

ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

# 生态学报

## Acta Ecologica Sinica



第31卷 第13期 Vol.31 No.13 **2011**

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 31 卷 第 13 期 2011 年 7 月 (半月刊)

## 目 次

我国东部北亚热带植物群落季相的时空变化 .....	陈效速, 亓孝然, 阿 杉, 等 (3559)
华北低丘山地人工林蒸散的季节变化及环境影响要素 .....	黄 辉, 孟 平, 张劲松, 等 (3569)
东北东部 14 个温带树种树干呼吸的种内种间变异 .....	许 飞, 王传宽, 王兴昌 (3581)
RS 和 GIS 支持的洪河地区湿地生态健康评价 .....	王一涵, 周德民, 孙永华 (3590)
应用光合色素研究广西钦州湾丰水期浮游植物群落结构 .....	蓝文陆, 王晓辉, 黎明民 (3601)
基于不可替代性的青海省三江源地区保护区功能区划研究 .....	曲 艺, 王秀磊, 栾晓峰, 等 (3609)
融雪时间对大卫马先蒿生长和繁殖特性的影响 .....	陈文年, 吴 彦, 吴 宁, 等 (3621)
巴郎山刺叶高山栎叶片 $\delta^{13}\text{C}$ 对海拔高度的响应 .....	冯秋红, 程瑞梅, 史作民, 等 (3629)
宁南半干旱与半干旱偏旱区苜蓿草地土壤水分与养分特征 .....	任晶晶, 李 军, 王学春, 等 (3638)
南岭小坑藜蒴群落地上部分生物量分配规律 .....	李 根, 周光益, 王 旭, 等 (3650)
放牧对五台山高山、亚高山草甸牧草品质的影响 .....	章异平, 江 源, 刘全儒, 等 (3659)
短期增温对贡嘎山峨眉冷杉幼苗生长及其 CNP 化学计量学特征的影响 .....	羊留冬, 杨 燕, 王根绪, 等 (3668)
锰胁迫对垂序商陆叶片形态结构及叶绿体超微结构的影响 .....	梁文斌, 薛生国, 沈吉红, 等 (3677)
土荆芥挥发油对蚕豆根尖细胞的化感潜力 .....	胡琬君, 马丹炜, 王亚男, 等 (3684)
喀斯特城市杨树人工林微量元素的生物循环 .....	王新凯, 田大伦, 闫文德, 等 (3691)
大兴安岭林区多孔菌的区系组成与种群结构 .....	崔宝凯, 余长军 (3700)
铜绿微囊藻和斜生栅藻非稳态营养盐限制条件下的生长竞争特性 .....	赵晓东, 潘 江, 李金页, 等 (3710)
陆地棉萌发至三叶期不同生育阶段耐盐特性 .....	王俊娟, 王德龙, 樊伟莉, 等 (3720)
基于模式生物秀丽隐杆线虫的三丁基锡生态毒性评价 .....	王 云, 杨亚楠, 简风雷, 等 (3728)
大庆油田石油开采对土壤线虫群落的影响 .....	肖能文, 谢德燕, 王学霞, 等 (3736)
若尔盖高寒草甸退化对中小型土壤动物群落的影响 .....	吴鹏飞, 杨大星 (3745)
洞庭湖湿地土壤环境及其对退田还湖方式的响应 .....	刘 娜, 王克林, 谢永宏, 等 (3758)
渭北旱塬苹果园地产量和深层土壤水分效应模拟 .....	张社红, 李 军, 王学春, 等 (3767)
黄土丘陵区不同土地利用下土壤释放 $\text{N}_2\text{O}$ 潜力的影响因素 .....	祁金花, 黄懿梅, 张 宏, 等 (3778)
东北中部地区水稻不同生育时期低温处理下生理变化及耐冷性比较 .....	宋广树, 孙忠富, 孙 蕾, 等 (3788)
硫对成熟期烤烟叶绿素荧光参数的影响 .....	朱英华, 屠乃美, 肖汉乾, 等 (3796)
高温强光对温州蜜柑叶绿素荧光、D1 蛋白和 Deg1 蛋白酶的影响及 SA 效应 .....	邱翠花, 计玮玮, 郭延平 (3802)
覆膜对土壤-莴苣体系氮素分布和植物吸收的影响 .....	李丽丽, 李非里, 刘秋亚, 等 (3811)
基于空间分带的崇明东滩水鸟适宜生境的时空动态分析 .....	范学忠, 张利权, 袁 琳, 等 (3820)
驯鹿对苔藓植物的选择食用及其生境的物种多样性 .....	冯 超, 白学良 (3830)
北京城市绿地调蓄雨水径流功能及其价值评估 .....	张 彪, 谢高地, 薛 康, 等 (3839)
<b>专论与综述</b>	
冻土甲烷循环微生物群落及其对全球变化的响应 .....	倪永清, 史学伟, 郑晓吉, 等 (3846)
哺乳动物毛被传热性能及其影响因素 .....	郑 雷, 张 伟, 华 彦 (3856)



