

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第33卷 第7期 Vol.33 No.7 **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 7 期 2013 年 4 月 (半月刊)

目次

前沿理论与学科综述

- 线虫转型发育和寄主识别的化学通讯研究进展..... 张 宾,胡春祥,石 进,等 (2003)
- 生物物种资源监测原则与指标及抽样设计方法..... 徐海根,丁 晖,吴 军,等 (2013)

个体与基础生态

- 呼伦贝尔草原人为火空间分布格局..... 张正祥,张洪岩,李冬雪,等 (2023)
- 青藏高原草地地下生物量与环境因子的关系..... 杨秀静,黄 玫,王军邦,等 (2032)
- 1961—2010 年桂林气温和地温的变化特征 陈 超,周广胜 (2043)
- 黄泥河自然保护区狗冬季卧息地选择..... 朱洪强,葛志勇,刘 庚,等 (2054)
- 青藏高原草地植物叶解剖特征..... 李全发,王宝娟,安丽华,等 (2062)
- 青藏高原高寒草甸夏季植被特征及对模拟增温的短期响应..... 徐满厚,薛 娴 (2071)
- 高温影响番茄小孢子发育的细胞学研究..... 彭 真,程 琳,何艳军,等 (2084)
- 黄土丘陵半干旱区柠条林株高生长过程新模型..... 赵 龙,王振凤,郭忠升,等 (2093)
- 柝属 7 种植物种子的发芽抑制物质研究..... 李庆梅,刘 艳,刘广全,等 (2104)
- 水分胁迫和杀真菌剂对黄顶菊生长和抗旱性的影响..... 陈冬青,皇甫超河,刘红梅,等 (2113)
- 铜尾矿废弃地与相邻生境土壤种子库特征的比较..... 沈章军,欧祖兰,田胜尼,等 (2121)
- 云雾山典型草原火烧不同恢复年限土壤化学性质变化..... 李 媛,程积民,魏 琳,等 (2131)
- 根系分区交替灌溉条件下水肥供应对番茄果实硝酸盐含量的影响..... 周振江,牛晓丽,李 瑞,等 (2139)
- 喀斯特山区土地利用对土壤团聚体有机碳和活性有机碳特征的影响..... 李 娟,廖洪凯,龙 健,等 (2147)
- 自生固氮菌活化土壤无机磷研究..... 张 亮,杨宇虹,李 倩,等 (2157)
- 德国鳶尾对 Cd 胁迫的生理生态响应及积累特性 张呈祥,陈为峰 (2165)
- 施污土壤重金属有效态分布及生物有效性..... 铁 梅,宋琳琳,惠秀娟,等 (2173)
- 基于叶面积指数改进的直角双曲线模型在玉米农田生态系统中的应用..... 孙敬松,周广胜 (2182)
- 中稻田三种飞虱的捕食性天敌优势种及农药对天敌的影响..... 林 源,周夏芝,毕守东,等 (2189)

种群、群落和生态系统

- 珠江口超微型浮游植物时空分布及其与环境因子的关系..... 张 霞,黄小平,施 震,等 (2200)
- 输水前后塔里木河下游物种多样性与水因子的关系..... 陈永金,刘加珍,陈亚宁,等 (2212)
- 南海西北部陆架区鱼类的种类组成与群落格局..... 王雪辉,林昭进,杜飞雁,等 (2225)
- 滇西北高原碧塔湖滨沼泽植物群落分布与演替 韩大勇,杨永兴,杨 杨 (2236)
- 石羊河下游白刺灌丛演替过程中群落结构及数量特征..... 靳虎甲,马全林,何明珠,等 (2248)

资源与产业生态

- 土壤深松和补灌对小麦干物质生产及水分利用率的影响..... 郑成岩,于振文,张永丽,等 (2260)

豆科绿肥及施氮量对旱地麦田土壤主要肥力性状的影响..... 张达斌,姚鹏伟,李 婧,等 (2272)

沟壑全覆盖种植方式对旱地玉米生长及水分利用效率的影响..... 李 荣,侯贤清,贾志宽,等 (2282)

城乡与社会生态

北京北护城河河岸带的温湿度调节效应 吴芳芳,张 娜,陈晓燕 (2292)

西安太阳总辐射时空变化特征及对城市发展的响应..... 张宏利,张纳伟锐,刘敏茹,等 (2304)

研究简报

安徽琅琊山大型真菌区系多样性..... 柴新义,许雪峰,汪美英,等 (2314)

中国生态学会 2013 年学术年会征稿通知 (2320)

第七届现代生态学讲座、第四届国际青年生态学者论坛通知 (I)

中、美生态学会联合招聘国际期刊主编 (i)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 318 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 32 * 2013-04



封面图说: 金灿灿的小麦熟了——小麦是世界上最早栽培的农作物之一,是一种在世界各地广泛种植的禾本科植物,起源于中东地区。全世界大概有 43 个国家,近 35%—40% 的人口以小麦为主要粮食。小麦是禾谷类作物中抗寒能力较强的越冬作物,具有一定的耐旱和耐盐碱能力。中国的小麦分布于全国各地,主要集中于东北平原、华北平原和长江中下游一带。小麦秋季播种、冬季生长、春季开花、夏季结实。子粒含有丰富的淀粉、较多的蛋白质、少量的脂肪,还有多种矿物质元素和维生素 B,是一种营养丰富、经济价值较高的粮食。

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/stxb201201060029

周振江, 牛晓丽, 李瑞, 胡田田. 根系分区交替灌溉条件下水肥供应对番茄果实硝酸盐含量的影响. 生态学报, 2013, 33(7): 2139-2146.

Zhou Z J, Niu X L, Li R, Hu T T. Effects of water and fertilizers on nitrate content in tomato fruits under alternate partial root-zone irrigation. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(7): 2139-2146.

