

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第33卷 第9期 Vol.33 No.9 **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 9 期 2013 年 5 月 (半月刊)

目次

前沿理论与学科综述

- 可持续发展研究的学科动向 茶 娜, 邬建国, 于润冰 (2637)
- 代谢异速生长理论及其在微生物生态学领域的应用 贺纪正, 曹 鹏, 郑袁明 (2645)
- 植物内生菌促进宿主氮吸收与代谢研究进展 杨 波, 陈 晏, 李 霞, 等 (2656)
- 中国园林生态学发展综述 于艺婧, 马锦义, 袁韵珏 (2665)

个体与基础生态

- 基于最小限制水分范围评价不同耕作方式对土壤有机碳的影响 陈学文, 王 农, 时秀焕, 等 (2676)
- 草原土壤有机碳含量的控制因素 陶 贞, 次旦朗杰, 张胜华, 等 (2684)
- 外源钙离子与南方菟丝子寄生对喜旱莲子草茎形态结构的影响 车秀霞, 陈惠萍, 严巧娣, 等 (2695)
- 毛竹出笋后快速生长期茎秆色素含量与反射光谱的相关性 刘 琳, 王玉魁, 王星星, 等 (2703)
- 巴郎山异型柳叶片功能性状及性状间关系对海拔的响应 冯秋红, 程瑞梅, 史作民, 等 (2712)
- 外源磷或有机质对板蓝根吸收转运砷的影响 高宁大, 耿丽平, 赵全利, 等 (2719)
- 不同猎物饲喂对南方小花蝽捕食量和喜好性的影响 张昌容, 郅军锐, 莫利锋 (2728)
- 捕食风险对东方田鼠功能反应格局的作用 陶双伦, 杨锡福, 姚小燕, 等 (2734)
- 基于线粒体细胞色素 c 氧化酶亚基 I 基因序列的帘蛤科贝类分子系统发育研究
..... 程汉良, 彭永兴, 董志国, 等 (2744)
- 不同实验生态环境对海刺猬遮蔽行为的影响 常亚青, 李云霞, 罗世滨, 等 (2754)

种群、群落和生态系统

- 基于 RS 与 GIS 的赣江上游流域生态系统服务价值变化 陈美球, 赵宝华, 罗志军, 等 (2761)
- 长江口及邻近海域富营养化指标响应变量参照状态的确定 郑丙辉, 朱延忠, 刘录三, 等 (2768)
- 长江口及邻近海域富营养化指标原因变量参照状态的确定 郑丙辉, 周 娟, 刘录三, 等 (2780)
- 鸭绿江口及邻近海域生物群落的胁迫响应 宋 伦, 王年斌, 杨国军, 等 (2790)
- 杭州西溪湿地大型底栖动物群落特征及与环境因子的关系 陆 强, 陈慧丽, 邵晓阳, 等 (2803)
- 生物土壤结皮对荒漠土壤线虫群落的影响 刘艳梅, 李新荣, 赵 昕, 等 (2816)
- 大棚模拟条件下角倍蚜春季迁飞数量动态及其与气象因子的关系 李 杨, 杨子祥, 陈晓鸣, 等 (2825)
- 宁南山区植被恢复对土壤团聚体水稳定及有机碳粒径分布的影响 程 曼, 朱秋莲, 刘 雷, 等 (2835)
- 1958—2008 年太白山太白红杉林碳循环模拟 李 亮, 何晓军, 胡理乐, 等 (2845)
- 不同干扰对黄土区典型草原物种多样性和生物量的影响 陈芙蓉, 程积民, 刘 伟, 等 (2856)
- 乌拉山自然保护区白桦种群的年龄结构和点格局分析 胡尔查, 王晓江, 张文军, 等 (2867)
- 西南干旱对哀牢山常绿阔叶林凋落物及叶面积指数的影响 杞金华, 章永江, 张一平, 等 (2877)
- 阿尔泰山小东沟林区乔木物种丰富度空间分布规律 井学辉, 曹 磊, 臧润国 (2886)

景观、区域和全球生态

太湖流域生态风险评价 许妍,高俊峰,郭建科 (2896)

基于 GIS 的关中-天水经济区土地生态系统固碳释氧价值评价 周自翔,李晶,冯雪铭 (2907)

资源与产业生态

淹水条件下控释氮肥对污染红壤中重金属有效性的影响..... 梁佩筠,许超,吴启堂,等 (2919)

研究简报

高温强光对小麦叶绿体 Deg1 蛋白酶和 D1 蛋白的影响及水杨酸的调节作用 郑静静,赵会杰,胡巍巍,等 (2930)

不同 CO₂ 浓度变化下干旱对冬小麦叶面积指数的影响差异 李小涵,武建军,吕爱锋,等 (2936)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 308 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 32 * 2013-05



封面图说: 肥美的当雄草原——高寒草甸是在寒冷 的环境条件下,发育在高原和高山的一种草地类型。其植被组成主要是多年生草本植物,冬季往往有冰雪覆盖,土壤主要为高山草甸土。当雄草原位于藏北高原,藏南与藏北的交界地带,海拔高度为 5200—4300m,受海洋性气候影响,呈现高原亚干旱气候,年平均降水量 293—430mm。主要有小嵩草草甸、藏北嵩草草甸和沼泽草甸等,覆盖度为 60%—90%,其中小嵩草草甸分布面积最大,连片分布于广阔的高原面上。高寒草甸草层低,草质良好,是畜牧业优良的夏季牧场。

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/stxb201201180112

陈学文, 王农, 时秀焕, 张晓平, 梁爱珍, 贾淑霞, 范如芹, 魏守才. 基于最小限制水分范围评价不同耕作方式对土壤有机碳的影响. 生态学报, 2013, 33(9): 2676-2683.

Chen X W, Wang N, Shi X H, Zhang X P, Liang A Z, Jia S X, Fan R Q, Wei S C. Evaluating tillage practices impacts on soil organic carbon based on least limiting water range. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(9): 2676-2683.

