

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

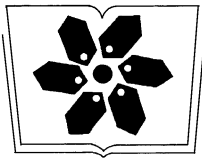
Acta Ecologica Sinica



第33卷 第15期 Vol.33 No.15 **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 15 期 2013 年 8 月 (半月刊)

目次

前沿理论与学科综述

- 红树林生态系统遥感监测研究进展..... 孙永光,赵冬至,郭文永,等 (4523)
- 基于能值分析方法的都市代谢过程研究——理论与方法 刘耕源,杨志峰,陈 彬 (4539)
- 关于生态文明建设与评价的理论思考 赵景柱 (4552)

个体与基础生态

- 长江口及邻近海域秋冬季小型底栖动物类群组成与分布..... 于婷婷,徐奎栋 (4556)
- 灌河口邻近海域春季浮游植物的生态分布及其营养盐限制..... 方 涛,贺心然,冯志华,等 (4567)
- 春季海南岛近岸海域尿素与浮游生物的脲酶活性..... 黄凯旋,张云,欧林坚,等 (4575)
- 模拟酸雨对蒙古栎幼苗生长和根系伤流量的影响..... 梁晓琴,刘 建,丁文娟,等 (4583)
- 有机酸类化感物质对甜瓜的化感效应..... 张志忠,孙志浩,陈文辉,等 (4591)
- 稻田土壤氧化态有机碳组分变化及其与甲烷排放的关联性..... 吴家梅,纪雄辉,霍莲杰,等 (4599)
- 双氰胺单次配施和连续配施的土壤氮素形态和蔬菜硝酸盐累积变化..... 王煌平,张 青,翁伯琦,等 (4608)
- 不同类型土壤中分枝杆菌噬菌体分离率的比较..... 徐凤宇,苏胜兵,马红霞,等 (4616)
- 模拟酸雨对小麦产量及籽粒蛋白质和淀粉含量及组分的影响 卞雅姣,黄 洁,孙其松,等 (4623)
- 麻花秦艽种子休眠机理及其破除方法 李兵兵,魏小红,徐 严 (4631)
- 4 种金色叶树木对 SO_2 胁迫的生理响应 种培芳,苏世平 (4639)
- 硫丹及其主要代谢产物对紫色土中酶活性的影响..... 熊佰炼,张进忠,代 娟,等 (4649)

种群、群落和生态系统

- 群落水平食物网能流季节演替特征..... 徐 军,周 琼,温周瑞,等 (4658)
- 千岛湖岛屿社鼠的种群数量动态特征..... 张 旭,鲍毅新,刘 军,等 (4665)
- 黄土丘陵沟壑区不同植被区土壤生态化学计量特征..... 朱秋莲,邢肖毅,张 宏,等 (4674)
- 青藏高原高寒草甸退化与人工恢复过程中植物群落的繁殖适应对策..... 李媛媛,董世魁,朱 磊,等 (4683)
- 杉木人工林土壤质量演变过程中土壤微生物群落结构变化..... 刘 丽,徐明恺,汪思龙,等 (4692)
- 不同玉米品种(系)对玉米蚜生长发育和种群增长的影响 赵 曼,郭线茹,李为争,等 (4707)
- 伏牛山自然保护区森林冠层结构对林下植被特征的影响..... 卢训令,丁圣彦,游 莉,等 (4715)
- 内蒙古武川县农田退耕还草对粪金龟子群落的影响 刘 伟,门丽娜,刘新民 (4724)
- 铜和营养缺失对海州香薷两个种群生长、耐性及矿质营养吸收的差异影响 柯文山,陈世俭,熊治廷,等 (4737)
- 新疆喀纳斯国家自然保护区植被叶面积指数观测与遥感估算..... 咎 梅,李登秋,居为民,等 (4744)

景观、区域和全球生态

基于 LUCC 的生态系统服务空间化研究——以张掖市甘州区为例 梁友嘉,徐中民,钟方雷,等 (4758)

人工管理和自然驱动下盐城海滨湿地互花米草沼泽演变及空间差异 张华兵,刘红玉,侯明行 (4767)

基于 PCA 的滇西北高原纳帕海湿地退化过程分析及其评价 尚 文,杨永兴,韩大勇 (4776)

基于遥感和地理信息系统的图们江地区生态安全评价..... 南 颖,吉 喆,冯恒栋,等 (4790)

呼中林区森林景观的历史变域模拟及评价..... 吴志丰,李月辉,布仁仓,等 (4799)

降水时间对内蒙古温带草原地上净初级生产力的影响..... 郭 群,胡中民,李轩然,等 (4808)

研究简报

我国中东部不同气候带成熟林凋落物生产和分解及其与环境因子的关系.....

..... 王健健,王永吉,来利明,等 (4818)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 304 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 32 * 2013-08



封面图说:石质山区的退耕还林——桂西北地区是我国喀斯特集中分布的地区之一,这里的石漠化不仅造成土地退化、土壤资源逐步消失、干旱缺水和土地生产力下降,而且还导致生态系统退化和植被消亡。桂西北严重的地质生态环境问题,威胁着当地居民的基本生存,严重制约了当地社会经济的发展。增加植被覆盖是防治石漠化的重要举措。随着国家退耕还林、生态移民等治理措施的实施,区域植被碳密度显著增加,生态环境有所好转。图为喀斯特地区农民见缝插针用来耕种的鸡窝地(指小、碎、分散的土地),已经退耕还林了。

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/stxb201204280611

王煌平, 张青, 翁伯琦, 张潘丹, 罗涛. 双氰胺单次配施和连续配施的土壤氮素形态和蔬菜硝酸盐累积变化. 生态学报, 2013, 33(15): 4608-4615.

Wang H P, Zhang Q, Weng B Q, Zhang P D, Luo T. Changes of soil nitrogen types and nitrate accumulation in vegetables with single or multiple application of dicyandiamide. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(15): 4608-4615.