封面图说: 滇金丝猴是我国特有的世界珍稀动物之一, 属国家一级重点保护物种。仅生活在滇藏交界处的高寒云冷杉林中, 是我国川、滇、黔三种金丝猴中唯一具有和人类一样美丽红唇的金丝猴。手中的松萝是它最喜爱的食物之一。

彩图提供: 陈建伟教授 国家林业局 E-mail: cites.chenjw@163.com

李丽丽, 李非里, 刘秋亚, 白云明, 汪志威, 何岸飞, 吴慧梅. 覆膜对土壤-莴苣体系氮素分布和植物吸收的影响. 生态学报, 2011, 31 (13): 3811-3819.

Li L L, Li F L, Liu Q Y, Bai Y M, Wang Z W, He A F, Wu H M. Effect of plastic film mulching on the distribution and translocation of nitrogen in soil-lettuce system. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31 (13): 3811-3819.

## 覆膜对土壤-莴苣体系氮素分布和植物吸收的影响

李丽丽, 李非里\*, 刘秋亚, 白云明, 汪志威, 何岸飞, 吴慧梅

(浙江工业大学生物与环境工程学院, 浙江 杭州 310032)

**摘要:**覆膜种植作为全球广泛采用的农作物栽培方式,能改变土壤的水热生态效应,并影响元素的赋存状态。采用野外栽培实验,研究了覆膜对土壤-莴苣体系中氮素分布和植物吸收的规律。相比于不覆膜方式,覆膜对土壤含水率、pH 值及脲酶活性的影响不明显,但减少了 6.0% 的土壤有机质、10.4% 的硝态氮和 1.3% 的土壤全氮含量,增加了 6.5% 的土壤铵态氮。单因素方差分析表明,土壤有机质及土壤全氮含量的组间差异达到了显著性水平。覆膜方式下,氮素生理群落微生物中反硝化细菌占生理群落总数的 77.8%—96.2%,氨化细菌、亚硝化细菌及硝化细菌各占 1.8%—16.5%、0.6%—5.1% 和 0.4%—2.8%。与不覆膜相比,覆膜使氨化细菌平均值减少了 28.2%,亚硝化、硝化及反硝化细菌平均值分别增加了 119.8%、26.7% 和 48.7%。莴苣植株中的全氮含量变化规律为叶片>茎部>根部。覆膜使根部全氮含量降低了 2.8%,茎部与叶部则分别增加了 10.5% 和 6.8%。覆膜使莴苣根部全氮的富集系数平均值降低了 1.5%,迁移系数  $TF1$  (莴苣茎部和根部全氮的比值)和  $TF2$  (莴苣叶部和根部全氮的比值)平均值分别提高了 12.5% 和 9.5%,影响较小。相关性分析表明,有机质与土壤全氮呈显著正相关 ( $P < 0.05$ ),而脲酶、铵态氮及无机氮三者与亚硝化细菌均呈显著负相关 ( $P < 0.05$ )。

**关键词:**覆膜栽培;氮素;分布;迁移

## Effect of plastic film mulching on the distribution and translocation of nitrogen in soil-lettuce system

LI Lili, LI Feili\*, LIU Qiuya, BAI Yunming, WANG Zhiwei, HE Anfei, WU Huimei

(College of Biological and Environmental Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310032, China)

