

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 33 卷 第 20 期 Vol.33 No.20 **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 20 期 2013 年 10 月 (半月刊)

目次

前沿理论与学科综述

- 中小尺度下西北太平洋柔鱼资源丰度的空间变异..... 杨铭霞,陈新军,冯永玖,等 (6427)
- 水分和温度对若尔盖湿地和草甸土壤碳矿化的影响..... 王 丹,吕瑜良,徐 丽,等 (6436)
- 荒漠啮齿动物群落对开垦干扰的响应及其种群生态对策..... 袁 帅,付和平,武晓东,等 (6444)
- 转 Bt 基因棉花对烟粉虱天敌昆虫龟纹瓢虫的影响 周福才,顾爱祥,杨益众,等 (6455)
- 微地形改造的生态环境效应研究进展..... 卫 伟,余 韵,贾福岩,等 (6462)

个体与基础生态

- 丹顶鹤春迁期觅食栖息地多尺度选择——以双台河口保护区为例..... 吴庆明,邹红菲,金洪阳,等 (6470)
- 新疆石河子南山地区表土花粉研究..... 张 卉,张 芸,杨振京,等 (6478)
- 鄱阳湖湿地两种优势植物叶片 C、N、P 动态特征 郑艳明,尧 波,吴 琴,等 (6488)
- 基于高分辨率遥感影像的森林地上生物量估算..... 黄金龙,居为民,郑 光,等 (6497)
- 异质性光照下匍匐茎草本狗牙根克隆整合的耗益..... 陶应时,洪胜春,廖咏梅,等 (6509)
- 湘潭锰矿废弃地栎树人工林微量元素生物循环..... 罗赵慧,田大伦,田红灯,等 (6517)
- 接种彩色豆马勃对模拟酸沉降下马尾松幼苗生物量的影响 陈 展,王 琳,尚 鹤 (6526)
- 生物炭对不同土壤化学性质、小麦和糜子产量的影响 陈心想,何绪生,耿增超,等 (6534)
- 延河流域植物功能性状变异来源分析 张 莉,温仲明,苗连朋 (6543)
- 榆紫叶甲赤眼蜂基础生物学特性及其实验种群生命表..... 王秀梅,臧连生,林宝庆,等 (6553)
- 几种生态因子对拟目乌贼胚胎发育的影响 彭瑞冰,蒋霞敏,于曙光,等 (6560)

种群、群落和生态系统

- 海南铜鼓岭灌木林稀疏规律..... 周 威,龙 成,杨小波,等 (6569)
- 青海三江源区果洛藏族自治州草地退化成因分析..... 赵志平,吴晓蕾,李 果,等 (6577)
- 模拟氮沉降对华西雨屏区苦竹林凋落物基质质量的影响..... 肖银龙,涂利华,胡庭兴,等 (6587)
- 基于光合色素的钦州湾平水期浮游植物群落结构研究 蓝文陆,黎明民,李天深 (6595)
- 基于功能性状的常绿阔叶植物防火性能评价..... 李修鹏,杨晓东,余树全,等 (6604)
- 北京西山地区大山雀与其它鸟类种群间联结分析..... 董大颖,范宗骥,李扎西姐,等 (6614)
- 被动式电子标签用于花鼠种群动态研究的可行性 杨 慧,马建章,戎 可 (6634)

景观、区域和全球生态

- 华北冬小麦降水亏缺变化特征及气候影响因素分析..... 刘 勤,梅旭荣,严昌荣,等 (6643)
- 基于 FAHP-TOPSIS 法的我国省域低碳发展水平评价 胡林林,贾俊松,毛端谦,等 (6652)
- 河漫滩湿地生态阈值——以二卡自然保护区为例..... 胡春明,刘 平,张利田,等 (6662)
- 应用 Le Bissonnais 法研究黄土丘陵区植被类型对土壤团聚体稳定性的影响 刘 雷,安韶山,黄华伟 (6670)
- 不同人为干扰下纳帕海湖滨湿地植被及土壤退化特征..... 唐明艳,杨永兴 (6681)

资源与产业生态

近 10 年北京极端高温天气条件下的地表温度变化及其对城市化的响应 李晓萌,孙永华,孟 丹,等 (6694)

三峡库区小江库湾鱼类食物网的稳定 C、N 同位素分析 李 斌,徐丹丹,王志坚,等 (6704)

研究简报

北京奥林匹克森林公园绿地碳交换动态及其环境控制因子..... 陈文婧,李春义,何桂梅,等 (6712)

植被恢复对洪雅县近 15 年景观格局的影响 王 鹏,李贤伟,赵安玖,等 (6721)

高盐下条斑紫菜光合特性和 S-腺苷甲硫氨酸合成酶基因表达的变化 ... 周向红,易乐飞,徐军田,等 (6730)

学术信息与动态

生态系统服务研究进展——2013 年第 11 届国际生态学大会 (INTECOL Congress) 会议述评 房学宁,赵文武 (6736)

生态系统服务评估——2013 年第 6 届生态系统服务伙伴国际学术年会述评 巩 杰,岳天祥 (6741)

回顾过去,引领未来——2013 年第 5 届国际生态恢复学会大会 (SER 2013) 简介..... 彭少麟,陈宝明,周 婷 (6744)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 320 * zh * P * ¥ 90.00 * 1510 * 33 * 2013-10



封面图说: 荒漠旱獭——旱獭属啮齿目、松鼠科、旱獭属,是松鼠科中体型最大的一种。旱獭多栖息于平原、山地和荒漠草原地带,集群穴居,挖掘能力甚强,洞道深而复杂,多挖在岩石坡和沟谷灌丛下,从洞中推出的大量沙石堆在洞口附近,形成旱獭丘。荒漠啮齿动物是荒漠生态系统的重要成分,农业开垦对功能相对脆弱的荒漠生态系统的干扰极大,往往导致栖息地破碎化,对动植物种产生强烈影响,啮齿动物受到开垦干扰后对环境的响应及其群落的生态对策,是荒漠生态系统生物多样性及其功能维持稳定的重要基础。

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/stxb201212281891

陈心想,何绪生,耿增超,张雯,高海英.生物炭对不同土壤化学性质、小麦和糜子产量的影响.生态学报,2013,33(20):6534-6542.

Chen X X, He X S, Geng Z C, Zhang W, Gao H Y. Effects of biochar on selected soil chemical properties and on wheat and millet yield. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(20): 6534-6542.