根系分区交替灌溉条件下水肥供应对 番茄果实硝酸盐含量的影响

周振江¹, 牛晓丽², 李 瑞², 胡田田^{1,*}

(1. 西北农林科技大学水利与建筑工程学院, 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学资源环境学院, 杨凌 712100)

摘要: 为了研究根系分区交替灌溉条件下灌水量和氮、磷、钾肥及有机肥用量对番茄果实硝酸盐含量的影响, 采用五元二次正交旋转组合设计, 通过盆栽试验, 建立了番茄果实中硝酸盐含量与水肥因子的数学模型, 并对各单一因素的效应及两两因素的耦合效应进行了分析。结果表明, 在其他因子为中间水平时, 番茄果实中的硝酸盐含量, 随灌水量呈先降低后增加的变化规律; 随施氮量和施磷量呈先增加后降低的变化趋势; 随有机肥用量呈逐渐增加的趋势; 但不受钾肥用量的影响。交互效应表现为, 施磷量与有机肥用量、施氮量与施磷量间的相互作用会促使番茄果实硝酸盐含量提高; 灌水量与施钾量和有机肥量、施氮量与施钾量间的相互作用有利于降低番茄果实硝酸盐累积。耦合效应表现为, 除不施有机肥时随灌水量增加番茄果实硝酸盐含量显著增加外, 对于其它任何有机肥及钾肥施用水平, 果实硝酸盐含量皆随灌水量增加呈先减小后增加趋势; 灌水量高于中水平时, 番茄果实硝酸盐含量随着钾肥与有机肥用量的增加而减少。不论施磷量与施钾量如何变化, 番茄果实硝酸盐含量皆随施氮量呈现先增加后减小的变化趋势, 降低氮肥用量同时提高磷肥用量有利于降低番茄果实硝酸盐累积, 而提高施钾量仅在施氮量高于中水平时能显著降低番茄果实硝酸盐含量。适当增加磷肥用量、减小有机肥用量能显著降低番茄果实硝酸盐的累积。

关键词: 施氮量; 施磷量; 施钾量; 有机肥用量; 灌水量; 硝酸盐含量; 番茄果实

Effects of water and fertilizers on nitrate content in tomato fruits under alternate partial root-zone irrigation

ZHOU Zhenjiang¹, NIU Xiaoli², LI Rui², HU Tiantian^{1,*}

¹ College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling, Shaanxi 712100, China

² College of Resources and Environment, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling, Shaanxi 712100, China

Abstract: In recent years, the quality and security of vegetables have being increasingly concerned by people and investigated by researchers. However, vegetable quality decline is very common due to excessive irrigation and irrational fertilization. The nitrate content is an important index which is used to evaluate vegetable quality. Although tomatoes have been grown successfully for many years in many parts of the world, there is no accurate formula or recipe on both the amount of irrigation and fertilizer levels to get high quality tomato fruit. Alternate partial root-zone irrigation (APRI) is a new water-saving technique and may improve crop water use efficiency and fertilizer use efficiency. To determine the effects of irrigation amount and fertilizer rates of nitrogen, phosphorus, potassium and manure on the nitrate content in tomato fruits under APRI, the quadratic orthogonal regressive rotation design with five factors was used in pot experiment, in which five rates were set for every experimental factor. A regression model on the amount of irrigation water and fertilizers and the nitrate content in tomato fruits was established. Based on the regression equation, the single, interactive and coupling

基金项目: 国家“十二五”863 计划项目(2011AA100504); 国家自然科学基金项目(50939005, 51279169)

收稿日期: 2012-01-06; 修订日期: 2012-07-23

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: hutiant@nwfu.edu.cn

effects of these five experimental factors on the nitrate content in tomato fruit were analyzed. The results showed that if other factors were zero codes, the nitrate content in tomato decreased firstly and then rose with irrigation water increase, while it showed a reverse trend with N and P fertilizer levels. The nitrate content in tomato increased gradually with manure amount, but it was not affected by K fertilizer level. The interactions on the nitrate content in tomato fruits between P fertilizer and manure levels, N and P fertilizer levels showed positive effects, while the interactions between irrigation amount and K fertilizer or manure level, as well as N and K fertilizer levels were negative effects. The coupling effects between two of these five experimental factors showed that the nitrate content in tomato fruits increased markedly with higher irrigation amount when no manure was applied, while it decreased firstly and then increased with irrigation amount for the other manure and all K fertilizer rates. The nitrate content in tomato decreased with K fertilizer or manure increase when irrigation amount was above the mid level. The nitrate content in tomato increased firstly and then decreased with N fertilizer increase for any P or K fertilizer rate. The nitrate content was less when P fertilizer rate was at the highest than any other level, and it was the lowest when P and N fertilizer rate were at the highest and the lowest, respectively, suggesting that lower N fertilizer and higher P fertilizer rates could decrease the accumulation of nitrate content in tomatoes. Interestingly, the situation was different for K fertilizer. Higher K fertilizer rate could reduce the nitrate content significantly only when the N fertilizer rate was above the mid level. The coupling effects of P fertilizer with manure rates on the nitrate content in tomato fruits indicated that increasing P fertilizer properly and decreasing manure application at the same time could greatly contribute to less nitrate content in tomato fruits.

Key Words: nitrogen fertilizer rate; phosphorus fertilizer rate; potassium fertilizer rate; manure rate; irrigation amount; nitrate content; tomato fruit

近年来,在蔬菜消费中人们越来越注重其品质与安全,蔬菜的优质与安全生产成为研究者们关注的课题。研究表明,人体摄入的硝酸盐大部分来自蔬菜,约占70%—80%^[1]。硝酸盐含量是影响蔬菜品质的一个重要指标。目前,由于过量灌水、施肥以及化肥的不合理施用导致的蔬菜硝酸盐含量增加、品质下降以及土壤酸化、肥力退化等现象非常普遍,科学、合理的水肥管理技术是保证蔬菜优质、高效、安全生产的关键。自20世纪90年代以来,研究者就如何降低蔬菜硝酸盐含量等方面做了较为深入的研究。然而,已有的研究大多集中于水肥单因子或不同肥料配比的效果上^[2-4],综合考虑灌水量和氮、磷、钾、有机肥用量5个因素的研究,还鲜见报道。