**Abstract:** Plastic film mulching (FM) is one of the commonly used agricultural practices worldwide in crop production. It significantly alters soil hydrothermal properties and processes such as conserving soil moisture, modifying soil chemical and physical environment, and affecting the forms of elements. Soil nitrogen plays an important role in providing necessary nutrients for crops and thus enhancing crop productivity. Its forms and transport in soil-crop systems are expected to be strongly influenced by FM. In this paper, field experiments were conducted during the winter of 2009—2010 to study the effects of FM on soil physicochemical and microbial properties, and subsequently on the distribution and translocation of nitrogen in a soil-lettuce system. The experimental plots were located in eastern China where it is typically rather moist in winter. Lettuce was grown in the plot soil and sampled following a 50-day growth. Compared to unmulching (UFM), FM had little influence on soil moisture, soil pH and urease. By comparison, FM decreased soil organic matter content by 6.0%, soil total nitrogen by 1.3% and soil  $\text{NO}_3^-$ -N by 10.4%, respectively, while increased soil  $\text{NH}_4^+$ -N by 6.5%. The one-way analysis of variation (ANOVA) showed that only soil organic matter and total nitrogen were significantly different between FM and UFM. Other soil properties were not statistically different between the two practices. In FM treatment,

**基金项目:**国家重点基础研究发展计划(973)项目(2009CB119006);国家自然科学基金项目(70803027);中国水利水电研究院开放基金;浙江省教育厅项目(Y200908183)

收稿日期:2010-10-13; 修订日期:2011-05-03

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: lifeili@zjut.edu.cn

denitrifier accounted for 77.8—96.2% of the total nitrogen physiological microorganisms, and ammonifier, nitrite bacteria and nitrifier accounted for 1.8—16.5%, 0.6—5.1% and 0.4—2.8%, respectively. As such, FM decreased ammonifier by 28.2% and increased nitrite bacteria, nitrifier and denitrifier by 119.8%, 26.7% and 48.7%, respectively, as compared to UFM. In lettuce grown in the mulched soil, nitrogen was distributed the most in leaf while the least in root. While FM decreased total nitrogen in root by 2.8%, it increased total nitrogen in stem and leaf by 10.5% and 6.8%, respectively. This indicates that FM facilitated the translocation of nitrogen from root to above-ground parts.

The calculated bioaccumulation factor (BCF) of total nitrogen in root, which is expressed as the ratio of nitrogen in lettuce root to that in soil, showed that FM decreased BCF by 1.5%, indicating that FM treatment decreased the total nitrogen in root. The average translocation factors TF1 (TF of total nitrogen from root to stem) and TF2 (TF of total nitrogen from root to leaf) were higher in FM treatment than in UFM treatment. Lower BCF may thus have resulted from higher translocation factors in FM. However, the influences of FM on the BCF of total nitrogen in root and the TFs of total nitrogen in root, stem and leaf of lettuce were statistically insignificant. This may be due to the abundance of moisture in the experimental location that FM and UFM could not be significantly distinguished in terms of BCF and TFs. The correlation analyses indicated that soil organic matter was positively significantly correlated ( $P < 0.05$ ) with total nitrogen in soil, while nitrite bacteria had a significant negative correlation ( $P < 0.05$ ) with urease,  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  and inorganic nitrogen.

**Key Words:** film mulching; nitrogen; distribution; translocation

地膜覆盖是我国农业生产中广泛使用的一项设施技术。覆膜可促使土壤理化性质和生物学性状发生一定的变化,如提高土壤温度、保墒节水、稳定土壤环境、提高光和热利用效率等,从而改善土壤生态环境<sup>[1-3]</sup>,促进作物早熟和提高作物产量<sup>[4-6]</sup>。

氮素是植物发育和生长的必需养分,是许多化学肥料的重要成分。土壤氮素转化是土壤与环境间氮素交换的基础,其转化程度取决于土壤-植物系统性质、植物根系的分布状况、地下水向上迁移的距离等。氮素转化包括许多生物转化过程,其中同化、异化、氧化和还原占据重要地位,还包括铵的固定、释放、吸附和解吸、氨的挥发、硝酸盐的淋失等化学过程。在土壤中,氮素的矿化、生物固持和硝化等氮素内循环在氮素转化中具有核心作用,直接影响土壤硝态氮和铵态氮的含量。氨化细菌、亚硝化细菌、硝化细菌及反硝化细菌等氮素生理群落微生物的协调作用与土壤氮素的形成、积累和转化密切相关。