基于最小限制水分范围评价不同耕作方式 对土壤有机碳的影响

陈学文¹, 王 农², 时秀焕^{1,3}, 张晓平^{1,*}, 梁爱珍¹, 贾淑霞¹, 范如芹^{1,3}, 魏守才^{1,3}

(1. 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 长春 130102; 2. 吉林省国土规划研究室, 长春 130051;

3. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要:以 2009 年吉林省德惠市中层黑土上进行了 8a 的田间定位试验小区土壤为研究对象, 对免耕和秋翻两种耕作方式及玉米-大豆轮作和玉米连作两种种植方式下耕层有机碳进行分析, 分别采用加权平均和分层两种方法计算最小限制水分范围 (LLWR), 用其评价不同耕作方式对土壤有机碳的影响。结果表明, 免耕在玉米-大豆轮作和玉米连作下 0—5 cm 土壤有机碳含量分别比秋翻增加了 15.2% 和 11.5% ($P < 0.05$)。采用加权平均法计算的 LLWR 值为 0.148—0.166 cm³/cm³, 不同耕作方式下玉米-大豆轮作的 LLWR 高于玉米连作且在两种种植方式下均表现出免耕小于秋翻的特点; 利用分层法计算得到的 LLWR 值介于 0.130—0.173 cm³/cm³ 之间, 玉米-大豆轮作和玉米连作下免耕 0—5 cm LLWR 均显著小于秋翻, 而 5—30 cm LLWR 数值免耕大于秋翻 ($P > 0.05$); 玉米-大豆轮作下 0—30 cm 各层 LLWR 均高于玉米连作。由于 LLWR 可以评价不同耕作方式对土壤有机碳的影响, 因此采用加权平均法计算的 LLWR 可以客观的反映不同耕作处理尤其是种植方式对土壤有机碳的影响; 而采用分层法计算的 LLWR 则更清晰的刻画了土壤表层与亚表层固碳能力的差异。

关键词:最小限制水分范围; 加权平均; 分层; 土壤有机碳; 免耕

Evaluating tillage practices impacts on soil organic carbon based on least limiting water range

CHEN Xuwen¹, WANG Nong², SHI Xiuhuan^{1,3}, ZHANG Xiaoping^{1,*}, LIANG Aizhen¹, JIA Shuxia¹, FAN Ruqin^{1,3}, WEI Shoucai^{1,3}

¹ Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130102, China

² Jilin Provincial Land Planning Research Laboratory, Changchun 130051, China

³ Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract: The least limiting water range (LLWR) is the range in soil water content within which limitations to plant growth associated with water potential, aeration and mechanical resistance to root penetration are minimal. It has been proposed as an index of the structural quality of soils for crop growth. In many studies, soil CO₂ evolution rates are well explained by changes in soil temperature and moisture using a Q_{10} equation. Even though soil temperature is one of the most important factors influencing soil respiration, tillage-based differences in soil CO₂ evolution are not fully explained by changes in soil temperature because differences in soil temperature under different tillage practices are generally small and not significant compared with much larger seasonal temperature fluctuations. Conversely, differences in soil moisture content under

基金项目:国家自然科学基金项目 (41201217, 31170483, 41101241); 中国科学院知识创新工程重要方向项目 (KZCX2-EW-QN307)

收稿日期:2012-01-18; **修订日期:**2012-09-25

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhangxiaoping@neigae.ac.cn

different tillage systems are more often reported to be large enough to influence soil CO_2 evolution rates. This is probably related to the fact that soil structure, which is changed by tillage practices, partially determines soil moisture content. Even though bulk density and penetration resistance are commonly used measures of soil structure, they do not describe its interactions with moisture. A multi-factor parameter might better represent the complex relationships that exist between soil structure and moisture. The LLWR, which integrates several soil physical parameters, has been proposed as an index of soil structural quality. The LLWR is the range of volumetric soil water contents (cm^3/cm^3) within a soil where biological processes are not limited by soil water or O_2 availability. Although the concepts of LLWR have been applied to processes in plants, they have rarely been applied to microbial processes such as C mineralization and soil organic carbon (SOC). The purpose of this study is to evaluate the effect of tillage on SOC based on the least limiting water range. Soil samples were collected from a tillage trial established in Dehui County, Jilin Province, Northeast China, in fall 2001. Under different tillage practices (no tillage, NT and moldboard plow, MP) with two rotations (corn-soybean and continuous corn), LLWR was calculated using weighted average and stratification methods. The results showed that compared with MP, NT significantly increased the SOC content in the top 0—5 cm of soil under the corn-soybean rotation and continuous corn system by 15.2% and 11.5%, respectively ($P < 0.05$). The values of LLWR under different tillage and rotation practices ranged from 0.148 to 0.166 cm^3/cm^3 using the weighted average method, and were lower under NT than MP. The LLWR under different tillage and rotation practices ranged from 0.130 to 0.173 cm^3/cm^3 using the stratification method. LLWR in the 0—5 cm soil layer were significantly lower under NT than MP ($P < 0.05$), whereas the difference in the 5—30 cm layer was not significant ($P > 0.05$). The LLWR was higher under the corn-soybean rotation than under the continuous corn system in each of the 0—30 cm layers. Because the LLWR can evaluate the impacts of different tillage practices on SOC, LLWR calculated using the weighted average method can generally reflect the impact of different tillage practices, especially crop rotation practices on SOC, while LLWR calculated from the stratification method more clearly indicated differences in SOC sequestration between the soil surface and subsurface.

Key Words: least limiting water range; weighted average; stratification; soil organic carbon; no tillage

全球土壤有机碳(SOC)在1m深度内的储量高达1550 $\text{Pg}^{[1]}$,对全球陆地碳循环和气候变化过程具有至重要的影响^[2]。农田土壤对大气温室气体 CO_2 积累贡献巨大,积累量是人类活动释放到大气中的1/4^[3]。农田土壤的不合理使用能够改变土壤结构,加剧土壤侵蚀,降低土壤有机质含量^[4-5],从而影响土壤碳存储量及其循环周期^[6]。源于北美的保护性耕作(如免耕)不仅为农民带来效益,同时还有助于保护土壤和水资源,保护生态环境,重建土壤肥力^[7]。大量研究表明,与传统耕作方式相比,免耕能够促进土壤储存更多的碳^[8-10],从而使农业土壤成为 CO_2 的“汇”。而有的研究也认为两种耕作方式下SOC储量的差异并不明显^[11-13]。

最小限制水分范围(LLWR),被定义为在土壤生物学过程中不被土壤水或者土壤氧气有效性限制的土壤体积含水量的范围^[14]。LLWR的特点是将与作物生长相联系的3个因素(水、气、硬度)整合成一个变量。LLWR作为评价作物生长的土壤结构质量指标和管理措施对土壤持续生产力影响的表征参数,其在评价管理措施与土壤持续生产力的实践过程中得到广泛应用^[15-17],然而其在SOC矿化中过几乎没有被应用过^[18],直到Yoo和Wander^[19]首次尝试将LLWR和土壤 CO_2 释放联系起来,才将从植物生长过程发展过来的LLWR概念应用到SOC矿化研究中。他们研究发现LLWR和SOC矿化速率成正相关关系,当LLWR很小时,碳矿化就会受到限制^[19]。Yoo等^[20]和Medeiros等^[21]通过测定LLWR等描述土壤结构质量的指标,发现其有助于解释定位试验中SOC固定的差异。