双氰胺单次配施和连续配施的土壤氮素形态 和蔬菜硝酸盐累积变化

王煌平¹, 张 青¹, 翁伯琦², 张潘丹¹, 罗 涛^{1,*}

(1. 福建省农业科学院土壤肥料研究所, 福州 350013; 2. 福建省农业科学院农业生态研究所, 福州 350013)

摘要:采用田间试验研究了双氰胺(dicyandiamide, 缩写 DCD)单次配施和连续配施的土壤氮素形态和蔬菜硝酸盐累积变化。结果表明,与单施化肥相比,DCD 单次配施的长期叶菜甘蓝生长过程中土壤铵态氮含量增幅为 21.3%—339.4%,土壤硝态氮和菜体硝酸盐含量降幅分别为 5.4%—80.2%和 4.4%—58.3%;短期叶菜空心菜收获时土壤铵态氮含量增加了 299.4%,土壤硝态氮和菜体硝酸盐含量分别降低了 26.2%和 31.7%。DCD 连续配施的“甘蓝-菠菜-空心菜-萝卜-大白菜”种植体系中,土壤铵态氮、硝态氮和菜体硝酸盐含量均呈累积的趋势,配施 DCD 的土壤铵态氮含量从略高于化肥处理(44.0%)发展到极显著高于化肥处理(392.5%, $P < 0.01$),土壤硝态氮含量从极显著低于化肥处理(-68.2%, $P < 0.01$)发展到显著高于化肥处理(146.6%, $P < 0.05$),菜体硝酸盐含量从显著低于化肥处理(-30.2%, $P < 0.05$)发展到极显著高于化肥处理(40.4%, $P < 0.01$)。由此可见,DCD 单次配施可显著降低菜体硝酸盐含量,而连续配施 DCD 的土壤能维持一定量的铵态氮水平,这些盈余的铵态氮会进一步转化为硝态氮残留在土壤中,并可能产生蔬菜硝酸盐累积的风险。

关键词:双氰胺;单次配施;连续配施;氮素形态;硝酸盐累积

Changes of soil nitrogen types and nitrate accumulation in vegetables with single or multiple application of dicyandiamide

WANG Huangping¹, ZHANG Qing¹, WENG Boqi², ZHANG Pandan¹, LUO Tao^{1,*}

1 Institute of Soil and Fertilizer, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou 350013, China

2 Agricultural Ecology Institute, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou 350013, China

Abstract: Dicyandiamide (DCD) is one of the quality and inexpensive, environmentally friendly nitrification inhibitors, but long-term field experiments were not completed. In order to evaluate the environmental effects of DCD on farmland, researches on long-term application of DCD is extremely required. Application of DCD could increase soil $\text{NH}_4^+\text{-N}$, and decrease soil $\text{NO}_3^-\text{-N}$ contents. However, the changes of $\text{NH}_4^+\text{-N}$ and $\text{NO}_3^-\text{-N}$ in soil and the nitrate in vegetable when DCD single fertilized is consistent with those in multiple application of DCD are not clearly known. Therefore, three field trials were adopted to comprehensively investigate the changes of soil nitrogen types and nitrate accumulation in vegetables, comprising two treatments and each treatment was replicated three times. Two trials with single application of DCD were located in Putian City (latitude $25^\circ 25' 06''$ N, longitude $119^\circ 01' 54''$ E), the long-term leafy cabbage and short-term leafy spinach were planted from 28 November 2009 to 27 March 2010, and 21 June to 24 July 2011, respectively. The experiment with successive cropping of vegetables was carried out at the Experimental Station of Fujian Farmland

基金项目:国家科技支撑计划课题(2012BAD14B15);福建省省属公益类科研院所基本科研专项(2011R1024-5);福建省财政专项福建省农业科学院科技创新团队建设基金(STIF-Y01)

收稿日期:2012-04-28; 修订日期:2013-01-06

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: luotaofjz@188.com

Conservation, Ministry of Agriculture, in Baisha Town, Fuzhou City (latitude $26^{\circ}12'33''$ N, longitude $119^{\circ}04'52''$ E), the vegetables such as cabbage, spinach, water spinach, radish, Chinese cabbage were cultivated in sequence from 4 December 2008 to 27 April 2011. In comparison to chemical fertilizer application alone (control), in the growth process of cabbage, single application of DCD, soil $\text{NH}_4^+\text{-N}$ increased from 21.3 to 339.4%, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ in soils and in vegetables decreased from 5.4 to 80.2% and from 4.4 to 58.3%, respectively. In the harvest time of spinach, when DCD was single applied, soil $\text{NH}_4^+\text{-N}$ increased about 299.4%, soil $\text{NO}_3^-\text{-N}$ decreased about 26.2%, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ in vegetables decreased about 31.7%, respectively. However, in the “cabbage-spinach-water spinach-radish-Chinese cabbage” successive cropping system, soil $\text{NH}_4^+\text{-N}$ and $\text{NO}_3^-\text{-N}$, and vegetable $\text{NO}_3^-\text{-N}$ contents were accumulated in the multiple DCD application (once for each vegetable season). Soil $\text{NH}_4^+\text{-N}$ was found from slightly high (44.0%) to significantly higher (392.5%, $P < 0.01$) than chemical fertilizer applied alone. While soil $\text{NO}_3^-\text{-N}$ ranged from extremely low (-68.2% , $P < 0.01$) to high (146.6%, $P < 0.05$), and the range of vegetable $\text{NO}_3^-\text{-N}$ was also from low (-30.2% , $P < 0.05$) to significantly high (40.4%, $P < 0.01$). Why DCD single fertilized could significantly decrease $\text{NO}_3^-\text{-N}$ contents in soil and vegetable, showing cumulative trends with multiple application of DCD? With multiple application of DCD, the surplus soil $\text{NH}_4^+\text{-N}$ in season further converted to $\text{NO}_3^-\text{-N}$ form in soil, and it should be absorbed by the next planting season vegetables. Thus, the nitrification inhibition of DCD was immediate, nitrification inhibition diminished and accompanied by the degradation of DCD. For the practice of agricultural production, the multiple application of DCD should be avoided. After 1 or 2 seasons of DCD application, application of nitrogen rate and DCD dosage should be reduced appropriately, to avoid high levels of $\text{NO}_3^-\text{-N}$ in soil and the risk of vegetable nitrate enrichment.