根系分区交替灌溉是近年来针对世界范围内水资源日益紧缺与水分利用效率较低这一矛盾而提出的一种新的节水灌溉方法与技术^[5]。目前关于根系分区交替灌溉本身对作物对生长生理特性及产量与品质的研究很多^[6-7],关于局部灌溉条件下水肥供应对农作物产量的影响方面也有报道^[8],然而截至目前,关于根系分区交替灌溉条件下水肥用量对农产品品质的影响方面,尚未见报道。因此,本文在分根区交替灌溉条件下,应用五元二次正交旋转组合设计,研究不同水肥施用水平对番茄果实硝酸盐含量的影响,通过回归分析、单因素效应及交互效应分析,定量研究番茄果实硝酸盐含量对水肥因子的响应关系,以期分为分根区交替灌溉条件下番茄的优质、安全生产提供理论与现实依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

试验于2010年5—10月在西北农林科技大学旱区农业水土工程教育部重点实验室进行。供试番茄为毛粉802,用高30 cm、直径30 cm的铁皮桶自制分根装置(中间用带V形缺口、高24 cm的隔板将桶分为相等的两部分)。桶底部装河沙1 kg,装土21 kg,装土容重1.30 g/cm³。两边分别安装一支PVC管用于灌水(长30 cm,直径2.5 cm)。灌水管外层用1 mm直径纱网缠绕两层,共打3排圆孔,PVC管距桶底部5 cm。

供试土壤取自西北农林科技大学节水灌溉试验站大田0—20 cm耕层土壤,土壤基本理化性状为,土壤干

容重为 1.30 g/cm^3 , 土壤有机质 16.09 g/kg , 全氮 0.85 g/kg , 全磷 0.68 g/kg , 碱解氮 50.5 mg/kg , 速效磷 14.73 mg/kg , 速效钾 140.47 mg/kg , 田间持水量为 24% 。

2010 年 6 月 5 日移栽定植, 定植时将番茄幼苗置于隔板 V 形缺口的正上方, 确保根系分布均匀。定植后立即浇水至田间持水量 θ_f 。缓苗期为 8 d, 待缓苗期过后, 当土壤含水量降至 65% 田间持水量时, 开始采用根系分区交替灌水。于盛果期采收两颗红熟度相同的果实进行品质测定。

1.2 试验方案

试验设灌水量、施氮量、施磷量、施钾量和有机肥用量 5 个因素, 采用五元二次正交旋转组合设计的 $1/2$ 实施方案^[9], 共 36 个处理, 3 次重复。为节省篇幅, 略去详细的试验方案, 仅将各因素具体的上下水平及变化间距列于表 1。

表 1 试验因子水平编码表
Table 1 The codes and levels of experimental factors

因子 Factors	变化间距 Interval	变量设计水平及编码 Variable levels and codes				
		-2	-1	0	1	2
灌水量 Irrigation amount X_1/mL	$1/3 W$	$1/3 W$	$2/3 W$	W	$4/3 W$	$5/3 W$
每千克土施氮量 N rate per kg soil X_2/g	0.120	0	0.120	0.240	0.360	0.480
每千克土施磷量 P rate per kg soil X_3/g	0.066	0	0.066	0.132	0.198	0.264
每千克土施钾量 K rate per kg soil X_4/g	0.105	0	0.105	0.210	0.315	0.420
每千克土有机肥用量 Manure rate per kg soil X_5/g	10.0	0	10.0	20.0	30.0	40.0

W 为 0 水平的灌水量/mL, 是由田间持水量的 65% 灌至田间持水量的 85% 所需的水量; 通过称重法确定灌水时间和灌水量, 控制下限为田间持水量的 65% , 各处理灌水时间相同

试验所用氮、磷、钾肥料分别为尿素(含纯 N 为 46%), 过磷酸钙(含 P_2O_5 为 15%) 和硫酸钾(含 K_2O 为 50%), 有机肥料为腐熟的牛粪(全氮、全磷、全钾含量分别为 3.17 、 3.16 、 2.12 g/kg)。有机肥和磷肥一次性基施, 氮肥和钾肥按照基追比 $1:2$ 施用, 追肥分别在第 1 穗果膨大期和第 2 穗果膨大期进行, 追肥方法为穴施。

1.3 测定项目及方法

番茄果实中硝酸盐含量采用水杨酸-硫酸法^[10]测定。

1.4 数据处理

试验数据用 DPS 软件进行番茄果实硝酸盐含量与各水肥因子用量间的关系模拟, 用 Excel 及 Matlab 软件对分析结果进行图表的处理。

2 结果与分析

2.1 番茄果实硝酸盐含量与灌水量以及氮、磷、钾和有机肥用量间的关系

以五元二次多项式拟合灌水、施肥 5 个因子 X_i 的编码值(取值范围为 $[-2, 2]$) 和番茄果实中硝酸盐含量 Y 的关系, 对方程进行方差分析, 剔除不显著项, 得到最终的简化模型如下:

$$Y = 15.97 + 0.88X_1 - 0.38X_3 + 0.82X_5 + 0.9X_1^2 - 0.38X_2^2 - 0.84^2X_3 - 0.79X_1X_4 - 1.08X_1X_5 + 0.52X_2X_3 - 0.55X_2X_4 + 0.79X_3X_5 \quad (1)$$

方差分析表明, $F_{\text{回}} = 4.91 > F_{0.01}(14, 21) = 3.07$, 各项回归系数的 F 值依次为 $F_1 = 8.83, F_3 = 1.65, F_5 = 7.67, F_{11} = 12.37, F_{22} = 2.21, F_{33} = 10.82, F_{14} = 4.83, F_{15} = 8.99, F_{23} = 2.10, F_{24} = 2.34, F_{35} = 4.82 (F_{0.25}(1, 21) = 1.40; F_{0.1}(1, 21) = 2.96; F_{0.05}(1, 21) = 4.32; F_{0.01}(1, 21) = 8.02)$ 。可见, 水肥因子与果实硝酸盐含量的回归关系达到极显著水平, 能反映番茄果实硝酸盐含量随灌水量和氮、磷、钾及有机肥用量的变化情况, 可以用来进行果实硝酸盐含量的预测。

2.2 水肥各单一因素对番茄果实硝酸盐含量的影响

由于试验设计满足了正交性, 模型中各项偏回归系数彼此独立, 因此可对模型进行降维处理, 即固定其它

因素为 0 水平,得到水肥用量各因素对于番茄硝酸盐含量的一元二次偏回归子模型如下:

$$\begin{aligned} \text{灌水量} & Y_1 = 15.97 + 0.88X_1 + 0.9X_1^2 \\ \text{施氮量} & Y_2 = 15.97 - 0.38X_2^2 \\ \text{施磷量} & Y_3 = 15.97 - 0.38X_3 - 0.84^2X_3 \\ \text{施钾量} & Y_4 = 15.97 \\ \text{有机肥用量} & Y_5 = 15.97 + 0.82X_5 \end{aligned}$$