本文基于中国科学院东北地理与农业生态研究所2001年建立的黑土保护性耕作长期定位试验平台,利用LLWR作为评价指标,通过不同计算方法(加权平均和分层法)计算出的LLWR来对比评价不同耕作方式

对土壤有机碳的影响,旨在为东北黑土区进一步推广保护性耕作、促进农业可持续发展提供理论和实践参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于吉林省德惠市米沙子乡(44°12' N,125°33' E)中国科学院东北地理与农业生态研究所黑土农业试验示范基地。试验区土壤类型为中层典型黑土,壤质粘土,0—20 cm 土层 pH 值在 6.5 左右。试验区气候属于中温带大陆性季风气候,年平均气温 4.4 °C,年降水量为 520 mm,且主要集中在 6、7、8 三个月。试验区土壤理化性质详见梁爱珍等^[22]。

试验始于 2001 年 9 月,此前小区耕作方式为传统耕作,以玉米连作为主。试验小区采取单因素裂区、4 个重复的随机区组设计。单因素为耕作方式:免耕(NT)、秋翻(MP)、垄作(RT)。主处理裂分为玉米-大豆轮作(C-S)以及玉米连作(C-C)两个辅助处理。每个小区的面积为 5.2 m×20 m。不同于传统耕作方式,所有处理秸秆全部还田,除秋翻处理外,其它处理秸秆覆盖于地表。(1)免耕处理,除进行播种外,全年不再搅动土壤,前作残留物覆盖地表(玉米-大豆轮作下玉米、大豆秸秆和玉米连作下玉米秸秆均覆盖于地表,两种处理下秸秆均 100% 全部还田)。采用可以联合作业牵引式免耕播种机(KINZE3000)播种。播种机前部装有切刀,在不拖移地表残留物的前提下开沟播种、施底肥、覆土和镇压,一次完成作业。(2)秋翻处理,两种轮作方式下在秋季收获后将秸秆 100% 还田后进行耕翻(翻动土层深度大约为 20 cm),春季进行整地、播种、中耕和起垄作业。(3)垄作处理,除播种和 6 月份左右进行中耕和起垄外,收获后到播种前不再扰动土壤,垄高 16 cm,垄宽 75 cm,秸秆覆盖于垄沟和垄傍上。2009 年玉米-大豆轮作小区的当季采样作物是大豆,玉米连作小区当季采样作物为玉米。

玉米地氮肥(N)作为底肥和追肥,一共施入 150 kg/hm²,而磷肥(P)和钾肥(K)只在播种时作为底肥施入,施用量分别为 45.5 和 80 kg/hm²。大豆地只施底肥不追肥,底肥(N、P、K)的施用量分别为 40、60 kg/hm²和 80 kg/hm²,具体施肥情况如表 1 所示。

表 1 不同耕作方式下施肥情况
Table 1 Applied fertilizers under different tillage practices

施肥时间 Fertilization time	施肥量 Fertilizing amount /(kg/hm ²)	玉米-大豆轮作 corn-soybean rotation (C-S)		玉米连作 continuous corn (C-C)	
		免耕 No tillage (NT)	秋翻 Moldboard plow (MP)	免耕 No tillage (NT)	秋翻 Moldboard plow (MP)
底肥(2009 年 5 月 1 日) Base fertilizer	氮肥	40	40	100	100
	磷肥	60	60	45.5	45.5
	钾肥	80	80	80	80
追肥(2009 年 7 月 10 日) Additional fertilizer	氮肥	0	0	50	50
	磷肥	0	0	0	0
	钾肥	0	0	0	0

1.2 样品采集

土壤样品采于 2009 年秋收后,分别取自 NT、MP 处理的玉米-大豆轮作和玉米连作小区。利用特制取土钻^[23](直径 2.64 cm,侧向开口)取土,从小区的中部四垄采取,采样点呈“S”形分布,采样深度为 0—5、5—10、10—20 和 20—30 cm。土钻每次钻到 30 cm,然后按采样深度将土柱分切为 4 段,分别收集。每个采样小区取 7 次重复,将同一深度的 7 个重复样品混合成一个样品。土壤样品带回实验室后称取部分样品,在 105 °C 下烘干,根据烘干土重、取土钻内径和采样深度计算土壤容重。剩余样品风干。四分法取风干土 15 g,去除肉眼可见的有机残体,研磨后过 100 目筛,用元素分析仪(FlashEA1112, ThermoFinnigan, Italy)测定土壤总碳,供试黑土不含碳酸盐,所以总碳即为 SOC 含量。每 12 个样品放置 1 个国家土壤成分分析标准物质(GSS-1)进行标定和校准。土壤粘粒含量(CLAY, %)(国际制)采用吸管法进行测定^[24]。采用等质量^[25]方法计算 SOC

储量。

1.3 LLWR 的计算方法

1.3.1 加权平均法

Yoo 和 Wander^[19]对计算 LLWR 的公式进行了详述。简单的说,是对土壤生物活性没有制约的最小水分含量范围,通过当土壤较湿时限制生物活性的因素的较小值和当土壤干旱时限制土壤生物活性的因素的较大值来确定一个范围,在这个范围内,土壤生物活性不受水分可利用性或土壤压实限制的影响。限制值由土壤水分释放曲线和土壤硬度曲线计算,土壤水分释放曲线通过土壤转换方程来构建^[14]。

