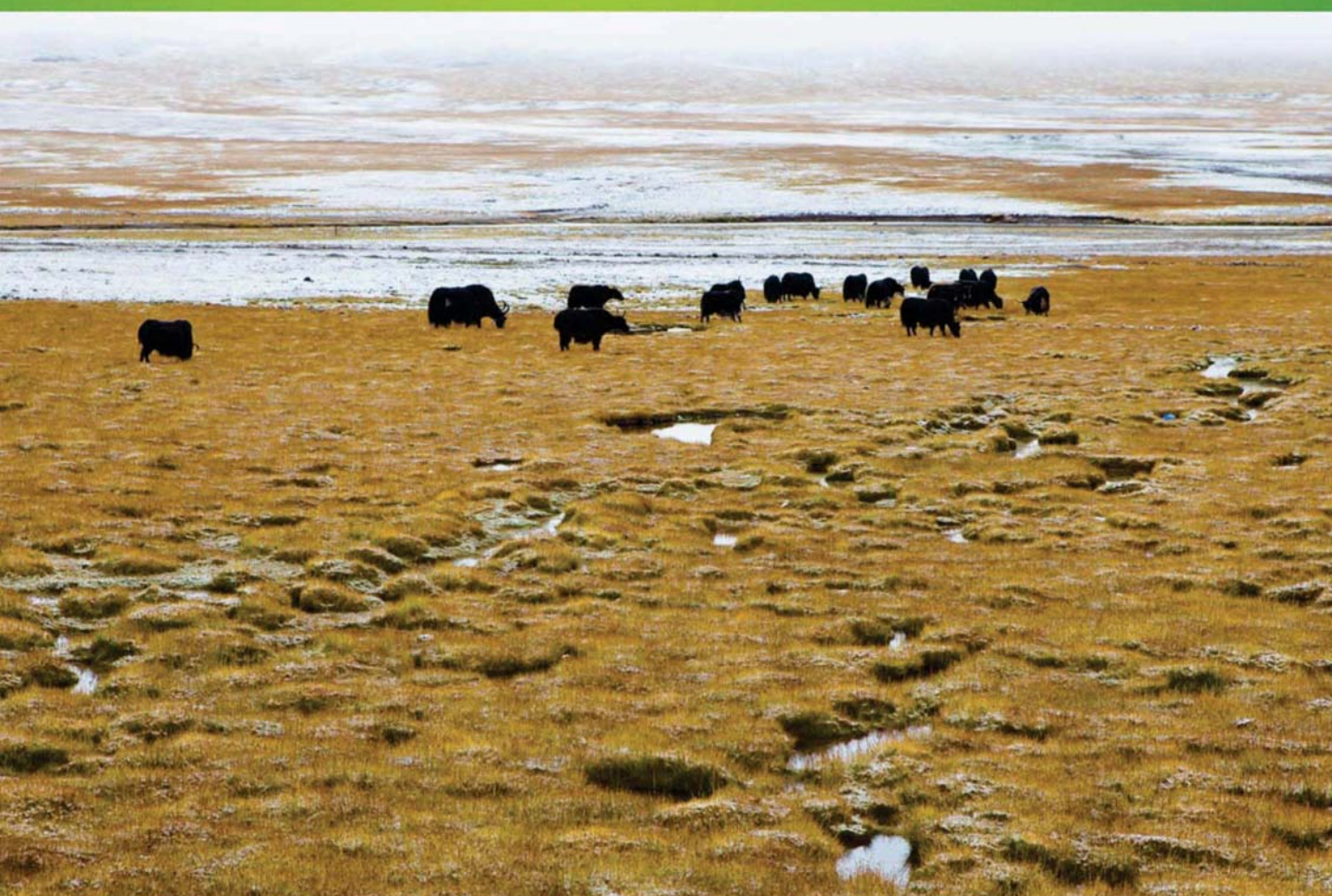


ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第33卷 第16期 Vol.33 No.16 **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 16 期 2013 年 8 月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

- 物种分布模型理论研究进展..... 李国庆,刘长成,刘玉国,等 (4827)
- 稀土元素对农田生态系统的影响研究进展..... 金姝兰,黄益宗 (4836)
- 藤壶金星幼虫附着变态机制..... 饶小珍,林 岗,许友勤 (4846)
- 群居动物中的共同决策..... 王程亮,王晓卫,齐晓光,等 (4857)

个体与基础生态

- 季风进退和转换对中国褐飞虱迁飞的影响..... 包云轩,黄金颖,谢晓金,等 (4864)
- 两种海星对三种双壳贝类的捕食选择性和摄食率..... 齐占会,王 珺,毛玉泽,等 (4878)
- 新疆巴音布鲁克繁殖期大天鹅的生境选择..... 董 超,张国钢,陆 军,等 (4885)
- 我国特有植物青檀遗传结构的 ISSR 分析..... 李晓红,张 慧,王德元,等 (4892)
- 栽培菊花与菊属-近缘属属间杂种杂交后代耐盐性的遗传分析..... 许莉莉,陈发棣,陈素梅,等 (4902)
- 荒漠区植物光合器官解剖结构对水分利用效率的指示作用..... 张海娜,苏培玺,李善家,等 (4909)
- 水分对番茄不同叶龄叶片光合作用的影响..... 陈凯利,李建明,贺会强,等 (4919)
- 广西猫儿山不同海拔常绿树种和落叶树种光合速率与氮的关系..... 白坤栋,蒋得斌,万贤崇 (4930)
- 施肥对板栗林地土壤 N₂O 通量动态变化的影响..... 张蛟蛟,李永夫,姜培坤,等 (4939)
- 施肥对红壤水稻土团聚体分布及其碳氮含量的影响..... 刘希玉,王忠强,张心昱,等 (4949)