生物炭对不同土壤化学性质、小麦和糜子产量的影响

陈心想¹, 何绪生¹, 耿增超^{1,*}, 张雯¹, 高海英^{1,2}

(1. 西北农林科技大学资源环境学院, 农业部西北植物营养与农业环境重点实验室, 杨凌 712100;

2. 史丹利化肥股份有限公司市场部, 临沭 276700)

摘要:以小麦和糜子为供试作物,利用室外盆栽试验,研究了不同添加量生物炭与矿质肥配施对两种不同土壤化学性质及小麦和糜子产量的影响。生物炭当季用量设 5 个水平: B0 (0 t/hm²)、B5 (5 t/hm²)、B10 (10 t/hm²)、B15 (15 t/hm²) 和 B20 (20 t/hm²), 氮磷钾肥均作基肥施用。结果表明: 1) 与对照相比, 施用生物炭可以显著增加新积土糜子季土壤 pH 值, 其他处理随生物炭用量的增加虽有增加趋势但差异不显著; 显著增加新积土土壤阳离子交换量, 增幅为 1.5%—58.2%; 显著增加两种土壤有机碳含量, 增幅为 31.1%—272.2%; 2) 两种土壤的矿质态氮含量、新积土土壤有效磷和速效钾含量随生物炭用量的增加而显著提高, 氮磷钾增幅分别为 6.0%—112.8%、3.8%—38.5% 和 6.1%—47.2%; 3) 生物炭可显著提高壤土上作物氮吸收量, 而作物磷、钾吸收量虽有增加, 但差异不显著。生物炭对小麦和糜子的增产效应尚不稳定, 在试验最高用量时甚至产生轻微抑制作用。总之, 施用生物炭在一定程度上可以改善土壤化学性质, 提高土壤有效养分含量, 但生物炭对土壤和作物的影响与土壤、作物类型及土壤肥力密切相关。

关键词:生物炭; 壤土; 新积土; 土壤化学性质; 小麦; 糜子; 产量

Effects of biochar on selected soil chemical properties and on wheat and millet yield

CHEN Xinxiang¹, HE Xusheng¹, GENG Zengchao^{1,*}, ZHANG Wen¹, GAO Haiying^{1,2}

1 College of Resources and Environment, Northwest Agriculture and Forestry University, Ministry of Agriculture Key Laboratory of Plant Nutrition and Agri-environment in Northwest China, Yangling 712100, China

2 Marketing Department, Stanley Fertilizer Stock CO., LTD, Linshu 276700, China

Abstract: Because of its physical, chemical, and biological stability, biochar could have a significant role in increasing soil C storage, improving soil fertility and crop yield, and maintaining the balance of the soil ecosystem. However, experimental results are variable and dependent on the experimental set-up, soil properties, and fertilizer application rates. We conducted a pot experiment to study the influence of biochar and mineral fertilizer application rates on soil quality. The biochar used in this study was prepared by pyrolyzing pruned apple tree branches at 450 °C. Two soil types were used in the study: loess soil and alluvial soil. These two soils are commonly cultivated in the Guanzhong district of Shaanxi Province. The effect of biochar application on wheat and millet productivity (both yield and above-ground biomass) was also observed. Wheat was planted in the pots first. After wheat harvest, millet was sown. Biochar was applied at five rates before planting each of the crops: B0 (0 t/hm²), B5 (5 t/hm²), B10 (10 t/hm²), B15 (15 t/hm²) and B20 (20 t/hm²). Mineral fertilizers were applied basally at the rates of 225 kg N/hm², 180 kg P₂O₅/hm², and 150 kg K₂O/hm². Soil pH, cation

基金项目:林业局“948”项目(2009-4-64);农业部“948”项目(2010-Z19);陕西省攻关项目(2010K02-12-1);陕西省自然科学基金基础研究计划项目(2010JM5004)

收稿日期:2012-12-28; 修订日期:2013-07-02

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: gengzengchao@126.com

exchange content (CEC), organic C concentration, and available nutrient concentrations were determined in the laboratory. Crop biomass and yield were also determined. Differences among the soil quality indices, among crop biomass, and among crop yields were analyzed by analysis of variance and multiple comparisons. The results showed that compared to the control treatment, biochar application increased the pH of the alluvial soil after millet harvest. The soil pH of the loess soil tended to increase as the biochar application increased; however, the increases were not significant. Biochar application increased the CEC of alluvial soil by 1.5% to 58.2%. The increases tended to be larger after wheat harvest than after millet harvest. Organic C concentrations increased in both soils as the biochar application rate increased. The increases, which ranged from 31.1% to 272.2%, tended to be larger after millet harvest than after wheat harvest. The increases were also larger in the alluvial soil than in the loess soil. Amendment with biochar increased mineral N concentrations in both soils by 6% to 112.8%, available P concentrations in alluvial soil by 3.8% to 38.5% and available K concentrations in alluvial soil by 6.1% to 47.2%. Biochar amendment increased N uptake by wheat and millet on loess soil; however, the effect of biochar on crop P and K uptake was inconsistent. Biochar amendment also had inconsistent effects on biomass production and yield of both wheat and millet. The maximum biochar application rate (20 t/hm^2) resulted in a slight decrease in wheat and millet growth. In conclusion, biochar amendment improved soil chemical properties and increased available nutrient concentrations to some extent; however, biochar amendment had negative or insignificant effects on crop yield. The effects of biochar application were related to the fertility of the soil and to the crop type. Specifically, biochar had greater effect on the low fertility soil than on the high fertility soil. The benefits of biochar on the low fertility soil increased as the biochar application rate increased.

Key Words: biochar; loess soil; alluvial soil; soil chemical properties; wheat; millet; yield

生物炭是由植物生物质在完全或部分缺氧条件下经热裂解、炭化产生的一类高度芳香化、难溶性的固态物质^[1]。全球对生物炭科学研究的重视,源于对巴西亚马逊盆地中部黑土的认识^[2],研究发现木炭可在土壤中保存数百数千年,且富含木炭的土壤比临近无木炭土壤的肥力更高。研究表明,施用生物炭可提高土壤持水容量和养分吸持容量^[3],提高阳离子交换量(CEC)低的和酸性土壤的CEC^[4],提高土壤微生物量及活性,促进土壤稳定性团聚体形成^[3],提高土壤有机碳含量^[5]和酸性土壤pH值^[4],促进作物生长和增产,有时会抑制作物生长甚至减产^[6]。此外,由于生物炭可延缓肥料释放^[7],降低肥料损失^[8],将其与矿质肥配施作物增产效果更显著。

目前,在风化土及典型热带贫瘠土壤上进行生物炭对土壤肥力和作物生长影响的研究较多^[9]。近年来,我国学者也已开始关注生物炭的相关作用,但多数研究都集中在生物炭的理化特性和环境功能等方面^[10-11],将其应用于田间作物增产方面虽已有报道^[12],但在陕西关中地区的壤土和新积土上未见报道。本研究以陕西省两种不同土壤(壤土和新积土)为研究对象,采用室外盆栽试验,对施用生物炭后土壤化学性质、土壤速效养分含量、作物产量和生物量以及作物中养分含量的变化等进行研究,试图探明生物炭对土壤化学性质和作物生长的影响,为进一步大田试验提供依据,并为生物炭在农业特别是在陕西省农业上应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

(1)供试土壤 供试土壤分别采自陕西省杨凌农业高新示范区二道塬的壤土和陕西省杨陵示范区渭河河滩的新积土。根据国际制土壤质地分级标准壤土、新积土的质地分别为壤土和砂土,其性质和颗粒组成见表1。

