

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

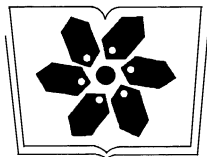
Acta Ecologica Sinica



第34卷 第2期 Vol.34 No.2 **2014**

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 34 卷 第 2 期 2014 年 1 月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

- 连续免耕对不同质地稻田土壤理化性质的影响 龚冬琴, 吕 军 (239)
- 下辽河平原景观格局脆弱性及空间关联格局 孙才志, 闫晓露, 钟敬秋 (247)
- 完全水淹环境中光照和溶氧对喜旱莲子草表型可塑性的影响 许建平, 张小萍, 曾 波, 等 (258)
- 赤潮过程中“藻-菌”关系研究进展 周 进, 陈国福, 朱小山, 等 (269)
- 盐湖微微型浮游植物多样性研究进展 王家利, 王 芳 (282)
- 臭氧胁迫对植物主要生理功能的影响 列淦文, 叶龙华, 薛 立 (294)
- 啮齿动物分子系统地理学研究进展 刘 铸, 徐艳春, 戎 可, 等 (307)
- 生态系统服务制图研究进展 张立伟, 傅伯杰 (316)

个体与基础生态

- NaCl 胁迫下沙枣幼苗生长和阳离子吸收、运输与分配特性 刘正祥, 张华新, 杨秀艳, 等 (326)
- 不同生境吉首蒲儿根叶片形态和叶绿素荧光特征的比较 向 芬, 周 强, 田向荣, 等 (337)
- 小麦 LAI-2000 观测值对辐亮度变化的响应 王 龔, 田庆久, 孙绍杰, 等 (345)
- K^+ 、 Cr^{6+} 对网纹藤壶幼虫发育和存活的影响 胡煜峰, 严 涛, 曹文浩, 等 (353)
- 马铃薯甲虫成虫田间扩散规律 李 超, 彭 赫, 程登发, 等 (359)

种群、群落和生态系统

- 莱州湾及黄河口水域鱼类群落结构的季节变化 孙鹏飞, 单秀娟, 吴 强, 等 (367)
- 黄海中南部不同断面鱼类群落结构及其多样性 单秀娟, 陈云龙, 戴芳群, 等 (377)
- 苏南地区湖泊群的富营养化状态比较及指标阈值判定分析 陈小华, 李小平, 王菲菲, 等 (390)
- 盐城淤泥质潮滩湿地潮沟发育及其对米草扩张的影响 侯明行, 刘红玉, 张华兵 (400)
- 江苏省农作物最大光能利用率时空特征及影响因子 康婷婷, 高 苹, 居为民, 等 (410)
- 1961—2010 年潜在干旱对我国夏玉米产量影响的模拟分析 曹 阳, 杨 婕, 熊 伟, 等 (421)
- 黑龙江省 20 世纪森林变化及对氧气释放量的影响 张丽娟, 姜春艳, 马 骏, 等 (430)
- 松嫩草原不同演替阶段大型土壤动物功能类群特征 李晓强, 殷秀琴, 孙立娜 (442)
- 小兴安岭 6 种森林类型土壤微生物量的季节变化特征 刘 纯, 刘延坤, 金光泽 (451)

景观、区域和全球生态

- 黄淮海地区干旱变化特征及其对气候变化的响应 徐建文, 居 辉, 刘 勤, 等 (460)

我国西南地区风速变化及其影响因素 张志斌,杨 莹,张小平,等 (471)

青海湖流域矮嵩草草甸土壤有机碳密度分布特征 曹生奎,陈克龙,曹广超,等 (482)

基于生命周期评价的上海市水稻生产的碳足迹 曹黎明,李茂柏,王新其,等 (491)

研究简报

荒漠草原区柠条固沙人工林地表草本植被季节变化特征 刘任涛,柴永青,徐 坤,等 (500)

跨地带土壤置换实验研究 靳英华,许嘉巍,秦丽杰 (509)

SWAT 模型对景观格局变化的敏感性分析——以丹江口库区老灌河流域为例
..... 魏 冲,宋 轩,陈 杰 (517)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 288 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 29 * 2014-01



封面图说：高原盐湖——中国是世界上盐湖分布比较稠密的国家,主要分布在高寒的青藏高原以及干旱半干旱地区的新疆、内蒙古一带。尽管盐湖生态环境极端恶劣,但它们依然是陆地特别是高原生态系统中十分重要的组成部分。微微型浮游植物通常是指粒径在 0.2—3 μm 之间的光合自养型浮游生物。微微型浮游植物不仅是海洋生态系统中生物量 and 生产力的最重要贡献者,也是盐湖生态系统最重要的组成部分。研究显示,水体矿化度是影响微微型浮游植物平面分布及群落结构组成的重要因子,光照、营养成分和温度等也会影响盐湖水体中微微型浮游植物平面分布及群落结构组成(详见 P282)。

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

DOI: 10.5846/stxb201303190451

龚冬琴, 吕军. 连续免耕对不同质地稻田土壤理化性质的影响. 生态学报, 2014, 34(2): 239-246.
Gong D Q, Lü J. Effects of soil texture on variations of paddy soil physical and chemical properties under continuous no tillage. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(2): 239-246.

连续免耕对不同质地稻田土壤理化性质的影响

龚冬琴^{1,2}, 吕 军^{1,3,*}

(1. 浙江大学环境与资源学院, 杭州 310058; 2. 浙江大学教育部污染环境修复与生态健康重点实验室, 杭州 310058;
3. 浙江省亚热带土壤与植物营养重点实验室, 杭州 310058)

摘要:以我国南方地区典型的单季水稻生产大田为研究对象,按土壤质地分为壤质和粘质两个系列,探讨不同质地稻田土壤理化性质变化对连续免耕的响应规律。结果表明,在无秸秆覆盖条件下,随着免耕年限的增加,壤质和粘质稻田土壤的耕层均有紧实度提高的趋势,特别是粘质土壤,导致耕层变浅。与常年翻耕土壤相比,免耕 6a 后壤质水稻土 0—20 cm 土层的紧实度值平均增加了 32%,而粘质的平均增加了 90%。在相同免耕年限条件下粘质稻田土壤容重的增加也比壤质土壤的明显。壤质土壤 0—10 cm 土层有机质和碱解氮含量随免耕年限延长而提高,而在粘质土壤则显著降低。无论是壤质还是粘质土壤,连续免耕多年后土壤速效磷均在耕层(0—20 cm)富集,而速效钾则相反。总体而言,壤质水稻土对免耕的适宜性要优于粘质土壤;应根据土壤质地的不同选择性地实施免耕技术,并结合秸秆覆盖,以实现免耕稻田土壤的可持续利用。