种群、群落和生态系统

- 大兴安岭天然沼泽湿地生态系统碳储量..... 牟长城,王 彪,卢慧翠,等 (4956)
- 基于多时相 Landsat TM 影像的汶川地震灾区河岸带植被覆盖动态监测——以岷江河谷映秀-汶川段
为例..... 许积层,唐 斌,卢 涛 (4966)
- 不同强度火干扰下盘古林场天然落叶松林的空间结构..... 倪宝龙,刘兆刚 (4975)
- 长江中下游湖群大型底栖动物群落结构及影响因素..... 蔡永久,姜加虎,张 路,等 (4985)
- 千岛湖岛屿社鼠的种群年龄结构和性比..... 张 旭,鲍毅新,刘 军,等 (5000)
- 性信息素诱捕下害虫 Logistic 增长及经济阈值数学模型..... 赵志国,荣二花,赵志红,等 (5008)
- 秋末苏南茶园昆虫的群落组成及其趋色性..... 郑颖姘,钮羽群,崔桂玲,等 (5017)
- 北方常见农业土地利用方式对土壤螨群落结构的影响..... 韩雪梅,李丹丹,梁子安,等 (5026)

景观、区域和全球生态

- 基于鸟类边缘种行为的景观连接度研究——空间句法的反规划应用..... 杨天翔,张韦倩,樊正球,等 (5035)
- 西南高山地区土壤异养呼吸时空动态..... 张远东,庞 瑞,顾峰雪,等 (5047)

江苏省土壤有机质变异及其主要影响因素..... 赵明松,张甘霖,李德成,等 (5058)

基于林业清查资料的桂西北植被碳空间分布及其变化特征..... 张明阳,罗为检,刘会玉,等 (5067)

资源与产业生态

基于能值分析方法的都市代谢过程——案例研究 刘耕源,杨志峰,陈彬 (5078)

基于 PSR 模型的耕地生态安全物元分析评价 张锐,郑华伟,刘友兆 (5090)

保水剂对煤矸石基质上高羊茅生长及营养吸收的影响 赵陟峰,王冬梅,赵廷宁 (5101)

城乡与社会生态

生态保护价值的距离衰减性——以三江平原湿地为例 敖长林,陈瑾婷,焦扬,等 (5109)

研究简报

广东山区土壤有机碳空间变异的尺度效应..... 姜春,吴志峰,钱乐祥,等 (5118)

室内养殖雌性松鼠秋季换毛期被毛长度和保温性能变化..... 荆璞,张伟,华彦,等 (5126)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 306 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 32 * 2013-08



封面图说: 高寒草甸牦牛群——三江源区位于青藏高原腹地,平均海拔 4200m,是长江、黄河、澜沧江三条大河的发源地,也是全球气候变化最敏感的地区。三江源区高寒草甸植被状况对该区的生态环境、草地资源合理利用和应对全球气候变化具有十分重要的意义。2005 年以来,国家投资 70 多亿元启动三江源生态保护工程。监测显示,近年来,三江源湖泊湿地面积逐步扩大,植被覆盖度得到提高,三江源区高寒草甸的生态恶化趋势得到遏制。图为冒着风雪在三江源高寒草甸上吃草的牦牛群。

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/stxb201301150105

刘希玉, 王忠强, 张心昱, 徐丽丽, 施瑶, 孙晓敏, 杨风亭. 施肥对红壤水稻土团聚体分布及其碳氮含量的影响. 生态学报, 2013, 33(16): 4949-4955.

Liu X Y, Wang Z Q, Zhang X Y, Xu L L, Shi Y, Sun X M, Yang F T. Effects of long-term fertilization on aggregate dynamics and organic carbon and total nitrogen contents in a reddish paddy soil. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(16): 4949-4955.

施肥对红壤水稻土团聚体分布及其碳氮含量的影响

刘希玉^{1,2}, 王忠强¹, 张心昱^{2,*}, 徐丽丽^{2,3}, 施瑶^{1,2}, 孙晓敏², 杨风亭²

(1. 东北师范大学地理科学学院, 长春 130024; 2. 中国科学院地理科学与资源研究所生态系统网络观测与模拟重点实验室, 北京 100101; 3. 沈阳农业大学土地与环境学院, 沈阳 110866)

摘要: 依托中国科学院千烟洲生态试验站, 利用 1998 年建立的红壤水稻田长期定位施肥试验, 研究秸秆还田 (ST)、化肥 (NPK)、有机肥 (OM) 等施肥方式对红壤水稻土各粒级团聚体分布及其碳氮含量影响。结果表明: 在所有施肥处理条件下红壤水稻土团聚体分布以 <63 μm 的粉砂和粘粒为主, 占 41%—54%, 长期施肥特别是施用 OM 有利于促进红壤水稻土大粒级团聚体形成; 分别施用 ST、NPK 和 OM 均能提高红壤水稻土全土及各粒级团聚体中的有机碳和全氮含量, 施用 OM 提高幅度最大。因此, 在我国南方红壤稻作区的农业生产过程中应施用有机肥, 从而改善土壤结构、碳贮量和养分状况。

关键词: 团聚体; 秸秆还田; 化肥; 有机肥; 有机碳; 全氮

Effects of long-term fertilization on aggregate dynamics and organic carbon and total nitrogen contents in a reddish paddy soil

LIU Xiyu^{1,2}, WANG Zhongqiang¹, ZHANG Xinyu^{2,*}, XU Lili^{2,3}, SHI Yao^{1,2}, SUN Xiaomin², YANG Fengting²

1 College of Geographic Science, Northeast Normal University, Changchun 130024, China

2 Key Laboratory of Ecosystem Network Observation and Modeling, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100101, China

3 College of Land and Environment, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China

Abstract: Fertilizer application is one of the most important management practices for improving soil fertility and increasing crop yield. However, it is far from certain how different forms of fertilizer affect the soil aggregate composition and carbon and nitrogen dynamics, especially for reddish paddy soils although it is one of the most popular soil types in China. A long-term field experiment has been established on a reddish paddy soil of Qianyanzhou Ecological Experiment Station (114°53' E, 26°48' N) in Jiangxi Province in 1998. Four treatments were carried out: Control with no fertilizer (CK), straw return (ST), mineral fertilizers (NPK) and pig manure (OM), aiming to evaluate the effects of different forms of fertilizer on the distribution of soil aggregates and carbon and nitrogen content. The results showed that: (1) under control treatment, the < 63 μm particles (silt and clay) are the dominant component in the soils, accounting for approximately 41%—54% of bulk soil, followed by 63—250 μm microaggregate and 250—500 μm macroaggregate. Compared with CK, long term application of NPK and OM significantly increased the fraction of 250—500 μm particles and decreased the fraction of < 63 μm particles, and the application of OM significantly increased the particles of 63—250 μm and of 250—500 μm; (2) the long-term application of ST, NPK and OM increased the organic carbon and total nitrogen contents in the three aggregates, following the order of CK < ST < NPK < OM; (3) for the particles of < 250 μm, the C/N ratios declined gradually along the decrease of particle size under OM treatment. Regardless of treatment, the soil E_C (carbon enrichment) and E_N (nitrogen

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目 (KZCX2-EW-310); 国家自然科学基金面上项目 (41171153, 41001179)

收稿日期: 2013-01-15; **修订日期:** 2013-04-18

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhangxy@igsnrr.ac.cn

enrichment) were >1 in the aggregates of $63\text{--}125\ \mu\text{m}$ and $<63\ \mu\text{m}$, suggesting that the $<125\ \mu\text{m}$ aggregate made dominant contribution to the total organic carbon and nitrogen storage in the reddish paddy soil. This study provides fundamental information for choosing proper fertilization practices to improve soil fertility.