LLWR 计算公式如下:

$$\ln\theta = -4.15 + 0.69\ln\text{CLAY} + 0.40\ln\text{SOC} + 0.27\ln Db + (-0.55 + 0.11\ln\text{CLAY} + 0.02\ln\text{SOC} + 0.10\ln Db)\ln\varphi \quad (1)$$

$$\ln SR = -3.67 - 0.14\text{CLAY} + 0.77\text{SOC} + (-0.48 - 0.12\text{CLAY} + 0.21\text{SOC})\ln\theta + (3.85 + 0.10\text{CLAY})\ln Db \quad (2)$$

$$\text{Total porosity} = 1 - \frac{Db}{PD} \quad (3)$$

式中, θ 是土壤体积含水量 (cm^3/cm^3), CLAY 为 0—30 cm 土层粘粒含量的加权平均值(%),具体算法为 CLAY 在 0—30 cm 的加权平均值 = $[\text{CLAY}(0-5\text{ cm}) \times 5 + \text{CLAY}(5-10\text{ cm}) \times 5 + \text{CLAY}(10-20\text{ cm}) \times 10 + \text{CLAY}(20-30\text{ cm}) \times 10] \div 30$; SOC 为 0—30 cm 土层土壤有机碳含量的加权平均值(%),具体算法为 SOC 在 0—30 cm 的加权平均值 = $[\text{SOC}(0-5\text{ cm}) \times 5 + \text{SOC}(5-10\text{ cm}) \times 5 + \text{SOC}(10-20\text{ cm}) \times 10 + \text{SOC}(20-30\text{ cm}) \times 10] \div 30$; Db 是 0—30 cm 土壤容重的加权平均值 (g/cm^3),具体算法为 Db 在 0—30 cm 的加权平均值 = $[Db(0-5\text{ cm}) \times 5 + Db(5-10\text{ cm}) \times 5 + Db(10-20\text{ cm}) \times 10 + Db(20-30\text{ cm}) \times 10] \div 30$ 。 φ 是基质吸力 (MPa), SR (Soil resistance) 表示土壤硬度 (MPa)。田间持水量 (Field capacity, θ_{fc}) ($\varphi = 0.01\text{ MPa}$)^[26] 和萎蔫点 (Wilting point, θ_{wp}) ($\varphi = 1.5\text{ MPa}$)^[27] 处的土壤体积含水量 θ_{fc} 和 θ_{wp} 由土壤水分释放曲线方程 (1) 计算得出。土壤硬度曲线方程 (2) 用来计算当 $SR = 2\text{ MPa}$ 时的土壤体积含水量 (θ_{sr}), $SR = 2\text{ MPa}$ 是土壤硬度成为作物生长限制因素时的点^[28]。当土壤充气孔隙 (afp) 为 10% 时的土壤体积含水量 (θ_{afp}) = 土壤总孔隙度 - 0.1^[29], 土壤总孔隙度由公式 (3) 计算得出, PD 为土壤密度, 设定为 $2.65\text{ g}/\text{cm}^3$ 。根据 Wu 等^[30]的计算方法, 将 θ_{fc} 和 θ_{afp} 定为计算 LLWR 值的上限值, θ_{wp} 和 θ_{sr} 定为下限值, 用较小的上限值减去较大的下限值, 得出 LLWR。

1.3.2 分层法

采用的计算公式与加权平均法相同, 差别在于各输入值不使用加权平均值, 而是各土层对应的土壤容重、SOC 和粘粒含量。

1.4 数据分析

采用 Excel 2003 和 SPSS 11.5 软件处理数据。显著性差异采用方差分析中的 LSD 检验, 显著性检验水平为 0.05。采用 Origin 7.5 软件作图。

2 结果与分析

2.1 不同耕作方式对 SOC 的影响

耕层 SOC 含量对不同耕作和轮作方式响应各不相同 (图 1)。玉米-大豆轮作下, NT 与 MP 相比显著增加了表层 0—5 cm 的 SOC 含量 ($P < 0.05$), 增加量达到了 15.2%, 而在下层 5—30 cm 免耕比秋翻分别减少了 8.1%、5.3%、6.5%, 且在 5—20 cm 时达到差异显性水平 ($P < 0.05$)。玉米连作下, NT 比 MP 显著增加了 0—5 cm 土层 11.5% 的 SOC 含量 ($P < 0.05$), 而在 5—10 cm 土层 NT 与 MP 相比 SOC 含量显著减少了 7.9% ($P < 0.05$), 10—20 cm 土层 NT SOC 含量比 MP 少 3.1%, 20—30 cm 土层 NT 的 SOC 含量略低于 MP。NT 处理 1215 Mg/hm^2 (约为 0—10 cm 深度) 等质量 SOC 储量在玉米-大豆轮作和玉米连作下分别比 MP 增加了 3.4% 和 3.2% (表 2)。然而, 在 2497 Mg/hm^2 (约为 0—20 cm 深度) 和 3790 Mg/hm^2 (约为 0—30 cm 深度) 等质量下却表现出了相反的变化趋势 (表 2)。

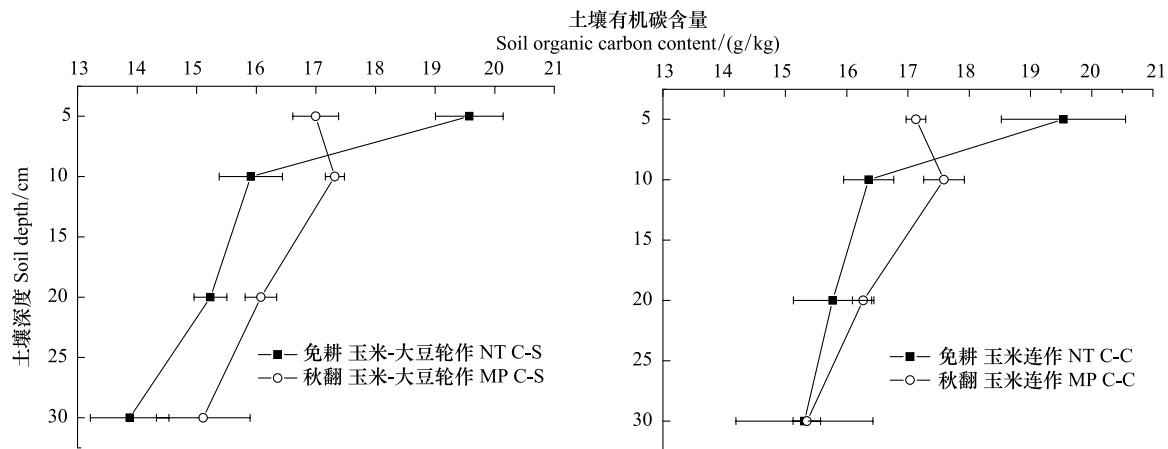


图1 不同耕作和轮作方式下 SOC 含量的变化

Fig.1 Variation of SOC content induced by different tillage and rotation practices

表 2 不同耕作处理下等质量 SOC 储量

Table 2 SOC storages on an equivalent mass under different tillage practices		1215 Mg C/hm ²	2497 Mg C/hm ²	3790 Mg C/hm ²
轮作方式 Rotation	耕作方式 Tillage			
玉米-大豆轮作 C-S	秋翻	20.6a	41.4a	59.9a
	免耕	21.3a	40.9a	58.2a
玉米连作 C-C	秋翻	21.7A	43.2A	63.0A
	免耕	22.4A	41.8A	61.8A

