

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 33 卷 第 22 期 Vol.33 No.22 **2013**

中国生态学会
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 22 期 2013 年 11 月 (半月刊)

目次

前沿理论与学科综述

- 利用分布有/无数据预测物种空间分布的研究方法综述 刘芳,李晟,李迪强 (7047)
- 景观服务研究进展 刘文平,宇振荣 (7058)
- 土壤呼吸组分分离技术研究进展 陈敏鹏,夏旭,李银坤,等 (7067)

个体与基础生态

- 平茬高度对四合木生长及生理特性的影响 王震,张利文,虞毅,等 (7078)
- 不同水分梯度下珍稀植物四数木的光合特性及对变化光强的响应 邓云,陈辉,杨小飞,等 (7088)
- 水稻主茎节位分蘖及生产力补偿能力 隗溟,李冬霞 (7098)
- 基于辐热积法模拟烤烟叶面积与烟叶干物质产量 张明达,李蒙,胡雪琼,等 (7108)
- 耕作方式和秸秆还田对华北地区农田土壤水稳性团聚体分布及稳定性的影响 田慎重,王瑜,李娜,等 (7116)
- 不同光照强度下兴安落叶松对舞毒蛾幼虫生长发育及防御酶的影响 鲁艺芳,严俊鑫,李霜雯,等 (7125)
- 南方小花蝽在不同空间及笼罩条件下对西花蓟马的控制作用 莫利锋,鄧军锐,田甜 (7132)
- 浮游植物对溶解态 AI 的清除作用实验研究 王召伟,任景玲,闫丽,等 (7140)
- 卧龙巴郎山川滇高山栎群落植物叶特性海拔梯度特征 刘兴良,何飞,樊华,等 (7148)
- 春夏季闽江口和兴化湾虾类数量特征 徐兆礼,孙岳 (7157)
- 啃食性端足类强壮藻钩虾对贫营养湖三种大型海藻的摄食选择性 郑新庆,黄凌风,李元超,等 (7166)

种群、群落和生态系统

- 4 种农业措施对三化螟种群动态的控制作用 张振飞,黄炳超,肖汉祥,等 (7173)
- 黄土高原沟壑区森林带不同植物群落土壤氮素含量及其转化 邢肖毅,黄懿梅,安韶山,等 (7181)
- 基于诊断学的生态系统健康评价 蔡霞,徐颂军,陈善浩,等 (7190)
- 稻田生态系统中植硅体的产生与积累——以嘉兴稻田为例 李自民,宋照亮,姜培坤 (7197)
- 自由搜索算法的投影寻踪模型在湿地芦苇调查中的应用 李新虎,赵成义 (7204)
- 贺兰山不同海拔典型植被带土壤微生物多样性 刘秉儒,张秀珍,胡天华,等 (7211)
- 内蒙古典型草原灌丛化对生物量和生物多样性的影响 彭海英,李小雁,童绍玉 (7221)
- 黄土丘陵沟壑区 80 种植物繁殖体形态特征及其物种分布 王东丽,张小彦,焦菊英,等 (7230)
- 基于 MAXENT 模型的贺兰山岩羊生境适宜性评价 刘振生,高惠,滕丽微,等 (7243)
- 太湖湖岸带浮游植物初级生产力特征及影响因素 蔡琳琳,朱广伟,李向阳 (7250)

景观、区域和全球生态

艾比湖地区土壤呼吸对季节性冻土厚度变化的响应..... 秦 璐,吕光辉,何学敏,等 (7259)

田间条件下黑垆土基础呼吸的季节和年际变化特征..... 张彦军,郭胜利,刘庆芳,等 (7270)

资源与产业生态

光核桃遗传资源的经济价值评估与保护 张丽荣,孟 锐,路国彬 (7277)

棉花节水灌溉气象等级指标..... 肖晶晶,霍治国,姚益平,等 (7288)

研究简报

云南红豆杉人工林萌枝特性..... 苏 磊,苏建荣,刘万德,等 (7300)

赣中亚热带森林转换对土壤氮素矿化及有效性的影响..... 宋庆妮,杨清培,余定坤,等 (7309)

学术信息与动态

2013 年 European Geosciences Union 国际会议述评 钟莉娜,赵文武 (7319)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 276 * zh * P * ¥ 90.00 * 1510 * 30 * 2013-11



封面图说：山坡岩羊图——岩羊属国家二级保护动物,因喜攀登岩峰而得名,又名石羊。贺兰山岩羊主要分布于海拔 1500—2300m 的山势陡峭地带,羊群多以 2—10 只小群为主。生境适宜区主要为贺兰山东坡(宁夏贺兰山国家级自然保护区)的西南部,而贺兰山西坡(内蒙古贺兰山国家级自然保护区)也有少量分布。贺兰山建立国家级自然保护区以来,随着保护区环境的不断改善,这里岩羊的数量也开始急剧增长,每平方公里的分布数量现居世界之首,岩羊的活动范围也相应扩大到低山 900 米处的河谷。贺兰山岩羊生境选择的主要影响因子为海拔、坡度及植被。

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/stxb201207261061

李自民, 宋照亮, 姜培坤. 稻田生态系统中植硅体的产生与积累——以嘉兴稻田为例. 生态学报, 2013, 33(22): 7197-7203.

Li Z M, Song Z L, Jiang P K. The production and accumulation of phytoliths in rice ecosystems: a case study to Jiaxing Paddy Field. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(22): 7197-7203.