(2)作物 选用西北农林科技大学选育小麦(小偃22号)和宁夏固原市农业科学研究所选育糜子(宁糜14号)。

(3)生物炭 研究所用生物炭系市场采购的木炭,磨细过1 mm筛,其基本性质见表2。

表 1 供试土壤的基本化学性质

Table 1 Elementary chemical properties of soil in the pot experiment

土壤 Soil	pH (H ₂ O)	有机质 OM /(g/kg)	全氮 TN /(g/kg)	有效磷 AP /(mg/kg)	速效钾 AK /(mg/kg)	颗粒组成 Mechanical analysis/%		
						砂粒 Sand	粉粒 Silt	粘粒 Clay
塬土 Loess soil	7.77	9.58	0.76	49.95	1524.07	61.74	32.09	6.17
新积土 Alluvial soil	8.46	4.17	0.56	4.99	64.74	86.45	11.02	2.53

OM:有机质 Organic matter;TN:全氮 Total nitrogen;AP:有效磷 Available phosphorus;AK:速效钾 Available potassium

表 2 供试生物炭基本化学性质和元素含量

Table 2 Elementary chemical properties and element contents of biochar

pH	CEC /(cmol/kg)	C /%	H /%	N /%	O /%	全钾 TK/%	全磷 TP/%	粗灰分 Ash Content /%
8.73	6.63	81.13	2.36	0.69	13.15	11.01	2.64	2.67

CEC:阳离子交换量 Cation exchange content;TP:全磷 Total phosphorus;TK:全钾 Total potassium

1.2 盆栽试验设计

每种土壤各设 5 个处理,即生物炭当季施用量分别为 B0 (0 t/hm²)、B5 (5 t/hm²)、B10 (10 t/hm²)、B15 (15 t/hm²) 和 B20 (20 t/hm²),设 5 次重复,每个处理用土量为 5 kg,除生物炭用量不同外,各处理,氮、磷、钾肥(分别为硝酸铵、磷酸二氢钙、硫酸钾)均作基肥施用,用量均为每公顷 225 kg N,180 kg P₂O₅,150 kg K₂O,每次种植前取出土壤并与生物炭和肥料充分混匀后装盆。

盆栽试验进行两季,分别于 2010 年 10 月 17 日至 2011 年 5 月 20 日种植小麦,每盆定植 20 株,2011 年 6 月 15 日至 2011 年 8 月 23 日种植糜子,每盆定植 25 株。因种植小麦前按设计方案已种植一季糜子,故小麦收获时生物炭累积量分别为 0、10、20、30、40 t/hm²,在糜子收获时生物炭累积量分别为 0、15、30、45、60 t/hm²。在作物生长期根据天气及作物生长状况适量灌水,以满足作物正常生长发育所需。

1.3 测定指标及方法

作物成熟后,收获时用剪刀将穗剪下、植株沿茎基部剪下,分别装入干净信封中,置于恒温箱中 90 ℃ 杀青 30 min、65 ℃ 烘至恒重后称量,计算地上部生物量及产量,且于每盆布四点立即用土钻采集土样。

生物炭性质测定方法:采用水/样为 25:1 电位计法;CEC 采用乙酸钠-火焰光度法^[13];元素含量利用元素分析仪和能谱仪测定。

土壤各项指标均采用常规方法测定。其中,土壤 pH 值采用水土比 2.5:1 浸提-酸度计法;CEC 采用乙酸钠-火焰光度法;有机碳采用硫酸-重铬酸钾外加热法;矿质态氮采用 1 mol/L KCl 浸提-流动分析仪测定 NO₃⁻-N 和 NH₄⁺-N 后求二者之和;有效磷用 Olsen 法;速效钾用 1 mol/L NH₄OAc 浸提-火焰光度法^[13]。

植物样品(植株/种子):用浓硫酸-双氧水消煮,定容后分别用半自动定氮仪、钼锑抗比色法、火焰光度计法测定全 N、全 P、全 K^[13]。

1.4 数据处理

试验数据利用 DPS v7.05 统计软件进行单因素方差分析(One-way ANOVA),多重比较采用最小显著差异法(LSD),显著性水平设定为 0.05,用 Excel 2007 作图。

2 结果与分析

2.1 生物炭对土壤化学性质和速效养分的影响

2.1.1 生物炭对土壤化学性质的影响

如表 3 所示,土壤 pH 值随生物炭用量的增加而有增加趋势,仅新积土糜子季施炭处理较 B0 显著增加。施用生物炭后,土壤 CEC 在新积土上均随生物炭施用量的增加而显著增加,但糜子季增幅较小;而塬土土壤 CEC 虽有增加,但处理间差异均不显著。施用生物炭后,两种土壤有机碳含量均随生物炭用量的增加而显著增加,且总体上糜子季增幅大于小麦季,新积土的增幅高于塬土。由表 3 还可以看出,连续种植两季作物后,

随着生物炭的连续施入,土壤 pH 值、CEC 和有机碳含量在糜子季各处理均高于小麦季相应处理,表明生物炭在土壤中稳定性较高,分解速度较慢,连续施入后累积于土壤中。

表 3 施用生物炭对土壤化学性质的影响

Table 3 Effects of biochar on soil chemical properties

土壤 Soil		小麦 Wheat			糜子 Millet		
		pH (H ₂ O)	CEC /(cmol/kg)	有机碳/(g/kg) Soil organic carbon	pH (H ₂ O)	CEC /(cmol/kg)	有机碳/(g/kg) Soil organic carbon
新积土	B0	8.64±0.18a	1.65±0.09d	3.17±0.29d	8.65±0.22b	2.61±0.05c	4.72±0.53d
Alluvial soil	B5	8.65±0.11a	1.78±0.05d	4.59±0.43c	9.11±0.18a	2.65±0.05c	7.74±0.86c
	B10	8.67±0.06a	2.25±0.19c	5.64±0.32b	9.11±0.03a	2.71±0.03b	11.31±2.94b
	B15	8.71±0.13a	2.46±0.09b	8.04±0.64a	9.15±0.03a	2.77±0.05b	12.79±0.79b
	B20	8.72±0.03a	2.61±0.08a	8.40±0.73a	9.21±0.05a	2.85±0.04a	17.57±3.42a
壤土	B0	8.04±0.40a	5.17±0.39a	4.97±0.13c	8.68±0.05a	5.36±0.13a	6.63±0.37c
Loess soil	B5	8.10±0.16a	5.22±0.07a	7.36±0.45b	8.72±0.05a	5.36±0.39a	8.69±0.11b
	B10	8.16±0.02a	5.26±0.52a	7.54±0.05b	8.70±0.17a	5.45±0.13a	10.02±0.06b
	B15	8.18±0.05a	5.54±0.05a	8.22±0.43ab	8.67±0.04a	5.45±0.26a	13.02±0.67a
	B20	8.44±0.19a	5.59±0.33a	8.88±0.65a	8.68±0.08a	5.54±0.39a	14.80±1.38a

