

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第31卷 第9期 Vol.31 No.9 **2011**

中国生态学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 31 卷 第 9 期

2011 年 5 月 (半月刊)

目 次

EAM 会议专刊述评——气候变化下旱区农业生态系统的可持续性	李凤民, Kadambot H. M Siddique, Neil C Turner, 等 (I)
第二届生态系统评估与管理(EAM)国际会议综述	李朴芳, 赵旭喆, 程正国, 等 (2349)
应对全球气候变化的干旱农业生态系统研究——第二届 EAM 国际会议青年学者论坛综述	赵旭喆, 李朴芳, Kadambot H. M Siddique, 等 (2356)
微集雨模式与降雨变律对燕麦大田水生态过程的影响	强生才, 张恒嘉, 莫非, 等 (2365)
黑河中游春小麦需水量空间分布	王 瑶, 赵传燕, 田风霞, 等 (2374)
祁连山区青海云杉林蒸腾耗水估算	田风霞, 赵传燕, 冯兆东 (2383)
甘肃小陇山不同针叶林凋落物量、养分储量及持水特性	常雅军, 陈 琦, 曹 靖, 等 (2392)
灌水频率对河西走廊绿洲菊芋生活史对策及产量形成的影响	张恒嘉, 黄高宝, 杨 斌 (2401)
玛纳斯河流域水资源可持续利用评价方法	杨 广, 何新林, 李俊峰, 等 (2407)
西北旱寒区地理、地形因素与降雨量及平均温度的相关性——以甘肃省为例	杨 森, 孙国钧, 何文莹, 等 (2414)
黑河河岸植被与环境因子间的相互作用	许莎莎, 孙国钧, 刘慧明, 等 (2421)
干旱胁迫对高山柳和沙棘幼苗光合生理特征的影响	蔡海霞, 吴福忠, 杨万勤 (2430)
树锦鸡儿、柠条锦鸡儿、小叶锦鸡儿和鹰嘴豆干旱适应能力比较	方向文, 李凤民, 张海娜, 等 (2437)
胡杨异形叶绿素荧光特性对高温的响应	王海珍, 韩 路, 徐雅丽, 等 (2444)
柠条平茬处理后不同组织游离氨基酸含量	张海娜, 方向文, 蒋志荣, 等 (2454)
玛河流域扇缘带盐穗木土壤速效养分的“肥岛”特征	涂锦娜, 熊友才, 张 霞, 等 (2461)
摩西球囊霉对三叶鬼针草保护酶活性的影响	宋会兴, 钟章成, 杨万勤, 等 (2471)
燕麦属不同倍性种质资源抗旱性状评价及筛选	彭远英, 颜红海, 郭来春, 等 (2478)
光周期对燕麦生育时期和穗分化的影响	赵宝平, 张 娜, 任长忠, 等 (2492)
水肥条件对新老两个春小麦品种竞争能力和产量关系的影响	杜京旗, 魏盼盼, 袁自强, 等 (2501)
猪场沼液对蔬菜病原菌的抑制作用	尚 斌, 陈永杏, 陶秀萍, 等 (2509)
不同夏季填闲作物种植对设施菜地土壤无机氮残留和淋洗的影响	王芝义, 郭瑞英, 李凤民 (2516)
不同群体结构夏玉米灌浆期光合特征和产量变化	卫 丽, 熊友才, Baoluo Ma, 等 (2524)
脱硫废弃物对碱胁迫下油菜幼叶细胞钙分布及 Ca^{2+} -ATPase 活性的影响	毛桂莲, 许 兴, 郑国琦, 等 (2532)
过去 30a 玛纳斯河流域生态安全格局与农业生产力演变	王月健, 徐海量, 王 成, 等 (2539)
基于 RS 和转移矩阵的泾河流域生态承载力时空动态评价	岳东霞, 杜 军, 刘俊艳, 等 (2550)
毛乌素沙地农牧生态系统能值分析与耦合关系	胡兵辉, 廖允成 (2559)
民勤绿洲农田生态系统服务价值变化及其影响因子的回归分析	岳东霞, 杜 军, 巩 杰, 等 (2567)
青岛市城市绿地生态系统的环境净化服务价值	张绪良, 徐宗军, 张朝晖, 等 (2576)
基于 3S 技术的祖厉河流域农村人均纯收入空间相关性分析	许宝泉, 施为群 (2585)
专论与综述	
全球变化下植物物候研究的关键问题	莫 非, 赵 鸿, 王建永, 等 (2593)
区域气候变化统计降尺度研究进展	朱宏伟, 杨 森, 赵旭喆, 等 (2602)
干旱胁迫下植物根源化学信号研究进展	李冀南, 李朴芳, 孔海燕, 等 (2610)
山黧豆毒素 ODAP 的生物合成及与抗逆性关系研究进展	张大伟, 邢更妹, 熊友才, 等 (2621)
旱地小麦理想株型研究进展	李朴芳, 程正国, 赵 鸿, 等 (2631)
小麦干旱诱导蛋白及相关基因研究进展	张小丰, 孔海燕, 李朴芳, 等 (2641)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 306 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 35 * 2011-05



封面图说: 覆膜-垄作燕麦种植——反映了雨水高效利用和农田水生态过程的优化(详见强生才 P2365)。

彩图提供: 兰州大学干旱与草地生态教育部重点实验室莫非 E-mail: mofei371@163.com

不同夏季填闲作物种植对设施菜地土壤 无机氮残留和淋洗的影响

王芝义, 郭瑞英*, 李凤民

(兰州大学生命科学学院, 干旱与草地生态教育部重点实验室, 兰州 730000)