稻田生态系统中植硅体的产生与积累 ——以嘉兴稻田为例

李自民¹, 宋照亮^{1,2,3,*}, 姜培坤^{1,2}

(1. 浙江农林大学 环境与资源学院, 临安 311300; 2. 浙江农林大学 浙江省森林生态系统碳循环与固碳减排重点实验室, 临安 311300;

3. 中国科学院地球化学研究所环境地球化学国家重点实验室, 贵阳 550002)

摘要:在嘉兴杭嘉湖平原实验基地, 以嘉花 11、浙梗 37、宁 81、祥湖 301、秀水 09 等 5 个品种水稻及其 0—10 cm 表层土壤为研究对象, 运用微波消解和 Walkley-Black 的方法, 研究了稻田生态系统中植硅体的产生和积累通量, 为了解植硅体在稻田生态系统硅和碳生物地球化学循环中的作用提供科学参考。结果表明: (1) 植硅体含量在不同品种水稻中嘉花 11、宁 81 和祥湖 301 高于浙梗 37 和秀水 09, 在各器官中鞘>叶>茎>根>穗; (2) 水稻植株植硅体产生通量为 $1269.59 \text{ kg hm}^{-2} \text{ a}^{-1}$, 其中地上部分为 $1203.44 \text{ kg hm}^{-2} \text{ a}^{-1}$, 地下部分为 $66.15 \text{ kg hm}^{-2} \text{ a}^{-1}$, 在种植 50 a 的稻田 0—10 cm 土壤中的积累通量为 $40.38 \text{ kg hm}^{-2} \text{ a}^{-1}$; (3) 选择嘉花 11 等高植硅体含量品种进行推广种植, 对提高水稻植硅体产生通量及其包裹大气中 CO_2 通量有很大的作用。

关键词:稻田; 植硅体; 产生通量; 积累通量; 秸秆还田; 植硅体固定 CO_2

The production and accumulation of phytoliths in rice ecosystems: a case study to Jiaxing Paddy Field

LI Zimin¹, SONG Zhaoliang^{1,2,3,*}, JIANG Peikun^{1,2}

1 School of Environment and Resources, Zhejiang Agriculture and Forestry University, Lin'an 311300, China

2 Zhejiang Provincial Key Laboratory of Carbon Cycling in Forest Ecosystems and Carbon Sequestration, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, China

3 State Key Laboratory of Environmental Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China

Abstract: Phytolith, the opal of amorphous silica formed in plant tissues (e.g., cell walls, cell lumina, and intercellular spaces typically near evaporating surfaces), presents in most plants. This study selected plants of five rice cultivars of Jiahua11, Zhejing37, Ning81, Xianghu301, Xiushui09 and their corresponding surface soils (0—10 cm) at the experiment base of Hangjiahu plain in Jiaxing, to investigate the fluxes of the phytolith production and accumulation in rice ecosystems. The main purpose of this study is to provide scientific reference for understanding the role of phytoliths in biogeochemical cycles of silicon and carbon. Results showed that the phytolith content varied from 40.54 to 51.40 g/kg, with an average of 46.54 g/kg, being higher in Jiahua11, Ning81 and Xianghu 301 than that in Zhejing37 and Xiushui09. It decreased in the following order among different organs: sheath > leaf > stem > root > grains. There was a positive correlation between phytolith content and total SiO_2 in rice and soil, $R^2 = 0.8156$ ($P < 0.01$) and $R^2 = 0.355$ ($P < 0.05$), respectively. The total production flux of phytoliths for whole plants was $1269.59 \text{ kg hm}^{-2} \text{ a}^{-1}$. The aboveground and underground phytolith production flux was 1203.44 and $66.15 \text{ kg hm}^{-2} \text{ a}^{-1}$, respectively. The flux of phytolith production differed in different rice cultivars. The flux of aboveground and underground phytolith production in Jiahua11 was higher

基金项目:国家自然科学基金资助项目 (41103042); 浙江省自然科学基金资助项目 (Y5080110); 国家重点实验室开放基金联合资助 (SKLEG9011)

收稿日期: 2012-07-26; 修订日期: 2012-12-24

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: songzhaoliang78@163.com

than that of the other. The flux of phytolith production from root, stem, sheath, leaf and grains is 66.15, 131.65, 491.08, 185.36 and 395.35 kg hm⁻² a⁻¹, respectively. In rice ecosystems with 50 years of cultivation, the phytolith accumulation flux in surface soil (0—10 cm) was 40.38 kg hm⁻² a⁻¹, which was equivalent to the flux of root phytolith production, implying that the rice straws are rarely returned to the paddy soil. The production flux of rice phytolith to sequester the atmospheric CO₂ was 46.55—279.31 kg hm⁻² a⁻¹ and the accumulation flux of paddy soil phytolith sequester the atmospheric CO₂ was 1.48—8.88 kg hm⁻² a⁻¹. It was promising to improve the fluxes of phytolith production and the phytolith to sequester CO₂ by selecting high phytolith content rice varieties such as Jiahua11.

Key Words: rice ecosystems; phytoliths; production fluxes; accumulation flux; straw returning; phytolith sequestration CO₂

植硅体(Phytoliths)俗称植物蛋白石(plant opal),是植物在生长过程中依靠根系吸收土壤中可溶性的二氧化硅(SiOH₄,即单硅酸),在蒸腾等作用下,沉淀在植物的细胞壁、内腔和细胞壁间的无定形二氧化硅^[1-2]。随着植物的死亡,植物残体在微生物分解等作用下,大量的植硅体释放到土壤中^[3],由于其较强的抗分解能力,可以长时间的保存在土壤和沉积物中^[4],在第三纪^[5]甚至晚白垩纪的土壤层中都可以发现^[6]。

目前,有关植硅体的研究主要是在以下几个方面开展:农业考古^[7-9]、碳同位素研究^[10-12]、古气候重建^[13-16]、植硅体固定大气中 CO₂的潜力^[17-21]、植硅体放射性定年^[22-23]及植物分类学^[1, 24]等。植硅体作为生物硅(biogenic silica)的一个组成部分,在全球硅的生物地球化学循环中起着重要作用^[25-26],但对不同植物植硅体含量^[21]及植硅体在生物硅库中的含量变化研究较少^[27]。

世界上种植水稻的国家有 111 个,其中中国是水稻种植面积最大的国家,2011 年的水稻种植面积高达 2.96×10⁷hm²^[28],约占世界的 35%^[29]。水稻是积累硅较强的禾本科植物,其干物质含硅(SiO₂)量高达 15%^[30],对陆地表层生物硅的生物地球化学循环可能有重要影响^[31]。水稻土中植硅体形态特征及其演化等目前已有较多研究^[32-36],但水稻生态系统中植硅体的产生和积累通量及其影响因素如何目前并不清楚。本文选取杭嘉湖平原水稻种植基地的不同品种水稻及其表层土为研究对象,通过对不同品种水稻各个器官和表层土中植硅体的含量分布特征分析,并利用水稻干物质产生与归还等数据,来阐明水稻生态系统中植硅体产生和积累规律,为了解植硅体在稻田生态系统硅和碳生物地球化学循环中的作用提供科学参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