Key Words: dicyandiamide (DCD); single application; multiple application; nitrogen types; nitrate accumulation

蔬菜是健康饮食的重要组成部分,富含维生素、矿物质、粗纤维等营养成分。日常食用定量的蔬菜可以预防人体多种疾病的发生,包括心血管疾病、癌症、肥胖症和糖尿病^[1]。但蔬菜易富集硝酸盐,是饮食硝酸盐摄入的主要来源^[2],虽然适量的硝酸盐摄入对人体健康无害,但硝酸盐摄入量过多,将对人体健康产生不利的影响,如引起胃肠癌和高铁血红蛋白血症等^[3]。因此,蔬菜硝酸盐的累积已备受关注。我国是蔬菜种植大国,蔬菜播种面积从 1978 年的 $3331 \times 10^3 \text{ hm}^2$ 增加到 2010 年的 $19000 \times 10^3 \text{ hm}^2$ ^[4],居世界第一位,但菜体硝酸盐污染的普遍现象已严重影响着蔬菜的食用安全和出口^[5-6],如何减少蔬菜硝酸盐累积是提高蔬菜品质最重要且亟待解决的问题之一。近十几年来,国内外科研工作者已提出了不少应对措施,如筛选低硝酸盐吸收蔬菜品种^[7]、改进氮肥剂型(添加硝化抑制剂、脲酶抑制剂)^[8]、改善施肥方法^[9]等。其中,氮肥配施双氰胺(dicyandiamide,缩写 DCD)一直是土壤肥料研究中的热点。罗涛等研究表明,尿素配施 DCD,土壤铵态氮含量升高,硝态氮含量降低,空心菜增产 7.7%,菜体硝酸盐含量降低 63.6%^[10]。Cui 等研究表明,黄棕壤施用 DCD 的土壤硝酸盐淋失减少 58.5%, N_2O 减排 83.8%^[11],显然,农田施用 DCD 是一种增产保质、提高氮肥利用率的有效技术措施。但这些研究多数为 DCD 单次施用的报道,缺乏 DCD 连续施用的菜地环境效应研究。因此,针对我国蔬菜硝酸盐污染面广的生产实际,结合已有的定位试验平台,全面开展 DCD 单次配施和连续配施对土壤氮素形态和蔬菜硝酸盐累积变化的研究,可为菜地 DCD 应用的蔬菜安全生产和环境评价提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

DCD 单次配施包括甘蓝种植试验和空心菜种植试验,试验地均设在福建省莆田市荔城区镇海街道古山村蔬菜基地,位于东经 $119^{\circ}01'54''$,北纬 $25^{\circ}25'06''$,属亚热带海洋性季风气候区,年均气温 $16-21^{\circ}\text{C}$,年均降雨量 1500 mm,年均日照时数 1995.9 h,无霜期 316—350 d,土壤类型均为灰垆土。甘蓝种植试验的前茬作物为水稻,土壤基础肥力为:pH 值 5.2,有机质 13.4 g/kg,全氮 0.9 g/kg,有效磷 42.2 mg/kg,速效钾 54.0

mg/kg;空心菜种植试验的前茬作物为蔬菜,土壤基本理化性状为:pH 值 5.5,有机质 14.1 g/kg,碱解氮 75.5 mg/kg,有效磷 120.4 mg/kg,速效钾 94.7 mg/kg。

DCD 连续配施试验地设在福州市闽侯县白沙镇溪头村农业部福建耕地保育观测试验站,位于东经 119°04'52",北纬 26°12'33",属中亚热带和南亚热带气候过渡区,年均气温 19.5 °C,年均降雨量 1350.9 mm,年均日照时数 1812.5 h,无霜期 311 d,土壤类型为黄泥土,前茬作物为水稻。土壤基本理化性状为:pH 值 5.4,有机质 31.6 g/kg,碱解氮 92.6 mg/kg,速效磷 11.4 mg/kg,速效钾 39.2 mg/kg。

1.2 试验设计

DCD 单次配施试验设化肥(缩写 SF)和化肥配施 DCD(缩写 SFD)2 个处理,每个处理 3 个重复,共 6 个小区,随机区组排列。甘蓝种植试验自 2009 年 11 月至 2010 年 3 月,供试甘蓝品种为结球甘蓝(*Brassica oleracea* L. var. *capitata* L.),小区面积 9.9 m²(1.1 m×9.0 m),于 2009 年 11 月 28 日施基肥,12 月 21 日施追肥,2010 年 3 月 27 日收获。空心菜种植试验自 2011 年 6 月至 7 月,供试空心菜品种为台湾竹叶空心菜(*Ipomoea aquatica* F.),小区面积 12 m²(2.0 m×6.0 m),所有肥料(包括 DCD)于 6 月 21 日做基肥一次性施入,7 月 24 日收获。

DCD 连续配施试验也设化肥(缩写 MF)和化肥配施 DCD(缩写 MFD)2 个处理,处理重复数和小区数与 DCD 单次配施试验一致。试验自 2008 年 12 月至 2011 年 4 月,种植蔬菜依次为“甘蓝—菠菜—空心菜—萝卜—大白菜”,每年种植两季蔬菜。供试甘蓝品种为京丰 1 号结球甘蓝(*B. oleracea* var. *capitata*),2008 年 12 月 4 日移栽,2009 年 4 月 7 日收获;菠菜品种为全能菠菜(*Spinacia oleracea* L.),2009 年 9 月 30 日播种,11 月 30 日收获;空心菜品种为泰国空心菜(*I. aquatica* F.),2010 年 5 月 2 日播种,6 月 9 日收获;萝卜品种为汉白玉萝卜(*Raphanus sativus* L. *radish*),2010 年 10 月 9 日播种,2011 年 1 月 5 日收获;大白菜品种为强春大白菜(*Brassica campestris* *pekinensis*),2011 年 2 月 21 日移栽,4 月 27 日收获。定位试验点小区面积 30 m²(5.0 m×6.0 m),每区设 3 畦,每畦 4.0 m×1.3 m,畦间距 0.5 m,所有肥料在每季蔬菜种植时均做基肥一次性施入。所有试验地化肥用量为当地常规施肥用量,化肥配施 DCD 处理的 DCD 用量为化肥纯氮量的 10%,化肥和 DCD 的用量及施肥方式见表 1,所有试验处理中小区蔬菜播种量或移栽数均一致。

表 1 肥料用量及施肥方式

Table 1 The fertilizer amount and application methods

DCD 利用方式 DCD application	蔬菜品种 Vegetable varieties	施肥方式 application method	尿素 Urea /(kg/hm ²)	过磷酸钙 SSP /(kg/hm ²)	氯化钾 KCl /(kg/hm ²)	复合肥 Compound fertilizer /(kg/hm ²)	DCD /(kg/hm ²)
单次配施 Single application	甘蓝	基肥	156.5	—	150.0	375.1	13.2
		追肥	430.5	—	—	—	19.8
连续配施 Multiple application	空心菜	基肥	489.2	625.0	250.0	—	22.5
	甘蓝-菠菜-空心菜-萝卜-大白菜	基肥	400.0	600.0	166.7	—	18.4