由以上模型可绘出水肥用量单一因子与番茄硝酸盐含量的关系,见图 1 所示。

图 1 表明,番茄果实硝酸盐含量随灌水量增加而降低,之后又逐渐增加,番茄最低硝酸盐含量的灌水量编码值为-0.49,当灌水量大于或小于此值时都将导致番茄硝酸盐含量升高,说明只有在适量灌水条件下才能有效降低番茄硝酸盐含量。图 1 还表明,随着施氮量、施磷量的增加,番茄中硝酸盐含量均呈现先增加后降低的趋势;随有机肥用量增加,番茄中硝酸盐含量逐渐增加。与这四个因子不同,番茄果实中的硝酸盐含量不随钾肥用量而变化。

2.3 水肥两两因素对番茄果实硝酸盐含量的耦合效应

番茄果实硝酸盐含量受到多因素的影响,任何单因素的影响都不是孤立存在的。在多因素试验中,只有对

因子间的交互作用进行分析才能揭示事物本身内在的联系。在本试验中,一共有 10 个交互项因素,比较显著的交互项有: X_1X_4 、 X_1X_5 、 X_2X_3 、 X_2X_4 、 X_3X_5 。其中 X_1X_5 达到极显著水平, X_1X_4 、 X_3X_5 达显著水平,其它均为较显著水平。降维法处理后可以得到如下子模型:

$$\begin{aligned} Y(X_1, X_4) &= 15.97 + 0.88X_1 + 0.9X_1^2 - 0.79X_1X_4 \\ Y(X_1, X_5) &= 15.97 + 0.88X_1 + 0.82X_5 + 0.9^2X_1 - 1.08X_1X_5 \\ Y(X_2, X_3) &= 15.97 - 0.38X_3 - 0.38X_2^2 - 0.84X_3^2 + 0.52X_2X_3 \\ Y(X_2, X_4) &= 15.97 - 0.38X_2 - 0.55X_2X_4 \\ Y(X_3, X_5) &= 15.97 - 0.38X_3 + 0.82X_5 - 0.84X_3^2 + 0.79X_3X_5 \end{aligned}$$

2.3.1 灌水量与施钾量对番茄果实硝酸盐含量的耦合效应

灌水量和施钾量的交互项系数为-0.79,二者间存在负的交互效应。从表 2 可以看出,不论施钾量如何

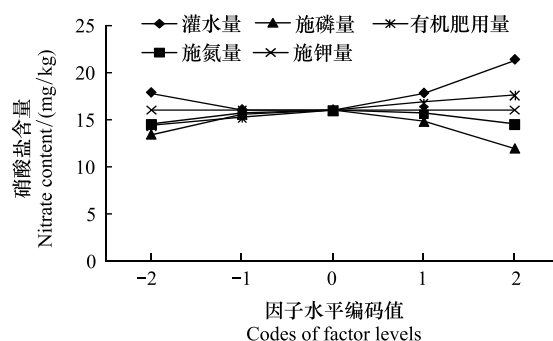


图 1 水肥单因子(X_i)与番茄硝酸盐含量的关系

Fig. 1 Relationship between single factor and nitrate content in tomato

表 2 灌水量与施钾量的耦合效应

Table 2 Coupling effect of irrigation amount and potassium fertilizer level on nitrate content in tomato

灌水量 Irrigation amount	施钾量 K fertilizer rate					统计参数 Statistical parameter		
	-2	-1	0	1	2	$\bar{X}$	S	CV/%
-2	14.65	16.23	17.81	19.39	20.97	17.81	2.50	14.03
-1	14.41	15.20	15.99	16.78	17.57	15.99	1.25	7.81
0	15.97	15.97	15.97	15.97	15.97	15.97	0	0
1	19.33	18.54	17.75	16.96	16.17	17.75	1.25	7.04
2	24.49	22.91	21.33	19.75	18.17	21.33	2.50	11.71
统计参数 $\bar{X}$	17.77	17.77	17.77	17.77	17.77			
Statistical parameter S	4.24	3.13	2.18	1.69	2.01			
CV/%	23.85	17.62	12.29	9.51	11.34			

$\bar{X}$, S, CV 分别为均值,标准差和变异系数

变化,果实硝酸盐含量均随灌水量呈先减小后增加变化趋势,而且其平均值相同。施钾量的情况则不同:当灌水量高于中水平(W)时,果实硝酸盐含量随着施钾量的增加而减小;等于中水平时,不随施钾量而变化;低于中水平时,随施钾量增加而增大。表明灌水量较高的条件下增施钾肥有利于降低硝酸盐含量,而灌水量比较低的条件下施用钾肥的作用相反。

2.3.2 灌水量与有机肥用量对番茄果实硝酸盐含量的耦合效应

灌水量与有机肥用量对番茄果实硝酸盐含量的交互项系数为 -1.08 (式(1)),其交互作用最大,且为负效应,表明二者间的相互作用可抑制番茄硝酸盐累积。从图2可以看出,当灌水量大于中水平时,番茄硝酸盐含量随着有机肥用量的增加而减少,其它灌水量时,趋势相反。当有机肥用量为低水平时,番茄硝酸盐含量随灌水量增大而增加;随有机肥用量的增大,硝酸盐含量随灌水量的变化趋势是,先降低后增加,且最低硝酸盐含量的灌水量随有机肥用量增加而增大。有机肥用量为低水平(不施有机肥)、灌水量为低水平($1/3W$)和高水平($5/3W$)时分别有最低、最高硝酸盐含量,分别为:11.85和24.01 mg/kg。可见,较高灌水水平下提高有机肥用量有利于降低番茄果实硝酸盐含量。