嘉善县位于太湖流域的杭嘉湖平原,地处中亚热带北缘,气候温和,雨量充沛。全县水稻种植面积 1.823 万 hm²,其中单季稻 1.611 万 hm²,是浙江省重要的商品粮基地之一。试验地选择在嘉善县西塘镇邛上村的强农兴农示范工程、农作物新品种区域试验和展示示范基地(30°56′06.3″N, 120°51′52.9″E),面积 83.33hm²,核心区面积 15.67hm²。2007 年至 2010 年,在同一块试验地内,对祥湖 301、嘉花 11、浙粳 37、宁 81、秀水 09 等 5 个品种水稻进行了对比试验。试验期间,祥湖 301、浙粳 37、宁 81、秀水 09、嘉花 11 平均 667m² 产分别为 541.3、584.2、586、516.5、600kg。

1.2 样品采集

样品采集选择在 2010 年 10 月份水稻成熟期,成熟期水稻植硅体含量最大^[37-38],在每个品种稻田中,分别采集水稻表层土(0—10cm)、根、茎鞘、叶和稻穗等样品。采集方法是在每一个品种稻田中 200cm 的范围内选择 7 个穴,每个穴采集 10—15 株水稻,连根拔起,混匀后放在塑料布上,轻轻敲打根部,去除杂草、石块后,用不锈钢剪刀于水稻露地处剪断,收集稻根,分别再采集稻穗、茎、叶和鞘,编号装袋。同时采集每个穴对应的水稻植株样品附近 0—10cm 的表层土,最后把 7 个穴的土壤混合成一个土样,约 500g。

1.3 样品处理和分析

1.3.1 土壤样品

采集的土样,经自然风干后,挑根,研磨先过 10 目筛,供土壤硅、磷有效态的分析测试,然后均匀的取出三分之一 10 目筛土样过 100 目筛供土壤全硅分析。土壤 pH、有机质、有效磷、有效硅、总硅等含量按文献^[39]方法测定。土壤植硅体的提取按照文献^[31]方法提取,但略有变动,为了提取土壤中更高纯度的植硅体含量,每份样品都要进行多次加重液重复提取,同时重液密度维持在 2.38 左右。

1.3.2 植物样品

采集的水稻植株各器官根、茎、鞘、叶和穗先分别用自来水多次冲洗,根用超声波清洗过后,和其它器官一起再用去离子水反复冲洗干净,放置鼓风烘箱中 105℃ 进行杀青 30min,最后放在鼓风烘箱中 75℃ 烘干至恒重,称其干重。各器官剪碎后混匀,分成两份,其中一份用不锈钢植物粉碎机粉碎,其中一份用剪刀剪至 1cm 左右供以植硅体提取分析。样品的总硅含量按照文献^[39]方法测定。植物样品植硅体的提取按照微波消解的方法来提取^[40],同时用 Walkley-Black 方法彻底地除去植硅体外面多余的有机质^[41]。提取出的植硅体放在干燥过的离心管内(已称重),在鼓风烘箱中 75℃ 干燥 24h,然后称重得出植硅体质量^[40]。

1.4 数据处理

本文的结果数据为 3 次重复的平均值,数据进行方差分析,并用新复极差法进行多重比较。数据的统计分析均在 Microsoft、Excel 和 DPS 等软件上进行。

2 结果与分析

2.1 水稻土壤的理化参数与植硅体含量

表 1 给出了不同品种稻田表层土壤的基本理化参数和植硅体含量变化。不同品种水稻表层土 pH 值变化不大,均值为 5.87,呈现为弱酸性。水稻表层土壤有机质较丰富,变换范围为 15.16—19.62g/kg,平均值为 22.86g/kg。土壤总 SiO₂ 和有效硅含量在不同水稻表层土中变化不大,之间差异不是很明显,均值分别为 667.03g/kg 和 227.11mg/kg。有效态 Fe₂O₃ 含量在不同水稻表层土壤中有较大的变化,变化范围为 704.89—1943.51mg/kg,均值为 1332.63mg/kg。不同品种水稻表层土壤中有效磷含量较高,变化范围为 24.73—52.60mg/kg,均值为 35.23mg/kg。

不同品种水稻表层土植硅体含量差异不显著(11.62—19.24g/kg 之间,平均值为 15.63g/kg),其中嘉花 11 土壤层最高 19.24g/kg,祥湖 301 最低 11.62g/kg。

表 1 不同品种水稻表层土壤的基本理化参数和植硅体含量

Table 1 The basic physicochemical parameters of surface soil from different rice species

品种 Species	pH	有机质 SOM /(g/kg)	总 SiO ₂ Total SiO ₂ /(g/kg)	植硅体 The phytoliths /(g/kg)	有效态 (Available form)	
					SiO ₂ /(mg/kg)	P/(mg/kg)
嘉花 11	5.75±0.21a	23.43±0.97b	661.13±41.1a	19.24±3.21a	206.10±10.48b	41.69±1.87b
祥湖 301	5.83±0.13a	15.16±0.71c	681.42±49.23a	11.62±2.13b	260.61±5.48a	28.72±3.16bc
浙梗 37	5.99±0.17a	24.83±0.45b	660.62±23.41a	15.25±1.32ab	208.63±15.13b	28.41±1.31bc
宁 81	6.00±0.03a	22.63±0.37b	661.72±37.42a	16.91±2.13ab	252.92±11.95a	52.60±2.32a
秀水 09	5.81±0.07a	29.26±0.73a	670.24±46.86a	15.13±1.03ab	207.27±4.37b	24.73±1.08c
平均值	5.87	22.86	667.03	15.63	227.11	35.23

所列数值间的差异比较为同一指标不同样品间的比较,不同字母表示数值间差异显著 ($P<0.05$)

2.2 植硅体在不同品种水稻各器官中分布特征

表 2 给出了稻田生态系统中植硅体的含量变化范围。不同品种水稻植硅体含量有一定的差异(40.54—51.40g/kg,均值为 46.54g/kg),其中嘉花 11 最高(51.40g/kg),其次是祥湖 301(50.00g/kg)和宁 81(46.40g/kg),浙梗 37(40.54g/kg)和秀水 09(44.36 g/kg)最低。