关键词:土壤质地;免耕;土壤理化性质;稻田

Effects of soil texture on variations of paddy soil physical and chemical properties under continuous no tillage

GONG Dongqin^{1,2}, LÜ Jun^{1,3,*}

1 College of Environmental Science and Natural Resources, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China
2 Key Laboratory of Environmental Remediation and Ecological Health, Ministry of Education, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China
3 Zhejiang Provincial Key Laboratory of Subtropical Soil and Plant Nutrition, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China

Abstract: As one of soil conservation tillage methods, no tillage (NT) has been widely applied in farmlands worldwide. Due to the combined effect of soil type, cropland ecological condition and cropping system type, there is still ongoing debate concerning the positive versus negative effect of NT on paddy soil properties. Although soil texture has been recognized as one of important factors in characterizing soil property variation in response to different management practices, few attempts have been performed to address effects of tillage method on soil property considering the difference in soil textures. Such effort will be beneficial to explain the ongoing debate and improve our knowledge on the effect of NT on soil property.

In this study, effects of soil texture (i.e., loam and clay) on the variations of soil physical and chemical properties in response to continuous NT were addressed for the single cropping paddy field in Shaoxing area in southern China. Studied paddy fields were commonly and continuously used for rice cultivation by local farmers, which would be significant to reveal effects of NT on soil property under practical production. To avoid the disturbances from other factors, all soil samples were collected in the paddy fields with same field management measures in rice seeding, fertilization, and irrigation. Soil sampling efforts were finished during 5—10 days after rice harvesting at November, 2008. According to local practices, rice straws were all removed from paddy fields.

基金项目:国家 863 计划资助项目 (2007AA10Z218)
收稿日期:2013-03-19; 修订日期:2013-09-26
* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: jlu@zju.edu.cn

Results indicated that although soil compactions at 0—20 cm layers were increased with increasing NT applied years in both the loam and clay paddy soil, its increased intensity was higher in the clay soil than that in the loam soil, resulting in shallower plough layer occurring in the NT clay soil. Compare to the conventional tillage soil, the penetration resistance was increased by 32% and 90% in the loam and clay soil after 6 years of continuous NT, respectively. The clay soil also presented greater soil bulk densities than the loam soil after same years of continuous NT. Furthermore, soil organic matter and available nitrogen contents were both increased with NT applied years in the loam soil, while they were both significantly decreased in the clay soil. Although soil available phosphorus contents at the plough layer (0—20 cm) in both the loam and clay soils were increased after 6 years of continuous NT, their soil available potassium contents were both decreased. After 1—6 years of continuous NT, the loam paddy soil presented more positive consequences than the clay ones in terms of soil physical and chemical properties. When assessing the feasibility of applying NT method in paddy fields, the role of soil texture should be further considered in study, as it is an important factor in regulating variation of soil property under continuous NT. Rice straw mulching is an economic and effective way to mitigate soil degradation under continuous NT in practice. Considering the tillage cost and soil quality maintenance, overall ploughing is suggested to be performed once after every 3—4 years of continuous NT for clay paddy soils but for loam paddy soils it can be applied after a bit longer years of continuous NT in southern China.

Key Words: soil texture; no tillage; soil physical and chemical properties; paddy field

免耕作为一种土壤保护性耕作方法,因其省工节能优势而在国内外得到了广泛应用^[1-3]。国内外均已开展了大量的少、免耕条件下土壤理化性质变化的研究。然而,由于土壤过程的复杂性和多样性,许多研究结果不一致,甚至互相矛盾。一些研究结果表明,与翻耕土壤相比,免耕能降低表土层的容重,且能增加表土层有机质和全氮含量^[4-5];另一些研究表明,短时间免耕有利于水稻土物理性状的改善,而随着免耕时间的延长土壤物理性质变差^[6];还有研究表明,单纯的免耕并不会致使土壤有机质和养分含量发生明显变化^[7]。显然,土壤类型、农田生态条件和作物栽培方式的多样性,造成了免耕对不同土壤性状影响的差异。

耕作方式对土壤性质的影响,首先是改变了土壤的机械扰动强度和方式,致使土壤物理性质发生了变化,进而影响其他的土壤性状。而土壤颗粒的组成和粒径分布是土壤物理性质的基础,也是影响土壤结构、通气、保肥及保水等性能的关键因素之一,因此,土壤质地不仅对不同耕作方式下土壤性质的演化过程具有重要的影响^[8-9],而且也可能是造成大量的免耕对土壤性质影响研究结果不一致的重要原因之一,但这方面的研究尚鲜见报道。另一方面,现有大量“保护性耕作”的研究,都是以免耕加秸秆(或其他有机物)覆盖的综合作用的结果^[10-11],并不

是单纯免耕的土壤效应。因此,按土壤质地区分研究对象,探讨不同质地稻田土壤性质对单纯免耕的响应差异性,对深化免耕影响土壤性质机理的认识,促进水稻土免耕实践的优化管理,均具有重要的意义。为此,本文以浙江绍兴地区水稻生产大田土壤为研究对象,选择当地典型的壤质和粘质两个系列水稻土,通过对常年翻耕和连续免耕 1—6a 的稻田土壤取样分析,探讨不同土壤质地条件下,稻田免耕对土壤理化性质变化的影响,以期揭示不同质地稻田土壤性状对免耕的响应规律差异,为优化稻田免耕技术管理提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试土壤

为了反映水稻生产大田条件下免耕措施对土壤性质的影响,本研究选取位于浙江省宁绍平原绍兴县皋埠镇、马山镇和东湖镇免耕单季水稻田为研究对象。取样地所在经纬度为 120°38'E 至 120°42'E, 29°57'N 至 30°05'N。该地区多年平均降雨量为 1439 mm,年均气温为 16.5℃。通过实地调查,选取稻田播种、施肥、水分等田间管理措施基本一致的田块为取样对象。当地农户所用的基肥主要为碳酸氢铵和过磷酸钙,少部分偶尔用复合肥;追肥以尿素为主。免耕稻田施肥方式为表施。供试土样采于 2008