— 代表不施该种肥料;双氰胺 dicyandiamide

1.3 样品采集及测定

DCD 单次配施的甘蓝种植试验从 2010 年 1 月 6 日起每隔 20 d 取第 5 片完全展开叶并采集耕层(0—20 cm)土样,共采样 5 次。空心菜种植试验于菜体收获时取菜体可食用部分并采集耕层土样,甘蓝和空心菜种植试验每小区各采集 8 个菜体样品和土样。DCD 连续配施试验于菜体收获时取蔬菜可食用部分并采集耕层土样,每畦各采集 4 个菜体样品和土样,每小区各采集 12 个菜体样品和土样,并于 2011 年 2 月 10 日和 5 月 30 日,分别采集萝卜和大白菜收获后 30 d 各 12 个土样混合。所有试验采集的菜体样品均保存在 4 °C 冰箱于次日切碎混合用于测定菜体硝酸盐含量,土壤鲜样混合后均保存在-20 °C 冰箱于第 3 天测定土壤铵态氮和硝态氮含量。蔬菜硝酸盐含量的测定参照杨锚等^[12],土壤铵态氮和硝态氮含量的测定分别采用靛酚兰比色法

和双波长紫外分光光度法^[13],试验数据采用 Excel 2003 办公软件结合 DPS7.05 软件进行统计分析,LSD 多重比较法检验差异显著性。

2 结果与分析

2.1 DCD 配施对土壤铵态氮变化的影响

DCD 可抑制土壤中硝化细菌的活性,从而减缓土壤铵态氮向硝态氮的转化^[10]。DCD 单次配施的结果显示,在长期叶菜甘蓝生长期, SFD 和 SF 处理的铵态氮均呈现先升高后降低的趋势。所有取样时间点 SFD 处理的土壤铵态氮含量均高于 SF 处理,增幅为 21.3%—339.4% (图 1)。二者铵态氮含量除第 1 次取样差异尚未显著外,其余取样时间点差异均极显著 ($P<0.01$)。空心菜种植试验表明, SFD 处理空心菜收获时的土壤铵态氮含量也高于 SF 处理,增加了 299.4%,差异达极显著水平 ($P<0.01$) (图 1)。

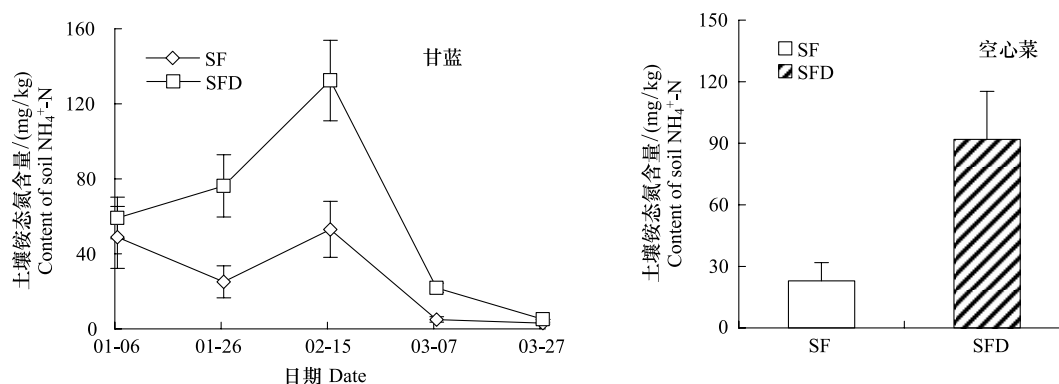


图 1 DCD 单次配施甘蓝和空心菜土壤铵态氮的变化

Fig. 1 Soil ammonium nitrogen changes in cabbage and water spinach cultivation with single application of DCD (dicyandiamide)

SF (single application of fertilizer) 和 SFD (single application of fertilizer with dicyandiamide) 分别表示单次配施的化肥处理和化肥配施处理

图 2 显示,在“甘蓝-菠菜-空心菜-萝卜-大白菜”种植体系中,甘蓝、菠菜、空心菜、萝卜、大白菜收获时, DCD 连续配施的 MFD 处理的土壤铵态氮含量均高于 MF 处理,分别比 MF 处理提高了 44.0%、8.8%、46.2%、122.1%、392.5%,二者土壤铵态氮含量从甘蓝季的差异尚不明显发展到萝卜季的差异极显著 ($P<0.01$)。可见,DCD 不论是单次配施,还是连续配施,均可提高土壤铵态氮含量,随着蔬菜种植季的增加,DCD 连续配施使土壤铵态氮呈现累积的趋势。

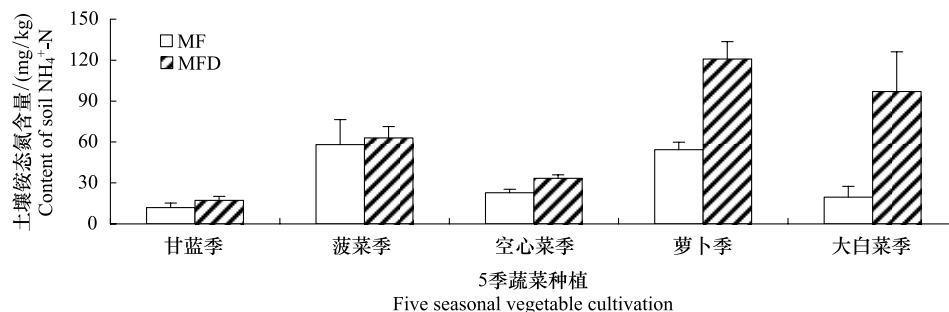


图 2 DCD 连续配施“甘蓝-菠菜-空心菜-萝卜-大白菜”蔬菜季土壤铵态氮的变化

Fig. 2 Soil ammonium nitrogen changes in “cabbage-spinach-water spinach-radish-Chinese cabbage” cultivation with multiple application of DCD

MF (multiple application of fertilizer) 和 MFD (multiple application of fertilizer with dicyandiamide) 分别表示 DCD 连续配施的化肥处理和化肥配施 DCD 处理

2.2 DCD 配施对土壤硝态氮变化的影响

图 3 表明,甘蓝生长期, SFD 处理和 SF 处理土壤硝态氮变化整体呈下降的趋势, SFD 处理的土壤硝态

氮含量在前期下降较慢,但在第3次与第4次取样间急剧下降,而SF处理的土壤硝态氮含量则在第1次与第2次取样间急剧减少,在后期下降较慢。SFD处理所有取样时间点的硝态氮含量均低于SF处理,降幅为5.4%—80.2%。二者硝态氮含量除第1次取样差异尚未显著外,其余取样时间点差异均极显著($P<0.01$)。图3表明,与甘蓝种植试验一致,空心菜收获时SFD处理的土壤硝态氮也低于SF处理,降低了26.2%。