不同品种水稻各器官中植硅体含量均表现出相同的分布趋势:鞘>叶>茎>根>穗(表2)。鞘部植硅体含量最高,明显高于其余各器官,其变化范围较大在 103.06—144.04g/kg 之间,均值为 119.86g/kg;其次是叶,水稻叶部植硅体含量变化为 55.52—79.30g/kg,均值是 70.39g/kg;水稻茎部植硅体含量变化较小,在 30.90—40.16g/kg 之间,平均值是 37.61g/kg;根部植硅体含量变化较大,范围在 22.42—38.24g/kg 之间,均值是 32.41g/kg;穗部植硅体含量最低,含量变化在 15.23—27.18g/kg 之间,均值为 22.29g/kg(表2)。

表2 稻田生态系统中水稻各器官和地上部分及其表层土壤中植硅体的含量变化

Table 2 The variation of phytolith content from different rice organs, the aboveground and surface soil in rice ecosystem						
品种 Species	根 Root /(g/kg)	茎 Stem /(g/kg)	鞘 Sheath /(g/kg)	叶 Leaf /(g/kg)	穗 Grain /(g/kg)	地上部分 The ground (Mean)/(g/kg)
嘉花 11	37.23±4.02a	39.95 ±4.98a	144.01 ±7.03a	74.65 ±0.11a	21.59 ±2.05ab	51.40
祥湖 301	26.02±4.41b	39.10 ±2.38a	118.57±5.79bc	77.90 ±1.98a	27.18 ±5.75a	50.00
浙梗 37	38.24±4.83a	40.16 ±2.27a	103.06±2.37d	79.30 ±5.19a	15.52 ±1.46b	40.54
宁 81	22.42±1.62c	37.43 ±1.56a	108.85±3.83c	64.61 ±9.24ab	26.58 ±3.94a	46.40
秀水 09	38.12±1.43a	30.90 ±3.43a	124.80±5.73b	55.52 ±8.18b	20.59 ±0.31ab	44.36
平均值 Mean	32.41	37.61	119.86	70.39	22.29	46.54

所列数值间的差异比较为同一指标不同样品间的比较,不同字母表示数值间差异显著 ($P<0.05$)

3 讨论

3.1 稻田生态系统中植硅体含量的影响因素

在土壤总硅及有效硅含量差异不显著的情况下,水稻基因的不同,不同品种水稻对硅的吸收能力不同,植硅体在每个水稻植株及其各个器官中的含量也有一定的差异^[30],总体上表现出,嘉花 11、宁 81 和祥湖 301 植硅体含量较高于浙梗 37 和秀水 09。在植物蒸腾的作用下,植硅体在水稻植株中各器官中的分布均呈现出相同的分布趋势:鞘>叶>茎>根>穗^[42]。由表 2 可以看出,稻田生态系统中 0—10cm 土壤层植硅体含量明显低于水稻各器官中的,引起这个差异的原因,主要是以前的水稻植株在收割以后并没有全部归还于土壤中,仅仅剩下根部残茬留在土壤,例如本实验中祥湖 301 稻田,有机质含量很低,其表层土中植硅体含量也明显低于其它稻田表层土中的。此外,归还到土壤中的植硅体会受到一些人为的扰动、侵蚀和沉积事件等的影响,造成部分植硅体的损失^[25]。所以,土壤中的植硅体含量与植物中相比会相对少很多。

从图 1 可以看出水稻植株植硅体与其总 SiO₂有强的的正相关性,为 $R^2=0.8156(P<0.01)$ ^[31],表明水稻植株富硅能力强的部分,其植硅体含量也高。因此,为了提高植物植硅体的含量,可以选择一个高硅吸收作物

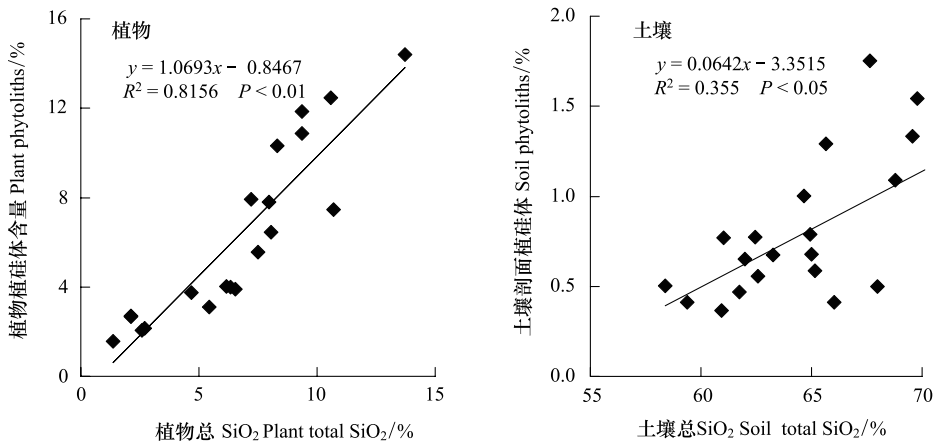


图1 稻田生态系统中植硅体与总 SiO₂ 之间的相关性(土壤剖面的数据来自文献^[31])

Fig.1 The correlation of the phytoliths and total SiO₂ in rice ecosystems

(例如,嘉花 11)进行推广。前人的研究也发现通过施用钢渣等硅肥可以明显的增加植物吸收的硅含量^[43-44],或许那些影响植物硅吸收的因素,最终可能也会对植物植硅体的积累产生一定的影响,因此可以通过硅调控机制来增加植物的硅含量,进而来提高植物植硅体的含量就显得科学可行。

由图 1 还可以看出土壤中植硅体与其总 SiO_2 有较强的正相关性, $R^2 = 0.355$ ($P < 0.05$)^[31]。表明,随着土壤中总硅的含量升高,其植硅体含量也在慢慢的增加。虽然植硅体占土壤总 SiO_2 比例很少,但是由于植硅体较强抗分解能力,可以非常稳定的保存在土壤和一些沉积层中。