年11月,即当地农户完成水稻收割后5—10 d;水稻秸秆均不还田。先根据当地土壤志,按照土壤质地的空间分布设置壤质和粘质两个水稻土初选样点系列,对初选样点土壤进行机械组成分析后再作进一步筛选;最后根据土壤质地和免耕年限的不同,选择常年翻耕和连续免耕1,2,3,4,5,6a的水稻田再进行进一步的分别取样(如表1所示)。在每个选择田

块中,采集0—10 cm和10—20 cm两个层次的土壤样品,分为环刀样,原状土样和化学分析样。每个田块上下两个土层的环刀样和原状土样均取3次重复,化学分析样则采用“S”形取样法取多点混合样品。新鲜土壤运回实验室后,去除可见的未分解和半分解的动植物残体和较大的沙砾,置于室内自然风干、过筛,以供土壤理化性质分析。

表1 供试土壤的机械组成
Table 1 Particle size distribution of soil samples

质地 Texture	土种 Soil species	免耕年限(采样田块数) NT duration years (the number of fields)	砂粒 Sand/% (2—0.02 mm)	粉粒 Silt/% (0.02—0.002 mm)	粘粒 Clay/% (<0.002 mm)
壤质 Loam	小粉泥,青紫泥, 黄化青紫泥	0(10)	29.38±7.28	47.37±6.34	21.25±2.13
		1(15)	30.93±6.91	46.93±5.32	20.23±3.45
		2(16)	29.36±6.31	48.70±4.94	19.99±2.90
		3(13)	30.29±8.06	48.25±6.84	19.58±2.94
		4(15)	29.70±6.24	49.98±5.76	18.80±3.34
		5(3)	31.44±8.26	45.50±5.40	20.87±4.45
粘质 Clay	腐心青紫泥, 黄泥砂田	6(5)	34.92±7.55	44.58±4.52	19.08±4.09
		0(8)	24.85±5.39	44.15±4.61	29.28±3.87
		1(5)	27.43±4.34	43.03±1.94	27.82±2.55
		2(10)	21.94±2.26	48.08±1.32	28.24±1.79
		3(5)	19.58±1.27	51.39±0.72	27.05±1.94
		4(17)	19.15±1.24	49.62±2.28	29.09±2.82
		5(9)	20.66±2.05	48.41±2.03	29.51±2.89
		6(5)	20.50±1.55	49.49±1.43	27.78±0.82

因为要求取样田块在种植制度、施肥方式和施用量、水稻播种时间、管理措施等方面基本一致,因此本研究中不同免耕年限的取样田块数目不等

1.2 土壤理化性质测定

土壤紧实度采用SC900土壤紧实度仪(美国Spectrum technologies Inc., SC-900 soil compaction meter)现场测定,紧实度值每2.5 cm土层深度测定一次,在每个田块选择3个测点,每个测点测定一次。土壤全氮含量采用全自动快速定氮仪(德国Elementar Analysensysteme GmbH, rapid N cube)测定。土壤其他理化性质均采用常规方法进行分析测定^[12-13],即土壤容重采用环刀法、土壤水稳性团聚体采用湿筛法、土壤砂粒、粉粒和粘粒含量采用吸管法、土壤有机质含量采用重铬酸钾容量法(外加热法)、碱解氮含量采用碱解扩散硼酸吸收法,速效磷含量采用NH₄F-HCl-钼锑抗比色法,速效钾采样NH₄OAC浸提-火焰光度法。土壤质地分类按照国际制质地分类标准。由于一般土壤中可溶性盐和碳酸盐在各级土粒中分布没有一定的规律性,故将盐酸洗

失量不计入各粒级中。

1.3 数据分析

采用Microsoft Excel 2003软件对数据进行处理和绘图,采用SPSS16.0统计软件中的最小显著性差异检验法(LSD)进行方差分析和多重比较($\alpha = 0.05$)。本研究以连续两年免耕为时间节点进行土壤紧实度分析,为了避免采样田块数多的免耕年限所占的权重过大,采用将免耕1a和2a,3a和4a,5a和6a的紧实度值数据进行加权平均处理的方法,使相互间的权重相等,例如,免耕1a和2a的紧实度值数据进行加权平均处理,算法为 $[(NT1_1 + NT1_2 + \cdots + NT1_x)/X + (NT2_1 + NT2_2 + \cdots + NT2_y)/Y]/2$,其中NT1₁为免耕1a的第1块田的紧实度值,X代表免耕1a的田块数。免耕3a和4a、5a和6a的紧实度值数据加权平均以此类推。

2 结果与分析

2.1 免耕对两种质地水稻土物理性质的影响

土壤机械组成分析结果表明,小粉泥、青紫泥、黄化青紫泥、腐心青紫泥和黄泥砂田等 5 种供试水稻土样品的砂粒、粉粒与粘粒含量在各种耕作前后均未发生显著改变,样品标准差较小(表 1)。以此为基础,本研究根据粘粒含量的大小将研究的 5 种土壤类型分为粘质(平均粘粒含量(28.64±2.65)%)和壤质(粘粒含量(19.88±3.13)%)两个系列,从而分析不同质地条件下土壤理化性质变化对免耕方式的响应规律。

本研究试区位于老水稻产区,水稻土剖面(犁底层)发育良好。供试土壤在传统耕作条件下犁底层一般位于地表以下 12—20 cm^[14]。对常年翻耕土壤表层紧实度的大量野外实测结果显示,两种典型质地(壤质和粘质)土壤表层紧实度均很低,大多小于 200 kPa,但随深度而逐渐增加,并分别在 17.5 cm 和 20 cm 附近紧实度增加迅速(图 1),出现土壤紧实度从逐渐增加到迅速增加的转折点,此时土壤紧实度

值约为 375 kPa。参照 Saiedi Rad 等提出的判断方法^[15],本文将土壤紧实度变化的转折点作为水田土壤耕作层与犁底层的划分标准,即紧实度<375 kPa 的水田表层土壤为耕作层土壤,而紧实度出现≥375 kPa 时对应的土层为水田犁底层土壤。