2.3.3 施氮量与施磷量对番茄果实硝酸盐含量的耦合效应

施氮量与施磷量对番茄果实硝酸盐含量的耦合效应关系如图3所示,为上凸曲面,表明当其它因子为中水平时硝酸盐含量随着施氮量、施磷量均呈抛物线状变化,即随施氮量、施磷量的变化呈现先增加后降低的变化趋势。二者间的交互项系数为 $+0.52$,即施氮量和施磷量间存在正交互作用,二者相互作用促进番茄果实硝酸盐积累。硝酸盐含量最大值在施氮量、施磷量处于中水平(0.240、0.132 g/kg)附近时达到。当施磷量处于高水平(0.264 g/kg)时有最低硝酸盐含量,其平均值为11.09 mg/kg;当施氮量与施磷量分别为低水平(不施氮)和高水平时有最低硝酸盐含量8.25 mg/kg。可见,适当增加磷肥用量、降低氮肥用量有利于降低番茄果实硝酸盐含量。

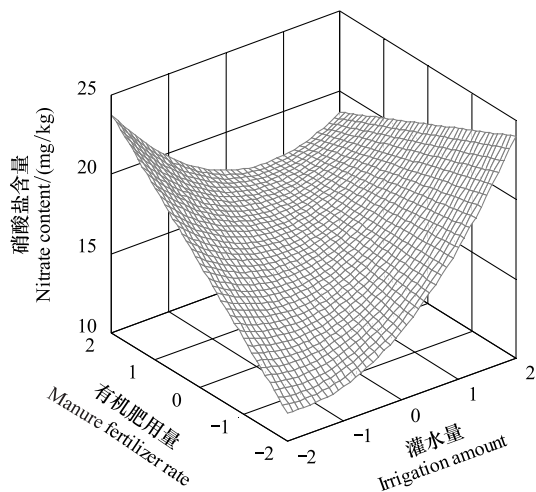


图2 灌水量和有机肥用量对番茄硝酸盐含量的影响

Fig. 2 Effect of irrigation and organic fertilizer amount on nitrate content in tomato

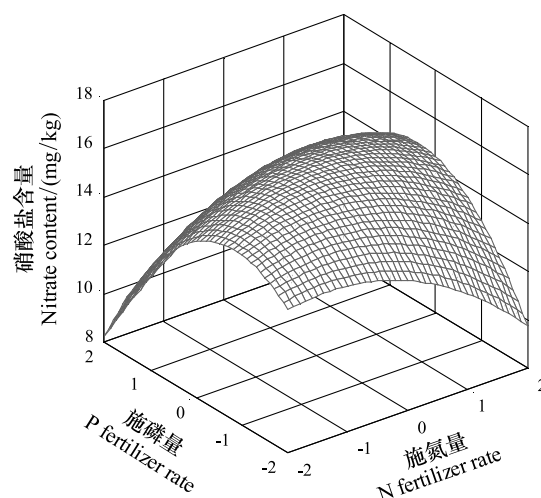


图3 施氮量和施磷量对番茄硝酸盐含量的影响

Fig. 3 Effect of nitrogen and phosphorus fertilizer level on nitrate content in tomato

2.3.4 施氮量与施钾量对番茄果实硝酸盐含量的耦合效应

施氮量与施钾量对番茄果实硝酸盐含量的交互作用项系数为 -0.55 (式(1)),二者间的相互作用可以抑制番茄果实中硝酸盐的累积。当钾肥用量一定时,随着施氮量增加,番茄果实硝酸盐含量先增加后减小(表3)。当施氮量为中水平时,硝酸盐含量不随施钾量变化;当施氮量低于中水平时,随着施钾量的增大硝酸盐含量逐渐增加;当施氮量高于中水平时,随着施钾量的增大硝酸盐含量逐渐下降。从表3还可以看出,当施氮量、施钾量同时处于高水平或低水平时有最低硝酸盐含量12.25 mg/kg,对应的N、 K_2O 实际施用量为0、

0 g/kg 或者 0.480、0.420 g/kg。可见,施氮量较高时,增施钾肥有助于降低番茄果实中硝酸盐含量。

表 3 施氮量与施钾量的耦合效应

Table 3 Coupling effect of nitrogen and potassium fertilizer level on nitrate content in tomato

施氮量 N fertilizer rate	施钾量 K fertilizer rate					统计参数 Statistical parameter		
	-2	-1	0	1	2	$\bar{X}$	S	CV/%
-2	12.25	13.35	14.45	15.55	16.65	14.45	1.74	12.04
-1	14.49	15.04	15.59	16.14	16.69	15.59	0.87	5.58
0	15.97	15.97	15.97	15.97	15.97	15.97	0	0
1	16.69	16.14	15.59	15.04	14.49	15.59	0.87	5.58
2	16.65	15.55	14.45	13.35	12.25	14.45	1.74	12.04
统计参数 $\bar{X}$	15.21	15.21	15.21	15.21	15.21			
Statistical parameter S	1.88	1.12	0.71	1.12	1.88			
CV/%	12.35	7.38	4.67	7.38	12.35			

2.3.5 施磷量与有机肥用量对番茄果实硝酸盐含量的耦合效应

施磷量与有机肥用量对番茄果实硝酸盐含量的交互作用项系数为+0.79(式(1)),表现出显著的正交互作用,二者间的耦合效应如表4所示。可以看出,不施磷肥时,随有机肥用量增大,番茄果实硝酸盐含量逐渐降低,变异系数为8.99%;对增施磷肥的各个水平,硝酸盐含量随有机肥用量的增加均呈增大趋势,而且,增加的幅度随磷肥用量明显增大。各有机肥用量条件下,番茄果实硝酸盐含量随施磷量的变化趋势,均呈现出先增加后减小的趋势,所不同的是最大硝酸盐含量的施磷水平随有机肥用量而增大,且硝酸盐含量的绝对值也增大。以不施有机肥且磷肥施用量最高时的硝酸盐含量最低,为7.05 mg/kg,较不施磷肥且有机肥用量最大时的11.85 mg/kg降低了40.5%。可见,适当增加磷肥用量、降低有机肥用量有利于显著降低番茄果实硝酸盐的累积。

表 4 施磷量与有机肥用量的耦合效应

Table 4 Coupling effect of phosphorus and manure fertilizer level on nitrate content in tomato