地膜覆盖可以显著增加土壤  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  的含量,并使各个层次  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  含量都有所增加,有效地减少  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  的淋失<sup>[7-9]</sup>,降低土壤有机质、氮素、有效磷的含量和脲酶的活性<sup>[10]</sup>。高美英等<sup>[11]</sup>研究表明,覆膜可明显增加各土层中氨化细菌和固氮细菌的数量;郭树凡等<sup>[12]</sup>的研究则表明,连续覆膜并不造成土壤氮素生理群落微生物数量的明显变化,而且所产生的微弱影响没有持续性;而宋秋华等<sup>[13]</sup>的研究表明,覆膜对土壤氮素生理群落微生物的影响没有一定的规律性。以上研究均多限于土壤,文献中较少涉及覆膜对土壤氮素微生物的作用进而影响作物体内氮素的分布和变化。同时上述研究者结论也并不一致,这说明覆膜对氮素分布及其生理群落的影响是一个复杂的过程。要全面了解该过程,还需要在不同地域、蔬菜品种间进行更多对比的研究。

据此,本论文通过田间试验,测定了地膜覆盖对土壤理化性质和氮素生理群落微生物的影响,进而研究了氮素在土壤和植物中的分布及其相互关系。实验以浙江省富阳市的覆膜土壤为研究对象,不覆膜土壤为对照,以莴苣为供试植物样品,研究了覆膜条件下莴苣及其根系周围土壤中氮素的分布和迁移特征。研究覆膜对氮素在土壤和作物体内的分布特征对维护土壤环境质量、保障食品安全、建立健康、稳定、可持续发展的人类生存环境具有深远的生态和社会意义,同时对降低农业生产成本、提高农民收益具有现实的生产意义。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料和试验设计

田间试验于2009年12月在浙江省富阳市湖后头村(29°44'—30°12'N, 119°25'—120°09'E)进行。供试

土壤为红黄壤土,质地为黏重而成酸性。

耕作前,先将土壤充分耕耘,然后播撒茼蒿种子于试验田里,一组采用覆膜种植,另一组不覆膜作为对照,每组种植约 30 颗茼蒿,控制其他种植条件完全相同。50 d 后采集 2 块地上长势优良并相近的整株茼蒿以及根系周围土壤各 5 份,采样深度 10 cm。

### 1.2 样品采集和预处理

剔除新鲜土壤中的细小根系物及石块,土壤样品取部分放置于冰箱中保存(新鲜土壤用来测量土壤中的氮素生理群落微生物),余下部分自然风干后用四分法缩分至 150 g 左右,然后用玛瑙研钵磨细,过 100 目不锈钢筛,封存、备用。

茼蒿植株样品采回实验室后立即用自来水反复冲洗,再用去离子水冲洗 3—5 遍,吸去水分晾干,尽快测量植物样品的鲜重和根重。将植物样品的根、茎、叶分开,沿根轴处将根和茎剪开,于鼓风干燥箱中 90—95 °C 杀青 30 min,在 65—70 °C 下烘干,研磨、过 40 目不锈钢筛,封存、备用。

### 1.3 测定方法

土壤含水率采用 105 °C 烘至恒重的方法测定;土壤有机质测定采用重铬酸钾氧化稀释热法;土壤 pH 值采用 pH 计测定; $m(\text{土}):v(\text{水})=1:2.5$ 。土壤氨化细菌、亚硝化细菌、硝化细菌和反硝化细菌采用最大或然法测定;土壤脲酶采用靛酚蓝比色法。土壤和植物全氮采用凯式定氮法;土壤铵态氮采用靛酚蓝比色法;土壤硝态氮采用酚二磺酸比色法;土壤无机氮含量即为硝态氮和铵态氮之和。

### 1.4 数据分析方法

数据经过 Microsoft Excel (Office XP) 程序进行整理,数据的变异性分析和方差分析采用 SPSS 10 (SPSS, Chicago, USA) 程序进行处理,绘图由 Excel 完成。

## 2 研究结果

### 2.1 地膜覆盖对土壤理化性质的影响

覆膜土壤和不覆膜土壤的理化性质见表 1。覆膜种植方式下土壤的含水率、pH 值、有机质含量的平均值分别为 23.7%、4.6、39.1 g/kg,不覆膜土壤的分别为 23.2%、4.7、41.6 g/kg。各项理化性质的组内误差均在 5% 以内,在允许的范围。