表中 B0、B5、B10、B15 和 B20 分别表示生物炭当季用量为 0、5、10、15 t/hm² 和 20 t/hm²,不同小写字母表示 $P<0.05$ 差异显著性水平,“±”后面的数字是标准差

2.1.2 生物炭对土壤速效养分的影响

如表 4 所示,施用生物炭后,两种土壤的矿质态氮含量均随生物炭用量的增加而显著增加,表明施用生物炭能增加土壤对 NO₃⁻ 和 NH₄⁺ 的吸持,有效地补充土壤氮素养分。土壤有效磷和速效钾含量仅在新积土的两季作物上,随生物炭用量的增加而显著增加,在壤土上虽有增加趋势但处理间无显著差异。这表明生物炭可提高新积土对氮、磷、钾的吸附保持作用,改善新积土(砂土)“漏水漏肥”的不足,从而利于作物整个生长期对养分的需求。由于壤土保水保肥性好,故生物炭对养分的吸附作用并不显著,具体效应将在下一步田间长期定位试验中研究。

表 4 施用生物炭对土壤速效养分的影响

Table 4 Effects of biochar on soil available nutrients content

土壤 Soil		小麦 Wheat			糜子 Millet		
		矿质态氮 Mineral nitrogen /(mg/kg)	有效磷 AP /(mg/kg)	速效钾 AK /(mg/kg)	矿质态氮 Mineral nitrogen /(mg/kg)	有效磷 AP /(mg/kg)	速效钾 AK /(mg/kg)
新积土	B0	10.24±0.95c	23.45±0.40d	72.82±10.55d	5.46±1.40b	15.43±2.12c	64.21±5.31c
Alluvial soil	B5	12.08±0.78b	24.34±0.82cd	82.20±6.99cd	7.06±0.95a	17.60±3.34bc	68.10±7.45bc
	B10	12.42±1.52b	25.20±1.17bc	85.32±6.54bc	7.86±0.60a	20.28±3.60ab	70.68±5.79abc
	B15	12.95±1.17b	26.23±1.93ab	95.67±8.05b	7.92±0.78a	20.75±0.25ab	74.57±1.77ab
	B20	16.21±1.57a	27.55±1.23a	107.20±6.42a	8.18±0.39a	21.37±0.32a	75.21±3.69a
壤土	B0	32.81±0.05bc	77.28±3.20a	1303.84±0.05a	6.37±0.35b	44.08±1.28a	720.98±11.55a
Loess soil	B5	27.99±4.21c	84.74±11.58a	1313.70±0.05a	6.75±0.53b	45.60±2.63a	720.98±8.08a
	B10	41.68±15.84bc	85.03±0.05a	1323.56±8.37a	7.84±2.22ab	48.31±0.40a	761.80±11.55a
	B15	52.37±11.25ab	86.09±4.77a	1338.35±17.4a	8.11±0.09ab	48.12±1.75a	778.13±0.05a
	B20	69.81±5.40a	86.43±6.06a	1372.86±9.76a	10.89±2.44a	48.50±2.56a	778.13±13.86a

2.2 生物炭对作物产量和养分吸收的影响

2.2.1 生物炭对作物地上部生物量和产量的影响

如图 1 所示,施用生物炭后,作物生物量虽有增加趋势,但除壤土小麦 B5、B10 和 B15 较 B0 显著增加了

23.6%、20.6%和 15.9%外, 壤土糜子季和新积土上两种作物生物量均无显著差异, 且生物炭在最高用量时甚至对新积土作物产生轻微抑制作用。

如图 2 所示, 施用生物炭后, 新积土糜子和壤土小麦显著增产, 其中新积土糜子仅 B10 和 B20 较 B0 显著增产 66.0%和 43.0%, 壤土小麦仅 B5 和 B10 较 B0 显著增产 38.6%和 28.3%, 而其他处理虽有变化但差异不显著, 这说明施用生物炭对小麦和糜子的增产效应尚不稳定, 有待进一步大田长期定位试验研究。

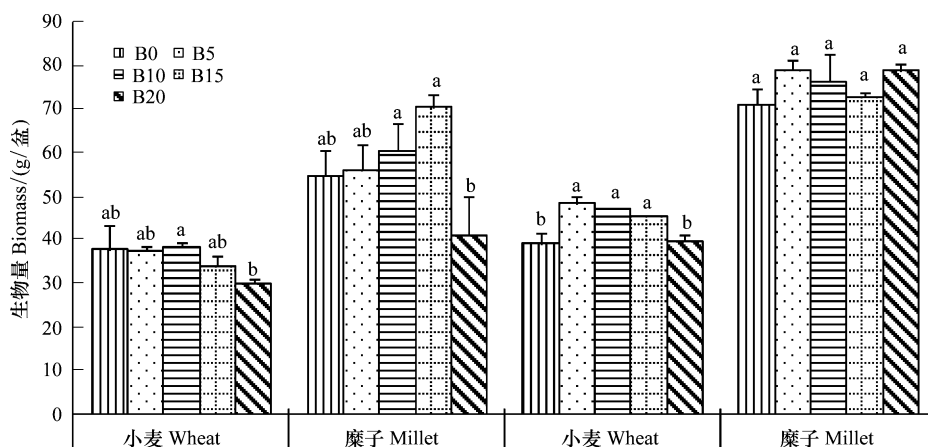


图 1 施用生物炭对小麦、糜子生物量的影响

Fig.1 Effects of biochar on dry weight of wheat and millet

图中 B0、B5、B10、B15 和 B20 分别表示生物炭当季用量为 0、5、10、15 t/hm² 和 20 t/hm²

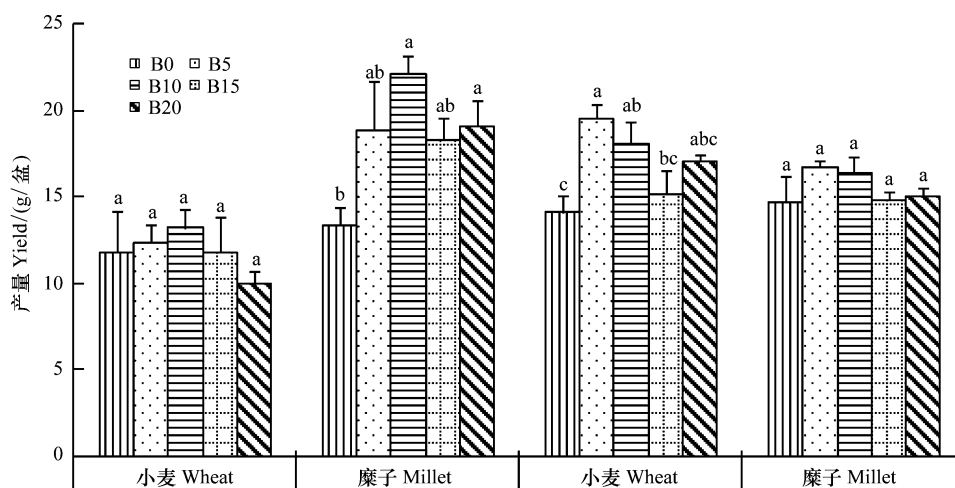


图 2 施用生物炭对小麦、糜子产量的影响

Fig.2 Effects of biochar on yield of wheat and millet

2.2.2 生物炭对作物养分吸收的影响

(1) 生物炭对作物植株内养分含量的影响

如表 5 所示, 施用生物炭后, 两种土壤上糜子植株氮含量均显著增加, 小麦季处理间无显著差异。壤土糜子植株磷含量显著降低, 而其他处理虽有增加趋势但差异不显著。两种作物植株钾含量在新积土上均显著增加, 但在壤土上处理间无显著差异。由此可知, 施用生物炭促进了糜子植株对氮素的吸收利用, 而对小麦影响不显著, 这可能与作物类型有关。施用生物炭也促进了新积土上作物对钾素的利用, 对壤土的影响较小, 这可能与土壤性质有关。