摘要:通过模拟土柱试验方法,研究了设施蔬菜中4种夏季填闲作物种植对土壤无机氮残留和淋洗的影响,并分析了各填闲作物根系参数与土壤无机氮残留及淋洗的相关性,以期揭示填闲作物减少无机氮淋洗的作用机理,并获得设施蔬菜生产体系适宜种植的填闲作物种类及其筛选指标。结果表明,糯玉米和燕麦的地上生物量、根干重、根长密度显著高于豌豆和苋菜,糯玉米、燕麦和豌豆的氮素吸收量高于苋菜。收获时,各填闲作物的种植比土地休闲可以显著的降低土壤(0—60 cm)的无机氮含量;其中燕麦和苋菜对土壤无机氮降低最多,其次为豌豆,再次为糯玉米。四种填闲作物的种植均显著降低了设施菜地的无机氮淋洗量。与休闲处理相比,糯玉米、燕麦、豌豆和苋菜的种植将体系的氮素淋洗量分别降低了100%、96%、82%和58%。相关分析表明,比根长的增加有利于植株地上部氮素吸收量的积累。各土层填闲作物根系参数与土壤无机氮残留和淋洗相关性分析没有明显规律,表明了氮素淋洗可能受地上部和根系生长协同作用的影响,静态的根系参数测定较难反映根系生长与氮素淋洗的关系。总结认为,设施蔬菜生产体系中糯玉米和燕麦比豌豆和苋菜更适合作为夏季填闲作物。

关键词:夏季填闲作物;根系;土壤无机氮残留;无机氮淋洗

Effects of different summer catch crops planting on soil inorganic N residue and leaching in greenhouse vegetable cropping system

WANG Zhiyi, GUO Ruiying*, LI Fengmin

The Ministry of Education Key Laboratory of Arid and Grassland Ecology, School of Life Science, Lanzhou University, Gansu Province 730000, China

Abstract: Nitrogen management is crucially important in shallow-rooted vegetable production systems characterized by high input, high output and high environmental risk. Catch crops can be used as a biological N management tool to recover residual soil mineral N by prolonging growing season during the fallow period. The objectives of the experiment were (1) to study effects of different summer catch crops on vegetable-planted soil inorganic N residue and leaching, and (2) to screen desirable summer catch crops based on shoot and root growth of catch crops and N leaching in soils of greenhouse vegetable cropping system. To collect the leachate more easily, the method of simulated soil column was used in the study. Four crops were selected as summer catch crops. They were: sticky corn, amaranth, oat and pea. Fallow treatment was also established as control in the study. The biomass and N uptake of shoot and root, root length, root length density and the specific root length were measured to clarify effects of different catch crops in soil inorganic N residue and leaching.

Higher shoot biomass, root biomass and root length density of sticky corn and oat treatments were found compared with pea and amaranth treatments. Higher N uptake was shown in sticky corn, oat and pea treatments in comparison to amaranth. Compared with fallow treatment, catch crop planting could efficiently reduce soil inorganic N residue at harvest in all soil layers. The ranking of soil inorganic N residue left by catch crops was: amaranth and oat > pea > sticky corn. Inorganic N leaching could also be significantly reduced by catch crop planting. Compared with fallow treatment, inorganic N leaching could be reduced by 100%, 96%, 82% and 58% with sticky corn, oat, pea and amaranth treatments,

基金项目:国家自然科学基金项目(40801110; 3107866)

收稿日期:2010-10-30; 修订日期:2010-02-21

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: guory07@lzu.edu.cn

respectively. Correlation analysis indicated that there was a significant positive relationship between specific root length and aboveground N uptake of catch crops. There was no strict and regular relationship between each root parameter of catch crop and soil inorganic N residue and leaching, which indicated N leaching might be influenced by synergistic effect between aboveground and root system of catch crops. In addition, it was difficult to reflect the relationship between root growth and N leaching by only using static root parameters. In conclusion, sticky corn and oat were more desirable summer catch crops in greenhouse vegetable cropping system than pea and amaranth in the study.

Key Words: summer catch crops; root system; soil inorganic N residue; inorganic N leaching

在温带地区,主要经济作物收获后,光照和温度还容许一些作物生长,但是很难获得商品产量。这一时期种植作物的主要作用是通过各种途径来减少养分损失与培肥地力,所种植的作物被称为填闲作物。在外部投入较少的情况下,填闲作物特别是绿肥的种植对维持农业生产力具有重要意义^[1]。对于高投入生产体系而言,填闲作物的主要功能在于减少养分特别是氮素在土壤中的富积和防止硝酸盐的淋洗,并且基本不改变原有种植体系。

蔬菜生产体系是我国典型的集约化生产模式,具有高投入、高产出和高环境风险的特点。由于氮肥过量施用所造成的硝酸盐淋洗是集约化蔬菜生产区域普遍存在的问题^[2-6]。在目前的氮素管理研究中,基于土壤氮素供应和作物氮素需求平衡的减氮施肥是减少菜地硝酸盐积累和淋洗的最直接和最有效的途径^[7-9]。然而,由于大多数蔬菜作物具有浅根系和高产量的特征,需要在有限的根层空间内维持较高的氮素供应浓度才能获得所期望的产量,而这一供应浓度往往会超过硝酸盐淋洗的临界安全阈值(用容量单位表示是 90 kg/hm²)^[10]。这表明即使在减量施氮的情况下,菜地土壤中氮的累积和淋洗也是不可避免的,而且这部分氮很容易在夏季休闲期(6—9月)发生损失^[10]。Guo 等^[8]的田间试验证明,在推荐施肥的基础上,设施蔬菜一年两季生产体系下,夏季填闲作物甜玉米的种植可以进一步提高氮肥利用率,减少硝酸盐淋洗。因此,在高投入设施蔬菜生产体系中,采用填闲作物进行合理轮作是减少氮素淋洗损失和提高土壤有机质含量的重要生物途径^[11-13]。

填闲作物作为有效的氮库应具备一定的生物量,这就需要发达的根系吸收养分^[14]。因此,一些根系发育的参数如根深、根长密度、比根长和根系生长速率等是表征填闲作物提氮能力的重要参数^[15]。尽管近 10a 来,有关填闲作物的报道较多,但很少有关于根系的研究。本文选择了糯玉米、苋菜、豌豆和燕麦四种不同的夏季填闲作物,研究填闲作物种植对土壤无机氮残留和无机氮淋洗的影响,并探讨不同填闲作物根系生长特征与氮素淋洗的相关性,为设施蔬菜种植体系筛选高效适宜的夏季填闲作物提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2009 年 6 月 30 日—9 月 25 日在兰州大学干旱与草地生态教育部重点实验室榆中校区试验站遮雨棚内(104°09'E, 35°56'N, 海拔 1749 m)进行。