施磷量 P fertilizer rate	有机肥用量 Manure fertilizer					统计参数 Statistical parameter		
	-2	-1	0	1	2	$\bar{X}$	S	CV/%
-2	14.89	14.13	13.37	12.61	11.85	13.37	1.20	8.99
-1	15.45	15.48	15.51	15.54	15.57	15.51	0.05	0.31
0	14.33	15.15	15.97	16.79	17.61	15.97	1.30	8.12
1	11.53	13.14	14.75	16.36	17.97	14.75	2.55	17.26
2	7.05	9.45	11.85	14.25	16.65	11.85	3.79	32.02
统计参数 $\bar{X}$	12.65	13.47	14.29	15.11	15.93			
Statistical parameter S	3.47	2.43	1.68	1.70	2.46			
CV/%	27.47	18.02	11.77	11.25	15.47			

3 讨论

根系分区交替灌溉是一种新的节水灌溉方法,目前的研究主要集中在这种灌溉方式本身对作物对生长生理特性及产量与品质的影响方面,关于这种灌溉方式下水肥供应对农作物产量的影响方面也有一些报道,但关于根系分区交替灌溉条件下水肥用量对农产品品质的影响方面,还鲜见报道。本研究表明,根系分区交替灌溉条件下,番茄果实硝酸盐含量随灌水量先减小后增加。原因可能在于,一方面,干旱条件下,植物体内硝酸还原酶(NR)合成受阻,分解加快,含量下降,活性降低,导致 NO_3^- 累积增加^[11];同时,干旱条件下土壤通气良好,有利于硝化作用的进行,提高了土壤中 NO_3^- 可供应量。另一方面,当灌水量增加导致土壤含水率增大

时,尽管土壤 NO_3^- 因为淋失机会增多其含量可能减小^[12],但本试验中最大土壤含水率控制在田间持水量,其淋失的可能性很小。而且,质流是土壤 NO_3^- 向根表迁移、从而被根系吸收的主要方式^[13-14],灌水量增加必然加快了 NO_3^- 在土壤中的迁移,有利于植物对 NO_3^- 的吸收。同时,土壤含水率增大导致的根系缺氧也会引起植物体内硝酸还原酶活性下降^[15],从而导致 NO_3^- 在作物体内的累积。关于灌水量对番茄硝酸盐累积的影响及其机理,尚需进一步深入研究。

本研究发现,根系分区交替灌溉条件下,随施氮量的增加,番茄果实硝酸盐呈现先增大后减小的变化趋势。均匀灌水条件下的研究也表明,在一定范围内,番茄果实硝酸盐含量随施氮量增加先增加而后下降^[16],番茄果实硝酸盐含量不受氮肥品种和用量的影响或者影响甚微^[17-18]。这与前人关于叶菜类的研究结果^[19-20]矛盾。原因可能在于,茄果类蔬菜富集硝酸盐的能力较弱^[17-18],而且,果实中的硝酸还原酶活性不随施氮量的变化而变化,其果实硝酸盐含量随施氮量变化不显著^[17]。除了氮肥用量与形态、施肥方式以外,番茄硝酸盐的积累可能与番茄果实自身对 NO_3^- 的吸收同化等有密切关系,其机理有待进一步深入研究。

本试验条件下,番茄果实硝酸盐含量与水肥用量的回归模型中,施钾量的一次及二次项皆不显著,番茄果实中的硝酸盐含量不随钾肥用量而变化。但增施钾肥,可以通过与施氮量间的负交互效应达到降低番茄果实硝酸盐含量的效果(表 2,表 3),这与秦松等^[21]均匀灌水条件下施用钾肥可抑制番茄果实中高量氮肥造成的硝酸盐过多累积的结论一致。原因可能在于,钾在氮素代谢中起重要作用,高氮水平时,钾能更好地促使 NO_3^- 同化,促进氮素转化为氨基酸和蛋白质,从而减少硝酸盐在果实内的累积^[21]。

应用 Matlab 软件对回归模型求得番茄果实硝酸盐含量最大值为 28.52 mg/kg,该值低于国家标准 600 mg/kg^[3],这与番茄属于茄果类蔬菜,为低硝酸盐积累的蔬菜有关,同时也说明分根区交替灌溉不会造成番茄果实硝酸盐含量偏高。

4 结论

本研究通过盆栽试验,采用五元二次正交旋转组合设计,研究了根系分区交替灌溉条件下灌水量和氮、磷、钾、有机肥用量五因子对番茄果实硝酸盐含量的影响,通过分析得到如下主要结论:

(1) 本试验条件下,灌水量对番茄果实硝酸盐含量具有重要影响,中等灌水量有利于降低硝酸盐在番茄果实内的积累;灌水量与施钾量、灌水量与有机肥量对番茄果实硝酸盐累积具有负的交互作用,适量灌水及水肥的合理搭配均可以有效降低果实硝酸盐含量,特别是当灌水量较高时,提高钾肥与有机肥的用量,其效果更为显著。

(2) 随有机肥用量的增大,番茄果实硝酸盐含量呈线性增加趋势;随施氮量和施磷量的增加,番茄果实硝酸盐含量呈先增大后降低的变化规律;施磷量与有机肥用量、施磷量与施氮量对番茄果实硝酸盐含量表现为正交互效应,钾肥可以通过与灌水量和施氮量间的负交互效应达到降低番茄果实中硝酸盐含量的效果。

致谢: 西北农林科技大学旱区农业水土工程教育部重点实验室为本试验提供了诸多先进仪器,特此致谢。

References:

- [1] Lu S L, Zhou G D. Present situation and sanitary evaluation of nitrate content in vegetables of Shanghai City. Shanghai Agricultural Science and Technology, 1989, (4): 15-16.
- [2] Zhang Y, Ma H G, Xu W L, Wang H Y, Qi G H, Yang L C. Effect of potassium application on yield and quality of processing tomato. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2008, (3): 40-42.
- [3] Li T, Wan G H, Jiang Q G, Liang Z G, Ma J S. The effect of applying fertilizer on the nitrate content in vegetables. Soils and Fertilizers, 2004, (4): 20-21.
- [4] Zhang N, Zhang T C, Zhang Z. Effects of different fertilizer on yield and quality of tomato in greenhouse. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences, 2010, (2): 260-262.
- [5] Kang S Z, Zhang J H, Liang Z S, Hu X T, Cai H J. The controlled alternative irrigation — a new approach for water saving regulation in farmland. Agricultural Research in the Arid Areas, 1997, 15(1): 1-6.
- [6] Wakrim R, Wahbi S, Tahi H, Aganchich B, Serraj R. Comparative effects of partial root drying (PRD) and regulated deficit irrigation (RDI) on water relations and water use efficiency in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Agriculture Ecosystems and Environment, 2005, 106(2/3):

275-287.