从图 1 可以看出,免耕条件下壤质和粘质稻田土壤平均紧实度值均显著高于常年翻耕土壤,且粘质稻田土壤紧实度值随着免耕年限的延长而显著增加($r^2=0.90, P=0.001$)。随着连续免耕年数的增加,紧实度<375 kPa 的土层(即耕作层)深度递减,意味着多年连续免耕后粘质与壤质稻田土壤耕作层均明显变浅。不同质地稻田土壤紧实度值对免耕年限的响应规律具有明显的差异性。壤质水稻土在免耕 5—6a 后,土壤耕作层平均厚度从 17.5 cm 下降为 12.5 cm,减少了 5 cm 左右(图 1);粘质水稻土在免耕 5—6a 后,土壤耕作层平均厚度减少了 10—15 cm 左右(图 1),厚度平均仅为 5—10 cm 左右。与壤质土壤相比,在相同的连续免耕条件下粘质水稻土紧实度增加、耕层变浅的趋势更为明显。与常年翻耕土壤相比,免耕 6a 后,壤质水稻土 0—20 cm 土层的紧实度值平均增加了 32%,而粘质的平均增加了 90%。随着免耕年限的延长,壤质土壤 10—20 cm 土层紧实度增加最为明显,而粘质土壤 2.5—10 cm 土层紧实度增加最为明显。

壤质和粘质稻田土壤容重在不同耕作条件下呈现的变化规律与土壤紧实度的变化相一致(图 2)。与常年翻耕土壤相比,连续免耕 6a 后壤质土壤 0—

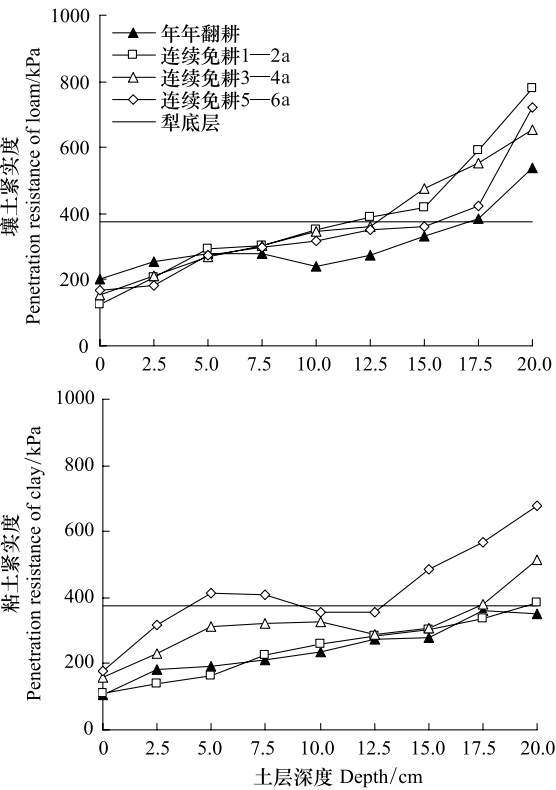


图 1 壤质和粘质水稻土在不同免耕条件下土壤剖面紧实度变化
Fig.1 Variation of loam and clay soil penetration resistance under different tillage treatments

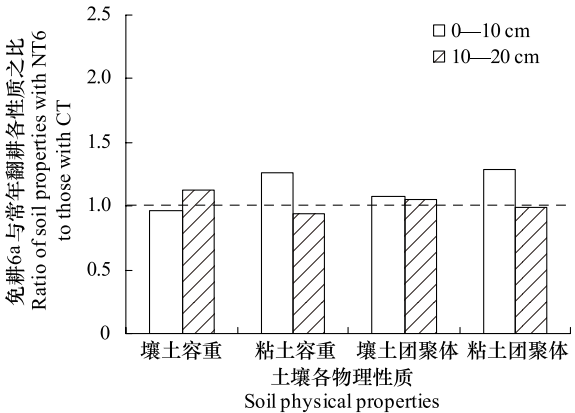


图 2 免耕 6a 与常年翻耕条件下两种质地土壤各物理性质之比
Fig.2 Ratio of soil physical properties with NT6 to those with CT
NT6: no tillage applied continuously for 6 years; CT: conventional tillage

10 cm 土层的容重无明显变化,10—20 cm 土层的土壤容重则平均增加了 13%。免耕 6a 后粘质土壤 0—10 cm 土层容重显著高于常年翻耕土壤,平均增加了 26%,但是其 10—20 cm 土层容重变化不明显。与壤质土壤相比,免耕条件下粘质土壤表层紧实度和容重的增加趋势更为明显。

农田土壤的水稳性团聚体结构对于土壤肥力具有重要的意义。常年翻耕通常使土壤团聚体的稳定性降低,除非土壤有机质保持在相对较高的水平^[16]。本研究结果显示,传统耕作条件下壤质水稻土 0—10 cm 水稳性团聚体(>0.25 mm)含量高于粘质水稻土;壤质土壤在免耕 6a 后 0—10 cm 土层水稳性大团聚体含量平均增加了 8%,10—20 cm 土层平均增加了 4%;粘质水稻土水稳性大团聚体含量在免耕 6a 后 0—10 cm 土层增加显著,增长了 28%(图 2)。因此,免耕对粘质稻田土壤结构的改善作用大于其对壤质土壤的改善。

2.2 免耕对两种质地水稻土有机质和碱解氮含量的影响

不同质地稻田土壤有机质含量的变化也呈现了对连续免耕措施的不同响应。在无秸秆覆盖的条件下,随着免耕年限的延长,壤质和粘质土壤 0—10 cm 表层的有机质和碱解氮含量呈现相反的变化趋势,即壤质土壤总体呈现随免耕年限延长而提高的趋势(有机质: $r^2 = 0.59, P < 0.05$;碱解氮: $r^2 = 0.30, P = 0.20$,图 3),而粘质土壤中则总体呈现显著降低的趋势(有机质: $r^2 = 0.79, P < 0.01$;碱解氮: $r^2 = 0.60, P < 0.05$,图 3)。对 10—20 cm 土层而言,两种质地土壤的有机质和碱解氮含量均明显低于土壤表层,且随免耕年限的延长呈现降低的趋势(壤质:有机质: $r^2 = 0.60, P < 0.05$,碱解氮: $r^2 = 0.57, P = 0.05$;粘质:有机质: $r^2 = 0.39, P = 0.13$,碱解氮: $r^2 = 0.59, P < 0.05$)。因此,壤质土壤中 0—10 cm 和 10—20 cm 土层有机质和碱解氮含量的差异性随着免耕年限的延长而增加,而粘质土壤中两者的差异性则逐渐减少。