1.2 供试材料

1.2.1 供试土壤

供试土壤为兰州市榆中县农户日光温室蔬菜种植土壤,该温室具有 9a 种植历史。分别按照 0—15、15—30、30—45、45—60 cm 土层采集土壤。该土壤的理化性质见表 1 和表 2。

1.2.2 供试植物

供试作物为糯玉米、苋菜、燕麦和豌豆。糯玉米和苋菜为 C₄ 植物,燕麦和豌豆为 C₃ 植物。从根系来说,糯玉米和燕麦为须根系植物,而苋菜和豌豆均属直根系作物。

表 1 供试土壤容重与质地

Table 1 Soil bulk density and soil texture

土层/cm Soil layer	土壤容重/(g/cm ³) Soil bulk density	土壤粒径分析 Soil texture/%			质地 Soil texture
		<20 μm	20—2000 μm	>2000 μm	
0—15	1.37	4.28	74.07	21.66	粉壤
15—30	1.45	4.28	74.07	21.66	粉壤
30—45	1.50	6.67	79.49	13.85	粉壤
45—60	1.50	6.67	79.49	13.85	粉壤

表 2 供试土壤化学性质

Table 2 Soil chemical characteristics

土层/cm Soil layer	土壤全氮 /(g/kg) Total N	土壤有机质 /(g/kg) Soil organic C	NO ₃ -N /(kg/hm ²)	NH ₃ -N /(kg/hm ²)	土壤速效磷 /(kg/hm ²) Soil Olsen P	土壤 pH Soil pH
0—15	1.85	29.6	57.5	33.5	527.6	7.85
15—30	1.91	22.2	36.4	40.2	416.9	7.85
30—45	1.06	16.2	26.4	38.7	156.2	7.90
45—60	0.90	12.3	22.4	41.1	94.1	7.90

1.3 试验设计

试验设置 5 个处理,分别是糯玉米、苋菜、豌豆、燕麦和休闲处理。试验采用完全随机排列设计,每个处理重复 4 次。试验采用土柱模拟培养装置进行。土柱装置由 PVC 管制成,内径为 19.4 cm,高为 80 cm,其中 0—10 cm 为灌水层,10—70 cm 为土柱,70—80 cm 为淋洗液收集室,土柱与淋洗室之间用 pvc 平板隔开,pvc 板上打有孔径为 2 mm 的小孔 20 个,并铺有滤纸,滤纸上铺有碎石和石英砂,在淋洗液收集室下端接有出水软管。将分层采集的 0—15、15—30、30—45、45—60 cm 土壤风干,过 5 mm 筛,然后根据容重由下至上装入到土柱中。将土壤含水量调节至田间持水量的 80%,然后按照常规密度进行播种。

1.4 填闲作物生长期间管理

填闲作物生长期,不进行施肥。灌水按照田间持水量的 80% 进行,为保证各个处理的土壤水分含量基本一致,采用称重法进行灌水,7—10d 进行 1 次称重,3—5d 灌 1 次水。在本实验进行前期,按照田间持水量的 80% 进行灌水,未收集到淋洗液。为了明确填闲作物种植是否可以减少无机氮淋洗,并模拟田间的大水漫灌状况,分别于填闲作物生长的中前期(8 月 4 日)与中后期(8 月 24 日)进行了 2 次高量灌水,每次灌水前按照田间持水量的 80% 将各处理的土壤含水量调节一致,然后所有处理各灌水 2.1 L(相当于 71 mm),各处理两次总计灌水 4.2 L。作物生长期共灌水 21 次,整个试验过程中各处理的灌水量分别为:休闲 10.3 L,玉米 27.9 L,苋菜 15.9 L,豌豆 18.2 L,燕麦 28.2 L。

1.5 样品采集和测定

1.5.1 植物样品的采集与测定

收获时,将各个土柱中的植株地上部全部收获,洗净。于 105 ℃ 杀青 30 min 后,在 70 ℃ 条件下烘干,称重。干样粉碎后,过 0.5 mm 筛,用 H₂SO₄-H₂O₂ 联合硝煮法,凯氏定氮法测定植株全氮含量。氮素吸收量由干物重与全氮含量的乘积计算获得。根系样品按照 0—15、15—30、30—45、45—60 cm 土层依次采取。用 2 mm 筛分离各土层根系和土壤。根洗净经扫描后,由 WinRHIZO 根系分析系统得到根系的各参数,然后烘干称生物量,并测定氮含量。

1.5.2 土壤样品采集与测定

收获时,按照 0—15、15—30、30—45、45—60 cm 土层依次采取土样。土壤样品采集后,过 2 mm 筛。称取 20 g,用 100 mL 2 mol/L KCL 溶液浸提,浸提液采用流动分析仪(San++ Automated Wet Chemistry Analyzer, Skalar, Netherlands)测定土壤 NO₃⁻-N 和 NH₄⁺-N 含量。

1.5.3 淋洗液的收集与测定

2 次高量灌水 1d 后收集淋洗液,测定体积,过滤后采用流动分析仪(San++ Automated Wet Chemistry analyzer,Skalar, Netherlands)测定淋洗液中的 NO_3^- -N 和 NH_4^+ -N 含量。

1.6 统计方法

使用 SAS 软件包进行单因素方差分析和相关性分析。

2 结果

2.1 填闲作物地上部与根系生物量及氮素吸收量

如表 3 所示,各填闲作物在地上部生物量积累方面具有显著差异。在常规种植密度下,糯玉米具有较高的地上部生物量,分别是燕麦、苋菜和豌豆的 1.4、3.3、4.3 倍。根系测定结果表明,糯玉米也具有较高的根系生物量,分别是燕麦、苋菜和豌豆的 2.0、2.0、10.0 倍。从根系在不同土层的分布来看(表 4),各填闲作物根系干重均随着土层深度而降低。无论在表层还是深层土壤,糯玉米均具有较高的根系干重,而豌豆在各土层的根系干重均较低。各处理根系干重的差异在 45—60 cm 表现得更为明显。尽管豌豆的地上部生物量较低,但具有与糯玉米和燕麦相当的地上部氮素吸收量,这与其较高的氮素含量有关。苋菜地上部氮素吸收量较低,但具有较高的根系氮素吸收量,其次为糯玉米,再次为燕麦和豌豆。