- [7] Hu X T, Kang S Z, Zhan J H, Zhang F C, Li Z J, Zhou L C. Water-saving mechanism and efficiency of vertical partial-rootzone alternative controlled drip irrigation of tomato (*Lycopersicon esculentum*). Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2005, 21(7): 1-5.
- [8] Nong M L, Li F S, Liu S. Effects of partial root-zone irrigation and N, K levels on dry mass accumulation, water and nutrients use of maize. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2010, 16(6): 1539-1545.
- [9] Yuan Z F, Zhou J Y. Experimental Design and Analysis. Beijing: Higher Education Press, 2000:360-366.
- [10] Zhao S J, Liu H S. Experimental Instruction of Phytophysiology. Beijing: Chinese Agricultural Technology Press, 1998.
- [11] Duan C Q. Production Theory and Technology of "Green" Vegetables — Take Yunnan for Example. Beijing: Science Press, 2006, 07.
- [12] Li S X. Plant Nitrogen of Soil of Arid Areas in China. Beijing: Science Press, 2008.
- [13] Li H S. Modern Plant Physiology. 2nd ed. Beijing: Higher Education Press, 2006:96-101.
- [14] Anna G, Qing Y, Michele H N, Zweieniecki M A. Nitrate control of root hydraulic properties in plants: translating local information to whole plant response. Plant Physiology, 2008, 148(2): 1159-1167.
- [15] Wang Z H, Tian X H, Li S X, Shang H B. The influence of soil water on nitrate accumulation in vegetable. Journal of Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry: Natural Science Edition, 1997, 25(6): 15-20.
- [16] Zhang J, Zou W W, Shao X. Effects of N fertilizer on yield and quality of greenhouse tomatoes. Shanghai Agricultural Science and Technology, 2009, (3): 85-86.
- [17] Wang Q, Wang L, Hao C Y, Wang H, Wei X L, Jiang Z X. Study on accumulation effect and control measure of nitrate with application of excessive nitrogenous fertilizer for different vegetables. Journal of Agro-Environment Science, 2000, 19(1): 46-49.
- [18] Guo X S, Wu L S. The effect of N and K fertilizer on vegetable quality. Journal of Huazhong Agricultural University, 2002, 21(6): 593-598.
- [19] Hu C X, Deng B E, Liu T C. Effects of nitrogen fertilizer on nitrate accumulation by the Chinese cabbage (*Brassica Chinensis*) and tomato (*Lycopersicum Esculentum*). Journal of Huazhong Agricultural University, 1992, 11(3): 239-243.
- [20] Yuan L P, Mi G Q, Zhao L Z, Ren H Z. Concurrent influences of different water and nitrogen supplement on yields and quality of tomato in solar-greenhouse. Soils and Fertilizer Sciences in China, 2008, (2): 69-73.
- [21] Qin S, Wang Z Y. Review on effects of nitrogen nutrition on the quality in solanaceae vegetables. Journal of Changjiang Vegetables, 2006, 10(10): 30-33.

参考文献:

- [1] 卢善玲, 周根娣. 上海地区蔬菜硝酸盐含量状况及食用卫生评价. 上海农业科技, 1989, (4): 15-16.
- [2] 张炎, 马海刚, 徐万里, 王海燕, 齐桂红, 杨洛成. 施钾对加工番茄产量与品质的影响. 中国土壤与肥料, 2008, (3): 40-42.
- [3] 李涛, 万广华, 蒋庆功, 梁志刚, 马继山. 施肥对蔬菜中硝酸盐含量的影响. 土壤肥料, 2004, (4): 20-21.
- [4] 张娜, 张天财, 张仲. 不同肥料配比对大棚番茄品质与产量的影响. 浙江农业科学, 2010, (2): 260-262.
- [5] 康绍忠, 张建华, 梁宗锁, 胡笑涛, 蔡焕杰. 控制性交替灌溉——一种新的农田节水调控思路. 干旱地区农业研究, 1997, 15(1): 1-6.
- [7] 胡笑涛, 康绍忠, 张建华, 张富仓, 李志军, 周良臣. 番茄垂向分根区交替控制滴灌室内试验及节水机理. 农业工程学报, 2005, 21(7): 1-5.
- [8] 农梦玲, 李伏生, 刘水. 根区局部灌溉和氮、钾水平对玉米干物质积累和水肥利用的影响. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(6): 1539-1545.
- [9] 袁志发, 周静芋. 试验设计与分析. 北京: 高等教育出版社, 2000:360-366.
- [10] 赵世杰, 刘华山. 植物生理学实验指导. 北京: 中国农业科技出版社, 1998.
- [11] 段昌群. 无公害蔬菜生产的理论和调控技术——以云南为例. 北京: 科学出版社, 2006, 07.
- [12] 李生秀. 中国旱地土壤植物氮素. 北京: 科学出版社, 2008.
- [13] 李合生. 现代植物生理学(第二版). 北京: 高等教育出版社, 2006:96-101.
- [15] 王朝辉, 田霄鸿, 李生秀, 尚浩博. 土壤水分对蔬菜硝态氮累积的影响. 西北农业大学学报: 自然科学版, 1997, 25(6): 15-20.
- [16] 张剑, 邹文武, 邵歆. 氮水平对大棚番茄产量和品质的影响. 上海农业科技, 2009, (3): 85-86.
- [17] 王庆, 王丽, 郝崇岩, 王晖, 隗晓岚, 姜志霞. 过量氮肥对不同蔬菜中硝酸盐积累的影响及调控措施研究. 农业环境保护, 2000, 19(1): 46-49.
- [18] 郭熙盛, 吴礼树. 施用钾肥对蔬菜品质影响的研究进展. 华中农业大学学报, 2002, 21(6): 593-598.
- [19] 胡承孝, 邓波儿, 刘同仇. 施用氮肥对小白菜、番茄中硝酸盐积累的影响. 华中农业大学学报, 1992, 11(3): 239-243.
- [20] 袁丽萍, 米国全, 赵灵芝, 任华中. 水氮耦合供应对日光温室番茄产量和品质的影响. 中国土壤与肥料, 2008, (2): 69-73.
- [21] 秦松, 王正银. 氮素营养对茄果类蔬菜品质的影响. 长江蔬菜, 2006, 10(10): 30-33.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 7 April, 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Research progress on chemical communication of development and host-finding of nematodes ZHANG Bin, HU Chunxiang, SHI Jin, et al (2003)
- Principles, indicators and sampling methods for species monitoring XU Haigen, DING Hui, WU Jun, et al (2013)