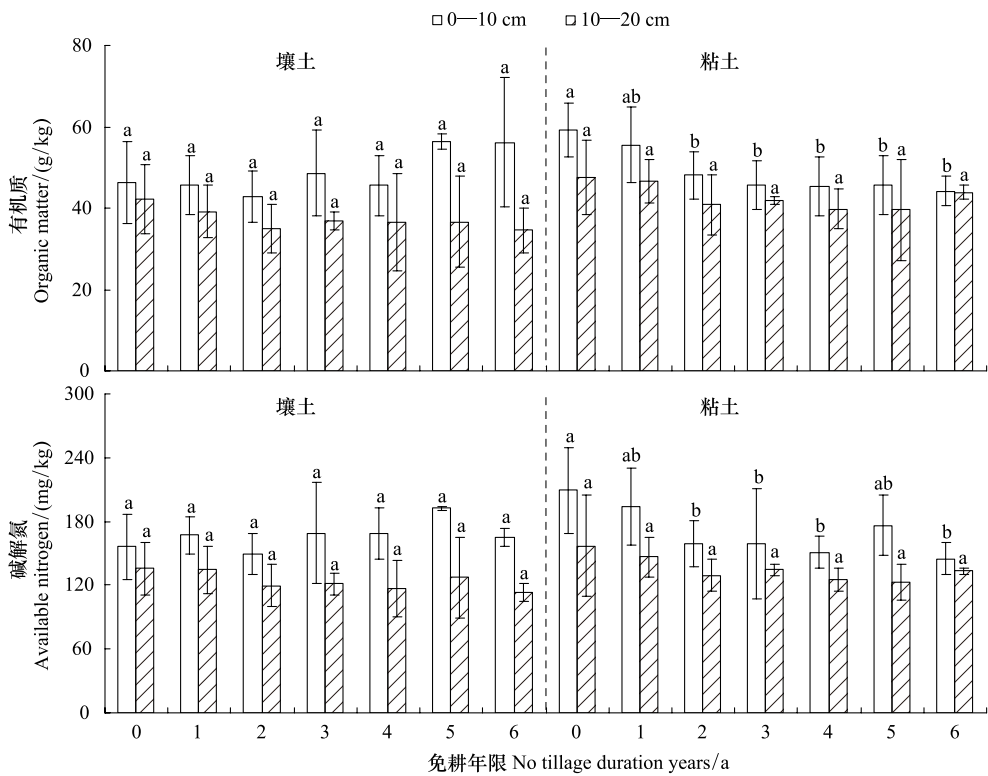


图 3 不同质地土壤 0—10 cm 和 10—20 cm 土层有机质和碱解氮含量随免耕年限的变化情况

Fig.3 Change of soil organic matter and available nitrogen content of two different texture soil 0—10 cm and 10—20 cm layer with no tillage duration years

不同字母代表同一土层不同免耕年限之间存在显著差异, $P < 0.05$

2.3 免耕对两种质地水稻土速效磷和速效钾含量的影响

在 0—20 cm 土层中,土壤速效磷含量随着免耕年限的延长有明显的增加趋势。从图 4 可知,与常年翻耕土壤相比,连续免耕 6a 后壤质水稻土 0—10 cm 土层和 10—20 cm 土层速效磷含量分别增加了 9%和 43%,粘质稻田土壤分别增加了 17%和 47% (图 4)。从整个 0—20 cm 土层来看,连续免耕 6a 后壤质和粘质土壤速效磷含量分别平均增加了 32%和 39%。以上结果表明免耕有利于壤质和粘质稻田土壤速效磷的富集。究其原因,可能是连年免耕稻作使稻田土壤 pH 值上升而进一步趋近于中性(如壤质稻田土壤 0—10 cm 和 10—20 cm 土层 pH 值分别上升至 6.21 和 6.59),降低了土壤固磷作用,在连年施用磷肥的条件下,提高了壤质稻田土壤有效磷含量。另外,由于连续免耕造成土壤耕作层变薄和犁底层抬高,使作物根系进一步向浅表土层聚集,对土壤磷素的吸收和耗损也更集中在表层(0—10 cm),导致 10—20 cm 土层的磷素含量增加更为明显。

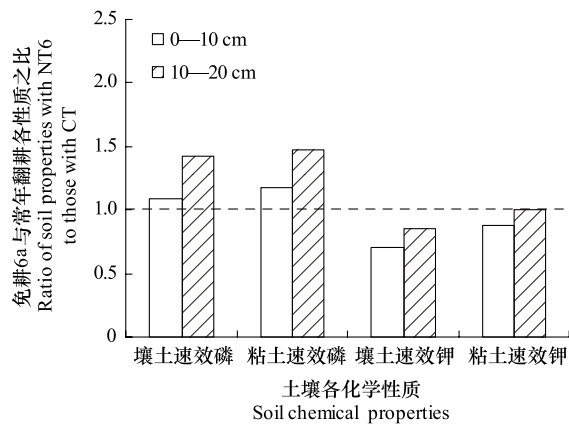


图 4 免耕 6a 与常年翻耕条件下两种质地土壤各化学性质之比
Fig.4 Ratio of soil chemical properties with NT6 to those with CT

两种质地土壤 0—20 cm 土层速效钾在连续免耕 6a 后分别下降了 22%和 8%。这可能是由于当地农民施肥主要以碳铵、尿素和磷肥为主,钾肥施用较少,且无秸秆覆盖,使得土壤钾素每年因作物生产而耗失,却缺乏补给,致使土壤速效钾含量下降。