表 3 各填闲作物地上部与根系生物量及氮素吸收量/(g/土柱)

Table 3 The shoot and root biomass and N uptake with different summer catch crops

处理 Treatment	生物量 Biomass			氮素吸收量 N uptake		
	地上部 Shoot	根系 Root	总和 Sum	地上部 Shoot	根系 Root	总和 Sum
糯玉米 Sticky corn	119.7±4.3 a	20.8±2.4 a	140.4±6.7 a	0.77±0.11 a	0.10±0.00 b	0.87±0.12 a
苋菜 Amaranth	27.7±6.6 c	10.2±1.8 b	37.9±5.7 c	0.38±0.09 b	0.13±0.01 a	0.51±0.09 b
豌豆 Pea	36.1±6.5 c	2.0±0.2 c	38.1±6.5 c	0.85±0.18 a	0.04±0.00 d	0.89±0.19 a
燕麦 Oat	87.1±2.6 b	10.4±2.1 b	97.6±2.8 b	0.80±0.05 a	0.06±0.02 c	0.86±0.06 a

同列相同字母表示差异不显著($P < 0.05$)

表 4 填闲作物土层的根系生物量/g

Table 4 Root biomass of summer catch crops soil layer

处理 Treatment	土层 Soil layer			
	0—15 cm	15—30 cm	30—45 cm	45—60 cm
糯玉米 Sticky corn	8.02±1.19 a	4.98±1.01 a	3.70±1.30 a	3.96±0.40 a
苋菜 Amaranth	7.15±1.51 ab	1.69±0.33 b	0.77±0.14 b	0.62±0.11 c
豌豆 Pea	0.80±0.08 c	0.56±0.06 c	0.42±0.14 b	0.25±0.03 d
燕麦 Oat	5.73±1.17 b	2.34±0.73 b	1.16±0.42 b	1.20±0.13 b

同列相同字母表示差异不显著($P < 0.05$)

2.2 各填闲作物根长密度

根长密度即单位体积内作物的根长。从图 1 可以看出,在 0—60 cm 土层中,糯玉米和燕麦的根长密度较高,二者未有显著差异,其次为苋菜,豌豆的根长密度最低。在 0—15 cm 土层中,糯玉米、苋菜和燕麦的根长密度无显著性差异;随着土层深度的增加,苋菜的根长密度迅速降低,并显著低于糯玉米和燕麦。豌豆的根长密度在各个土层中均较低。

2.3 填闲作物比根长

比根长是根长和生物量的比值,可以反映根系养分吸收能力。如图 2 所示,0—60 cm 土层中,燕麦的比根长显著高于其它处理,糯玉米、苋菜和豌豆的比根长无显著性差异。不同土层中,各处理的比根长有所差异。总体而言,在较深土层中,糯玉米的比根长较其它处理低。

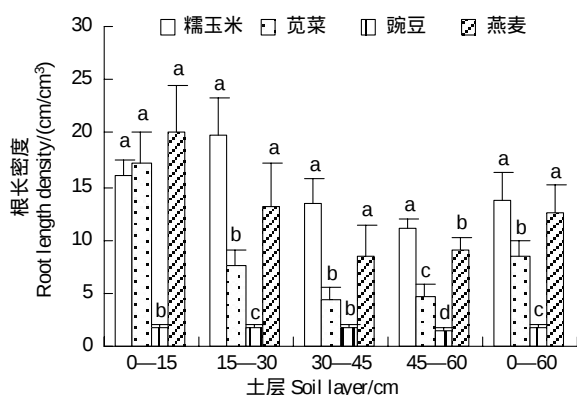


图1 不同填闲作物的根长密度

Fig. 1 Root length density with different summer catch crops

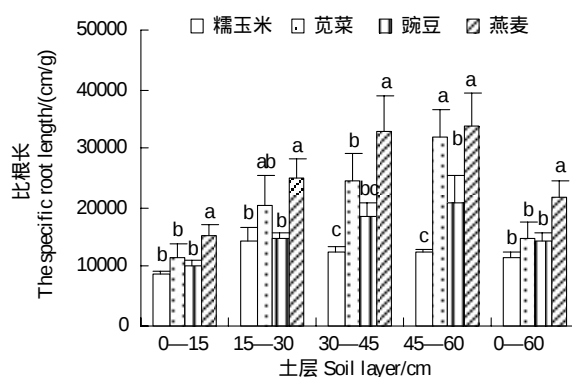


图2 不同填闲作物的比根长

Fig. 2 The specific root length with different summer catch crops

2.4 各土层土壤无机氮残留量

如图3所示,与休闲处理相比,各填闲作物的种植显著降低了各土层土壤无机氮含量,说明填闲作物对减少土壤无机氮含量具有明显作用。0—60 cm 土层中,各处理残留土壤无机氮含量高低的顺序为:玉米 > 豌豆 > 苋菜 > 燕麦。0—15 cm 土层中,各填闲作物种植后土壤无机氮残留量无显著性差异。在 15—30、30—45、45—60 cm 土层中,种植糯玉米后的土壤无机氮残留量要显著高于其它处理。

2.5 无机氮淋洗

在试验进行过程中,分别于8月5号与8月25号收集到了两次淋洗液。如图4所示,休闲、玉米、苋菜、豌豆和燕麦的两次淋洗液体积累积量分别为 2.96 L、1.67 L、2.42 L、0.56 L 和 0.49 L,分别占到各处理总灌水量 28.7%、6.0%、15.2%、3.1% 和 1.7%。除苋菜外,其它填闲作物的种植显著地减少了水分的淋洗,尤其是燕麦。与休闲相比,玉米、苋菜和燕麦的种植也显著减少了淋洗液中无机氮浓度(图5),但豌豆的种植未显著减少淋洗液中无机氮浓度。图6表明,与休闲相比,各填闲作物的种植有效地降低了无机氮淋洗量,其中糯玉米和燕麦的效果最为明显,其次为豌豆,再次为苋菜。与休闲相比,糯玉米、燕麦、豌豆和苋菜的种植将体系的氮素淋洗量分别降低了 100%、96%、82% 和 58%。