以 1215、2497、3790 Mg 分别作为 10 cm、20 cm、30 cm 深度等质量方法计算 SOC 库储量的统一质量;表中同一列字母相同表示同种轮作方式下不同耕作处理差异不显著(小写字母表示玉米-大豆轮作,大写字母表示玉米连作)($P<0.05$)

2.2 加权平均法计算的 LLWR

从表 3 可以看出,0—30 cm 土层 SOC 含量和粘粒含量在不同耕作和轮作方式下均没出现显著性差异($P>0.05$),而土壤容重在相同耕作处理不同轮作方式下表现出了显著性差异($P<0.05$),即玉米-大豆轮作的土壤容重显著低于玉米连作,而在相同轮作方式下不同耕作处理的土壤容重没有表现出差异显著($P>0.05$)。采用加权平均值计算出不同种植和耕作方式下的 LLWR 均值介于 0.148—0.166 cm^3/cm^3 之间。尽管耕作方式对 LLWR 没有显著影响($P>0.05$),但 NT 降低了 LLWR 值,轮作和连作下分别降低了 2.5% 和 3.4%。值得一提的是,轮作方式显著影响了 LLWR($P<0.05$),且 NT 和 MP 下玉米-大豆轮作小区的 LLWR 都显著高于玉米连作,分别高出 9.4% 和 8.5% ($P<0.05$),可以看出 LLWR 数值对于轮作方式变化较为敏感。

表 3 不同耕作和轮作方式下的 LLWR、土壤有机碳含量、土壤容重、粘粒含量(加权平均值)

Table 3 LLWR, soil organic carbon, soil bulk density and clay content under different tillage and rotation systems (weighted average value)					
轮作方式 Rotation	耕作方式 Tillage	土壤有机碳含量 Soil Organic Carbon /(g/kg)	土壤容重 Soil Bulk Density /(g/cm ³)	粘粒含量 Clay Content /%	LLWR /(cm ³ /cm ³)
玉米-大豆轮作 C-S	秋翻	15.79a	1.19c	35.69a	0.166a
	免耕	15.88a	1.23bc	35.84a	0.162a
玉米连作 C-C	秋翻	16.17a	1.27ab	36.06a	0.153b
	免耕	16.60a	1.31a	36.58a	0.148b

相同字母表示同列值在 0.05 置信水平上没有显著性差异

2.3 分层法计算的 LLWR

不同土层的 LLWR 存在差异,LLWR 值介于 0.130—0.173 cm^3/cm^3 之间,其范围比采用加权平均值计算

出的 LLWR 差异加大。耕作方式显著影响表层 0—5 cm 的 LLWR 值 ($P<0.05$), 两种轮作方式下 NT 处理的 0—5 cm 的 LLWR 值分别较 MP 低 16.8% (轮作) 和 18.5% (连作) ($P<0.05$); 且 NT 在两种轮作方式下的 LLWR 值都随着土壤深度增加而变大。就种植方式而言, 无论是 NT 还是 MP 处理, 玉米-大豆轮作下 0—30 cm 各层的 LLWR 均高于玉米连作且在 5—30 cm 时达到差异显著性水平 ($P<0.05$) (表 4)。

表 4 不同耕作和轮作方式下的 LLWR (cm^3/cm^3) (分层值)

Table 4 LLWR under different tillage and rotation systems (cm^3/cm^3) (stratification value)

深度 Depth/cm	玉米-大豆轮作 C-S		玉米连作 C-C	
	免耕 NT	秋翻 MP	免耕 NT	秋翻 MP
0—5	0.133b	0.155a	0.130b	0.154a
5—10	0.156a	0.156a	0.143b	0.143b
10—20	0.170a	0.169a	0.147b	0.147b
20—30	0.173a	0.173a	0.162b	0.161b

同行相同字母表示在 0.05 置信水平上没有显著性差异

3 讨论

3.1 不同耕作方式对 SOC 的影响

不同耕作处理 SOC 在不同土壤层次上的分布存在较大差异。与 MP 相比, NT 的 SOC 明显在表层 0—5 cm 富集, 原因可能是 NT 秸秆覆盖于地表且其减少了风蚀和水蚀使得 SOC 逐年积累。NT 处理对 SOC 的累积作用仅限于土壤表层在其他研究中已被广泛报道^[5, 31-32]。全国明等^[33]也指出 NT 可使 SOC 在土壤表层富集。由于 NT 耕作地表覆盖度增加, 减少了地表的裸露, 有效的抑制了土壤的过度通气, 减少了有机碳的氧化降解, 使 SOC 水平表现出提高的趋势。5—30 cm SOC 含量 NT 低于 MP, 则是因为 NT 常年不翻动土壤使得 SOC 在表层逐年积累, 有机物质输入仅局限于表层, 5—30 cm 土层很难得到新的输入, 而且 5 cm 以下土壤有机质还在持续矿化, 故造成了免耕下 SOC 的分层现象。Yang 和 Kay^[34], Franzluebbers^[35]和 Piovaneli 等^[36]都指出, 由于 NT 表层残茬的积累, 而使得 SOC 含量高于翻耕, 下层较高的 SOC 分解率使得免耕的 SOC 含量低于翻耕。也有研究指出, 在质地粘重、排水不良以及侵蚀微弱的土壤上实施免耕并不能明显增加 SOC 的含量^[37], 同样也有研究指出 NT 对土壤有机质积累产生负作用的报道^[38]。等质量方法计算的 SOC 储量在 0—10 cm NT 大于 MP, 而 0—20 cm、0—30 cm NT 小于 MP 应归因于 NT 导致表层 SOC 含量增加, 亚表层含量亏损的缘故。Yang 等^[11]在美国和加拿大壤质粘土上 8 年的耕作试验也发现, NT 虽然使地表 SOC 含量有所上升, 但并没有显著增加 0—30 cm SOC 储量。NT 和 MP 两种处理 0—30 cm SOC 储量在其他研究中也未出现显著性差异^[39]。