Key Words: aggregate; straw return; mineral fertilizer; pig manure; organic carbon; total nitrogen

红壤水稻土是我国南方稻作区主要土壤类型,对我国水稻生产发挥重要作用^[1]。近年来,由于不合理管理和耕作,加上自身风化作用加强,导致红壤水稻土结构破坏、养分流失量大,严重影响了红壤水稻土可持续利用及水稻产量和品质^[2]。

土壤团聚体作为土壤结构基本组成单元,能够综合反映土壤物理、化学和生物特性^[3-4]。土壤团聚体与土壤中碳氮含量之间相互影响^[5],土壤中碳能够提高土壤团聚体稳定性,且有利于促进土壤中微团聚体和大团聚体形成^[6-7],而土壤团聚体对土壤中氮的转化有促进作用^[8]。已有研究表明^[9],在红壤水稻土中,大团聚体中有机碳和全氮含量较高;与其它粒级团聚体相比较,红壤水稻土微团聚体稳定性较好,更利于土壤中碳素和氮素的积累^[10]。土壤团聚体中碳氮含量主要受施肥方式的影响,施用有机肥和化肥能提高土壤团聚体稳定性,改善土壤结构,施用有机肥效果更显著^[11]。但是目前关于不同施肥方式对红壤不同粒级土壤团聚体中有机碳和全氮含量影响的研究还不多。

本研究依托千烟洲红壤丘陵区长期定位试验,分析长期不同施肥处理对红壤水稻土各粒级团聚体分布及其碳氮含量影响,探讨长期不同施肥处理方式下,红壤水稻土团聚体分布与各粒级团聚体中有机碳和全氮含量之间的关系,以期改善红壤水稻土结构及提高红壤水稻土肥力提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

长期施肥试验地设在中国科学院千烟洲生态试验站内,该站位于江西省泰和县吉泰盆地($114^{\circ}53'E, 26^{\circ}48'N$),是典型的低丘红壤地区。试验区属中亚热带湿润季风气候区,年平均气温 18.6°C ,年平均无霜期为 280 天,年均降雨量为 1371mm ,雨量充沛,但降雨量主要集中在夏季。试验开始于 1998 年,原始耕层土壤($0\text{--}15\text{cm}$)理化性质为:pH 6.0,土壤有机碳 $9.7\ \text{g/kg}$,全氮 $1.0\ \text{g/kg}$,速效磷 $1.6\ \text{mg/kg}$,速效钾 $17.6\ \text{mg/kg}$ 。

1.2 试验处理

(1)种植方式 试验区采用一年两季种植水稻,早稻每年 4 月底种植,7 月底收获;晚稻 7 月底种植,11 月初收获。本研究选择 4 种处理,每种处理设有 3 个重复,每个小区面积为 $3\text{m}\times 5\text{m} = 15\text{m}^2$,每个小区之间用水泥田埂相隔。

(2)试验处理 (1)对照(CK),不施肥;(2)秸秆还田(ST),不施肥,收获后的早晚稻秸秆均还田,含 N 量为 25kgN/hm^2 ,含 C 量为 $2295\ \text{kgC/hm}^2$;(3)施化肥(NPK), $225\ \text{kgN/hm}^2$ (尿素,含 N 46%), $135\ \text{kg P}_2\text{O}_5/\text{hm}^2$ (钙镁磷肥,含 P_2O_5 13%), $225\ \text{kg K}_2\text{O/hm}^2$ (氯化钾,含 K_2O 60%),早、晚稻施肥比例为 1:1.25,基肥与追肥比例为 6:4。(4)施有机肥(OM),施猪粪做基肥一次性施用,猪粪含 N 量为 225kgN/hm^2 ,含 C 量为 2565kgC/hm^2 。

1.3 测定方法

红壤水稻土样品于 2011 年 11 月 13 日晚稻收获后取样,取样之前,用剖面刀移除土壤表层杂物,用硬质铝盒在每个小区中随机采样,将田间采集的 $0\text{--}10\text{cm}$ 耕层原状红壤水稻土样品装入塑封袋内,并确保运输过程中不受挤压,以保持土样原有结构。运回实验室后,在室温下风干。

红壤水稻土团聚体采用湿筛法分级。具体操作方法为:称取土块样品 50g ,放置于烧杯中,浸没约 5min ,待土块中空气排除后,将样品放置于最大孔径土壤筛($500\ \mu\text{m}$)上面,套筛下面土壤筛孔径依次为 250 、 $125\ \mu\text{m}$ 和 $63\ \mu\text{m}$,底层放置底盘用于收集 $<63\ \mu\text{m}$ 粉砂和粘粒,将盛土套筛放在振动筛分仪(德国 Retsch, AS200)上,

每分钟振荡 20 次,振荡 3min。筛分后 $>500\mu\text{m}$ 的红壤水稻土为植物根系和砾石,将此部分质量烘干后称重扣除。收集大团聚体($250\text{—}500\mu\text{m}$)、微团聚体($125\text{—}250\mu\text{m}$ 和 $63\text{—}125\mu\text{m}$)及粉砂和粘粒($<63\mu\text{m}$)部分,并分别转移至烧杯中,烘干,称重,计算得到各粒级红壤水稻土团聚体质量在全土中的百分率。分离得到的各粒级红壤水稻土使用球磨仪磨成粉末状,用元素分析仪(德国 Elementar, vario MAX CN)测定各粒级土壤中有机碳(SOC)和全氮(TN)含量。