Autecology & Fundamentals

- Spatial distribution pattern of human-caused fires in Hulunbeir grassland ZHANG Zhengxiang, ZHANG Hongyan, LI Dongxue, et al (2023)
- Belowground biomass in Tibetan grasslands and its environmental control factors YANG Xiuqing, HUANG Mei, WANG Junbang, et al (2032)
- Analysis on variation characteristics of air temperature and ground temperature in Guilin from 1961 to 2010 CHEN Chao, ZHOU Guangsheng (2043)
- Winter bed-site selection by roe deer (*Capreolus capreolus*) in Huangnihe Nature Reserve ZHU Hongqiang, GE Zhiyong, LIU Geng, et al (2054)
- Leaf anatomical characteristics of the plants of grasslands in the Tibetan Plateau LI Quanfa, WANG Baojuan, AN Lihua, et al (2062)
- A research on summer vegetation characteristics & short-time responses to experimental warming of alpine meadow in the Qinghai-Tibetan Plateau XU Manhou, XUE Xian (2071)
- Cytological study on microsporogenesis of *Solanum lycopersicum* var. Micro-Tom under high temperature stress PENG Zhen, CHENG Lin, HE Yanjun, et al (2084)
- A new plant height growth process model of *Caragana* forest in semi-arid loess hilly region ZHAO Long, WANG Zhenfeng, GUO Zhongsheng, et al (2093)
- Germination inhibitory substances extracted from the seed of seven species of *Quercus* LI Qingmei, LIU Yan, LIU Guangquan, et al (2104)
- Effects of water stress and fungicide on the growth and drought resistance of *Flaveria bidentis* CHEN Dongqing, HUANGFU Chaohe, LIU Hongmei, et al (2113)
- Characters of soil seed bank in copper tailings and its adjacent habitat ... SHEN Zhangjun, OU Zulan, TIAN Shengni, et al (2121)
- Changes of soil chemical properties after different burning years in typical steppe of Yunwun Mountains LI Yuan, CHENG Jimin, WEI Lin, et al (2131)
- Effects of water and fertilizers on nitrate content in tomato fruits under alternate partial root-zone irrigation ZHOU Zhenjiang, NIU Xiaoli, LI Rui, et al (2139)
- Effect of land use on the characteristics of organic carbon and labile organic carbon in soil aggregates in Karst mountain areas LI Juan, LIAO Hongkai, LONG Jian, et al (2147)
- Mobilization of inorganic phosphorus from soils by five azotobacters ZHANG Liang, YANG Yuhong, LI Qian, et al (2157)
- Physiological-ecological responses of *Iris germanica* L. to Cd stress and its accumulation of Cd ZHANG Chengxiang, CHEN Weifeng (2165)
- The available forms and bioavailability of heavy metals in soil amended with sewage sludge TIE Mei, SONG Linlin, HUI Xiujuan, et al (2173)
- LAI-based photosynthetic light response model and its application in a rainfed maize ecosystem SUN Jingsong, ZHOU Guangsheng (2182)
- The dominant species of predatory natural enemies of three kinds of planthoppers and impact of pesticides on natural enemies in paddy field LIN Yuan, ZHOU Xiazhi, BI Shoudong, et al (2189)

Population, Community and Ecosystem

- Spatial and temporal variation of picophytoplankton in the Pearl River Estuary ZHANG Xia, HUANG Xiaoping, SHI Zhen, et al (2200)

Analysis of the relationship between species diversity and hydrologic factors during an interval of intermittent water delivery at the Lower Reaches of Tarim River, China	CHEN Yongjin, LIU Jiazhen, CHEN Yaning, et al (2212)
Fish species composition and community pattern in the continental shelf of northwestern South China Sea	WANG Xuehui, LIN Zhaojin, DU Feiyan, et al (2225)
Distribution and succession of plant communities in Lake Bita coastal swamp on the plateau region, northwestern Yunnan	HAN Dayong, YANG Yongxing, YANG Yang (2236)
Analysis on community structure and quantitative characteristics of <i>Nitraria tangutorum</i> nebkhas at different succession stage in lower reaches of Shiyang River	JIN Hujia, MA Quanlin, HE Mingzhu, et al (2248)
Resource and Industrial Ecology	
Effects of subsoiling and supplemental irrigation on dry matter production and water use efficiency in wheat	ZHENG Chengyan, YU Zhenwen, ZHANG Yongli, et al (2260)
Effects of two years' incorporation of leguminous green manure on soil properties of a wheat field in dryland conditions	ZHANG Dabin, YAO Pengwei, LI Jing, et al (2272)
Effects of planting with ridge and furrow mulching on maize growth, yield and water use efficiency in dryland farming	LI Rong, HOU Xianqing, JIA Zhikuan, et al (2282)
Urban, Rural and Social Ecology	
Effects of riparian buffers of North Mort of Beijing on air temperature and relative humidity	WU Fangfang, ZHANG Na, CHEN Xiaoyan (2292)
Characteristics of spatial and temporal variations of global solar radiation in Xi'an and relevant response in urban development	ZHANG Hongli, ZHANG Naweirui, LIU Minru, et al (2304)
Research Notes	
A analysis of macrofungal flora diversity in Langyashan Nature Reserve, Anhui Province, China	CHAI Xinyi, XU Xuefeng, WANG Meiyang, et al (2314)

《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,探索自然奥秘,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 陈利顶

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 7 期 (2013 年 4 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 7 (April, 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