3.2 基于 LLWR 评价不同耕作方式对 SOC 的影响

本研究中两种轮作方式下采用加权平均值计算出的 NT 处理的 LLWR 均小于 MP, 根据 Yoo 和 Wander^[19]的研究结论, 相对较低的 LLWR 值说明土壤结构限制了土壤生物活性所必须的水分有效性, 由此可以得出 NT 比 MP 处理下土壤结构对 SOC 矿化的限制作用更大, 这与 Lapen 等^[40]的结论吻合。Medeiros 等^[21]指出 NT 下 LLWR 值低于传统耕作, NT 通过改善土壤结构限制了 SOC 的矿化, LLWR 数值的大小可以预测不同耕作方式对 SOC 的固定能力。因此, 在本文中可以说 NT 较 MP 能够固定更多的碳。依此, 玉米-大豆轮作的 LLWR 高于玉米连作, 能得出玉米连作比玉米-大豆轮作固碳能力强。根据分层 LLWR 的结果, 0—5 cm 玉米-大豆轮作和玉米连作下 NT 均显著小于 MP, 可以得出 NT 较 MP 处理, 增强了 0—5 cm 土层土壤的固碳能力; 而 5—30 cm 的 LLWR 在不同耕作和轮作方式下表现出 NT 大于 MP 的特点, 可以得出 5—30 cm NT 与 MP 相比 SOC 含量减少了, 这也与本文前面分析中 NT 导致表层 SOC 含量增加, 亚表层含量亏损的结果一致。Franzluebbers 等^[41]报道常规耕作下土壤矿化作用比免耕强, 他们将这种结果归因于 NT 较高的对 SOC 的土壤物理保护能力。Ilstedt 等^[42]认为, 维持微生物活性的土壤可利用水应该由土壤结构变化来决定, 同样有报道指出耕作影响了土壤结构, 土壤结构又在一定程度上决定了土壤含水量^[43]。不同耕作方式下 LLWR 加权平

均值出现差异的原因在于土壤容重的加权平均值出现显著差异,而分层 LLWR 出现差异的原因是计算 LLWR 时 SOC 和土壤容重等输入值即存在明显的土层变化规律^[22]。本文中不同耕作方式下土壤容重等土壤物理性质的变化导致土壤结构发生变化,进而影响了土壤水分的变化,这一变化对 SOC 的影响通过 LLWR 体现出来。

由加权平均和分层计算方法计算出的 LLWR 可以得出,0—5 cm LLWR 是导致 LLWR 加权平均值出现显著性差异的原因,而由于加权平均的作用掩盖了 0—5 cm SOC 与其他各层的差异,导致其加权平均值没有达到显著性差异。以往计算 LLWR 的方法都是基于加权平均法计算出的,从本文中可以看出采用加权平均法计算出的 LLWR 可以客观的反映不同耕作方式特别是轮作方式下土壤耕层的固碳能力,而采用分层法计算出的 LLWR 可能会更好的反映不同土层的固碳情况。

4 结论

8a 的田间试验结果表明,NT 处理 SOC 含量在表层 0—5 cm 均有显著提高 ($P < 0.05$),但在下层含量减少。NT 0—10 cm 的等质量 SOC 储量大于 MP,而在 0—30 cm NT 较 MP 并没有增加碳储量。利用加权平均法计算的 LLWR 可以客观的反映 0—30 cm 土壤整体的固碳潜力,而分层法计算的 LLWR 可能会更好的反映各层土壤固碳能力的差异。

References:

- [1] Grace J. Understanding and managing the global carbon cycle. *Journal of Ecology*, 2004, 92(2): 189-202.
- [2] Batjes N H. Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *European Journal of Soil Science*, 1996, 47(2): 151-163.
- [3] Post W M, Kwon K C. Soil carbon sequestration and land-use change: processes and potential. *Global Change Biology*, 2000, 6(3): 317-327.
- [4] Mazzoncini M, Sapkota T B, Barberi P, Antichi D, Risaliti R. Long-term effect of tillage, nitrogen fertilization and cover crops on soil organic carbon and total nitrogen content. *Soil and Tillage Research*, 2011, 114(2): 165-174.
- [5] López-Fando C, Pardo M T. Soil carbon storage and stratification under different tillage systems in a semi-arid region. *Soil and Tillage Research*, 2011, 111(2): 224-230.
- [6] Li H, Zhang J K, Jiang C S, Hao Q J, Wu Y, Xie D T. Long-term tillage effects on soil organic carbon and microbial biomass carbon in a purple paddy soil. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(1): 247-255.
- [7] Yang X M, Zhang X P, Fang H J, Liang A Z, Qi X N, Wang Y. Conservation tillage systems in North America and their significance for China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(2): 335-340.
- [8] Balota E L, Colozzi F A, Andrade D S, Dick R P. Long-term tillage and crop rotation effects on microbial biomass and C and N mineralization in a Brazilian Oxisol. *Soil and Tillage Research*, 2004, 77(2): 137-145.
- [9] Madejón E, Murillo J M, Moreno F, López M V, Arrue J L, Alvaro-Fuentes J, Cantero C. Effect of long-term conservation tillage on soil biochemical properties in Mediterranean Spanish areas. *Soil and Tillage Research*, 2009, 105(1): 55-62.
- [10] Varvel G E, Wilhelm W W. No-tillage increases soil profile carbon and nitrogen under long-term rainfed cropping systems. *Soil and Tillage Research*, 2011, 114(1): 28-36.
- [11] Yang X M, Drury C F, Wander M M, Kay B D. Evaluating the effect of tillage on carbon sequestration using the minimum detectable difference concept. *Pedosphere*, 2008, 18(4): 421-430.
- [12] Marchão R L, Becquer T, Brunet D, Balbino L C, Vilela L, Brossard M. Carbon and nitrogen stocks in a Brazilian clayey Oxisol: 13-year effects of integrated crop-livestock management systems. *Soil and Tillage Research*, 2009, 103(2): 442-450.
- [13] Divito G A, Sainz Rozas H R, Echeverría H E, Studdert G A, Wyngard N. Long term nitrogen fertilization: soil property changes in an Argentinean Pampas soil under no tillage. *Soil and Tillage Research*, 2011, 114(2): 117-126.
- [14] Da Silva A P, Kay B D. Estimating the least limiting water range of soils from properties and management. *Soil Science Society of America Journal*, 1997, 61(3): 877-883.
- [15] Benjamin J G, Nielson D C, Vigil M F. Quantifying effects of soil conditions on plant growth and crop production. *Geoderma*, 2003, 116(1/2): 137-148.
- [16] Leão T P, Da Silva A P, Macedo M C M, Imhoff S, Euclides V P B. Least limiting water range: a potential indicator of changes in near-surface soil physical quality after the conversion of Brazilian Savanna into pasture. *Soil and Tillage Research*, 2006, 88(1/2): 279-285.
- [17] Olibone D, Encide-Olibone A P, Rosolem C A. Least limiting water range and crop yields as affected by crop rotations and tillage. *Soil Use and Management*, 2010, 26(4): 485-493.
- [18] Drury C F, Zhang T Q, Kay B D. The non-limiting and least limiting water ranges for soil nitrogen mineralization. *Soil Science Society of America Journal*, 2003, 67(5): 1388-1404.
- [19] Yoo G, Wander M M. Influence of tillage practices on soil structural controls over carbon mineralization. *Soil Science Society of America Journal*,