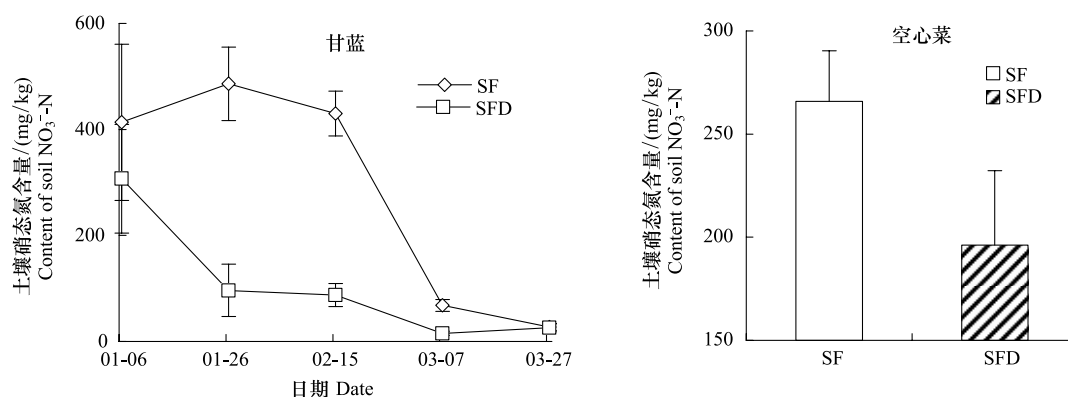


图3 DCD 单次配施甘蓝和空心菜土壤硝态氮的变化

Fig. 3 Soil nitrate nitrogen changes in cabbage and water spinach cultivation with single application of DCD

由图4可知,甘蓝季、菠菜季、萝卜季MFD处理的土壤硝态氮含量均低于MF处理,分别降低了68.2%、40.0%和9.6%;而空心菜季和大白菜季的土壤硝态氮反而高于MF处理,分别增加了82.3%和146.6%。MFD处理硝态氮含量从甘蓝季极显著($P<0.01$)低于MF处理,发展到菠菜季、空心菜季和萝卜季差异不显著,再到大白菜季显著高于MF处理($P<0.05$)。可见,DCD 单次配施可明显降低土壤硝态氮含量(图3),而DCD 连续配施在前两季可有效降低土壤硝态氮含量,但随着蔬菜种植季的增加,土壤硝态氮反而呈累积的趋势。

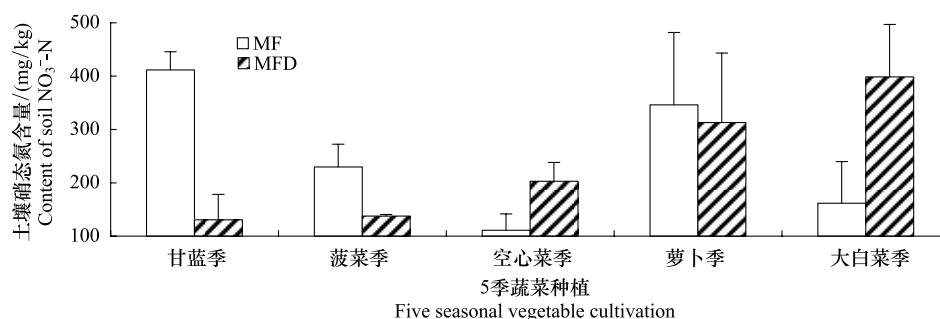


图4 DCD 连续配施“甘蓝-菠菜-空心菜-萝卜-大白菜”蔬菜季土壤硝态氮的变化

Fig. 4 Soil nitrate nitrogen changes in “cabbage-spinach-water spinach-radish-Chinese cabbage” cultivation with multiple application of DCD

2.3 DCD 配施对蔬菜季菜体硝酸盐累积的影响

蔬菜硝酸盐限量是无公害蔬菜的重要品质指标之一^[5]。由图5可知,甘蓝种植时SFD处理和SF处理的菜体硝酸盐变化趋势与土壤硝态氮变化相似。随着甘蓝种植时间的延长,菜体硝酸盐含量呈下降趋势,且SFD处理的菜体硝酸盐含量均低于SF处理,降幅为4.4%—58.3%。二者除第1次和第5次取样差异尚不显著外,其余取样时间点差异极显著($P<0.01$),表明甘蓝正常收获时,DCD 配施能明显减少甘蓝的硝酸盐富集。由图5可知,SFD处理和SF处理的空心菜菜体硝酸盐含量分别为2573.2 mg/kg 湿重和3770.2mg/kg 湿重,SFD处理比SF处理降低了31.7%,DCD 单次配施后空心菜菜体的硝酸盐含量从高于无公害蔬菜的硝酸盐限量(叶菜类 ≤ 3000 mg/kg 湿重)^[14],降低到符合硝酸盐限量的要求。

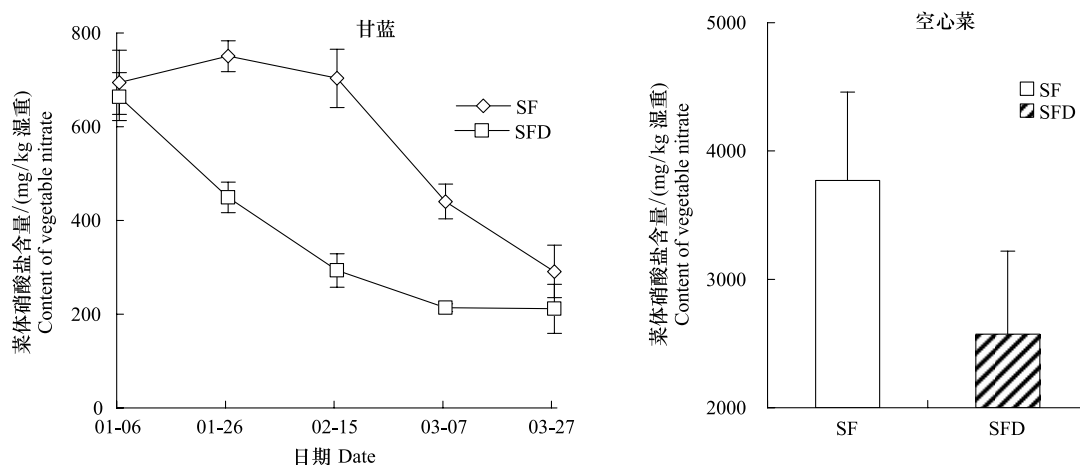


图5 DCD 单次配施甘蓝和空心菜的硝酸盐变化

Fig. 5 Nitrate changes of vegetables in cabbage and water spinach cultivation with single application of DCD