3 讨论

本研究结果表明,连续免耕处理导致壤质和粘质稻田土壤的紧实度值均显著提高,耕作层明显变

浅。这主要是由于连续免耕土壤受到机械压实且缺乏扰动,使得土壤颗粒之间排列更加紧实^[17]。然而,与壤质土壤相比,免耕条件下粘质土壤表层紧实度和容重的增加趋势更为明显。这是由于稻田土壤生态系统具有对环境变化的缓冲和自我调节的功能,而壤质土壤比粘质土壤具有更好的结构性,缓冲能力也高于粘质土壤^[18]。但是,也有人观测到在免耕与常年翻耕条件下旱作粘质土壤(粘粒含量高达 60.9%)的紧实度值差异不明显^[19]。与旱作土壤相比,长期渍水的环境不仅提高了稻田土壤的承压受力,而且强化了土壤粘粒向下的淋移积淀作用和稻田土壤的还原性生境,使得长期连续免耕稻田土壤结构更加趋于紧实、犁底层发育过程得到进一步强化。还有研究表明,稻田连续免耕虽然增加了土壤紧实度,但也会因冻融作用、土壤动物活动和根系的伸展等缓解土壤压实,甚至使犁底层变得不明显^[19-22]。免耕对农田耕层土壤物理性质的影响是多方面的,最终土壤紧实度的变化是各种过程综合作用的结果。从本研究没有观测到土壤犁底层被削弱的结果可以看出,在我国南方粘质稻田连续免耕且无秸秆覆盖条件下,在导致土壤耕层紧实度增强和削弱的多方面作用中,紧实度增强作用是优势过程,这与 Wolkowski 等的研究结果相一致^[23]。因此,针对我国南方的粘质水稻土,适当进行间歇性的翻耕,缓解常年免耕引起的稻田耕作层变浅的问题,是很有必要的。

本研究结果表明,在没有秸秆覆盖的条件下,壤质稻田土壤表层的有机质含量随免耕年限的增长呈现出逐渐增加的趋势,而粘质稻田土壤 0—10 cm 土层有机质含量随免耕年限的增长而显著降低。由于没有作物秸秆的添加(覆盖),土壤中有机质含量的变化主要取决于作物根系的残留量及其腐殖化和矿化作用的平衡关系。当土壤中残留根系的腐殖化作用大于土壤腐殖质的矿化作用时,土壤有机质含量增加,反之亦反。在本研究的粘质水田土壤中,连年免耕导致土壤紧实度显著增加可能会减少作物根系的生长量,因此,在没有其他外源有机物料添加(如秸秆覆盖)的条件下,土壤有机质的矿化-腐殖化平衡有可能向着土壤腐殖化减弱的方向发展,从而导致了土壤有机质含量降低。另一方面,在保护性耕作条件下,由于缺乏土壤扰动和混合过程,土壤中大

多有机碳并不是与土壤粘粒形成有机—无机复合体,而仅以颗粒有机质的形态被砂粒包围^[24],使得土壤有机质与粘粒的相关性下降^[25],这也是导致不同质地土壤表层有机质含量随免耕年限的变化趋势各异的原因之一。已有大量的研究表明,免耕与秸秆覆盖相结合有利于土壤有机质含量的提高^[26-28],杨显云^[29]的研究表明,经过 3 季稻草覆盖后,土壤有机质含量增加 23.5%,耕层土壤全氮、碱解氮含量等均有不同程度提高。因此,在我国南方粘质水稻土上推广免耕技术时,应与秸秆覆盖相结合,对稻草进行综合利用,以实现免耕稻田土壤的可持续利用。

4 结论

连续免耕对不同质地稻田土壤理化性质的变化影响存在显著差异。在无秸秆覆盖条件下,连续免耕对粘质土壤 0—20 cm 土层紧实度的影响显著大于对壤质土壤的影响,使得粘质稻田土壤耕层变浅现象更为明显。壤质水稻土 0—10 cm 土层的有机质、碱解氮含量随着免耕年限的延长而提高,而粘质的则显著下降。以上结果表明,免耕方式对壤质水稻土的适宜性总体优于粘质的。土壤质地是影响稻田免耕土壤理化性质变化的重要因素之一,也可能是造成目前大量相关的对比性研究结果不一致的原因之一。因此,根据土壤质地的不同进行选择性地实施免耕技术,并结合秸秆覆盖及间歇性的翻耕等管理措施,是实现免耕技术可持续应用和农业生产可持续发展的重要保证。根据研究结果,综合考虑耕作效益和土壤性质的变化,建议我国南方的粘质水稻土至少应隔 3—4a 进行一次完全的翻耕,而对于壤质水稻土的翻耕间隔可以略长。

References:

[1] Wang X B, Cai D X, Hoogmoed W B, Oenema O, Perdok U D. Developments in conservation tillage in rainfed regions of North China. *Soil and Tillage Research*, 2007, 93(2): 239-250.

[2] Alvarez R, Steinbach H S. A review of the effects of tillage systems on some soil physical properties, water content, nitrate availability and crops yield in the Argentine Pampas. *Soil and Tillage Research*, 2009, 104(1): 1-15.

[3] Lima A C R, Hoogmoed W B, Pauletto E A, Pinto L F S. Management systems in irrigated rice affect physical and chemical soil properties. *Soil and Tillage Research*, 2009, 103(1): 92-97.

[4] Feng Y H, Zou Y B, Buresh R J, Xu G L, Ao H J, Wang S H.

Effects of no-tillage and direct broadcasting on soil physical and chemical properties and growth and yield formation in hybrid rice. *Acta Agronomica Sinica*, 2006, 32(11): 1728-1736.

[5] Zhang X Z, Li T X, Yu H Y, Zhou J X, Wu D Y. Effects of long-term natural no-tillage on soil physiochemical properties in rice/wheat rotation systems. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2006, 20(6): 145-147.

[6] Wu J F, Pan X H, Shi Q H, Qi Y X, Liu Z F, Hu J H. Effects of continuous no-tillage and cast-transplanting on soil physical, chemical and biological properties. *Acta Pedologica Sinica*, 2009, 46(6): 1132-1139.

[7] Zhang G S, Chan K Y, Li G D, Huang G B. Effect of straw and plastic film management under contrasting tillage practices on the physical properties of an erodible loess soil. *Soil and Tillage Research*, 2008, 98(2): 113-119.

[8] Liu H Z, Huang Q, Li K H, Lu X M, Cheng Y S, Fu H, Liu J. Soil physicochemical properties as affected by continuous no-tillage and scatteredplanting rice. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2000, 27(5): 8-11.