土壤中有效硅和有效磷及 pH 对植物和土壤中植硅体含量影响不显著(表 1)。

3.2 稻田生态系统中植硅体及其包裹碳的产生和积累通量

为了更好地了解水稻植株各器官植硅体的产生通量,本研究对每个样品的产量和干重都进行了统计分析。穗、鞘、叶、茎和根各个器官占干物质量百分比分别为:58%、14%、9%、12%和 7%,依据对个 5 个水稻品种连续 3a 的实验结果平均产量,对每个水稻品种地上和地下部分植硅体产生通量进行了估算(图 2),其中嘉花 11 ($1483.41 \text{ kg hm}^{-2} \text{ a}^{-1}$),宁 81 ($1308.08 \text{ kg hm}^{-2} \text{ a}^{-1}$)和祥湖 301 ($1301.81 \text{ kg hm}^{-2} \text{ a}^{-1}$)地上部分植硅体产生通量,略高于浙梗 37 ($1139.23 \text{ kg hm}^{-2} \text{ a}^{-1}$)和秀水 09 ($1102.12 \text{ kg hm}^{-2} \text{ a}^{-1}$)。地下部分植硅体产生通量,嘉花 11 ($80.88 \text{ kg hm}^{-2} \text{ a}^{-1}$),浙梗 37 ($80.89 \text{ kg hm}^{-2} \text{ a}^{-1}$)和秀水 09 ($71.29 \text{ kg hm}^{-2} \text{ a}^{-1}$)明显高于祥湖 301 ($51.00 \text{ kg hm}^{-2} \text{ a}^{-1}$)和宁 81 ($47.57 \text{ kg hm}^{-2} \text{ a}^{-1}$)。在嘉兴水稻种植区选择高植硅体量和高产量的水稻品种嘉花 11 进行推广种植,对水稻植硅体产生通量的增加有一定的作用。

5 个品种水稻单季的平均产量是 8484 kg/hm^2 。利用 5 个品种水稻各器官植硅体含量平均值,得出水稻植株各器官根、茎、鞘、叶和穗植硅体产生通量分别为 66.15 、 131.65 、 491.08 、 185.36 和 $395.35 \text{ kg hm}^{-2} \text{ a}^{-1}$,地上部分植硅体产生通量为 $1203.44 \text{ kg hm}^{-2} \text{ a}^{-1}$,地下部分植硅体产生通量为 $66.15 \text{ kg hm}^{-2} \text{ a}^{-1}$,水稻植株产生通量为 $1269.59 \text{ kg hm}^{-2} \text{ a}^{-1}$ 。尽管水稻植株植硅体的产生通量很大,但是人为对水稻植株的干扰比较大,实际上植硅体在土壤中年归还量并不等于水稻植株植硅体的年产生量。例如,人为收割水稻时,仅仅是根及大约三分之一的茎秆留在了土壤中,而此时植硅体归还通量约是 $110.03 \text{ kg hm}^{-2} \text{ a}^{-1}$;而机器收割水稻时可能会让大约三分之二的地上部分茎叶留在土壤中,此时大大增加了植硅体的归还量,大约是 $604.87 \text{ kg hm}^{-2} \text{ a}^{-1}$ 。

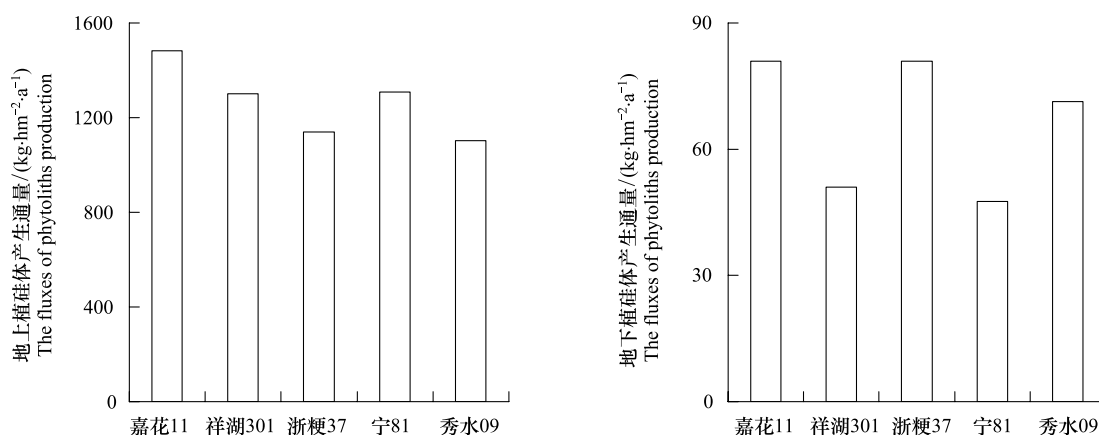


图 2 5 个品种水稻地上和地下部分植硅体产生通量

Fig.2 The fluxes of the aboveground and underground phytoliths production in five rice species

稻田 0—10cm 土壤的平均容重为 1.22 g/cm^3 ,表层土壤植硅体平均含量为 16.55 g/kg ,假设利用文献^[31]同一地区稻田 0—50cm 土壤剖面的水稻种植年限为 50a,那么植硅体在 0—10cm 土壤中的积累通量为 $40.38 \text{ kg hm}^{-2} \text{ a}^{-1}$ 。而这个年积累量基本上接近水稻根部的植硅体年归还量,这主要是原因可能是,在实验基地水稻成熟以后,基本上都是人为收割的,残留在稻田中秸秆非常少,主要是水稻根茬残留于稻田中,表层土的植硅体积累率就较低。因此,为了提高稻田生态系土壤植硅体的积累通量,增加水稻秸秆的还田就显得比较重要。

由于植物植硅体中包裹碳的含量大约为 1%—6%^[17-19],水稻植株通过植硅体包裹大气中 CO₂ 的通量约为 46.55—279.31 kg hm⁻² a⁻¹,稻田土壤中植硅体包裹大气中 CO₂ 的通量约为 1.48—8.88 kg hm⁻² a⁻¹。综上所述,选择一种高植硅体量和高产量的水稻品种(嘉花 11),进行推广种植,同时提高水稻秸秆的还田,对提高水稻植株植硅体碳汇有较好效果。

