环境学报, 2009, 18(5): 1965-1970.
- [7] 曾希柏, 黄雪夏, 刘子刚, 李莲芳, 杨佳波. 种植年限对三江平原农田土壤剖面性质及碳、氮含量的影响. 中国农业科学, 2006, 39(6): 1186-1195.
- [9] 许文强, 陈曦, 罗格平, 张清, 张豫芳, 唐飞. 基于 CENTURY 模型研究干旱区人工绿洲开发与管理模式变化对土壤碳动态的影响. 生态学报, 2010, 30(14): 3707-3716.
- [10] 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.
- [11] 王卫, 李秀彬. 中国耕地有机质含量变化对土地生产力影响的定量研究. 地理科学, 2002, 22(1): 24-28.
- [13] 桂东伟, 雷加强, 曾凡江, 穆桂金, 杨发相, 苏永亮, 潘燕芳. 塔里木盆地南缘绿洲农田土壤粒径分布分形特征及影响因素研究. 中国生态农业学报, 2010, 18(4): 730-735.
- [14] 史利江, 郑丽波, 梅雪英, 俞立中, 贾正长. 上海市不同土地利用方式下的土壤碳氮特征. 应用生态学报, 2010, 21(9): 2279-2287.
- [17] 姜勇, 张玉革, 梁文举, 闻大中. 潮棕壤不同利用方式有机碳剖面分布及碳储量. 中国农业科学, 2005, 38(3): 544-550.
- [19] 杨晶, 沈禹颖, 南志标, 高崇岳, 牛伊宁, 王先之, 罗彩云, 李光棣. 保护性耕作对黄土高原玉米-小麦-大豆轮作系统产量及表层土壤碳管理指数的影响. 草业学报, 2010, 19(1): 75-82.
- [24] 龚伟, 胡庭兴, 王景燕, 宫渊波, 冉华. 川南天然常绿阔叶林人工更新后土壤碳库与肥力的变化. 生态学报, 2008, 28(6): 2536-2545.
- [27] 姜勇, 庄秋丽, 梁文举. 农田生态系统土壤有机碳库及其影响因子. 生态学杂志, 2007, 26(2): 278-285.
- [28] 张兴义, 隋跃宇, 王其存, 于同艳, 张少良, 程伟. 土壤有机质含量与玉米生产力的关系. 土壤通报, 2007, 38(4): 657-660.
- [29] 宋春雨, 张兴义, 刘晓冰, 高崇升. 土壤有机质对土壤肥力与作物生产力的影响. 农业系统科学与综合研究, 2008, 24(3): 357-362