1.4 数据处理

各粒级团聚体含量在全土中的百分率按下列公式计算: $F\% = \frac{A}{B} \times 100$

式中, F 为该粒级团聚体含量在全土中的百分率(%); A 为该粒级团聚体质量(g); B 为全土质量(g)。

各粒级团聚体中 SOC、TN 富集因子(E_C, E_N)按下列公式计算: $H = \frac{C}{D}$

式中, H 为该粒级团聚体中 SOC 或 TN 富集因子(E_C, E_N); C 为该粒级团聚体中 SOC 或 TN 含量(g/kg); D 为全土中 SOC 或 TN 含量(g/kg)。

数据使用 SPSS 17.0 (SPSS Inc., Chicago, USA) 进行单因素方差(One-Way ANOVA)分析,采用 LSD 进行多重比较检验,显著水平($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 施肥对红壤水稻土团聚体分布影响

在各处理中, $250\text{—}500\mu\text{m}$ 大团聚体占全土百分率 9%—11%; $63\text{—}125\mu\text{m}$ 微团聚体占 16%—20%; $125\text{—}250\mu\text{m}$ 微团聚体占 17%—21%; $<63\mu\text{m}$ 粉砂和粘粒占最大,为 41%—54%(图 1)。

OM 处理有利于红壤水稻土微团聚体和大团聚体形成,且主要影响 $125\text{—}250\mu\text{m}$ 粒级团聚体分布,ST 和 NPK 处理对各粒级土壤团聚体分布影响不显著。在 $250\text{—}500\mu\text{m}$ 中,OM 处理团聚体含量比 CK、ST 和 NPK 处理分别提高了 3%、4% 和 2%,且差异显著($P < 0.05$);在 $125\text{—}250\mu\text{m}$ 中,OM 处理土壤中该粒级微团聚体含量占 21%,分别为 CK、ST 和 NPK 处理的 1.2 倍、1.3 倍和 1.1 倍,且差异显著($P < 0.05$);在 $63\text{—}125\mu\text{m}$ 中,各处理之间无显著性差异($P > 0.05$);在 $<63\mu\text{m}$ 中,OM 处理团聚体含量(41%)显著低于 CK、ST、NPK 处理,分别降低了 8%、13% 和 7% ($P < 0.05$)。

2.2 施肥对红壤水稻土团聚体中有机碳含量分布影响

ST、NPK 和 OM 处理均能增加各粒级团聚体中 SOC 含量,OM 处理对各粒级团聚体中 SOC 含量提高幅度最大,且对 $250\text{—}500\mu\text{m}$ 和 $63\text{—}250\mu\text{m}$ 影响更显著(图 2)。14a 长期定位施肥后,4 种处理方式下,全土中 SOC 含量从高到低顺序为:OM>NPK>ST>CK,与 CK 处理相比,ST、NPK、OM 处理分别使全土中 SOC 含量增加了 3.4 g/kg、5.9 g/kg、8.9 g/kg,各处理之间差异达到显著水平($P < 0.05$)。

在 $250\text{—}500\mu\text{m}$ 中,OM 处理 SOC 含量分别为 CK、ST 和 NPK 处理的 2.3 倍、2.4 倍和 1.9 倍,且差异显著($P < 0.05$);在 $125\text{—}250\mu\text{m}$ 中,各处理土壤 SOC 含量顺序为:OM>NPK>ST>CK,ST、NPK 和 OM 处理分别为 CK 处理的 1.3 倍、1.6 倍和 2.3 倍($P < 0.05$);在 $63\text{—}125\mu\text{m}$ 中,ST、NPK 和 OM 处理比 CK 处理土壤中 SOC 含量分别升高了 22%、35% 和 74%;在 $<63\mu\text{m}$ 中,OM 处理 SOC 含量最高(17.9 g/kg),ST、NPK 和 OM 处理比 CK 处理土壤中 SOC 含量分别升高了 3%、14% 和 26%。

在 $250\text{—}500\mu\text{m}$ 中, E_C 值顺序为:ST<NPK<CK<OM,OM 处理 E_C 值最大(1.35),OM 处理有利于大团聚

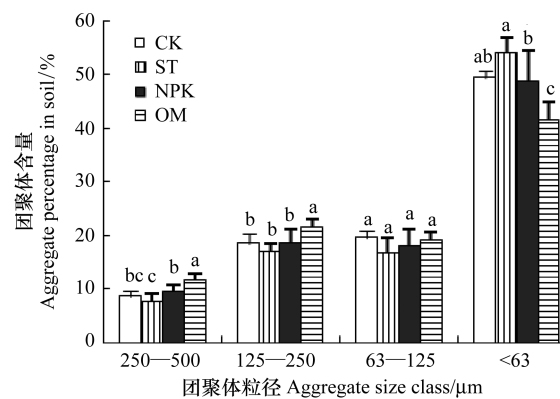


图 1 不同施肥处理对各粒级团聚体分布影响

Fig.1 The distribution of soil aggregates in different fertilization treatments

小写字母表示不同处理之间差异显著($P < 0.05$, $n = 3$)

体中 SOC 富集;在 125—250 μm 中,OM 处理 E_c 值最大(1.06),ST、CK 和 NPK 处理 E_c 值均小于 1;在 63—125 μm 中, E_c 值均大于 1;在 <63 μm 中, E_c 值顺序为:OM<NPK<ST<CK,CK 处理 E_c 值为 1.56,与 ST、NPK 和 OM 处理之间差异显著 ($P<0.05$),CK 处理有利于小粒径团聚体中 SOC 富集。