- 2006, 70(2): 651-659.
- [20] Yoo G, Nissen T M, Wander M M. Use of physical properties to predict the effects of tillage practices on organic matter dynamics in three Illinois soils. *Journal of Environmental Quality*, 2006, 35(4): 1576-1583.
- [21] Medeiros J C, Da Silva A P, Cerri C E P, Giarola N F B, Figueiredo G C, Fracetto F J C. Linking physical quality and CO₂ emissions under long-term no-till and conventional-till in a subtropical soil in Brazil. *Plant and Soil*, 2011, 338(1/2): 5-15.
- [22] Liang A Z, Zhang X P, Yang X M, Drury C F. Short-term effects of tillage on soil organic carbon storage in the plow layer of black soil in Northeast China. *Scientia Agricultura Sinica*, 2006, 39(6): 1287-1293.
- [23] Jia S G, Yang X M, Wang S P. Design and application of a new hand-operated and verticle-pressured undisturbed soil sampler. *Acta Pedologica Sinica*, 1995, 32(1): 108-111.
- [24] Lu R K. *Soil Agrochemical Analysis*. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 1999: 276-282.
- [25] Ellert B H, Bettany J R. Calculation of organic matter and nutrients stored in soils under contrasting management regimes. *Canadian Journal of Soil Science*, 1995, 75(4): 529-538.
- [26] Haise H R, Haas H J, Jensen L R. Soil moisture studies of some great plains soils; II. field capacity as related to 1/3-atmosphere percentage, and "minimum point" as related to 15- and 26-atmosphere percentages. *Soil Science Society of America Proceedings*, 1955, 19: 20-25.
- [27] Richards L A, Weaver L R. Fifteen-atmosphere percentage as related to the permanent wilting point. *Soil Science*, 1944, 56: 331-339.
- [28] Taylor H M, Roberson G M, Parker J J Jr. Soil strength-root penetration relations for medium- to coarse-textured soil materials. *Soil Science*, 1966, 102(1): 18-22.
- [29] Grable A R, Siemer E G. Effects of bulk density, aggregate size, and soil water suction on oxygen diffusion, redox potentials, and elongation of corn roots. *Soil Science Society of America Journal*, 1968, 32(2): 180-186.
- [30] Wu L S, Feng G L, Letey J, Ferguson L, Mitchell J, McCullough-Sanden B, Markegard G. Soil management effects on the nonlimiting water range. *Geoderma*, 2003, 114(3/4): 401-414.
- [31] Franzluebbers A J, Schomberg H H, Endale D M. Surface-soil responses to paraplowing of long-term no-tillage cropland in the Southern Piedmont USA. *Soil and Tillage Research*, 2007, 96(1/2): 303-315.
- [32] Christopher S F, Lal R, Mishra U. Long-term no-till effects on carbon sequestration in the Midwestern U. S. *Soil Science Society of America Journal*, 2009, 73(1): 207-216.
- [33] Quan G M, Zhang J E, Yan H C, Xu R B. Review on influences of no-tillage on soil fertility of paddy field. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2005, 21(9): 266-269.
- [34] Yang X M, Kay B D. Impacts of tillage practices on total, loose- and occluded-particulate, and humified organic carbon fractions in soils within a field in southern Ontario. *Canadian Journal of Soil Science*, 2001, 81(2): 149-156.
- [35] Franzluebbers A J. Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. *Soil and Tillage Research*, 2002, 66(2): 95-106.
- [36] Piovaneli C, Gamba C, Brandi G, Simoncini S, Batistoni E. Tillage choices affect biochemical properties in the soil profile. *Soil and Tillage Research*, 2006, 90(1/2): 84-92.
- [37] Alvarez R, Russo M E, Prystupa P, Scheiner J D, Blotta L. Soil carbon pools under conventional and no-tillage systems in the Argentine rolling Pampa. *Agronomy Journal*, 1998, 90(2): 138-143.
- [38] Wander M M, Bidart M G, Aref S. Tillage impacts on depth distribution of total and particulate organic matter in three Illinois soils. *Soil Science Society of America Journal*, 1998, 62(6): 1704-1711.
- [39] Dolan M S, Clapp C E, Allmaras R R, Baker J M, Molina J A E. Soil organic carbon and nitrogen in a Minnesota soil as related to tillage, residue and nitrogen management. *Soil and Tillage Research*, 2006, 89(2): 221-231.
- [40] Lapen D R, Topp G C, Gregorich E G, Curnoe W E. Least limiting water range: indicators of soil quality and corn production, eastern Ontario, Canada. *Soil and Tillage Research*, 2004, 78(2): 151-170.
- [41] Franzluebbers A J, Hons F M, Zuberer D A. Tillage-induced seasonal changes in soil physical properties affecting soil CO₂ evolution under intensive cropping. *Soil and Tillage Research*, 1995, 34(1): 41-60.
- [42] Ilstedt U, Nordgren A, Malmer A. Optimum soil water for soil respiration before and after amendment with glucose in humid tropical acrisols and a boreal mor layer. *Soil Biology and Biochemistry*, 2000, 32(11/12): 1591-1599.
- [43] Jensen L S, McQueen D J, Ross D J, Tate K R. Effects of soil compaction on N-mineralization and microbial-C and -N. II. Laboratory simulation. *Soil and Tillage Research*, 1996, 38(3/4): 189-202.