CONTENTS

CO ₂ emission from an alpine <i>Kobresia humilis</i> meadow in winters	WU Qin, HU Qiwu, CAO Guangmin, et al (5107)
Effect of cultivation on soil organic carbon and total nitrogen accumulation in Cele oasis croplands and their relation to crop yield ...	 HUANG Caibian, ZENG Fanjiang, LEI Jiaqiang, et al (5113)
Biomass and its allocation of four grassland species under different nitrogen levels	 QI Yu, HUANG Yongmei, WANG Yan, et al (5121)
Small-scale spatial patterns of genetic structure in <i>Castanopsis eyrei</i> populations based on autocorrelation analysis in the Tiantai Mountain of Zhejiang Province	 QI Caihong, JIN Zexin, LI Junmin (5130)
Influence of vegetation on frozen ground temperatures the forested area in the Da Xing'anling Mountains, Northeastern China	 CHANG Xiaoli, JIN Huijun, YU Shaopeng, et al (5138)
Analysis of stable carbon isotopes in different components of tree rings of <i>Pinus sylvestris</i> var. <i>mongolica</i>	 SHANG Zhiyuan, WANG Jian, CUI Mingxing, et al (5148)
Retrieval of leaf area index for different grasslands in Inner Mongolia prairie using remote sensing data	 LIU Yibo, JU Weimin, ZHU Gaolong, et al (5159)
Decomposition of lotus leaf litter and its effect on the aquatic environment of the Beili Lake in the Hangzhou West Lake	 SHI Qi, JIAO Feng, CHEN Ying, et al (5171)
Effects of fire disturbance on greenhouse gas emission from <i>Larix gmelinii</i> - <i>Carex schmidtii</i> forested wetlands in XiaoXing'an Mountains, Northeast China	 YU Lili, MU Changcheng, GU Han, et al (5180)
Wetland landscape transition pattern of Lianbo Beach along the Middle Yellow River	 GUO Donggang, SHANGGUAN Tieliang, BAI Zhongke, et al (5192)
Effect of revegetation on functional groups of soil organic carbon on the Loess Plateau	 LI Ting, ZHAO Shiwei, ZHANG Yang, et al (5199)
Soil organic and inorganic carbon contents in relation to soil physicochemical properties in northeastern China	 ZU Yuangang, LI Ran, WANG Wenjie, et al (5207)
Characteristics of soil respiration in fallow and its influencing factors at arid-highland of Loess Plateau	 GAO Huiyi, GUO Shengli, LIU Wenzhao (5217)
Soil microbial functional diversity between rhizosphere and non- rhizosphere of typical plants in the hilly area of southern Nixia	 AN Shaoshan, LI Guohui, CHEN Liding (5225)
Differences in the surface palynomorph assemblages on a karst mountain and rocky desertification areas: a case in Nanchuan District, Chongqing	 HAO Xiudong, OUYANG Xuhong, XIE Shiyu (5235)
Ash content and caloric value in the leaves of <i>Sinocalycanthus chinensis</i> and its accompanying species	 JIN Zexin, LI Junmin, MA Jine (5246)
Uptake kinetic characteristics of Cu ²⁺ by <i>Salix jiangsuensis</i> CL J-172 and <i>Salix babylonica</i> Linn and the influence of organic acids ...	 CHEN Caihong, LIU Zhikun, CHEN Guangcai, et al (5255)
Introduction of <i>TaNHX2</i> gene enhanced salt tolerance of transgenic puna chicory plants	 ZHANG Lijun, CHENG Linmei, DU Jianzhong, et al (5264)
Effects of air humidity and soil water deficit on characteristics of leaf cuticular waxes in alfalfa (<i>Medicago sativa</i>)	 GUO Yanjun, NI Yu, GUO Yunjiang, et al (5273)
Influence of water storage capacity on yield of winter wheat in dry farming area in the Loess Plateau	 DENG Zhenyong, ZHANG Qiang, WANG Qiang, et al (5281)
Research of dynamic variation of moisture in apple orchard soil in the area of Xianyang in recent years	 ZHAO Jingbo, ZHOU Qi, CHEN Baoqun, et al (5291)
Volatile oil contents correlate with geographical distribution patterns of the miao ethnic herb <i>Fructus Cinnamomi</i>	 ZHANG Xiaobo, ZHOU Tao, GUO Lanping, et al (5299)
Effect of environmental factors on growth of <i>Chlorella</i> sp. and optimization of culture conditions for high oil production	 DING Yancong, GAO Qun, LIU Jiayao, et al (5307)
The effects of substrates on locomotor performance of two sympatric lizards, <i>Takydromus septentrionalis</i> and <i>Plestiodon chinensis</i>	 LIN Zhihua, FAN Xiaoli, LEI Huanzong, et al (5316)
Guild structure of wintering waterbird assemblages in shallow lakes along Yangtze River in Anhui Province, China	 CHEN Jinyun, ZHOU Lizhi (5323)
Phylogenetic diversity analysis and <i>in situ</i> hybridization of symbiotic Oxymonad flagellates in the hindgut of <i>Reticulitermes chinensis</i> Snyder	 CHEN Wen, SHI Yu, PENG Jianxin, et al (5332)
An entropy weight approach on the comprehensive evaluation of the Pearl River Delta Nature Reserve	 ZHANG Linying, XU Songjun (5341)
Review and Monograph	
On planning method of mesoscale and microscale ecological land	 RONG Bingling, LI Dong, XIE Yingxia (5351)
Effects of land use change on soil organic carbon: a review	 CHEN Zhao, LÜ Changhe, FAN Lan, et al (5358)
Marine phytoplankton and biological carbon sink	 SUN Jun (5372)
Effect of permafrost degradation on methane emission in wetlands: a review	 SUN Xiaoxin, SONG Changchun, WANG Xianwei, et al (5379)
A review on the effects of biogenic elements and biological factors on wetland soil carbon mineralization	 ZHANG Linhai, ZENG Congsheng, TONG Chuan (5387)
A review of studies using ecological network analysis	 LI Zhongcai, Xu Junyan, WU Changyou, et al (5396)
Scientific Note	
Dynamics of age structures on <i>Agropyron michnoi</i> and <i>Leymus chinensis</i> in different communities	 JIN Xiaoming, AI Lin, LIU Jidong, et al (5406)
The impact of thematic resolution on NDVI spatial pattern	 HUANG Caixia, LI Xiaomei, SHA Jinming (5414)

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 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 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 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 18 期 (2011 年 9 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 18 2011

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 70.00 元