4 结论

(1)不同品种水稻植株及其各器官植硅体的含量有一定的差异,嘉花 11、宁 81 和祥湖 301 植硅体含量略高于浙粳 37 和秀水 09,各器官中植硅体的分布趋势均表现为:鞘>叶>茎>根>穗>表层土,并且土壤和水稻植株中植硅体与其总 SiO₂都呈现出较显著的正相关性。

(2)不同品种水稻植硅体产生通量有一定的差异,地上和地下部分植硅体的产生通量嘉花 11 普遍高于其它品种。水稻植株地上部分植硅体产生通量为 1203.44 kg hm⁻² a⁻¹,地下部分植硅体产生通量为 66.15 kg hm⁻² a⁻¹,植株总植硅体产生通量为 1269.59 kg hm⁻² a⁻¹。植硅体在种植 50a 的稻田 0—10cm 的土壤中的积累通量为:40.38 kg hm⁻² a⁻¹,仅相当于水稻植株根的归还量,表明在水稻收割以后地上部分秸秆归还量较少。

(3)水稻植株植硅体固定大气中 CO₂ 的通量为 46.55—279.31 kg hm⁻² a⁻¹,稻田土壤中植硅体包裹大气中 CO₂ 的通量约为 1.48—8.88 kg hm⁻² a⁻¹。选择一种高植硅体量和高产量的水稻品种(如嘉花 11)进行推广种植,可提高水稻植株植硅体的产生和积累通量以及植硅体碳汇。

致谢:感谢中国科学院南京土壤所曹志洪研究员设计和采样工作的帮助,感谢嘉兴土壤肥料试验站黄芳女士在采样过程中的帮助。

References:

- [1] Piperno D R. Phytolith Analysis: An Archaeological and Geological Perspective. San Diego: Academic Press, 1988.
- [2] Lü H Y, Jia J W, Wang W M, Wang Y J, Liu K B. On the meaning of phytolith and its classification in gramineae. *Acta Micropalaeontologica Sinica*, 2002, 19(4): 389-396.
- [3] Alexander A, Meunier J D, Colin F, Koud J M. Plant impact on the biogeochemical cycle of silicon and related weathering processes. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1997, 61(3): 677-682.
- [4] Parr J F, Sullivan L A. Soil carbon sequestration in phytoliths. *Soil Biology and Biochemistry*, 2005, 37(1): 117-124.
- [5] Strömberg C. Using phytolith assemblages to reconstruct the origin and spread of grass-dominated habitats in the great plains of North America during the late Eocene to early Miocene. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2004, 207(3/4): 239-275.
- [6] Prasad V, Strömberg C A E, Alimohammadian H, Sahni A. Dinosaur coprolites and the early evolution of grasses and grazers. *Science*, 2005, 310(5751): 1177-1180.
- [7] Lu H Y, Zhang J P, Wu N Q, Liu K B, Xu D K, Li Q. Phytoliths analysis for the discrimination of foxtail millet (*Setaria italica*) and common millet (*Panicum miliaceum*). *PLoS ONE*, 2009, 4(2): e4448.
- [8] Ranere A J, Piperno D R, Holst I, Dickau R, Iriarte J. The cultural and chronological context of early Holocene maize and squash domestication in the Central Balsas River Valley, Mexico. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2009, 106(13): 5014-5018.
- [9] Li X Q, Zhou X Y, Zhang H B, Zhou J, Shan X, Dodson J. The record of cultivated rice from archaeobiological evidence in northwestern China 5000 years ago. *Chinese Science Bulletin*, 2007, 52(10): 1372-1378.
- [10] Kelly E F, Amundson R G, Marino B D, Deniro M J. Stable isotope ratios of carbon in phytoliths as a quantitative method of monitoring vegetation and climate change. *Quaternary Research*, 1991, 35(2): 222-233.
- [11] Krull E S, Skjemstad J O, Graetz D, Grice K, Dunning W, Cook G, Parr J F. ¹³C-depleted charcoal from C₄ grasses and the role of occluded carbon in phytoliths. *Organic Geochemistry*, 2003, 34(9): 1337-1352.
- [12] Wang Y J, Lü H Y, Wang G A, Yang H, Li Z. Analysis of carbon isotope in phytoliths from C₃ and C₄ plants and modern soils. *Chinese Science Bulletin*, 2000, 45(19): 1804-1808.
- [13] Carter J A. Phytolith analysis and paleoenvironmental reconstruction from Lake Poukawa Core, Hawkes Bay, New Zealand. *Global and Planetary Change*, 2002, 33(3/4): 257-267.
- [14] Lu H Y, Wu N Q, Yang X D, Yang X D, Jiang H, Liu K B, Liu T S. Phytoliths as quantitative indicators for the reconstruction of past environmental conditions in China I: phytolith-based transfer functions. *Quaternary Science Reviews*, 2006, 25(9/10): 945-959.
- [15] Bremond L, Alexandre A, Wooller M J, Hély C, Williamson D, Schäfer P A, Majule A, Guiot J. Phytolith indices as proxies of grass subfamilies on East African tropical mountains. *Global and Planetary Change*, 2008, 61(3/4): 209-224.
- [16] Ge Y, Jie D M, Guo J X, Liu H M, Shi L X. Response of phytoliths in *Leymus chinensis* to the simulation of elevated global CO₂ concentrations in Songnen Grassland, China. *Chinese Science Bulletin*, 2010, 55(32): 3703-3708.
- [17] Parr J F, Sullivan L A, Quirk R. Sugarcane phytoliths: encapsulation and sequestration of a long-lived carbon fraction. *Sugar Tech*, 2009, 11(1): 17-21.
- [18] Parr J F, Sullivan L A, Chen B H, Ye G F, Zhang W P. Carbon bio-sequestration within the phytoliths of economic bamboo species. *Global Change Biology*, 2010, 16(10): 2661-2667.