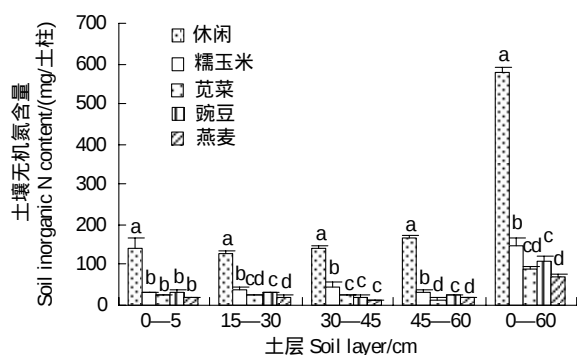


图3 不同填闲作物种植下土壤无机氮残留量

Fig. 3 Soil inorganic N residue with different summer catch crops

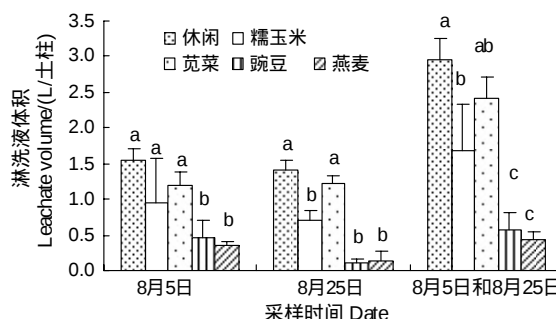


图4 不同填闲作物种植下淋洗液体积

Fig. 4 Leachate volume with different summer catch crops

2.6 无机氮平衡

表5为不同填闲作物种植条件下的氮素平衡,氮素平衡由氮素输入与输出的差值计算而得。在本试验中,氮素输入项中未考虑土壤有机氮的矿化。从计算结果来看,与燕麦和苋菜相比,糯玉米和豌豆的种植由于较高的氮素吸收量而具有较高的氮素亏缺现象,亏缺的氮素可能主要来源于土壤有机氮的矿化。在考虑无机

氮淋洗的情况下,苋菜种植后出现显著的氮素盈余现象。由于计算公式中未考虑土壤有机氮的净矿化和固定以及气态损失,很难确定那部分氮的去向。

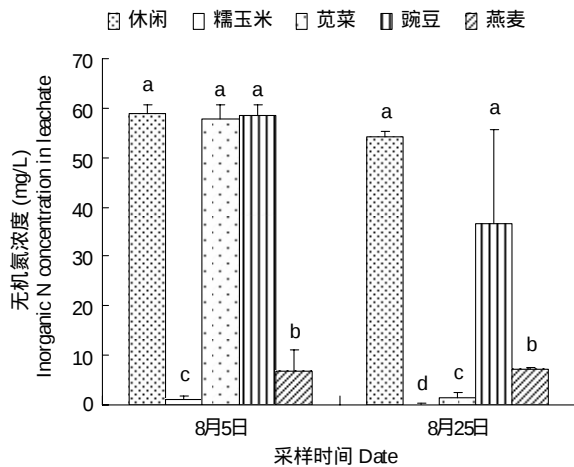


图5 不同填闲作物种植下淋洗液中无机氮浓度

Fig. 5 Inorganic N concentration in leachate with different summer catch crops

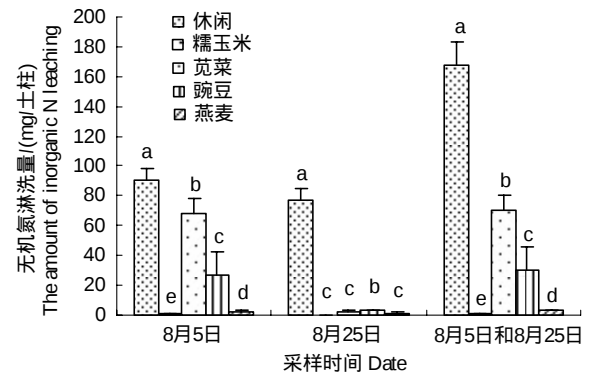


图6 不同填闲作物种植下无机氮淋洗量

Fig. 6 Inorganic N leaching with different summer catch crops

表5 不同填闲作物种植下的氮素平衡/(mg/土柱)

Table 5 N balance with different summer catch crops

项目 Item	休闲 Fallow	糯玉米 Sticky corn	燕麦 Oat	苋菜 Amaranth	豌豆 Pea
N 输入 N input	866	866	866	866	866
种植前 N_m 初始值 Initial soil Inorganic N content before planting	866	866	866	866	866
N 输出 N output	794	1036	939	682	1042
N 吸收 N uptake	0	870	860	510	890
收获后 N_m 残留 Inorganic N residue at harvest	651	165	73	99	122
N_{min} 淋洗 Inorganic N leaching	168	1	6	73	30
N 平衡 Balance	47	-170	-73	184	-176

2.7 填闲作物根系参数与氮素吸收、土壤无机氮残留以及无机氮淋洗的关系

表6表明,0—60 cm 土层根干重与地上部氮素吸收量无显著性相关关系,但在30—45 cm 和45—60 cm 土层中,根干重与地上部氮素吸收量呈显著正相关,这表明深层根系的生长有利于作物地上部氮素的积累。各土层根干重均与收获后土壤无机氮残留呈显著正相关,即根干重越高,土壤无机氮残留越高。0—60 cm 土层根干重与无机氮淋洗无显著相关关系,但30—45 cm 土层根干重与无机氮淋洗量呈极显著相关。