图6显示,MFD处理的甘蓝季、菠菜季和空心菜季蔬菜可食用部分菜体硝酸盐含量均低于MF处理,分别减少了30.2%、25.9%和3.0%;而萝卜季和大白菜季的菜体硝酸盐含量则高于MF处理,分别增加了4.1%和40.4%。在5季蔬菜种植后,MFD处理的菜体硝酸盐含量从显著低于MF处理($P<0.05$),发展到极显著高于MF处理($P<0.01$)。对DCD单次配施甘蓝生长期土壤硝态氮含量与蔬菜硝酸盐含量相关性分析表明,土壤硝态氮含量与蔬菜硝酸盐含量呈显著正相关($P<0.01$)。由此可见,随着蔬菜种植季的增加,DCD连续配施后蔬菜硝酸盐富集主要是由土壤硝态氮累积引起的(图4)。

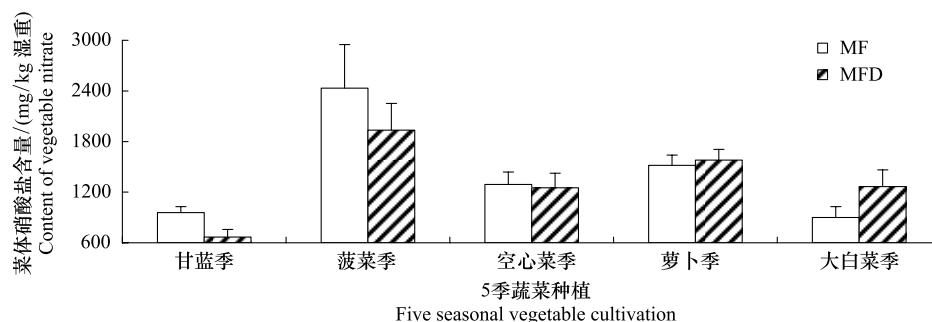


图6 DCD 连续配施“甘蓝-菠菜-空心菜-萝卜-大白菜”蔬菜季的菜体硝酸盐变化

Fig. 6 Nitrate changes of vegetables in “cabbage-spinach-water spinach-radish-Chinese cabbage” cultivation with multiple application of DCD

3 讨论与结论

同大多数的研究相似^[8,10],本研究DCD单次配施可增加土壤铵态氮含量,减少土壤硝态氮含量(图1,图3)。Schroder和Kelin等报道DCD反复配施的硝化抑制效果和土壤氮素形态变化不明显^[15-16]。本试验DCD连续配施的土壤铵态氮和硝态氮变化整体均呈累积的趋势(图2,图4),土壤铵态氮含量从甘蓝季的略高于化肥处理(44.0%),发展到萝卜季的极显著高于化肥处理(392.5%, $P<0.01$);硝态氮含量从甘蓝季极显著低于化肥处理(-68.2%, $P<0.01$),发展到大白菜季显著高于化肥处理(146.6%, $P<0.05$),这与已有报道的差异可能是由于作物品种,肥料种类及用量不同而引起。

在本试验中,DCD单次配施可有效地降低甘蓝生长期菜体硝酸盐含量(4.4%—58.3%),以及空心菜收获时菜体硝酸盐含量(31.7%)(图5),这与大多数的研究结果一致^[8,10,17-18]。然而,DCD连续配施,随着蔬菜种植季的增加,菜体硝酸盐含量从甘蓝季显著低于化肥处理(-30.2%, $P<0.05$),发展到大白菜季极显著高于化肥处理(40.4%, $P<0.01$)(图6)。究其原因,DCD连续配施的蔬菜硝酸盐富集与土壤维持较高的硝态氮

含量密切相关(图4),但是否与蔬菜品种、水分、地温等因素相关需进一步研究。

DCD 单次配施和连续配施均显示硝化抑制效果,但 DCD 连续配施的土壤氮素形态及菜体硝酸盐则呈累积的趋势。对连续配施 DCD 蔬菜收获后 30 d 的土壤铵态氮和硝态氮变化的比较表明,萝卜和大白菜收获后 AMFD 处理的土壤铵态氮和硝态氮含量均高于 AMF 处理,其中土壤铵态氮含量分别增加了 42.6% 和 57.8%,大白菜季差异极显著($P<0.01$);土壤硝态氮含量分别增加了 43.0% 和 55.3%,差异分别达显著($P<0.05$)和极显著水平($P<0.01$)(表2)。此外,对连续配施 DCD 蔬菜收获时和收获后土壤铵态氮和硝态氮变化的比较表明,与收获时(MFD 处理)相比,萝卜和大白菜收获后(AMFD 处理)的土壤铵态氮含量分别降低了 46.0% 和 27.0%,其中萝卜季差异极显著($P<0.01$);二者土壤硝态氮含量分别增加了 3.6% 和 74.8%,其中大白菜季差异极显著($P<0.01$)。由此可见,连续配施 DCD 可使土壤维持一定量的铵态氮水平(图2),但 DCD 抑制硝化作用是有时间性的^[19],一旦加入到土壤中,随着 DCD 硝化抑制活性的减弱^[19-20],土壤中盈余的铵态氮将进一步转化为硝态氮残留在土壤中(图4),并可能为下季蔬菜吸收利用,从而产生蔬菜硝酸盐累积的风险(图6)。

表2 蔬菜收获时和收获后土壤铵态氮和硝态氮的变化

Table 2 Changes of soil ammonium nitrogen and nitrate nitrogen in and after vegetables harvest

蔬菜季 Vegetable season	氮素形态 Nitrogen type	AMF /(mg/kg)	AMFD /(mg/kg)	变化率 ¹ / % Change rate	MFD /(mg/kg)	变化率 ² / % Change rate
萝卜 Radish	铵态氮	37.4±14.9bB	65.2±15.3bB	42.6%	120.7±12.9aA	-46.0%
	硝态氮	184.6±75.7bA	324.1±11.9aA	43.0%	312.9±130.6aA	3.6%
大白菜 Chinese cabbage	铵态氮	29.9±7.7bB	70.8±7.0aA	57.8%	97.1±29.0aA	-27.0%
	硝态氮	311.4±31.4bB	696.7±34.2aA	55.3%	398.5±98.6bB	74.8%

AMF(after vegetables harvest in multiple application of fertilizer treatment)、AMFD(after vegetables harvest in multiple application of fertilizer with dicyandiamide treatment)分别表示 MF 处理和 MFD 处理种植蔬菜收获后 30 d 的相应处理;变化率¹和变化率²分别表示 $(AMFD-AMF)/AMFD$ 和 $(AMFD-MFD)/AMFD$;大写字母和小写字母分别代表 $P<0.01$ 和 $P<0.05$