表 5 施用生物炭对作物植株养分含量的影响

Table 5 Effects of biochar on nutrient content of crop plant

土壤 Soil		小麦 Wheat			糜子 Millet		
		全氮 TN /(g/kg)	全磷 TP /(g/kg)	全钾 TK /(g/kg)	全氮 TN /(g/kg)	全磷 TP /(g/kg)	全钾 TK /(g/kg)
新积土	B0	8.25±1.70a	1.59±0.24a	16.24±0.54c	3.74±1.14c	1.33±0.61a	10.24±1.19c
Alluvial soil	B5	9.24±0.76a	1.86±0.37a	19.80±0.94b	4.94±0.20b	1.35±0.25a	10.20±0.90c
	B10	7.89±1.19a	1.95±0.29a	20.18±1.21ab	4.46±0.80bc	1.25±0.25a	10.33±0.79c
	B15	9.65±4.12a	1.80±0.13a	21.76±0.82a	4.48±0.72bc	1.57±0.37a	11.98±0.70b
	B20	6.83±0.32a	1.77±0.02a	21.73±2.06a	6.08±0.64a	1.72±0.29a	14.61±1.47a
壤土	B0	14.21±1.27a	2.84±0.02a	29.00±4.33a	3.69±0.18b	1.55±0.05a	20.24±0.70a
Loess soil	B5	13.58±1.13a	2.27±0.21a	32.75±2.50a	4.46±1.57ab	1.15±0.05c	19.51±1.85a
	B10	14.25±0.66a	3.08±0.76a	30.36±2.23a	4.47±0.05ab	1.43±0.04b	20.98±2.07a
	B15	15.76±1.44a	3.13±0.24a	30.49±1.06a	4.70±1.25ab	1.46±0.05b	19.55±0.42a
	B20	13.59±0.03a	2.75±0.27a	29.99±1.26a	6.70±0.33a	1.46±0.05b	19.07±0.66a

(2) 生物炭对作物籽粒中养分含量的影响

如表 6 所示,施用生物炭后,籽粒氮含量在新积土上两季作物均显著提高,而在壤土上仅小麦季显著提高,籽粒磷含量仅在新积土小麦季显著提高,籽粒钾含量仅在壤土糜子季显著提高,其他处理虽有增加趋势但处理间差异不显著。

表 6 施用生物炭对作物籽粒养分含量的影响

Table 6 Effects of biochar on nutrient content of crop seeds

土壤 Soil		小麦 Wheat			糜子 Millet		
		全氮 TN /(g/kg)	全磷 TP /(g/kg)	全钾 TK /(g/kg)	全氮 TN /(g/kg)	全磷 TP /(g/kg)	全钾 TK /(g/kg)
新积土	B0	26.22±0.26c	3.68±0.21c	2.27±0.19a	13.23±1.43c	2.48±0.18ab	2.01±0.53a
Alluvial soil	B5	27.26±0.80b	4.12±1.10b	2.23±0.12a	14.34±0.42bc	2.10±0.04b	2.24±0.54a
	B10	26.37±0.43c	4.03±0.14b	2.24±0.12a	13.91±1.03c	2.11±0.13b	2.07±0.35a
	B15	28.89±0.11a	4.55±0.15a	2.32±0.12a	15.48±0.77ab	2.61±0.29ab	1.32±0.15a
	B20	29.00±0.10a	4.39±0.15a	2.33±0.12a	16.37±1.10a	2.69±0.66a	2.02±0.91a
壤土	B0	21.02±0.05b	4.04±0.46a	2.28±0.01a	14.23±0.71a	3.69±0.28a	2.95±0.17c
Loess soil	B5	23.68±5.16ab	4.39±0.12a	2.29±0.02a	14.68±0.05a	3.36±0.62a	2.83±0.38c
	B10	28.39±0.43a	4.03±0.58a	2.39±0.19a	15.40±2.24a	3.61±0.05a	3.06±0.05bc
	B15	28.16±0.79ab	4.04±0.05a	2.41±0.17a	14.89±0.05a	3.69±0.73a	3.49±0.18ab
	B20	—	4.22±0.05a	2.25±0.05a	16.72±0.22a	3.53±0.10a	3.60±0.01a

(3) 生物炭对作物养分吸收量的影响

如表 7 所示,施用生物炭后,壤土上两季作物氮素吸收总量均显著提高,磷素和钾素吸收总量分别在新积土糜子季和壤土小麦季显著提高,其他处理间虽有增加但均无显著差异。

3 讨论

3.1 生物炭与土壤化学性质的关系

本试验所用生物炭 pH 值较高,施入土壤后除了增加新积土糜子季土壤 pH 值外,对其他处理 pH 值影响并不显著,这与前人研究结果^[4]不一致,主要原因可能是原始土壤 pH 值较高,生物炭灰分中的可溶性盐基离子,如钙、镁、钾、钠等,溶于水后不能显著提高土壤盐基离子饱和度。新积土糜子季炭处理土壤 pH 值较对照变化较大,原因之一可能是本研究为盆栽试验,装土量有限,使土壤缓冲性能减弱;另一方面可能是新积土 CEC 较小,缓冲容量较小所致,该结论还有待于大田长期定位试验进一步研究。