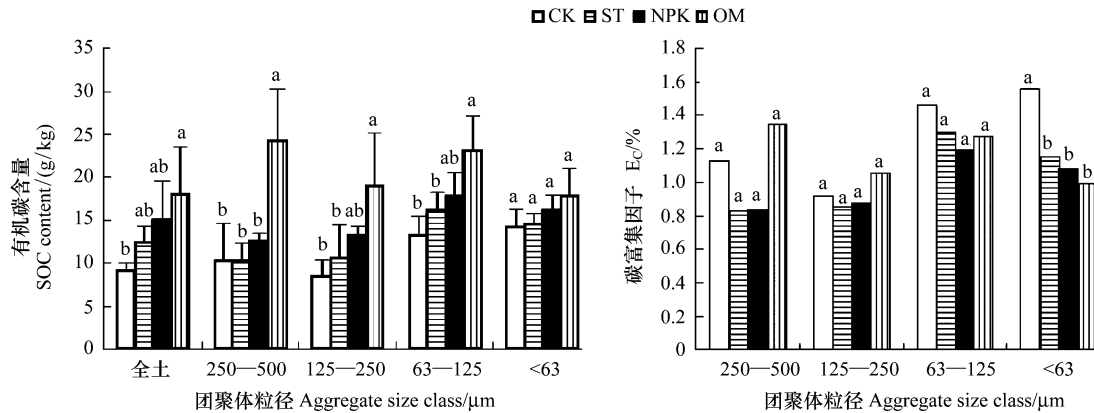


图 2 不同施肥对各粒径团聚体中有机碳含量分布和 E_c 影响

Fig. 2 Effect of different fertilization treatments on the distribution of SOC content and enrichment factor for soil organic carbon in different soil aggregates

2.3 施肥对红壤水稻土团聚体中全氮含量分布影响

不同处理对土壤各粒径团聚体中 SOC 含量影响和对 TN 含量影响趋势基本一致,OM 显著增加了土壤 TN 含量 ($P<0.05$) (图 3)。各处理 TN 含量顺序为:OM>NPK>ST>CK,ST、NPK 和 OM 处理比 CK 处理全土中 TN 含量分别增加了 22%、44% 和 67%。

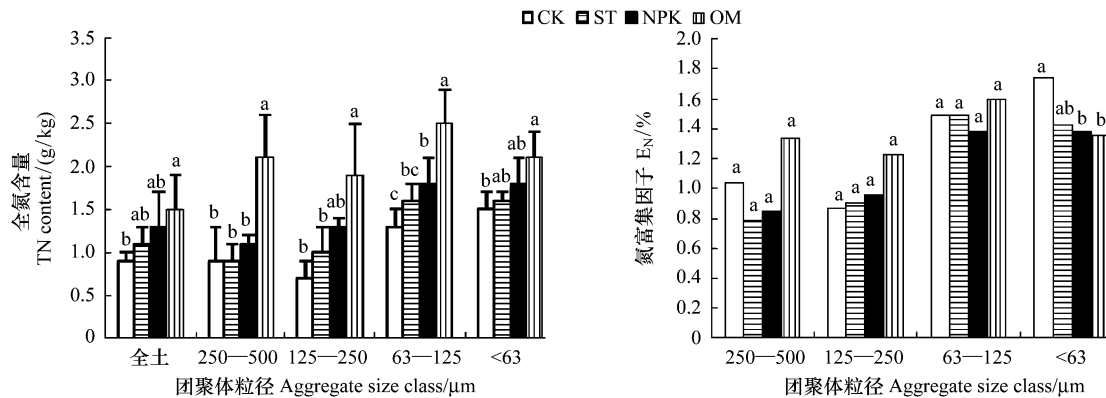


图 3 不同施肥对各粒径团聚体中全氮含量分布和 E_n 影响

Fig. 3 Effect of different fertilization treatments on the distribution of TN content and enrichment factor for soil total nitrogen in different soil aggregates

OM 处理增加各粒径团聚体中 TN 含量,对 63—500 μm 影响更显著。在 250—500 μm 中,OM 处理 TN 含量分别为 CK、ST 和 NPK 处理的 2.3 倍、2.3 倍和 1.9 倍,且差异显著 ($P<0.05$);在 125—250 μm 中,各处理土壤 TN 含量顺序为:OM>NPK>ST>CK,ST、NPK 和 OM 处理分别为 CK 处理的 1.4 倍、1.9 倍和 2.7 倍 ($P<0.05$);在 63—125 μm 中,ST、NPK 和 OM 处理比 CK 处理土壤中 TN 含量分别升高了 23%、38% 和 92%;在 <63 μm 中,OM 处理 TN 含量最高(2.1 g/kg),ST、NPK 和 OM 处理比 CK 处理土壤中 TN 含量分别提高了 7%、20% 和 40%。

在 250—500 μm 中, E_n 值顺序为:ST<NPK<CK<OM,OM 处理 E_n 值最大为 1.34;在 125—250 μm 中,OM 处理 E_n 值最大为 1.23,ST、CK 和 NPK 处理 E_n 值均小于 1;在 63—125 μm 中, E_n 值均大于 1,OM 处理 E_n 值

最大 1.60,有利于微团聚体中 TN 富集;在 $<63\mu\text{m}$ 中, E_N 值顺序为:OM $<$ NPK $<$ ST $<$ CK,CK 处理 E_N 值为 1.74,与 ST、NPK 和 OM 处理之间差异显著($P<0.05$),CK 处理有利于小粒径团聚体中 TN 富集。

2.4 施肥对红壤水稻土团聚体中 C/N 比影响

4 种不同处理方式下,OM 处理显著增加了全土中 C/N 比,ST、NPK 和 OM 处理比 CK 处理全土中 C/N 比分别提高了 0.6、0.4 和 0.9,其中施用 OM 效果最显著($P<0.05$)(图 4)。

红壤水稻土各粒级团聚体中 C/N 比均随粒径减小而降低,OM 处理显著降低了 $<63\mu\text{m}$ 中 C/N 比,增加了 250—500 μm 中 C/N 比,OM 处理更利于增加 250—500 μm 中碳的积累;NPK 处理显著降低了各粒级团聚体 C/N 比;ST 处理降低了 63—250 μm 和 $<63\mu\text{m}$ 中 C/N 比,但对大团聚体影响不显著。

3 讨论

3.1 不同处理对红壤水稻土团聚体分布影响

不同施肥方式对土壤团聚体的形成、数量和分布有显著影响^[12]。已往研究表明^[13-14],单独施用有机肥和化肥能够提高黑土和黑垆土中大团聚体含量,这与本研究所得结果一致,这主要是由于有机肥和化肥均能使土壤中 SOC 含量升高,从而促进土壤的团聚化作用,将小粒径团聚体胶结形成大团聚体,增加大团聚体含量,降低粉砂和粘粒含量。本研究中,14a 长期定位施用有机肥后,红壤水稻土 SOC 含量增加显著,有利于土壤大团聚体和微团聚体的形成^[15-16]。化肥和秸秆还田有增加土壤 SOC 含量的趋势,但没有有机肥显著,对于大团聚体和微团聚体的增加也没有达到显著水平。已往研究表明,秸秆还田降低了小粒级团聚体含量,增加了大粒级团聚体含量,此结果与本研究不一致,这可能与秸秆还田施用量较低、化肥与秸秆还田未配合施用有关^[17]。