- [19] Parr J F, Sullivan L A. Phytolith occluded carbon and silica variability in wheat cultivars. *Plant and Soil*, 2011, 342(1/2): 165-171.
- [20] Song Z L, Wang H L, Strong P J, Li Z M, Jiang P K. Plant impact on the coupled terrestrial biogeochemical cycles of silicon and carbon: Implications for biogeochemical carbon sequestration. *Earth-Science Reviews*, 2012, 319-331.
- [21] Zuo X X, Lü H Y. Carbon sequestration within millet phytoliths from dry-farming of crops in China. *Chinese Science Bulletin*, 2011, 56(32): 3451-3456.
- [22] Wilding L P, Brown R E, Holowaychuk N. Accessibility and properties of occluded carbon in biogenetic opal. *Soil Science*, 1967, 103(1): 56-61.
- [23] Mulholland S, Prior C. AMS radiocarbon dating of phytoliths // Pearsall D M, Piperno D R, eds. *MASCA Research Papers in Science and Archaeology*. Philadelphia: University of Pennsylvania, 1993, 10: 21-23.
- [24] Blackman E. Observations on the development of the silica cells of the leaf sheath of wheat (*Triticum aestivum*). *Canadian Journal of Botany*, 1969, 47(6): 827-838.
- [25] Clarke J. The occurrence and significance of biogenic opal in the regolith. *Earth-Science Reviews*, 2003, 60(3/4): 175-194.
- [26] Sommer M, Kacaorek D, Kuzyakov Y, Breuer J. Silicon pools and fluxes in soils and landscapes-a review. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 2006, 169(3): 310-329.
- [27] Borrelli N, Osterrieth M, Romanelli A, Alvarez M F, Cionchi J L, Massone H. Biogenic silica in wetlands and their relationship with soil and groundwater biogeochemistry in the Southeastern of Buenos Aires Province, Argentina. *Environmental Earth Sciences*, 2012, 65(2): 469-480.
- [28] National Bureau of Statistics of China, 2012. <http://www.stats.gov.cn/>.
- [29] Kögel-Knabner I, Amelung W, Cao Z H, Fiedler S, Frenzel P, Jahn R, Kalbitz K, Kölbl A, Schloter M. Biogeochemistry of paddy soils. *Geoderma*, 2010, 157(1/2): 1-14.
- [30] Wang Y J, Lu H Y. *The Study of Phytolith and Its Application* (in Chinese). Beijing: China Ocean Press, 1993: 1-228.
- [31] Chen L M, Zhang G L. Phytoliths and its occluded organic carbon in a stagnic anthrosols chronosequence. *Chinese Journal of Soil Science*, 2011, 42(5): 1026-1030.
- [32] Gong Z T, Chen H Z, Yuan D G, Zhao Y G, Wu Y J, Zhang G L. The temporal and spatial distribution of ancient rice in China and its implications. *Chinese Science Bulletin*, 2007, 52(8): 1071-1079.
- [33] Huang F, Zhang M. Pollen and phytolith evidence for rice cultivation during the Neolithic at Longqiuzhuang, eastern Jianghuai, China. *Vegetation History and Archaeobotany*, 2000, 9(3): 161-168.
- [34] Lu J, Hu Z Y, Cao Z H, Yang L Z, Lin X G, Dong Y H, Ding J L, Zheng Y F. Characteristics of soil fertility of buried ancient paddy at Chuodun site in Yangtze River Delta. *Scientia Agricultura Sinica*, 2006, 39(1): 109-117.
- [35] Cao Z H. Study of prehistoric irrigated paddys and ancient paddy soils in China. *Acta Pedologica Sinica*, 2008, 45(5): 784-790.
- [36] Cao Z H, Ding J L, Hu Z Y, Knicker H, Kögel-Knabner I, Yang L Z, Yin R, Lin X G, Dong Y H. Ancient paddy soils from the Neolithic age in China's Yangtze River Delta. *Naturwissenschaften*, 2006, 93(5): 232-236.
- [37] Norris A R, Hackney C T. Silica content of a Mesohaline Tidal Marsh in North Carolina. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 1999, 49(4): 597-605.
- [38] Motomura H, Mita N, Susuki M. Silica accumulation in long-lived leaves of *Sasa veitchii* (Carrière) rehd. (Poaceae-Bambusoideae). *Annals of Botany*, 2002, 90(1): 149-152.
- [39] Lu R K. *Methods of Agricultural Chemical Analysis in Soil*. Beijing: Chinese Agricultural Science and Technology Press, 2000.
- [40] Parr J F, Dolic V, Lancaster G, Boyd W E. A microwave digestion method for the extraction of phytoliths from herbarium specimens. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 2001, 116(3/4): 203-212.
- [41] Walkley A, Black I A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 1934, 37(1): 29-38.
- [42] Ma J F, Yamaji N, Tamai K, Konishi S, Fujiwara T, Katsuhara M, Yano M. An efflux transporter of silicon in rice. *Nature*, 2007, 448(7150): 209-212.
- [43] Mecfel J, Hinke S, Goedel W A, Marx G, Fehlhäber R, Bäumker E, Wienhaus O. Effect of silicon fertilizers on silicon accumulation in wheat. *J Plant Nutr Soil Sci*, 2007, 170: 769-772.
- [44] Zhang Y L, Liu M D, Wang Y J, Du L D. Effects of slag application on Si, Fe and Mn in paddy soil and rice plant. *Chinese Journal of Soil Science*, 2003, 34(4): 309-311.

参考文献:

- [2] 吕厚远, 贾继伟, 王伟铭, 王永吉, 廖淦标. “植硅体”含义和禾本科植硅体的分类. *微体古生物学报*, 2002, 19(4): 389-396.
- [9] 李小强, 周新鄂, 张宏宾, 周杰, 尚雪, Dodson J. 考古生物指标记录的中国西北地区 5000 a BP 水稻遗存. *科学通报*, 2007, 52(6): 673-678.
- [12] 王永吉, 吕厚远, 王国安, 杨辉, 李珍. C₃, C₄植物和现代土壤中硅酸体碳同位素分析. *科学通报*, 2000, 45(9): 978-982.
- [16] 葛勇, 介冬梅, 郭继勋, 刘红梅, 石连旋. 松嫩草原羊草植硅体对模拟全球 CO₂ 浓度升高的响应研究. *科学通报*, 2010, 55(22): 2735-2741.
- [28] 国家统计局, 2012. <http://www.stats.gov.cn/>.
- [30] 王永吉, 吕厚远. *植物硅酸体研究及应用*. 北京: 海洋出版社, 1993: 1-228.
- [31] 陈留美, 甘甘霖. 水耕人为土时间序列的植硅体及其闭留碳演变特征. *土壤通报*, 2011, 42(5): 1026-1030.
- [34] 卢佳, 胡正义, 曹志洪, 杨林章, 林先贵, 董元华, 丁金龙, 郑云飞. 长江三角洲埤墩遗址埋藏古水稻土肥力特征研究. *中国农业科学*, 2006, 39(1): 109-117.
- [35] 曹志洪. 中国史前灌溉稻田和古水稻土研究进展. *土壤学报*, 2008, 45(5): 784-790.
- [39] 鲁如坤. *土壤农业化学分析方法*. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.
- [44] 张玉龙, 刘鸣达, 王耀晶, 杜立达. 施用钢渣对土壤和水稻植株中硅、铁、锰元的影响. *土壤通报*, 2003, 34(4): 309-311.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.33, No.22 Nov., 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- The review of methods for mapping species spatial distribution using presence/absence data LIU Fang, LI Sheng, LI Diqiang (7047)
- A research review of landscape service LIU Wenping, YU Zhenrong (7058)
- Progress on techniques for partitioning soil respiration components and their application in cropland ecosystem CHEN Minpeng, XIA Xu, LI Yinkun, MEI Xurong (7067)