由此可知,覆膜土壤含水率的平均值比不覆膜的增加了 2.2%,而 pH 值、有机质的平均值分别比不覆膜的降低了 2.1%、6.0% (表 1)。单因素方差分析表明,两种地块中土壤有机质含量的差异也达到了极显著水平 ( $P<0.01$ )。

表 1 试验地块土壤的理化性质

Table 1 Physicochemical properties of soil samples

土壤 Soil	统计量 Statistics	含水率 Water content/%	pH 值(水:土=1:2.5) (water:soil=1:2.5)	有机质 Organic matter/(g/kg)
覆膜 Covered	最大值	24.4	4.7	40.2
	最小值	22.8	4.5	38.3
	平均值	23.7	4.6	39.1
	标准差	0.6	0.1	0.8
不覆膜 Uncovered	最大值	23.9	4.7	42.3
	最小值	21.8	4.6	40.9
	平均值	23.2	4.7	41.6
	标准差	0.8	0.1	0.5

覆膜土壤的含水率比不覆膜的略高,说明地膜覆盖有保墒节水的作用,这与其他学者的研究相符<sup>[1, 10, 14]</sup>,只是此处地膜覆盖保墒节水的作用并不明显。土壤 pH 值主要受土壤氧化还原电位、土壤颗粒和土壤空气中 CO<sub>2</sub> 浓度的影响。地膜覆盖后,土壤温度升高、水分适宜、土壤微生物活性增强、有机物质分解加

快、土壤中  $\text{CO}_2$  浓度增高。这些可能是导致土壤 pH 值下降的主要原因,本研究的结果也与其他学者的结果基本相符<sup>[15-16]</sup>。但本实验中,覆膜土壤 pH 值的降低并不显著,分析其原因有二:一是不覆膜土壤可能受到了浙江地区酸雨的影响使得土壤 pH 有所下降;二是覆膜土壤中有机质含量并不高,限制了微生物对有机质的厌氧发酵作用,减缓了覆膜对土壤的酸化作用。

覆膜后,土壤温度增高,水分增多,微生物活性提高,导致土壤有机质分解加快,这也与其他学者研究的结果相符<sup>[10, 15, 17]</sup>,但所测数值比汪景宽等<sup>[18]</sup>、李永山等<sup>[19]</sup>的结果高。

## 2.2 地膜覆盖对土壤氮素生理群落微生物组成及脲酶的影响

土壤中氨化细菌、亚硝化细菌、硝化细菌及反硝化细菌等氮素生理群落微生物的协调作用与土壤氮素的形成、积累和转化密切相关。同时,微生物又受土壤温度和湿度等环境因素的影响。其中,氨化细菌的数量直接反映氨化作用的强度。硝化过程由硝化细菌和亚硝化细菌共同完成,硝化细菌数量的多少反映了土壤硝态氮的供应情况,而亚硝化细菌的硝化作用是决定反应速率的阶段,控制硝化作用的整个过程;反硝化细菌在一定条件下会造成土壤氮素的损失,因此其数量多少会影响土壤的肥力状况。

脲酶是一种促进含氮有机物水解的酶,能专一性地水解氮素,同时释放氨和二氧化碳。在脲酶作用下,尿素被分解为植物可利用的物质,从而提高土壤肥力。脲酶在土壤氮循环和转化过程中起着重要的作用,土壤中许多生物化学过程都在脲酶的参与下完成,是土壤中各种生化反应的直接参与者,是土壤新陈代谢的催化剂。

覆膜与不覆膜方式下的土壤氮素生理群落微生物数量见表 2。覆膜下土壤氨化细菌、亚硝化细菌、硝化细菌、反硝化细菌的数量平均值分别为 398、178、76、 $5.8 \times 10^3$  MPN/g;不覆膜土壤的分别为 554、81、60、 $3.9 \times 10^3$  MPN/g。结果表明,两种种植方式下,氮素生理群落微生物中反硝化细菌占优势,其次是氨化细菌和亚硝化细菌,硝化细菌数量最少。覆膜方式下,亚硝化细菌、硝化细菌、反硝化细菌的平均值比不覆膜的分别高 119.8%、26.7%、48.7%,该结论与宋秋华等<sup>[20]</sup>的研究结果相一致。但是土壤氨化细菌比不覆膜的低了 28.2%,这可能是本试验中覆膜土壤有机质的减少,氨化细菌参加氨化作用的底物减少所致。