3.2 不同处理对红壤水稻土团聚体中碳氮分布影响

已有长期定位施肥实验表明,单独施用化肥或有机肥均能提高红壤各粒级团聚体中有机碳和全氮含量,且施用有机肥效果更好^[18]。本研究中,随着不同施肥方式的应用,红壤水稻土中各粒级团聚体中碳氮含量均明显增加,其中,OM 处理方式下,大粒级团聚体中碳含量增加幅度最大,这可能是因为有机肥进入土壤后,破碎化和分解后,先与土壤大粒级团聚体结合^[19],也可能是因为 SOC 使小粒级团聚体胶结成大粒级团聚体,增加了大粒级团聚体中 SOC 含量,同时 OM 处理也增加了土壤中微生物数量、根茬、根系和根分泌物的含量,从而使土壤中碳含量增多^[20-21]。

E_C 和 E_N 表示各粒级团聚体中 SOC 或 TN 含量对全土中 SOC 或 TN 含量的贡献率^[22]。 $E>1$ 表示 SOC 或 TN 在该粒级团聚体中富集, $E<1$ 表示 SOC 或 TN 在该粒级团聚体中匮乏^[23]。在本研究中,各粒级团聚体对红壤水稻土碳氮含量的贡献率存在差异,依据 E_C 和 E_N 值可以判断出,在所有处理方式下,63—125 μm 和 $<63\mu\text{m}$ 土壤粒级对红壤水稻土碳氮贡献率最大。

土壤 C/N 比可反映碳氮元素有效性,是评价土壤质量水平的重要指标之一,土壤团聚体中 C/N 比越低,说明有机物腐解程度越高,土壤养分有效性越高^[24];土壤团聚体中 C/N 比越高,土壤有机碳越稳定,越利于土壤中碳的积累。OM 和 ST 处理均能增加大粒级团聚体中 C/N 比,有利于土壤中碳的积累。土壤中与小粒级团聚体结合的碳是形成时间较长的碳,由于碳的分解,降低了小粒级团聚体中 C/N 比^[25],这与本研究结果相一致。

4 结论

(1)红壤水稻土团聚体分布以粉砂和粘粒为主,占全土 41%—54%;施用 OM 能明显促进红壤水稻土大

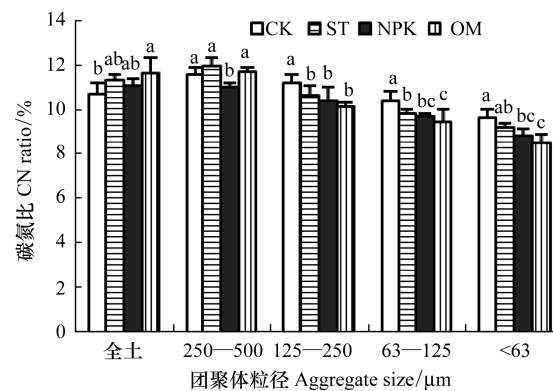


图 4 不同施肥对各粒级土壤团聚体中 C/N 影响

Fig. 4 The effect of different fertilization treatments on the carbon to nitrogen ratio

团聚体和微团聚体形成。

(2) ST、NPK 和 OM 处理均能提高红壤水稻土全土及各粒级团聚体中有机碳和全氮含量,施用 OM 增加幅度最大;在所有施肥方式下,63—125 μm 和 <63 μm 中 E_C 和 E_N 值均大于 1,红壤水稻土中碳氮主要贮存在 63—125 μm 和 <63 μm 土壤粒级中。

(3) 长期施用 OM 能有效提高红壤水稻土团聚体稳定性和红壤水稻土碳氮含量,建议在红壤水稻土中应施用 OM。

致谢:感谢中国科学院千烟洲生态试验站和邹敬东老师对野外工作的帮助,感谢美国橡树岭国家重点实验室徐小锋博士对写作的帮助。

References:

- [1] Xu R K, Zhao A Z, Li Q M, Kong X L, Ji G L. Acidity regime of the red soils in a subtropical region of southern China under field conditions. *Geoderma*, 2003, 115(1): 75-84.
- [2] Liang Y, Yang X, Su C L, Sun B, Pan X Z. EI-based analysis of variation and trends of soil erosion of red soil region on a county scale. *Acta Pedologica Sinica*, 2009, 46(1): 24-29.
- [3] Pagliai M, Vignozzi N, Pellegrini S. Soil structure and the effect of management practices. *Soil and Tillage Research*, 2004, 79(2): 131-143.
- [4] Bronick C J, Lal R. Soil structure and management: a review. *Geoderma*, 2005, 124(1): 3-22.
- [5] Wiesmeier M, Steffens M, Mueller C W, Kolbl A, Reszkowska A, Peth S, Horn R, Knabner L K. Aggregate stability and physical protection of soil organic carbon in semi-arid steppe soils. *European Journal of Soil Science*, 2012, 63(1): 22-31.
- [6] Abiven S, Menasseri S, Chenu C. The effects of organic inputs over time on soil aggregate stability-A literature analysis. *Soil Biology and Biochemistry*, 2009, 41(1): 1-12.
- [7] Jastrow J D. Soil aggregate formation and the accrual of particulate and mineral-associated organic matter. *Soil Biology and Biochemistry*, 1996, 28(4): 665-676.
- [8] Xiang Y W, Zheng S X, Liao Y L, Lu Y H, Xie J, Nie J. Effects of long-term fertilization on distribution and storage of organic carbon and nitrogen in water-stable aggregates of red paddy soil. *Scientia Agricultura Sinica*, 2009, 42(7): 2415-2424.
- [9] Li H X, Yuan Y H, Huang Q R, Hu F, Pan G X. Effects of fertilization on soil organic carbon distribution in various aggregates of red paddy soil. *Acta Pedologica Sinica*, 2006, 43(3): 422-429.
- [10] Chen W C, Wang K R, Xie X L. Effects on distributions of carbon and nitrogen in a reddish paddy soil under long-term different fertilization treatments. *Chinese Journal of Soil Science*, 2009, 40(3): 523-528.
- [11] Li Z P, Liu M, Wu X C, Han F X, Zhang T L. Effects of long-term chemical fertilization and organic amendments on dynamics of soil organic C and total N in paddy soil derived from barren land in subtropical China. *Soil and Tillage Research*, 2010, 106(2): 268-274.
- [12] Mikha M M, Rice C W. Tillage and manure effects on soil and aggregate-associated carbon and nitrogen. *Soil Science Society of America*, 2004, 68(3): 809-816.
- [13] Gao H Y, Guo S L, Liu W Z, Che S G, Li M. Effect of fertilization on organic carbon distribution in various fractions of aggregates in Caliche soils. *Acta Pedologica Sinica*, 2010, 47(5): 931-938.
- [14] Chen Y, Zhang X D, He H B, Xie H T, Yan Y, Zhu P, Ren J, Wang L C. Carbon and nitrogen pools in different aggregates of a Chinese Mollisol as influenced by long-term fertilization. *Soils Sediments*, 2010, 10(6): 1018-1026.
- [15] Dong W Y, Zhang X Y, Wang H M, Dai X Q, Sun X M, Qiu W W, Yang F T. Effect of different fertilizer application on the soil fertility of paddy soils in red soil region of southern China. *Plos one*, 2012, 7(9): 1-9.
- [16] Xu L L, Wang Q B, Zhang X Y, Zou J D, Dai X Q, Wang H M, Sun X M, Dong W Y. Effects of different fertilization treatment on paddy soil nutrients in red soil Hilly region. *Journal of Natural Resources*, 2012, 27(11): 1890-1898.
- [17] Tong X G, Xu M G, Zhang W J, Lu C A. Influence of long-term fertilization on content and distribution of organic carbon in particle-size fractions of red soil and fluvo-aquic soil in China. *Scientia Agricultura Sinica*, 2008, 41(11): 3664-3671.
- [18] Wang W, Chen W C, Wang K R, Xie X L, Yin C M, Chen A L. Effects of long-term fertilization on the distribution of carbon, nitrogen and phosphorus in water-stable aggregates in paddy soil. *Agricultural Sciences in China*, 2011, 10(12): 1932-1940.
- [19] Gerzabek M H, Haberhauer G, Kirchmann H. Soil organic matter pools and carbon-13 natural abundances in particle-size fractions of a long-term agricultural field experiment receiving organic amendments. *Soil Science Society of America Journal*, 2001, 65(2): 352-358.
- [20] Six J, Paustian K, Elliott E T, Combrink C. Soil structure and soil organic matter I. Distribution of aggregate-size classes and aggregate-associated

carbon. *Soil Science Society of America Journal*, 2000, 64(2): 681-689.

- [21] Huang S, Peng X X, Huang Q R, Zhang W J. Soil aggregation and organic carbon fractions affected by long-term fertilization in a red soil of subtropical China. *Geoderma*, 2010, 154(3): 364-369.
- [22] Zhang X, Amelung W, Yuan Y, Liebig S S, Brown L, Zech W. Land-use effects on amino sugars in particle size fractions of an Argiudoll. *Applied Soil Ecology*, 1999, 11(2): 271-275.
- [23] Amelung W, Zech W, Zhang X, Follett R F, Tiessen H, Knox E, Flach K W. Carbon, nitrogen and sulfur pools in particle-size fractions as influenced by climate. *Soil Science Society of America Journal*, 1998, 62(1): 172-181.
- [24] Baldock J A, Oades J M, Waters A G, Peng X, Vassallo A M, Wilson M A. Aspects of the chemical structure of soil organic materials as revealed by solid state¹³C NMR spectroscopy. *Biogeochemistry*, 1992, 16(1): 1-42.
- [25] Yuan Y H, Li H X, Huang Q R, Hu F, Pan G X. Effects of different fertilization on soil organic carbon distribution and storage in microaggregates of red paddy topsoil. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(12): 2961-2966.

参考文献:

- [8] 向艳文, 郑圣先, 廖育林, 鲁艳红, 谢坚, 聂军. 长期施肥对红壤水稻土水稳性团聚体有机碳、氮分布与储量的影响. *中国农业科学*, 2009, 42(7): 2415-2424.
- [9] 李辉信, 袁颖红, 黄欠如, 胡锋, 潘根兴. 不同施肥处理对红壤水稻土团聚体有机碳分布的影响. *土壤学报*, 2006, 43(3): 422-429.
- [10] 陈惟财, 王凯荣, 谢小立. 长期不同施肥处理对红壤性水稻土团聚体中碳、氮分布的影响. *土壤通报*, 2009, 40(3): 523-528.
- [13] 高会议, 郭胜利, 刘文兆, 车升国, 李森. 不同施肥处理对黑垆土各粒级团聚体中有机碳含量分布的影响. *土壤学报*, 2010, 47(5): 931-938.
- [16] 徐丽丽, 王秋兵, 张心昱, 邹敬东, 戴晓琴, 王辉民, 孙晓敏, 董雯怡. 不同施肥处理对红壤丘陵区水稻土养分状况的影响. *自然资源学报*, 2012, 27(11): 1890-1898.
- [17] 佟小刚, 徐明岗, 张文菊, 卢昌艾. 长期施肥对红壤和潮土颗粒有机碳含量与分布的影响. *中国农业科学*, 2008, 41(11): 3664-3671.
- [25] 袁颖红, 李辉信, 黄欠如, 胡锋, 潘根兴. 不同施肥处理对红壤性水稻土微团聚体有机碳汇的影响. *生态学报*, 2004, 24(12): 2961-2966.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33 ,No. 16 Aug. ,2013(Semimonthly)
CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Advances in theoretical issues of species distribution models LI Guoqing, LIU Changcheng, LIU Yuguang, et al (4827)
- A review on rare earth elements in farmland ecosystem JIN Shulan, HUANG Yizong (4836)
- A review on the mechanism of attachment and metamorphosis in barnacle cyprids ... RAO Xiaozhen, LIN Gang, XU Youqin (4846)
- Decision making in group living animals WANG Chengliang, WANG Xiaowei, QI Xiaoguang, et al (4857)