综上所述,DCD 单次配施可明显增加土壤铵态氮含量,降低土壤硝态氮含量,减少蔬菜硝酸盐富集。而 DCD 连续配施,随着蔬菜种植季的增加,土壤铵态氮和硝态氮含量呈累积的趋势,并可能产生蔬菜硝酸盐富集的现象。因此,在生产实际中应用 DCD,随着作物种植季的增加,应逐年减少肥料和 DCD 的用量,以及含有 DCD 的稳定性肥料的用量^[21],以防控土壤铵态氮和硝态氮累积,以及蔬菜硝酸盐富集的风险。

致谢:感谢福建省农业科学院土壤肥料研究所化验室颜明娟主任和蔡顺香副主任对样品测试的协助。

References:

- [1] World Health Organization. Diet, Nutrition and the Prevention of Chronic Diseases. Report of a Joint FAO/WHO Expert Consultation. WHO Technical Report Series No. 916, Geneva, Switzerland, 2003.
- [2] Du S T, Zhang Y S, Lin X Y. Accumulation of nitrate in vegetables and its possible implications to human health. *Agricultural Sciences in China*, 2007, 6(10): 1246-1255.
- [3] Chan T Y K. Vegetable-borne nitrate and nitrite and the risk of methaemoglobinaemia. *Toxicology Letters*, 2011, 200(1/2): 107-108.
- [4] National Bureau of Statistics of China. China Statistical Yearbook 2011. Beijing: China Statistical Press, 2011.
- [5] Luo T, Wang H P, Zhang Q, HE Y, Cai K D, Zhang X L. Effects of nitrogen fertilization on nitrate content of spinach under the production safety standard. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2010, 16(5): 1282-1287.
- [6] Santamaria P. Nitrate in vegetables: toxicity, content, intake and EC regulation. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2006, 86(1): 10-17.
- [7] Gong Y Q, Ren T H, Liu L W, Zhao L P, Li X L, Wang L Z. Selection for low nitrate content radish (*Raphanus sativus* L.). *Journal of Nanjing Agricultural University*, 2006, 29(1): 135-137.
- [8] Montemurro F, Capotorti G, Lacertosa G, Palazzo D. Effects of urease and nitrification inhibitors application on urea fate in soil and nitrate accumulation in lettuce. *Journal of Plant Nutrition*, 1998, 21(2): 245-252.

- [9] Gao J, Liang Y L, He L N, Zhou M J, Wei Z X, Luan Z C. Optimum fertilization for high-sugar and low-nitrate pumpkin production in the Loess Plateau. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2008, 16(6): 1371-1374.
- [10] Luo T, Wang H P, He Y, Zhang Q, Zhang X L, Sheng J S. Effects of different dosage of two nitrogenous fertilizers and dicyandiamide on vegetable quality and soil N form. *Chinese Journal of Soil Science*, 2010, 41(2): 383-388.
- [11] Cui M, Sun X C, Hu C X, Di H J, Tan Q L, Zhao C S. Effective mitigation of nitrate leaching and nitrous oxide emissions in intensive vegetable production systems using a nitrification inhibitor, dicyandiamide. *Journal of Soils and Sediments*, 2011, 11(5): 722-730.
- [12] Yang M, Zhao H, Jin F, Wang J, Ye Z H, Liu S. Determination of nitrates in fresh vegetables and fruits by UV-spectrophotometry. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2009, 28(1): 102-105.
- [13] Lu L K. *Analysis Method of Soil Agrochemistry*. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2000: 159-160.
- [14] State Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. GB 18406. 1—2001, Safety qualification for agricultural product-Safety requirements for non-environmental pollution vegetable. Beijing: China Standards Press, 2001.
- [15] Schröder J J, Holte L T, Keulen H V, Steenvoorden J H A M. Effects of nitrification inhibitors and time and rate of slurry and fertilizer N application on silage maize yield and losses to the environment. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 1993, 34(3): 267-277.
- [16] Klein C A M, Cameron K C, Di H J, Rys G, Monaghan R M, Sherlock R R. Repeated annual use of the nitrification inhibitor dicyandiamide (DCD) does not alter its effectiveness in reducing N_2O emissions from cow urine. *Animal Feed Science and Technology*, 2011, 166-167: 480-491.
- [17] Chuan L M, Zhao T K, An Z Z, Du L F, Li S J. Effects of adding a nitrification inhibitor dicyandiamide (DCD) on the growth and quality of rape. *Journal of Agro-Environment Science*, 2010, 29(5): 870-874.
- [18] Huang D F, Luo T, Qiu X X. Effect of nitrogen-inhibitors on the nitrate content and yield of vegetables. *China Vegetables*, 2005, (12): 14-16.
- [19] Mohanty S R, Bharati K, Rao V R, Adhya T K. Dynamics of changes in methanogenesis and associated microflora in a flooded alluvial soil following repeated application of dicyandiamide, a nitrification inhibitor. *Microbiological Research*, 2009, 164(1): 71-80.
- [20] Mahmood T, Ali R, Latif Z, Ishaque W. Dicyandiamide increases the fertilizer N loss from an alkaline calcareous soil treated with ^{15}N -labelled urea under warm climate and under different crops. *Biology and Fertility of Soils*, 2011, 47(6): 619-631.
- [21] Trenkel M E. *Slow- and Controlled-Release and Stabilized Fertilizers: An Option for Enhancing Nutrient Use Efficiency in Agriculture*. Paris: International Fertilizer Industry Association, 2010: 41-43.