Autecology & Fundamentals

- Effect of different stubble height treatments on the annual growth index and physiological characteristics of *Tetraena mongolica* in two growing seasons WANG Zhen, ZHANG Liwen, YU Yi, et al (7078)
- Photosynthetic characteristics of an endangered species *Tetrameles nudiflora* under different light and water conditions DENG Yun, CHEN Hui, YANG Xiaofei, et al (7088)
- The compensation capacity of tillering and production of main stem nodes in rice WEI Ming, LI Dongxia (7098)
- Simulation of leaf area and dry matter production of tobacco leaves based on product of thermal effectiveness and photosynthetically active radiation ZHANG Mingda, LI Meng, HU Xueqiong, et al (7108)
- Effects of different tillage and straw systems on soil water-stable aggregate distribution and stability in the North China Plain TIAN Shenzhong, WANG Yu, LI Na, et al (7116)
- Effects of the *Larix gmelinii* grown under different light intensities on the development and defensive enzyme activities of *Lymantria dispar* larvae LU Yifang, YAN Junxin, LI Shuangwen, et al (7125)
- Biological control efficiency of *Orius similis* Zheng (Hemiptera: Anthocoridae) on *Frankliniella occidentalis* (Pergande) under different spatial and caged conditions MO Lifeng, ZHI Junrui, TIAN Tian (7132)
- Preliminary study on scavenging mechanism of dissolved aluminum by phytoplankton WANG Zhaowei, REN Jingling, YAN Li, et al (7140)
- Leaf-form characteristics of plants in *Quercus aquifolioides* community along an elevational gradient on the Balang Mountain in Wolong Nature Reserve, Sichuan, China LIU Xingliang, HE Fei, FAN Hua, et al (7148)
- Comparison of shrimp density between the Minjiang estuary and Xinhua bay during spring and summer XU Zhaoli, SUN Yue (7157)
- The feeding selectivity of an herbivorous amphipod *Ampithoe valida* on three dominant macroalgal species of Yundang Lagoon ZHENG Xinqing, HUANG Lingfeng, LI Yuanchao, et al (7166)

Population, Community and Ecosystem

- Effects of four different agricultural prevention and control measures on rice yellow stem borer *Tryporyza incertulas* (Walker) (Lepidoptera: Pyralidae) ZHANG Zhenfei, HUANG Bingchao, XIAO Hanxiang, et al (7173)
- Soil nitrogen concentrations and transformations under different vegetation types in forested zones of the Loess Gully Region XING Xiaoyi, HUANG Yimei, AN Shaoshan, et al (7181)
- Ecosystem health assessment based on diagnosis CAI Xia, XU Songjun, CHEN Shanhao, et al (7190)
- The production and accumulation of phytoliths in rice ecosystems: a case study to Jiaxing Paddy Field LI Zimin, SONG Zhaoliang, JIANG Peikun (7197)
- Application of a free search-based projection pursuit model in investigating reed in wetlands LI Xinhua, ZHAO Chengyi (7204)

- Soil microbial diversity under typical vegetation zones along an elevation gradient in Helan Mountains
..... LIU Bingru, ZHANG Xiuzhen, HU Tianhua, et al (7211)
- Effects of shrub encroachment on biomass and biodiversity in the typical steppe of Inner Mongolia
..... PENG Haiying, LI Xiaoyan, TONG Shaoyu (7221)
- Research on diaspore morphology and species distribution of 80 plants in the hill-gully Loess Plateau
..... WANG Dongli, ZHANG Xiaoyan, JIAO Juying, et al (7230)
- Habitat suitability assessment of blue sheep in Helan Mountain based on MAXENT modeling
..... LIU Zhensheng, GAO Hui, TENG Liwei, et al (7243)
- Characteristic of phytoplankton primary productivity and influencing factors in littoral zone of Lake Taihu
..... CAI Linlin, ZHU Guangwei, LI Xiangyang (7250)
- Landscape, Regional and Global Ecology**
- Responses of soil respiration to changes in depth of seasonal frozen soil in Ebinur Lake area, arid area of Northwest China
..... QIN Lu, LV Guanghui, HE Xuemin, et al (7259)
- Seasonal and annual variation characteristic in basal soil respiration of black loam under the condition of farmland field
..... ZHANG Yanjun, GUO Shengli, LIU Qingfang, et al (7270)
- Resource and Industrial Ecology**
- Economic evaluation and protection of *Amygdalus mira* genetic resource ZHANG Lirong, MENG Rui, LU Guobin (7277)
- Meteorological grading indexes of water-saving irrigation for cotton XIAO Jingjing, HUO Zhiguo, YAO Yiping, et al (7288)
- Research Notes**
- Sprouts characteristic structure of *Taxus yunnanensis* plantation SU Lei, SU Jianrong, LIU Wande, et al (7300)
- The effects of forest conversion on soil N mineralization and its availability in central jiangxi subtropical region
..... SONG Qingni, YANG Qingpei, YU Dingkun, et al (7309)

《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

本期责任副主编 杨志峰

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 22 期 (2013 年 11 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 22 (November, 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

国内外公开发刊

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元