参考文献:

- [6] 李辉, 张军科, 江长胜, 郝庆菊, 吴艳, 谢德体. 耕作方式对紫色水稻土有机碳和微生物生物量碳的影响. *生态学报*, 2012, 32(1): 247-255.
- [7] 杨学明, 张晓平, 方华军, 梁爱珍, 齐晓宁, 王洋. 北美保护性耕作及对中国的意义. *应用生态学报*, 2004, 15(2): 335-340.
- [22] 梁爱珍, 张晓平, 杨学明, Drury C F. 耕作方式对耕层黑土有机碳库储量的短期影响. *中国农业科学*, 2006, 39(6): 1287-1293.
- [23] 贾书刚, 杨学明, 王淑平. 新型直压式手动原状土取土钻的设计及应用. *土壤学报*, 1995, 32(1): 108-111.
- [24] 鲁如坤. *土壤农业化学分析方法*. 北京: 中国农业科技出版社, 1999: 276-282.
- [33] 全国明, 章家恩, 严会超, 许荣宝. 免耕对稻田土壤肥力的影响研究进展. *中国农学通报*, 2005, 21(9): 266-269.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 9 May, 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Analysis of subject trends in research on sustainable development CHA Na, WU Jianguo, YU Runbing (2637)
- Metabolic scaling theory and its application in microbial ecology HE Jizheng, CAO Peng, ZHENG Yuanming (2645)
- Research progress on endophyte-promoted plant nitrogen assimilation and metabolism
..... YANG Bo, CHEN Yan, LI Xia, et al (2656)
- Review on the development of landscape architecture ecology in China YU Yijing, MA Jinyi, YUAN Yunjue (2665)

Autecology & Fundamentals

- Evaluating tillage practices impacts on soil organic carbon based on least limiting water range
..... CHEN Xuewen, WANG Nong, SHI Xiuhuan, et al (2676)
- Controls over soil organic carbon content in grasslands TAO Zhen, CI Dan Langjie, ZHANG Shenghua, et al (2684)
- Antagonistic interactive effects of exogenous calcium ions and parasitic *Cuscuta australis* on the morphology and structure of
Alternanthera philoxeroides stems CHE Xiuxia, CHEN Huiping, YAN Qiaodi, et al (2695)
- Correlation between pigment content and reflectance spectrum of *Phyllostachys pubescens* stems during its rapid growth stage
..... LIU Lin, WANG Yukui, WANG Xingxing, et al (2703)
- Response of leaf functional traits and the relationships among them to altitude of *Salix dissa* in Balang Mountain
..... FENG QiuHong, CHENG Ruimei, SHI Zuomin, et al (2712)
- Effects of phosphate and organic matter applications on arsenic uptake by and translocation in *Isatis indigotica*
..... GAO Ningda, GENG Liping, ZHAO Quanli, et al (2719)
- Effect of different preys on the predation and prey preference of *Orius similis* ... ZHANG Changrong, ZHI Junrui, MO Lifeng (2728)
- Effects of predation risk on the patterns of functional responses in reed vole foraging
..... TAO Shuanglun, YANG Xifu, YAO Xiaoyan, et al (2734)
- Phylogenetic analysis of Veneridae (Mollusca: Bivalvia) based on the mitochondrial cytochrome c oxidase subunit I gene fragment ...
..... CHENG Hanliang, PENG Yongxing, DONG Zhiguo, et al (2744)
- Effects of different ecological environments in the laboratory on the covering behavior of the sea urchin *Glyptocidaris crenularis*
..... CHANG Yaqing, LI Yunxia, LUO Shibin, et al (2754)

Population, Community and Ecosystem

- The ecosystem services value change in the upper reaches of Ganjiang River Based on RS and GIS
..... CHEN Meiqiu, ZHAO Baoping, LUO Zhijun, et al (2761)
- The reference condition for Eutrophication Indicator in the Yangtze River Estuary and adjacent waters — response variables
..... ZHENG Binghui, ZHU Yanzhong, LIU Lusan, et al (2768)
- The reference condition for eutrophication Indicator in the Yangtze River Estuary and adjacent waters — Causal Variables
..... ZHENG Binghui, ZHOU Juan, LIU Lusan, et al (2780)
- The stress response of biological communities in China's Yalu River Estuary and neighboring waters
..... SONG Lun, WANG Nianbin, YANG Guojun, et al (2790)
- Ecological characteristics of macrobenthic communities and its relationships with environmental factors in Hangzhou Xixi Wetland
..... LU Qiang, CHEN Huili, SHAO Xiaoyang, et al (2803)
- Effects of biological soil crusts on desert soil nematode communities LIU Yanmei, LI Xinrong, ZHAO Xin, et al (2816)
- Associations between weather factors and the spring migration of the horned gall aphid, *Schlechtendalia chinensis*
..... LI Yang, YANG Zixiang, CHEN Xiaoming, et al (2825)
- Effects of vegetation on soil aggregate stability and organic carbon sequestration in the Ningxia Loess Hilly Region of northwest
China CHENG Man, ZHU Qiulian, LIU Lei, et al (2835)

- Simulation of the carbon cycle of *Larix chinensis* forest during 1958 and 2008 at Taibai Mountain, China LI Liang, HE Xiaojun, HU Lile, et al (2845)
- Effects of different disturbances on diversity and biomass of communities in the typical steppe of loess region CHEN Furong, CHENG Jimin, LIU Wei, et al (2856)
- Age structure and point pattern of *Butula platyphylla* in Wulashan Natural Reserve of Inner Mongolia HU Ercha, WANG Xiaojiang, ZHANG Wenjun, et al (2867)
- The impacts of the Southwest China drought on the litterfall and leaf area index of an evergreen broadleaf forest on Ailao Mountain ... QI Jinhua, ZHANG Yongjiang, ZHANG Yiping, et al (2877)
- Spatial distribution of tree species richness in Xiaodonggou forest region of the Altai Mountains, Northwest China JING Xuehui, CAO Lei, ZANG Runguo (2886)
- Landscape, Regional and Global Ecology**
- The ecological risk assessment of Taihu Lake watershed XU Yan, GAO Junfeng, GUO Jianke (2896)
- The value of fixing carbon and releasing oxygen in the Guanzhong-Tianshui economic region using GIS ZHOU Zixiang, LI Jing, FENG Xueming (2907)
- Resource and Industrial Ecology**
- Effect of different controlled-release nitrogen fertilizers on availability of heavy metals in contaminated red soils under waterlogged conditions LIANG Peijun, XU Chao, WU Qitang, et al (2919)
- Research Notes**
- Effect of heat and high irradiation stress on Deg1 protease and D1 protein in wheat chloroplasts and the regulating role of salicylic acid ZHENG Jingjing, ZHAO Huijie, HU Weiwei, et al (2930)
- The difference of drought impacts on winter wheat leaf area index under different CO₂ concentration LI Xiaohan, WU Jianjun, LÜ Aifeng, et al (2936)

《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,探索自然奥秘,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 欧阳志云

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 9 期 (2013 年 5 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 9 (May, 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@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元