[9] Campbell C A, Mcconkey B G, Biederbeck V O, Zentner R P, Curtin D, Peru M R. Long-term effects of tillage and fallow-frequency on soil quality attributes in a clay soil in semiarid southwestern Saskatchewan. *Soil and Tillage Research*, 1998, 46(3/4): 135-144.

[10] Wang X B, Wu H J, Dai K, Zhang D C, Feng Z H, Zhao Q S, Wu X P, Jin K, Cai D X, Oenema O, Hoogmoed W B. Tillage and crop residue effects on rainfed wheat and maize production in northern China. *Field Crops Research*, 2012, 132(14): 106-116.

[11] Sommer R, Ryan J, Masri S, Singh M, Diekmann J. Effect of shallow tillage, moldboard plowing, straw management and compost addition on soil organic matter and nitrogen in a dryland barley/wheat-vetch rotation. *Soil and Tillage Research*, 2011, 115-116(1/2): 39-46.

[12] Department of Soil Physics, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences. *Determination of Soil Physical Properties*. Beijing: Science Press, 1978: 11-86.

[13] Bao S D. *Soil and Agricultural Chemistry Analysis*. Beijing: Agriculture Publication, 1999: 30-109.

[14] Shaoxing County Soil Survey Office. *Soil of Shaoxing County in Zhejiang province*. Hangzhou: Shaoxing County Soil Survey Office, 1984: 59-89.

[15] Rad M S, Neshat S Z, Manesh A M. Analysis on the formation causes of plowpan in dryland (Iran Idaorasan) // *Proceedings of international symposium on China mechanized dryland farming and water-saving Agriculture*. Beijing: China Agricultural University Press, 2000: 258-262.

[16] Shao M A, Wang Q J, Huang M B. *Soil Physics*. Beijing: Higher Education Press, 2006: 30-31.

[17] Chen X W, Zhang X P, Liang A Z, Jia S X, Shi X H, Fan R Q, Wei S C. Effects of tillage mode on black soil's penetration resistance and bulk density. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2012, 23(2): 439-444.

[18] Huang X X. Soil self-adjusting and minimum/no-tillage system. *Chinese Journal of Soil Science*, 1987, 18(3): 111-114.

[19] Chen Y, Cavers C, Tessier S, Monero F, Lobb D. Short-term tillage effects on soil cone index and plant development in a poorly drained, heavy clay soil. *Soil and Tillage Research*, 2005, 82(2): 161-171.

[20] Kozlowski T T. Soil compaction and growth of woody plants. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 1999, 14(6): 596-619.

[21] Chen X W, Wang N, Liu Y J, Zhang X P, Liang A Z, Jia S X, Shi X H, Fan R Q. Impacts of Freezing-Thawing Cycle on soil penetration resistance under different tillage practices in black soil. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2012, 32(6): 55-60.

[22] Drewry J J. Natural recovery of soil physical properties from treading damage of pastoral soils in New Zealand and Australia: A review. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2006, 114(2/4): 159-169.

[23] Wolkowski R P, Lowery B. *Soil Compaction: Causes, Concerns, and Cures*. Madison: Cooperative Extension Publishing, 2008: 7-7.

[24] Angers D A, N' dayegamiye A, Côté D. Tillage-induced differences in organic matter of particle-size fractions and microbial biomass. *Soil Science Society of America Journal*, 1993, 57(2): 512-516.

[25] Angers D A, Bolinder M A, Carter M R, Gregorich E G, Drury C F, Liang B C, Voroney R P, Simard R R, Donald R G, Beyaert R P, Martel J. Impact of tillage practices on organic carbon and nitrogen storage in cool, humid soils of eastern Canada. *Soil and Tillage Research*, 1997, 41(3/4): 191-201.

[26] 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.

[27] Malhi S S, Lemke R, Wang Z H, Chhabra B S. Tillage, nitrogen and crop residue effects on crop yield, nutrient uptake, soil quality, and greenhouse gas emissions. *Soil and Tillage Research*, 2006, 90(1/2): 171-183.

[28] 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.

[29] Yang X Y. Influence of non-tillage and mulching rice straw on soil fertility and yield of direct seeding oil rape. *Soils and Fertilizers*, 2001, 38(6): 38-41.

参考文献:

[4] 冯跃华, 邹应斌, Buresh R J, 许桂玲, 敖和军, 王淑红. 免耕直播对一季晚稻田土壤特性和杂交水稻生长及产量形成的影响. *作物学报*, 2006, 32(11): 1728-1736.

[5] 张锡洲, 李廷轩, 余海英, 周建新, 吴德勇. 水旱轮作条件下长期自然免耕对土壤理化性质的影响. *水土保持学报*, 2006, 20(6): 145-147.

[6] 吴建富, 潘晓华, 石庆华, 漆英雪, 刘宗发, 胡金和. 水稻连续免耕抛栽对土壤理化和生物学性状的影响. *土壤学报*, 2009, 46(6): 1132-1139.

[8] 刘怀珍, 黄庆, 李康活, 陆秀明, 程永盛, 付华, 刘军. 水稻连续免耕抛秧对土壤理化性状的影响初报. *广东农业科学*, 2000, 27(5): 8-11.

[12] 中国科学院南京土壤研究所土壤物理研究室. 土壤物理性质测定法. 北京: 科学出版社, 1978: 11-86.

[13] 鲍士旦. 土壤农化分析 (第三版). 北京: 中国农业出版社, 1999: 30-109.

[14] 绍兴县土壤普查办公室. 浙江省绍兴县土壤志. 杭州: 绍兴县土壤普查办公室, 1984: 59-89.

[15] Rad M Saiedi, Neshat S Zarif, Manesh A Mohseni. 旱作地区(伊朗 Idaorasan 省)犁底层及其成因研究 // 中国机械化旱作节水农业国际研讨会论文集. 北京: 中国农业大学出版社, 2000: 258-262.

[16] 邵明安, 王全九, 黄明斌. 土壤物理学. 北京: 高等教育出版社, 2006: 30-31.

[17] 陈学文, 张晓平, 梁爱珍, 贾淑霞, 时秀焕, 范如芹, 魏守才. 耕作方式对黑土硬度和容重的影响. *应用生态学报*, 2012, 23(2): 439-444.

[18] 黄细喜. 土壤自调性与少免耕法. *土壤通报*, 1987, 18(3): 111-114.