Autecology & Fundamentals

- Influence of monsoon's advancing, retreating and conversion on migrations of *Nilaparvata lugens* (Stål) in China
..... BAO Yunxuan, HUANG Jinying, XIE Xiaojin, et al (4864)
- Prey selection and feeding rate of sea stars *Asterias amurensis* and *Asterina pectinifera* on three bivalves
..... QI Zhanhui, WANG Jun, MAO Yuze, et al (4878)
- Habitat selection of Whooper Swan at Bayanbulak in Xinjiang of China DONG Chao, ZHANG Guogang, LU Jun, et al (4885)
- The genetic structure of endemic plant *Pteroceltis tatarinowii* by ISSR markers
..... LI Xiaohong, ZHANG Hui, WANG Deyuan, et al (4892)
- Genetic analysis of salt tolerance of F₁ progenies between chrysanthemum and the intergeneric hybrid of chrysanthemum and
crossostephium XU Lili, CHEN Fadi, CHEN Sumei, et al (4902)
- Indicative effect of the anatomical structure of plant photosynthetic organ on WUE in desert region
..... ZHANG Haina, SU Peixi, LI Shanjia, et al (4909)
- Effects of water on photosynthesis in different age of tomato leaves CHEN Kaili, LI Jianming, HE Huiqiang, et al (4919)
- Photosynthesis-nitrogen relationship in evergreen and deciduous tree species at different altitudes on Mao'er Mountain, Guangxi
..... BAI Kundong, JIANG Debing, WAN Xianchong (4930)
- Effect of fertilization on the dynamic of soil N₂O fluxes in Chinese chestnut stands
..... ZHANG Jiaojiao, LI Yongfu, JIANG Peikun, et al (4939)
- Effects of long-term fertilization on aggregate dynamics and organic carbon and total nitrogen contents in a reddish paddy soil
..... LIU Xiyu, WANG Zhongqiang, ZHANG Xinyu, et al (4949)

Population, Community and Ecosystem

- Carbon storage of natural wetland ecosystem in Daxing'anling of China MU Changcheng, WANG Biao, LU Huicui, et al (4956)
- Monitoring the riparian vegetation cover after the Wenchuan earthquake along the Minjiang River valley based on multi-temporal
Landsat TM images; a case study of the Yingxiu-Wenchuan section XU Jiceng, TANG Bin, LU Tao (4966)
- A dynamic analysis of spatial distribution pattern of *Larix gmelinii* natural forest in Pangu farm under varying intensity of fire
disturbance NI Baolong, LIU Zhaogang (4975)
- Structure of macrozoobenthos in lakes along the Yangtze River and relationships with environmental characteristics
..... CAI Yongjiu, JIANG Jiahu, ZHANG Lu, et al (4985)
- The research on the age structure and sex ratio of *Niviventer confucianus* in Thousand Island Lake
..... ZHANG Xu, BAO Yixin, LIU Jun, et al (5000)
- Mathematical model of insect Logistic increasing and economic threshold based on sex pheromone trap
..... ZHAO Zhiguo, RONG Erhua, ZHAO Zhihong, et al (5008)
- Community composition and phototaxis of insects in tea plantations in Southern Jiangshu Province during late fall
..... ZHENG Yingcha, NIU Yuqun, CUI Guiling, et al (5017)
- Effect of agricultural land use types on soil mite communities in north China
..... HAN Xuemei, LI Dandan, LIANG Zian, et al (5026)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Exploring the space syntax under negative planning; a case study of landscape connectivity based on the behaviors of avian edge
species YANG Tianxiang, ZHANG Weiqian, FAN Zhengqiu, et al (5035)
- Temporal-spatial variation of heterotrophic respiration in alpine area of southwestern China
..... ZHANG Yuandong, PANG Rui, GU Fengxue, et al (5047)

- Variability of soil organic matter and its main factors in Jiangsu Province ZHAO Mingsong, ZHANG Ganlin, LI Decheng, et al (5058)
- Spatial distribution and change of vegetation carbon in Northwest Guangxi, China on the basis of vegetation inventory data ZHANG Mingyang, LUO Weijian, LIU Huiyu, et al (5067)
- Resource and Industrial Ecology**
- Urban metabolism process based on emergy synthesis; a case study of Beijing LIU Gengyuan, YANG Zhifeng, CHEN Bin (5078)
- Evaluation on cultivated land ecological security based on the PSR model and matter element analysis ZHANG Rui, ZHENG Huawei, LIU Youzhao (5090)
- The effect of super absorbent polymer on the growth and nutrition absorption of *Festuca arundinacea* L. on an improved gangue matrix ZHAO Zhifeng, WANG Dongmei, ZHAO Tingning (5101)
- Urban, Rural and Social Ecology**
- The effect of distance on the ecological conservation value; a case study of Sanjiang Plain Wetland AO Changlin, CHEN Jinting, JIAO Yang, et al (5109)
- Research Notes**
- Scaling effect on spatial variation of soil organic carbon in mountainous areas of Guangdong Province JIANG Chun, WU Zhifeng, QIAN Lexiang, et al (5118)
- The changes of hair length and pelage thermal insulation in captive female squirrel, *Sciurus vulgarize manchuricus*, during autumn molting period JING Pu, ZHANG Wei, HUA Yan, et al (5126)

《生态学报》2013 年征订启事

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

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

《生态学报》为半月刊,大16开本,300页,国内定价90元/册,全年定价2160元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路18号 电话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网址: www.ecologica.cn

本期责任副主编 王克林 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16期 (2013年8月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 16 (August, 2013)

编辑 《生态学报》编辑部
地址:北京海淀区双清路18号
邮政编码:100085
电话:(010)62941099
www.ecologica.cn
shengtaixuebao@rcees.ac.cn

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@espg.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

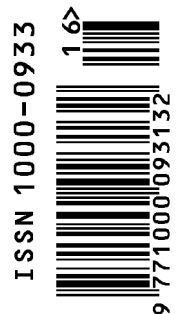
Editor-in-chief WANG Rusong
Supervised by China Association for Science and Technology
Sponsored by Ecological Society of China
Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS
Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China

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@espg.net

Domestic All Local Post Offices in China
Foreign China International Book Trading
Corporation
Add: P. O. Box 399 Beijing 100044, China



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