表 7 施用生物炭对作物养分吸收量的影响

Table 7 Effects of biochar on uptake of nutrients by crops

土壤 Soil		小麦 Wheat			糜子 Millet		
		氮 N /(g/盆)	磷 P /(g/盆)	钾 K /(g/盆)	氮 N /(g/盆)	磷 P /(g/盆)	钾 K /(g/盆)
新积土 Alluvial soil	B0	0.62±0.10a	0.11±0.01ab	0.73±0.10a	0.43±0.11a	0.10±0.03b	0.57±0.14a
	B5	0.62±0.22a	0.12±0.02ab	0.77±0.04a	0.51±0.21a	0.11±0.02b	0.61±0.22a
	B10	0.65±0.08a	0.14±0.02a	0.81±0.07a	0.52±0.23a	0.13±0.05ab	0.67±0.09a
	B15	0.62±0.10a	0.12±0.03ab	0.81±0.08a	0.55±0.01a	0.18±0.04a	0.83±0.01a
	B20	0.52±0.04a	0.10±0.01b	0.75±0.07a	0.57±0.13a	0.12±0.05ab	0.84±0.23a
壤土 Loess soil	B0	0.88±0.07b	0.17±0.01a	1.37±0.05b	0.47±0.04b	0.16±0.01a	1.40±0.05a
	B5	1.12±0.10a	0.20±0.02a	1.64±0.20a	0.60±0.14ab	0.15±0.02a	1.65±0.01a
	B10	1.19±0.03a	0.22±0.04a	1.48±0.11ab	0.60±0.10ab	0.17±0.02a	1.55±0.32a
	B15	1.15±0.03a	0.20±0.02a	1.43±0.03ab	0.57±0.09ab	0.16±0.01a	1.58±0.12a
	B20	—	0.18±0.02a	1.24±0.05b	0.78±0.05a	0.17±0.05a	1.60±0.01a

土壤 CEC 是衡量土壤肥力的重要指标,可直接反映土壤吸持和供给可交换养分的能力,而土壤胶体的比表面积和表面负电荷密度决定了其大小^[14],因此,土壤的固相组成直接影响土壤 CEC。生物炭比表面积大,可以增强土壤对阳离子的吸附能力^[15],增加耕层土壤 CEC^[16]。由于 CEC 的形成主要与土壤有机质含量和粘粒含量有关,因此本试验中生物炭显著提高了有机质较低的新积土 CEC,而对有机质较高的壤土影响相对较弱。连续种植两季作物后,糜子季 CEC 均大于小麦季,可能是因为随着生物炭与土壤相互作用时间的延长,在生物或非生物作用下,生物炭表面可部分被轻度氧化形成羰基、酚基和酮基等官能团^[17],其电荷量或 CEC 增大,从而增大土壤 CEC。

本试验施用生物炭显著增加土壤有机碳含量,其增幅随生物炭用量的增加而增加,且新积土的增幅高于壤土,这是由于生物炭富含有机碳,可以增加土壤有机碳含量^[4,18],以及土壤有机质^[3,19]或腐殖质含量,而新积土原土的有机碳含量明显低于壤土,施入生物炭后,通过激发效应促进土壤有机质的分解^[20],有机碳含量迅速提高。在连续种植两季作物后,同一土壤糜子季土壤有机碳含量均高于小麦季,且两季作物土壤有机碳含量均高于原始土壤。原因一方面可能是土壤处理时残留了极细小的植物残体;另一方面,生物炭的稳定性较高,随着生物炭的逐季施入,土壤中累积的生物炭增多,一些极细小的生物炭颗粒可能附着于土壤表面^[21]。

3.2 生物炭与土壤养分变化的关系

生物炭具有较大的比表面积,施入土壤后可以吸附多种离子,从而提高土壤的保肥性能^[22],但其对养分是一种选择性吸持^[23],对 NH_4^+ 、 NO_3^- 吸附作用较强^[3]。本试验施用生物炭显著增加土壤矿质态氮含量,且增幅随生物炭用量的增加而增加,这与前人室内培养试验结果一致^[24]。已有研究指出生物炭可以增加有效 P、K、Mg 和 Ca 含量^[25],但本试验施用生物炭显著提高了新积土有效 P、K 含量,但对壤土影响不显著。原因可能是新积土养分含量较低且易淋失,施入生物炭后,由于炭本身含有一定养分即可作为肥料提高土壤肥力^[11],而且其巨大表面积易吸附养分,从而提高了土壤速效养分含量,而对肥力高的壤土影响较小。

3.3 生物炭与作物产量、生物量及养分吸收的关系

前人研究表明^[9,12,26],施用生物炭可以显著促进作物生长,增加作物地上部干物质的积累和作物产量。本研究结果显示,仅壤土小麦生物量显著增加,且生物炭在最高用量时甚至对新积土上作物生物量产生轻微的抑制作用。施用生物炭对小麦和糜子的增产效应尚无规律,新积土小麦和壤土糜子均未显著增产,而新积土糜子和壤土小麦季显著增产。原因一方面可能与土壤和作物类型有关,因为在酸性和中性、粗或中等质地的土壤上生物炭的增产效应较显著^[27];另一方面,生物炭含碳量高而矿质养分含量低,施入土壤后作物直接利用的养分有限,土壤 C/N 比提高,进而降低土壤养分尤其是氮素有效性^[28],因而在多数土壤上单独施用生物炭,会导致当季或几季作物无增产效应,甚至减产^[7]。因此,生物炭的增产效应可能与土壤肥力状况、生物

炭用量、矿质肥管理、作物和土壤类型等因素有关^[29],具有较大的不确定性。

有研究表明,施用生物炭有利于增加作物组织中磷、钾、钙、镁等元素吸收^[30]。本试验结果表明,施用生物炭显著提高了壤土上两种作物氮吸收量,而对磷、钾吸收量的影响尚不稳定,且同一土壤不同作物响应不同。原因可能是生物炭和氮肥配施提高了土壤 pH 值,可能降低了磷和某些微量元素的有效性^[29-30],从而不利于作物对养分的吸收,还与作物类型和种植年限有关。

4 结论

(1)生物炭显著增加了新积土糜子季土壤 pH 值,其他处理虽随生物炭用量增加而有增加趋势但差异不显著;显著增加新积土土壤 CEC,小麦季增幅较大,而对壤土土壤 CEC 影响不显著;显著增加两种土壤有机碳含量,且新积土增幅高于壤土,糜子季增幅大于小麦季。

(2)生物炭可显著提高两种土壤的矿质态氮含量,显著提高新积土土壤有效磷和速效钾含量,而对壤土磷钾含量无显著影响。

(3)施用生物炭对小麦和糜子的增产效应尚不明确,不同土壤上不同作物对生物炭的响应不同,与土壤肥力状况有关。生物炭可显著提高壤土上作物氮吸收量,而作物磷、钾吸收量虽有增加但差异不显著,且同一土壤不同作物响应不同。

References:

- [1] Antal M J, Gronli M. The art, science, and technology of charcoal production. *Industrial Engineering Chemistry Research*, 2003, 42(8): 1619-1640.
- [2] Sombroek W. Amazon Soils: A Reconnaissance of the Soils of the Brazilian Amazon Region. Wageningen: Center for Agricultural Publications and Documentation, 1966.
- [3] Kimetu J M, Lehmann J. Stability and stabilisation of biochar and green manure in soil with different organic carbon contents. *Australian Journal of Soil Research*, 2010, 48(7): 577-585.
- [4] van Zwieten L, Kimber S, Morris S, Chan K Y, Downie A, Rust J, Joseph S, Cowie A. Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility. *Plant and Soil*, 2010, 327(1/2): 235-246.
- [5] Lehmann J, Gaunt J, Rondon M. Bio-char sequestration in terrestrial ecosystems a review. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 2006, 11(2): 403-427.
- [6] Glaser B, Haumaier L, Guggenberger G, Zech W. The 'Terra Preta' phenomenon a model for sustainable agriculture in the humid tropics. *Naturwissenschaften*, 2001, 88(1): 37-41.
- [7] Khan M A, Kim K W, Wang M Z, Lim B K, Lee W H, Lee J Y. Nutrient-impregnated charcoal: an environmentally friendly slow-release fertilizer. *The Environmentalist*, 2008, 28(3): 231-235.
- [8] Laird D, Fleming P, Davis D D, Horton R, Wang B Q, Karlen D. Impact of biochar amendments on the quality of a typical Midwestern agricultural soil. *Geoderma*, 2010, 158(3/4): 443-449.
- [9] Steiner C, Teixeira W G, Lehmann J, Nehls T, de Macêdo J L V, Blum W E H, Zech W. Long term effects of manure, charcoal and mineral fertilization on crop production and fertility on a highly weathered central Amazonian upland soil. *Plant and Soil*, 2007, 291(1/2): 275-290.
- [10] Liu Y X, Liu W, Wu W X, Zhong Z K, Chen Y X. Environmental behavior and effect of biomass derived black carbon in soil: A review. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2009, 20(4): 977-982.
- [11] Zhang A F, Pan G X, Li L Q. Biochar and the effect on C stock enhancement, emission reduction of greenhouse gases and soil reclamation. *Journal of Agro-Environment Science*, 2009, 28(12): 2459-2463.
- [12] Liu S J, Dou S. The effects of black carbon on growth of maize and the absorption and leaching of nutrients. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2009, 3(1): 79-82.
- [13] Bao S D. *Soil and Agricultural Chemistry Analysis*. 3rd ed. Beijing: China Agriculture Press, 2001.
- [14] Yu T R, Cheng Z C. *Chemical Process of the Soil Formation*. Beijing: Science Press, 1990.
- [15] Song Y J, Gong J. Effects of biochar application on soil ecosystem functions. *Ludong University Journal: Natural Science Edition*, 2010, 26(4): 361-365.
- [16] Liang B, Lehmann J, Solomon D, Kinyangi J, Grossman J, O'Neill B, Skjemstad J O, Thies J, Luizão F J, Petersen J, Neves E G. Black carbon increases cation exchange capacity in soils. *Soil Science Society of America Journal*, 2006, 70(5): 1719-1730.

- [17] He X S, Zhang S Q, She D, Geng Z C, Gao H Y. Effects of biochar on soil and fertilizer and future research. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2011, 27(15): 16-25.
- [18] Huang C, Liu L J, Zhang M K. Effects of biochar on properties of red soil and ryegrass growth. *Journal of Zhejiang University: Agriculture & Life Sciences*, 2011, 37(4): 439-445.
- [19] Hua L, Zhang C, Ma H R, Yu W. Environmental benefits of biochar made by agricultural straw when applied to soil. *Ecology and Environmental Sciences*, 2010, 19(10): 2489-2492.
- [20] Wardle D A, Nilsson M C, Zackrisson O. Fire-derived charcoal causes loss of forest humus. *Science*, 2008, 320(5876): 629-629.
- [21] Gao H Y, He X S, Chen X X, Zhang W, Geng Z C. Effect of biochar and biochar-based ammonium nitrate fertilizers on soil chemical properties and crop yield. *Journal of Agro-Environment Science*, 2012, 31(10): 1948-1955.
- [22] Kolb S E, Fermanich K J, Dornbush M E. Effect of charcoal quantity on microbial biomass and activity in temperate soils. *Soil Science Society of American Journal*, 2009, 73(4): 1173-1181.
- [23] Palumbo A V, Porat I, Phillips J R, Amonette J E, Drake M M, Brown S D, Schadt C W. Leaching of mixtures of biochar and fly ash; Report of World of Coal Ash (WOCA) Conference, Lexington, 2009.
- [24] Ding Y, Liu Y X, Wu W X, Shi D Z, Yang M, Zhong Z K. Evaluation of biochar effects on nitrogen retention and leaching in multi-layered soil columns. *Water, Air, and Soil Pollution*, 2010, 213(1/4): 47-55.
- [25] Topoliantz S, Ponge J F, Ballof S. Manioc peel and charcoal: A potential organic amendment for sustainable soil fertility in the tropics. *Biology and Fertility of Soils*, 2005, 41(1): 15-21.
- [26] Zhang W J, Li Z F, Zhang Q Z, Du Z L, Ma M Y, Wang Y D. Impacts of biochar and nitrogen fertilizer on spinach yield and tissue nitrate content from a pot experiment. *Journal of Agro-Environment Science*, 2011, 30(10): 1946-1952.
- [27] Jeffery S, Verheijen F G A, van der Velde M, Bastos A C. A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2011, 144(1): 175-187.
- [28] Zhong X M, Zhu Y N, Liu J, Qin A G. Influence of bamboo-charcoal coating on N leaching and effectiveness of fertilizers. *Journal of Agro-Environment Science*, 2006, 25(Supplement): 154-157.
- [29] Lu G Y, Zhang Y, Wang X F, Meng Y. Effects of carbon base fertilizers on soil physical properties and maize yield. *Journal of Hebei Agricultural Sciences*, 2011, 15(5): 50-53.
- [30] Major J, Rondon M, Molina D, Riha S J, Lehmann J. Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol. *Plant and Soil*, 2010, 333(1/2): 117-128.

参考文献:

- [10] 刘玉学, 刘微, 吴伟祥, 钟哲科, 陈英旭. 土壤生物炭环境行为与环境效应. *应用生态学报*, 2009, 20(4): 977-982.
- [11] 张阿凤, 潘根兴, 李恋卿. 生物黑炭及其增汇减排与改良土壤意义. *农业环境科学学报*, 2009, 28(12): 2459-2463.
- [12] 刘世杰, 窦森. 黑碳对玉米生长和土壤养分吸收与淋失的影响. *水土保持学报*, 2009, 3(1): 79-82.
- [13] 鲍士旦. 土壤农化分析 (第三版). 北京: 中国农业出版社, 2001.
- [14] 于天仁, 陈志诚. 土壤发生中的化学过程. 北京: 科学出版社, 1990.
- [15] 宋延静, 龚骏. 施用生物炭对土壤生态系统功能的影响. *鲁东大学学报: 自然科学版*, 2010, 26(4): 361-365.
- [17] 何绪生, 张树清, 余雕, 耿增超, 高海英. 生物炭对土壤肥料的作用及未来研究. *中国农学通报*, 2011, 27(15): 16-25.
- [18] 黄超, 刘丽君, 章明奎. 生物炭对红壤性质和黑麦草生长的影响. *浙江大学学报: 农业与生命科学版*, 2011, 37(4): 439-445.
- [19] 花莉, 张成, 马宏瑞, 余旺. 秸秆生物炭土地利用的环境效益研究. *生态环境学报*, 2010, 19(10): 2489-2492.
- [21] 高海英, 何绪生, 陈心想, 张雯, 耿增超. 生物炭及炭基硝酸铵肥料对土壤化学性质及作物产量的影响. *农业环境科学学报*, 2012, 31(10): 1948-1955.
- [26] 张万杰, 李志芳, 张庆忠, 杜章留, 马铭辉, 王一丁. 生物炭和氮肥配施对菠菜产量和硝酸盐含量的影响. *农业环境科学学报*, 2011, 30(10): 1946-1952.
- [28] 钟雪梅, 朱义年, 刘杰, 秦爱国. 竹炭包膜对肥料氮淋溶和有效性的影响. *农业环境科学学报*, 2006, 25(增刊): 154-157.
- [29] 卢广远, 张艳, 王祥福, 孟彦. 炭基肥料种类对土壤物理性质及玉米产量的影响. *河北农业科学*, 2011, 15(5): 50-53.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.33, No.20 Oct., 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Spatial variability of small and medium scales' resource abundance of *Ommastrephes bartramii* in Northwest Pacific YANG Mingxia, CHEN Xinjun, FENG Yongjiu, et al (6427)
- The effect of moisture and temperature on soil C mineralization in wetland and steppe of the Zoige region, China WANG Dan, LV Yuliang, XU Li, et al (6436)
- Response and population bionomic strategies of desert rodent communities towards disturbance of cultivation YUAN Shuai, FU Heping, WU Xiaodong, et al (6444)
- Effects of Bt-cotton on *Propylea japonica*, an Enemy Insect of *Bemisia tabaci* (Gennadius) ZHOU Fucui, GU Aixiang, YANG Yizhong, et al (6455)
- Research progress in the ecological effects of micro-landform modification WEI Wei, YU Yun, JIA Fuyan, et al (6462)

Autecology & Fundamentals

- A multi-scale feeding habitat selection of Red-crowned crane during spring migration at the Shuangtaihekou Nature Reserve, Liaoning Province, China WU Qingming, ZOU Hongfei, JIN Hongyang, et al (6470)
- Surface pollen research of Nanshan region, Shihezi City in Xinjiang ZHANG Hui, ZHANG Yun, YANG Zhenjing, et al (6478)
- Dynamics of leaf carbon, nitrogen and phosphorus of two dominant species in a Poyang Lake wetland ZHENG Yanming, YAO Bo, WU Qin, et al (6488)
- Estimation of forest aboveground biomass using high spatial resolution remote sensing imagery HUANG Jinlong, JU Weimin, ZHENG Guang, et al (6497)
- Cost-benefits of the clonal integration of *Cynodon dactylon*, a stolon herbaceous plant, under heterogeneous lighting condition TAO Yingshi, HONG Shengchun, LIAO Yongmei, et al (6509)
- Biological cycling of *Koeleria paniculata* plantation microelements in Xiangtan Manganese Mine wasteland LUO Zhaohui, TIAN Dalun, TIAN Hongdeng, et al (6517)
- Effects of ectomycorrhizal fungi (*tinctorius* (Pers.) Coker & Couch) on the biomass of masson pine (*Pinus massoniana*) seedlings under simulated acid rain CHEN Zhan, WANG Lin, SHANG He (6526)
- Effects of biochar on selected soil chemical properties and on wheat and millet yield CHEN Xinxiang, HE Xusheng, GENG Zengchao, et al (6534)
- Source of variation of plant functional traits in the Yanhe river watershed: the influence of environment and phylogenetic background ZHANG Li, WEN Zhongming, MIAO Lianpeng (6543)
- The general biology and experimental population life table about *Asynacta ambrostomae* WANG Xiumei, ZANG Liansheng, LIN Baoqing, et al (6553)
- Effect of several ecological factors on embryonic development of *Sepia lycidas* PENG Ruibing, JIANG Xiamin, YU Shuguang, et al (6560)

Population, Community and Ecosystem

- The thinning regular of the the shrubbery at Tongguling National Nature Reserve on Hainan Island, China ZHOU Wei, LONG Cheng, YANG Xiaobo, et al (6569)
- The cause of grassland degradation in Golog Tibetan Autonomous Prefecture in the Three Rivers Headwaters Region of Qinghai Province ZHAO Zhiping, WU Xiaopu, LI Guo, et al (6577)
- Effects of simulated nitrogen deposition on substrate quality of litterfall in a *Pleioblastus amarus* plantation in Rainy Area of West China XIAO Yinlong, TU Lihua, HU Tingxing, et al (6587)
- Phytoplankton community structure based on pigment composition in Qinzhou bay during average water period LAN Wenlu, LI Mingmin, LI Tianshen (6595)
- Functional trait-based evaluation of plant fireproofing capability for subtropical evergreen broad-leaved woody plants LI Xiupeng, YANG Xiaodong, YU Shuquan, et al (6604)
- Interspecific associations between *Parus major* and other bird communities in Beijing Xishan region DONG Daying, FAN Zhongji, LI Zhaxijie, et al (6614)

- Feasibility analysis of passive integrated transponders in population ecology studies of Siberian chipmunk
 YANG Hui, MA Jianzhang, RONG Ke (6634)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Dynamic variation of water deficit of winter wheat and its possible climatic factors in Northern China
 LIU Qin, MEI Xurong, YAN Changrong, et al (6643)
- Study on the levels' evaluation of provincial low-carbon development in China based on the FAHP-TOPSIS method
 HU Linlin, JIA Junsong, MAO Duanqian, et al (6652)
- An investigation of the safety threshold of a floodplain wetland: a case study of the Er-Ka Nature Reserve, China
 HU Chunming, LIU Ping, ZHANG Litian, et al (6662)
- Application of le bissonnais method to study soil aggregate stability under different vegetaion on the loess plateau
 LIU Lei, AN Shaoshan, Huang Huawei (6670)
- Analysis of vegetation and soil degradation characteristics under different human disturbance in lakeside wetland, Napahai
 TANG Mingyan, YANG Yongxing (6681)

Resource and Industrial Ecology

- Changes of land surface temperature and its response to urbanization under the extreme high-temperature background in recent
 ten years of Beijing LI Xiaomeng, SUN Yonghua, MENG Dan, et al (6694)
- Stable isotope (^{13}C and ^{15}N) analysis of fish food web of the Xiaojiang Bay in Three Gorges Reservoir
 LI Bin, XU Dandan, WANG Zhijian, et al (6704)

Research Notes

- Dynamics of CO_2 exchange and its environmental controls in an urban green-land ecosystem in Beijing Olympic Forest Park
 CHEN Wenjing, LI Chunyi, HE Guimei, et al (6712)
- Effects of vegetation restoration on landscape pattern of Hongya Country in recent 15 years
 WANG Peng, LI Xianwei, ZHAO Anjiu, et al (6721)
- Photosynthetic characteristics and SAMS gene expression in the red alga *Porphyra yezoensis* Ueda under high salinity
 ZHOU Xianghong, YI Lefei, XU Juntian, et al (6730)

《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 宋金明

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 20 期 (2013 年 10 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 20 (October, 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