[21] 陈学文, 王农, 刘亚军, 张晓平, 梁爱珍, 贾淑霞, 时秀焕, 范如芹. 不同耕作处理下冻融对农田黑土硬度的影响. *水土保持通报*, 2012, 32(6): 55-60.

[28] 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.

[29] 杨显云. 稻草覆盖免耕直播油菜对地力与产量的影响. *土壤肥料*, 2001, 38(6): 38-41.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.34 ,No.2 Jan. ,2014 (Semimonthly)
CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

Effects of soil texture on variations of paddy soil physical and chemical properties under continuous no tillage GONG Dongqin, LÜ Jun (239)

Evaluation of the landscape patterns vulnerability and analysis of spatial correlation patterns in the lower reaches of Liaohe River Plain SUN Caizhi, YAN Xiaolu, ZHONG Jingqiu (247)

Effects of light and dissolved oxygen on the phenotypic plasticity of *Alternanthera philoxeroides* in submergence conditions XU Jianping, ZHANG Xiaoping, ZENG Bo, et al (258)

A review of the relationship between algae and bacteria in harmful algal blooms ZHOU Jin, CHEN Guofu, ZHU Xiaoshan, et al (269)

Biodiversity and research progress on picophytoplankton in saline lakes WANG Jiali, WANG Fang (282)

Effects of ozone stress on major plant physiological functions LIE Ganwen, YE Longhua, XUE Li (294)

The current progress in rodents molecular phylogeography LIU Zhu, XU Yanchun, RONG Ke, et al (307)

The progress in ecosystem services mapping: a review ZHANG Liwei, FU Bojie (316)

Autecology & Fundamentals

Growth, and cationic absorption, transportation and allocation of *Elaeagnus angustifolia* seedlings under NaCl stress LIU Zhengxiang, ZHANG Huaxin, YANG Xiuyan, et al (326)

Leaf morphology and PS II chlorophyll fluorescence parameters in leaves of *Sinosenecio jishouensis* in Different Habitats XIANG Fen, ZHOU Qiang, TIAN Xiangrong, et al (337)

Response of change of wheat LAI measured with LAI-2000 to the radiance WANG Yan, TIAN Qingjiu, SUN Shaojie, et al (345)

Effects of K⁺ and Cr⁶⁺ on larval development and survival rate of the acorn barnacle *Balanus reticulatus* HU Yufeng, YAN Tao, CAO Wenhao, et al (353)

Diffusion of colorado potato beetle, *Leptinotarsa decemlineata*, adults in field LI Chao, PENG He, CHENG Dengfa, et al (359)

Population, Community and Ecosystem

Seasonal variations in fish community structure in the Laizhou Bay and the Yellow River Estuary SUN Pengfei, SHAN Xiujuan, WU Qiang, et al (367)

Variations in fish community structure and diversity in the sections of the central and southern Yellow Sea SHAN Xiujuan, CHEN Yunlong, DAI Fangqun, et al (377)

Research on the difference in eutrophication state and indicator threshold value determination among lakes in the Southern Jiangsu Province, China CHEN Xiaohua, LI Xiaoping, WANG Feifei, et al (390)

Effect of tidal creek system on the expansion of the invasive *Spartina* in the coastal wetland of Yancheng HOU Minghang, LIU Hongyu, ZHANG Huabing (400)

The spatial and temporal variations of maximum light use efficiency and possible driving factors of Croplands in Jiangsu Province KANG Tingting, GAO Ping, JU Weimin, et al (410)

Simulation of summer maize yield influenced by potential drought in China during 1961—2010 CAO Yang, YANG Jie, XIONG Wei, et al (421)

Forest change and its impact on the quantity of oxygen release in Heilongjiang Province during the Past Century ZHANG Lijuan, JIANG Chunyan, MA Jun, et al (430)

Soil macro-faunal guild characteristics at different successional stages in the Songnen grassland of China	LI Xiaoqiang, YIN Xiuqin, SUN Lina (442)
Seasonal dynamics of soil microbial biomass in six forest types in Xiaoxing'an Mountains, China	LIU Chun, LIU Yankun, JIN Guangze (451)
Landscape, Regional and Global Ecology	
Variation of drought and regional response to climate change in Huang-Huai-Hai Plain	XU Jianwen, JU Hui, LIU Qin, et al (460)
Wind speed changes and its influencing factors in Southwestern China	ZHANG Zhibin, YANG Ying, ZHANG Xiaoping, et al (471)
Characteristics of soil carbon density distribution of the <i>Kobresia humilis</i> meadow in the Qinghai Lake basin	CAO Shengkui, CHEN Kelong, CAO Guangchao, et al (482)
Life cycle assessment of carbon footprint for rice production in Shanghai	CAO Liming, LI Maobai, WANG Xinqi, et al (491)
Research Notes	
Seasonal changes of ground vegetation characteristics under artificial <i>Caragana intermedia</i> plantations with age in desert steppe	LIU Rentao, CHAI Yongqing, XU Kun, et al (500)
The experimental study on trans-regional soil replacement	JIN Yinghua, XU Jiawei, QIN Lijie (509)
Sensitivity analysis of swat model on changes of landscape pattern: a case study from Lao Guanhe Watershed in Danjiangkou Reservoir Area	WEI Chong, SONG Xuan, CHEN Jie (517)

《生态学报》2014 年征订启事

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

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 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

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 34 卷 第 2 期 (2014 年 1 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 34 No. 2 (January, 2014)

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

主 编 王如松

主 管 中国科学技术协会

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

出 版 科 学 出 版 社
地址:北京东黄城根北街 16 号
邮政编码:100717

印 刷 北京北林印刷厂

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

订 购 全国各地邮局

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

广告经营 京海工商广字第 8013 号

许 可 证

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

Editor-in-chief WANG Rusong

Supervised by China Association for Science and Technology

Sponsored by Ecological Society of China
Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS
Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China

Published by Science Press
Add: 16 Donghuangchenggen North Street,
Beijing 100717, China

Printed by Beijing Bei Lin Printing House,
Beijing 100083, China

Distributed by Science Press
Add: 16 Donghuangchenggen North
Street, Beijing 100717, China
Tel: (010)64034563
E-mail: journal@cspg.net

Domestic All Local Post Offices in China

Foreign China International Book Trading
Corporation
Add: P. O. Box 399 Beijing 100044, China