与根干重相关分析的结果相反,30—45 cm 和45—60 cm 土层的根长密度与地上部氮素吸收量呈显著负相关。各土层的根长密度与无机氮残留量均呈极显著负相关。30—45 cm 土层的根长密度与氮素淋洗量呈显著正相关,而45—60 cm 土层的根长密度与氮素淋洗量呈显著负相关。各土层比根长与地上部氮素吸收量均呈显著正相关关系。30—45 cm 与45—60 cm 土层的比根长与土壤无机氮残留量与氮素淋洗量均呈显著正相关。

3 讨论

3.1 各填闲作物的提氮效率

在我国设施蔬菜种植体系夏季休闲期间种植填闲作物可延长土地利用的时间并减少休闲季的氮素损失^[8]。此外,填闲作物还可以减少土壤侵蚀,提高土壤有机质并防治杂草丛生,对改善日光温室土壤环境具

有重要意义。关键是如何选择填闲作物?一般认为在低肥力条件下,选择豆科作物来培肥地力具有重要作用,而在高肥力土壤上,非豆科填闲作物的种植可能在减少氮素淋洗和保护环境方面意义更大。大量的试验结果表明,非豆科植物可减少 29%—94% 的氮素淋洗,而豆科植物仅为 6%—48%^[16]。试验表明,禾本科作物糯玉米和燕麦具有较快的生物量积累速率,从而比豌豆和苋菜更有效地减少无机氮淋洗。而且从收获后土壤无机氮残留来看,糯玉米种植后还可以保存较高的无机氮含量,有利于下季主要蔬菜作物的氮素利用。此外,从试验中淋洗液体积与氮浓度的数值来看,填闲作物种植后减少无机氮淋洗的机理,不仅在于减少向下运移的无机氮含量,还取决于向下运移的水的数量。在高量灌水条件下,填闲作物的种植可有效的拦截水分和氮素的向下运移,进而减少无机氮淋洗。

表 6 各根系参数与氮素吸收、土壤无机氮残留以及无机氮淋洗的相关系数 r 值

Table 6 Correlation coefficient (r value) between root parameters and N uptake, soil inorganic nitrogen residue and leaching

根系参数 Root parameters	土层/cm Soil layer	地上部氮吸收量 Shoot N uptake	无机氮含量 Soil inorganic N	氮淋洗量 N leaching
根干重 Root dry weight	0—15	-0.2037	0.8155 **	-0.3077
	15—30	0.4299	0.8925 **	0.1109
	30—45	0.6920 **	0.7890 **	0.8657 **
	45—60	0.6646 **	0.8354 **	0.5796
	0—60	0.2011	0.9193 **	0.0480
根长密度 Root length density	0—15	-0.1130	-0.7932 **	-0.1810
	15—30	-0.2089	-0.7972 **	-0.2237
	30—45	-0.6949 **	-0.8947 **	0.7101 *
	45—60	-0.6320 *	-0.9018 **	-0.6676 *
	0—60	-0.4585	-0.8067 **	-0.5047
比根长 Specific root length	0—15	0.5901 *	-0.0008	0.6032 *
	15—30	0.7172 **	0.3614	0.5238
	30—45	0.7247 **	0.5287 *	0.6743 *
	45—60	0.8516 **	0.5658 *	0.8484 **
	0—60	0.5744 *	0.3474	0.5205

* 表示达到显著相关($P < 0.05$); ** 表示达到极显著相关($P < 0.01$)

3.2 根系参数与土壤无机氮含量和氮素淋洗的相关性

填闲作物可以通过蒸腾与氮素吸收拦截氮素向土壤深层剖面的运移,从而减少氮素淋洗。无论是蒸腾还是氮素吸收过程均与根系的生长密不可分。不同的填闲作物的根系生长存在显著差异^[17-18]。根系深度、根干重、根长密度和比根长均是表征根系效率的重要参数。本试验中,由于受试验条件的限制,在 0—60 cm 土层中均发现了四种填闲作物的根系,但与苋菜和豌豆相比,玉米和燕麦具有较高的根干重和根长密度,特别在深层土壤。Vos 等^[15]的研究表明,填闲作物的根系深度与地上部生长有密切联系。本试验研究表明,0—15 cm 和 15—30 cm 土层的根干重与根长密度均无显著相关性,而 30—45 cm 与 45—60 cm 土层的根干重与地上部氮素吸收量呈显著正相关,该土层的根长密度却与地上部氮素吸收量呈显著负相关。比根长是一个综合参数,其可以反映氮素吸收能力强弱,结果显示各土层的比根长与地上部氮素吸收量均呈显著正相关关系。因此,根系参数可以很好的反映地上部氮素吸收量,特别是深层土壤的根系参数。从各根系参数与土壤无机氮残留量的相关分析来看,根干重和根长密度是两个对立的参数,根干重的积累有利于增加填闲作物收获后的无机氮残留,而根长密度的增加则减少了土壤无机氮残留。由于各根系参数与氮素淋洗损失并无严格的相关关系,很难确定根长密度对土壤无机氮残留的影响是增加了氮素淋洗还是减少了氮素淋洗。Herrera 等^[19]的结果也表明各种填闲作物种植后的 NO_3^- -N 淋洗量与氮素吸收和根系的静态参数无严格的相关关系,但各填闲作物的早期根系生长参数排序与各填闲作物种植后的 NO_3^- -N 淋洗量的排序相反。本试验只测定了填闲作物收获后的根系参数,因此很难全面反映填闲作物根系生长参数与无机氮淋洗之间的关系。

此外,根系生长过程还是一个复杂的生理生化过程,其生长过程中的生理生化过程会对土壤氮素转化产生影响,从而进一步影响无机氮的淋洗。郭瑞英^[20]采用同位素示踪技术研究了休闲处理和甜玉米种植对土

壤氮素形态的影响,结果表明甜玉米的种植可以增加根系活动范围内的有机¹⁵N 含量,由于根系活动所引起的无机氮固定作用可能是填闲作物减少氮素淋洗的一个重要机理。不同的填闲作物之间在根系生理活动中可能存在差异,从而影响无机氮淋洗。因此,在分析根系参数与无机氮淋洗之间的关系时,应该把根系生理参数如根系淀积考虑进来。

References:

- [1] Pound B, Anderson S, Gundel S. Species for niches: when and for whom are cover crops appropriate?. Mountain Reserch and Development, 1999, 19: 307-312.
- [2] Chen Q, Zhang X S, Zhang H Y, Christie P, Li X L, Horlacher D, Liebig H P. Evaluation of current fertilizer practice and soil fertility in vegetable production in the Beijing region. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2004, 69: 51-58.
- [3] He F F, Xiao W L, Li J L, Chen Q, Jiang R F, Zhang F S. Integrated nitrogen management in greenhouse tomato production. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2006, 12 (3): 394-399.
- [4] Li J L. Study on fertilization vegetable with two different cultivated models in Laiyang and Shouguang. Beijing: China Agricultural University PhD Dissertation, 2001: 135.
- [5] Zhu J H, Li J L, Li X L, Zhang F S. Effects of compound fertilizers utilized on soil environment quality in protected vegetable field. Agro-environmental Protection, 2002, 21(1): 5-8.
- [6] Zhu J H, Li X L, Christie P, Li J L. Environmental implications of low nitrogen use efficiency in excessively fertilized hot pepper (*Capsicum frutescens* L.) cropping systems. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2005, 111: 70-80.
- [7] Chen Q, Zhang H Y, Li X L, Christie P, Horlacher D, Liebig H P. Use of a modified N-expert system for vegetable production in the Beijing region. Journal of Plant Nutrition, 2005, 28: 475-487.
- [8] Guo R Y, Li X L, Christie P. Influence of root zone nitrogen management and a summer catch crop on cucumber yield and soil mineral nitrogen dynamics in intensive production systems. Plant and Soil, 2008, 313: 55-70.
- [9] He F F, Chen Q, Jiang R F, Chen X P. Yield and nitrogen balance of greenhouse tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) with conventional and site-specific nitrogen management in Northern China. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2007, 77: 1-14.
- [10] Tremblay N, Scharpf H C, Weier U, Laurence H, Owen J. Nitrogen management in field vegetables. A guide to efficient fertilization. Agriculture and Agri-Food Canada. 2001.
- [11] Thorup-Kristensen K, Magid J, Jensen L S. Catch crops and green manures as biological tools in nitrogen management in temperate zones. Advances in Agronomy, 2003, 79: 227-302.
- [12] Wang Q, Li Y, Klassen W. Influence of summer cover crops on conservation of soil water and nutrients in a subtropical area. Soil and Water Conservation, 2005, 60(1): 58-63.
- [13] Tonitto C, David M B, Drinkwater L E. Replacing bare fallows with cover crops in fertilizer-intensive cropping systems: A meta-analysis of crop yield and N dynamics. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2006, 112: 58-72.
- [14] Thorup-Kristensen K. Are differences in root growth of nitrogen catch crops important for their ability to reduce soil nitrate-N content, and how can this be measured? Plant and Soil, 2001, 230: 185-195.
- [15] Vos J, Van der Putten, P E L, Hussein M H, Van Dam A M, Leffelaar P A. Field observations on nitrogen catch crops. II. Root length and root length distribution in relation to species and nitrogen supply. Plant and Soil, 1998, 201: 149-155.
- [16] Sainju U M, Singh B P. Winter cover crops for sustainable agricultural systems: Influence on soil properties, water quality, and crop yields. HortScience, 1997, 32: 21-28.
- [17] Grindlay D J C. Rooting depth in cover crops and its relation to shoot size. Principles governing the ability of cover crop species to trap nitrate. PhD Dissertation, University of Nottingham, 1995, 230-278.
- [18] Thorup-Kristensen K. Root development of nitrogen catch crops and of a succeeding crop of broccoli. Acta Agric. Scand, Sect. B, Soil Plant Science, 1993, 43, 58-64.
- [19] Herrera J M, Feil B, Stamp P, Liedgens M. Root growth and nitrate-nitrogen leaching of catch crops following spring wheat. Journal of Environmental Quality, 2010, 39 (3): 845-854.
- [20] Guo R Y. Studies on Nitrogen Control in Root zone and Summer Catch Crop Planting for Reducing N Loss in Greenhouse Cucumber Cropping System. Beijing: China Agricultural University PhD Dissertation, 2007: 92.

参考文献:

- [3] 何飞飞,肖万里,李俊良,陈清,江荣凤,张福锁. 日光温室番茄氮素资源综合管理技术研究. 植物营养与肥料学报,2006, 12 (3): 394-399.
- [4] 李俊良. 莱阳、寿光两种不同种植模式中蔬菜施肥问题的研究. 北京:中国农业大学博士论文,2001: 135.
- [5] 朱建华,李俊良,李晓林,张福锁. 几种复合肥施用对蔬菜保护地土壤环境质量的影响. 农业环境保护, 2002, 21 (1): 5-8.
- [20] 郭瑞英. 设施黄瓜根层氮素调控及夏季种植填闲作物阻控氮素损失研究. 北京:中国农业大学博士论文,2007: 92.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 9 May, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Guest Editorial from EAM Workshop—Sustainability of agricultural ecosystems in arid regions in response to climate change	
..... LI Fengmin, Kadambot H. M Siddique, Neil C Turner, et al (I)	
Overview on the 2 nd international workshop on ecosystem assessment and management (EAM)	
..... LI Pufang, ZHAO Xuzhe, CHENG Zhengguo, et al (2349)	
Arid agricultural ecology in response to global change: Overview on Young Scholar Forum of the 2 nd International Workshop on	
EAM	ZHAO Xuzhe, LI Pufang, Kadambot H. M Siddique, et al (2356)
The effects of micro-rainwater harvesting pattern and rainfall variability on water ecological stoichiometry in oat (<i>Avena sativa</i> L.)	
field	QIANG Shengcai, ZHANG Hengjia, MO Fei, et al (2365)
Spatial variation of water requirement for spring wheat in the middle reaches of Heihe River basin	
..... WANG Yao, ZHAO Chuanyan, TIAN Fengxia, et al (2374)	
Model-based estimation of the canopy transpiration of Qinghai spruce (<i>Picea crassifolia</i>) forest in the Qilian Mountains	
..... TIAN Fengxia, ZHAO Chuanyan, FENG Zhaodong (2383)	
Litter amount and its nutrient storage and water holding characteristics under different coniferous forest types in Xiaolong Mountain,	
Gansu Province	CHANG Yajun, CHEN Qi, CAO Jing, et al (2392)
Effect of irrigation frequency on life history strategy and yield formation in Jerusalem artichoke (<i>Helianthus tuberosus</i> L.) in oasis	
of Hexi Corridor	ZHANG Hengjia, HUANG Gaobao, YANG Bin (2401)
The evaluation method of water resources sustainable utilization in Manas River Basin	
..... YANG Guang, HE Xinlin, LI Junfeng, et al (2407)	
Correlation of topographic factors with precipitation and surface temperature in arid and cold region of Northwest China: a case	
study in Gansu Province	YANG Sen, SUN Guojun, HE Wenying, et al (2414)
The relationship between riparian vegetation and environmental factors in Heihe River Basin	
..... XU Shasha, SUN Guojun, LIU Huiming, et al (2421)	
Effects of drought stress on the photosynthesis of <i>Salix paraqulesia</i> and <i>Hippophae rhamnoides</i> seedlings	
..... CAI Haixia, WU Fuzhong, YANG Wanqin (2430)	
The comparison of drought resistance between <i>Caragana species</i> (<i>Caragana arborescens</i> , <i>C. korshinskii</i> , <i>C. microphylla</i>) and two	
chickpea (<i>Cicer arietinum</i> L.) cultivars	FANG Xiangwen, LI Fengmin, ZHANG Haina, et al (2437)
Response of chlorophyll fluorescence characteristics of <i>Populus euphratica</i> heteromorphic Leaves to high temperature	
..... WANG Haizhen, HAN Lu, XU Yali, et al (2444)	
Free amino acid content in different tissues of <i>Caragana korshinskii</i> following all shoot removal	
..... ZHANG Haina, FANG Xiangwen, JIANG Zhirong, et al (2454)	
“Fertile Island” features of soil available nutrients around <i>Halostachys caspica</i> shrub in the alluvial fan area of Manas River watershed	
..... TU Jinna, XIONG Youcai, ZHANG Xia, et al (2461)	
Analysis of the activities of protective enzymes in <i>Bidens pilosa</i> L. inoculated with <i>Glomus mosseae</i> under drought stress	
..... SONG Huixing, ZHONG Zhangcheng, YANG Wanqin, et al (2471)	
Evaluation and selection on drought-resistance of germplasm resources of <i>Avena</i> species with different types of ploidy	
..... PENG Yuanyang, YAN Honghai, GUO Laichun, et al (2478)	
Ecophysiological mechanism of photoperiod affecting phenological period and spike differentiation in oat (<i>Avena nuda</i> L.)	
..... ZHAO Baoping, ZHANG Na, REN Changzhong, et al (2492)	
Effects of water and fertilization on relationship between competitive ability and seed yield of modern and old spring wheat varieties	
..... DU Jingqi, WEI Panpan, YUAN Ziqiang, et al (2501)	

- Inhibitory effect of biogas slurry from swine farm on some vegetable pathogen SHANG Bin, CHEN Yongxing, TAO Xiuping, et al (2509)
- Effects of different summer catch crops planting on soil inorganic N residue and leaching in greenhouse vegetable cropping system WANG Zhiyi, GUO Ruiying, LI Fengmin (2516)
- Photosynthetic characterization and yield of summer corn (*Zea mays* L.) during grain filling stage under different planting pattern and population densities WEI Li, XIONG Youcai, Baoluo Ma, et al (2524)
- Effects of desulfurization waste treatment on calcium distribution and calcium ATPase activity in oil-sunflower seedlings under alkaline stress MAO Guilian, XU Xing, ZHENG Guoqi, et al (2532)
- The evolution between ecological security pattern and agricultural productive force in Manas River Basin for the past 30 years WANG Yuejian, XU Hailiang, WANG Cheng, et al (2539)
- Spatio-temporal analysis of ecological carrying capacity in Jinghe Watershed based on Remote Sensing and Transfer Matrix YUE Dongxia, DU Jun, LIU Junyan, et al (2550)
- The coupling relationship and emergy analysis of farming and grazing ecosystems in Mu Us sandland HU Binghui, LIAO Yuncheng (2559)
- Dynamic analysis of farmland ecosystem service value and multiple regression analysis of the influence factors in Minqin Oasis YUE Dongxia, DU Jun, GONG Jie, et al (2567)
- Environment purification service value of urban green space ecosystem in Qingdao City ZHANG Xuliang, XU Zongjun, ZHANG Zhaohui, et al (2576)
- The spatial relationship analysis of rural per capital revenue based on GIS in Zulihe River basin, Gansu Province XU Baoquan, SHI Weiqun (2585)

Review and Monograph

- The key issues on plant phenology under global change MO Fei, ZHAO Hong, WANG Jianyong, et al (2593)
- Recent advances on regional climate change by statistical downscaling methods ZHU Hongwei, YANG Sen, ZHAO Xuzhe, et al (2602)
- Current progress in eco-physiology of root-sourced chemical signal in plant under drought stress LI Jinan, LI Pufang, KONG Haiyan, et al (2610)
- ODAP biosynthesis: recent developments and its response to plant stress in grass pea (*Lathyrus sativus* L.) ZHANG Dawei, XING Gengmei, XIONG Youcai, et al (2621)
- Current progress in plant ideotype research of dryland wheat (*Triticum aestivum* L.) LI Pufang, CHENG Zhengguo, ZHAO Hong, et al (2631)
- Recent advances in research on drought-induced proteins and the related genes in wheat (*Triticum aestivum* L.) ZHANG Xiaofeng, KONG Haiyan, LI Pufang, et al (2641)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊★

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

客座编辑 Guest Editors LI Fengmin XIONG Youcai Neil Turner Kadambot Siddique

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 31 卷 第 9 期 (2011 年 5 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 31 No. 9 2011

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	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
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 70.00 元