参考文献:

- [4] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴 2011. 北京: 中国统计出版社, 2011.
- [5] 罗涛, 王煌平, 张青, 何盈, 蔡开地, 张晓玲. 菠菜硝酸盐含量符合安全生产的氮肥用量研究. *植物营养与肥料学报*, 2010, 16(5): 1282-1287.
- [7] 龚义勤, 任同辉, 柳李旺, 赵丽萍, 李晓楠, 汪隆植. 低硝酸盐含量萝卜的筛选. *南京农业大学学报*, 2006, 29(1): 135-137.
- [9] 高静, 梁银丽, 贺丽娜, 周茂娟, 韦泽秀, 栾正春. 黄土高原南瓜高糖低硝酸盐施肥模式研究. *中国生态农业学报*, 2008, 16(6): 1371-1374.
- [10] 罗涛, 王煌平, 何盈, 张青, 张晓玲, 盛锦寿. 两种氮肥不同用量及添加双氰胺对蔬菜品质和土壤氮形态的影响. *土壤通报*, 2010, 41(2): 383-388.
- [12] 杨锚, 邵华, 金芬, 王静, 叶志华, 刘肃. 新鲜蔬菜和水果中硝酸盐紫外分光光度法的测定. *华中农业大学学报*, 2009, 28(1): 102-105.
- [13] 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: 159-160.
- [14] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB 18406. 1—2001, 农产品安全质量·无公害蔬菜安全要求. 北京: 中国标准出版社, 2001.
- [17] 串丽敏, 赵同科, 安志装, 杜连凤, 李顺江. 添加硝化抑制剂双氰胺对油菜生长及品质的影响. *农业环境科学学报*, 2010, 29(5): 870-874.
- [18] 黄东风, 罗涛, 邱孝煊. 氮抑制剂对蔬菜产量和硝态氮含量的影响. *中国蔬菜*, 2005, (12): 14-16.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 15 Aug. ,2013(Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- A review on the application of remote sensing in mangrove ecosystem monitoring SUN Yongguang, ZHAO Dongzhi, GUO Wenyong, et al (4523)
- Urban metabolism process based on emergy synthesis: Theory and method LIU Gengyuan, YANG Zhifeng, CHEN Bin (4539)
- Theoretical considerations on ecological civilization development and assessment ZHAO Jingzhu (4552)

Autecology & Fundamentals

- Assemblage composition and distribution of meiobenthos in the Yangtze Estuary and its adjacent waters in autumn-winter season Yu Tingting, XU Kuidong (4556)
- Ecological distribution and nutrient limitation of phytoplankton in adjacent sea of Guanhe Estuary in spring FANG Tao, HE Xinran, FENG Zhihua, et al (4567)
- The distribution of urea concentrations and urease activities in the coastal waters of Hainan Island during the spring HUANG Kaixuan, ZHANG Yun, OU Linjian, et al (4575)
- Effects of simulated acid rain on growth and bleeding sap amount of root in *Quercus mongolica* LIANG Xiaoqin, LIU Jian, DING Wenjuan, et al (4583)
- Allelopathic effects of organic acid allelochemicals on melon ZHANG Zhizhong, SUN Zhihao, CHEN Wenhui, et al (4591)
- Fraction changes of oxidation organic carbon in paddy soil and its correlation with CH₄ emission fluxes WU Jiamei, JI Xionghui, HUO Lianjie, et al (4599)
- Changes of soil nitrogen types and nitrate accumulation in vegetables with single or multiple application of dicyandiamide WANG Huangping, ZHANG Qing, WENG Boqi, et al (4608)
- Comparison of isolation rate of mycobacteriophage in the different type soils XU Fengyu, SU Shengbing, MA Hongxia, et al (4616)
- Effects of different acidity acid rain on yield, protein and starch content and components in two wheat cultivars BIAN Yajiao, HUANG Jie, SUN Qisong, et al (4623)
- The causes of *Gentiana straminea* Maxim. seeds dormancy and the methods for its breaking LI Bingbing, WEI Xiaohong, XU Yan (4631)
- Physiological responses of four golden-leaf trees to SO₂ stress CHONG Peifang, SU Shiping (4639)
- Influence of endosulfan and its metabolites on enzyme activities in purple soil XIONG Bailian, ZHANG Jinzhong, DAI Juan, et al (4649)

Population, Community and Ecosystem

- Seasonal dynamics of food web energy pathways at the community-level XU Jun, ZHOU Qiong, WEN Zhourui, et al (4658)
- Population dynamics of *Niviventer confucianus* in Thousand Island Lake ZHANG Xu, BAO Yixin, LIU Jun, et al (4665)
- Soil ecological stoichiometry under different vegetation area on loess hilly-gully region ZHU Qiulian, XING Xiaoyi, ZHANG Hong, et al (4674)
- Adaptation strategies of reproduction of plant community in response to grassland degradation and artificial restoration LI Yuanyuan, DONG Shikui, ZHU Lei, et al (4683)
- Effect of different *Cunninghamia lanceolata* plantation soil qualities on soil microbial community structure LIU Li, XU Mingkai, WANG Silong, et al (4692)
- Effects of different maize hybrids (inbreds) on the growth, development and population dynamics of *Rhopalosiphum maidis* Fitch ZHAO Man, GUO Xianru, LI Weizheng, et al (4707)
- Effects of forest canopy structure on understory vegetation characteristics of Funiu Mountain Nature Reserve LU Xunling, DING Shengyan, YOU Li, et al (4715)

- Influence of restoring cropland to grassland on dung beetle assemblages in Wuchuan County, Inner Mongolia, China LIU Wei, MEN Lina, LIU Xinmin (4724)
- Cu and nutrient deficiency on different effects of growth, tolerance and mineral elements accumulation between two *Elsholtzia haichouensis* populations KE Wenshan, CHEN Shijian, XIONG Zhiting, et al (4737)
- Measurement and retrieval of leaf area index using remote sensing data in Kanas National Nature Reserve, Xinjiang ZAN Mei, LI Dengqiu, JU Weimin, et al (4744)
- Landscape, Regional and Global Ecology**
- An spatial ecosystem services approach based on LUCC: a case study of Ganzhou district of Zhangye City LIANG Youjia, XU Zhongmin, ZHONG Fanglei, et al (4758)
- Spatiotemporal characteristics of *Spartina alterniflora* marsh change in the coastal wetlands of Yancheng caused by natural processes and human activities ZHANG Huabing, LIU Hongyu, Hou Minghang (4767)
- Process analysis and evaluation of wetlands degradation based on PCA in the lakeside of Napahai, Northwest Yunnan Plateau SHANG Wen, YANG Yongxing, HAN Dayong (4776)
- On eco-security evaluation in the Tumen River region based on RS&GIS NAN Ying, JI Zhe, FENG Hengdong, et al (4790)
- Evaluation and simulation of historical range of variability of forest landscape pattern in Huzhong area WU Zhifeng, LI Yuehui, BU Rencang, et al (4799)
- Effects of precipitation timing on aboveground net primary productivity in inner mongolia temperate steppe GUO Qun, HU Zhongmin, LI Xuanran, et al (4808)
- Research Notes**
- Litter production and decomposition of different forest ecosystems and their relations to environmental factors in different climatic zones of mid and eastern China WANG Jianjian, WANG Yongji, LAI Liming, et al (4818)

《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 赵景柱

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 15 期 (2013 年 8 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 15 (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	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@csppg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@csppg.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