表 2 覆膜对土壤氮素生理群落微生物数量及脲酶数量的影响

Table 2 Influence of plastic film mulching on the numbers of nitrogen physiological groups and urease

土壤 Soil	样品 Sample	氨化菌 Ammonifier /(MPN/g)	亚硝化菌 Nitrite bacteria /(MPN/g)	硝化菌 Nitrifier /(MPN/g)	反硝化菌 Denitrifier ( $\times 10^3$ MPN/g)	脲酶 Urease /(mg/g)
覆膜 Covered	FM1	149	78	78	7.8	0.85
	FM2	455	260	145	7.8	0.67
	FM3	457	78	78	2.2	0.75
	FM4	217	21	39	3.3	0.88
	FM5	709	451	39	7.7	0.60
	平均值	398	178	76	5.8	0.75
不覆膜 Uncovered	标准差	223	178	43	2.8	0.12
	BFM1	232	49	78	4.6	0.64
	BFM2	766	32	38	1.7	0.77
	BFM3	217	33	79	3.9	0.81
	BFM4	777	78	65	7.8	0.74
	BFM5	781	215	39	1.7	0.70
	平均值	554	81	60	3.9	0.73
	标准差	302	77	20	2.5	0.07

以上结果与文献报道的存在一定的差异。例如,高美英等<sup>[11]</sup>在山西试验地的研究表明,覆膜在一定程度上改变了土壤通气状况,降低了氧气供给,提高了二氧化碳含量,因此增加了土壤氨化细菌的数量。郭树凡等<sup>[12]</sup>在沈阳农业大学试验地的研究表明,氨化细菌数量最多,反硝化细菌次之,硝化细菌最少;覆膜后,高肥土壤中氨化细菌、硝化细菌和反硝化细菌数量都有明显增加。宋秋华等<sup>[20]</sup>在甘肃省定西县的研究表明,在丰

水的 1999 年和干旱的 2000 年,氮素生理群落细菌数量的变化是不同的,相比于不覆膜,在丰水年,覆膜仅增加了氨化细菌和反硝化细菌的数量,在干旱年覆膜均增加了氮素生理群落微生物的数量。这些研究工作均于相对干燥地区进行,覆膜与否会对土壤含水量产生为明显的影响,进而不同程度地以不同方式影响土壤氮素生理群落微生物。本文得到的覆膜对土壤氮素生理群落细菌的影响不显著的结果可能缘于研究地点位于浙江,降水频繁,因此地膜的保墒节水的作用不显著。

覆膜后,脲酶含量相差不大,比不覆膜土壤略增加了 2.7% (表 2)。而杜社妮等<sup>[10]</sup>、汪景宽等<sup>[21]</sup>等的研究表明,覆膜后土壤的温度和水分含量增加、pH 值下降,使土壤中尿素浓度降低,从而抑制了脲酶的活性。这与本实验得出的结果并不一致,笔者认为其原因在 2.1 节中覆膜对土壤 pH 值的影响中相似,此处不再重复。

### 2.3 地膜覆盖对土壤氮素含量的影响

覆膜和不覆膜种植方式下土壤各氮素的含量见图 1。覆膜和不覆膜土壤的全氮平均值分别为 0.224% 和 0.227%,覆膜使土壤全氮含量降低,差异达到显著性水平 ( $P < 0.05$ ) (图 1)。这与其他学者的研究结果相符<sup>[17, 22]</sup>。主要是由于:(1)覆膜后作物产量明显提高,摄取较多的氮素;(2)覆膜使地温升高、水分增多、土壤有机氮矿化增强,氮素损失随之增加;(3)覆膜使土壤有机质减少,导致全氮减少,两者呈显著正相关(表 4)。

铵态氮是作物可利用氮素形态之一。覆膜和不覆膜土壤的铵态氮平均值分别为 68.9 mg/kg 和 64.7 mg/kg (图 1)。覆膜使土壤铵态氮含量的平均值增加了 6.5%,但两地块中铵态氮含量的差异未达到显著性水平。

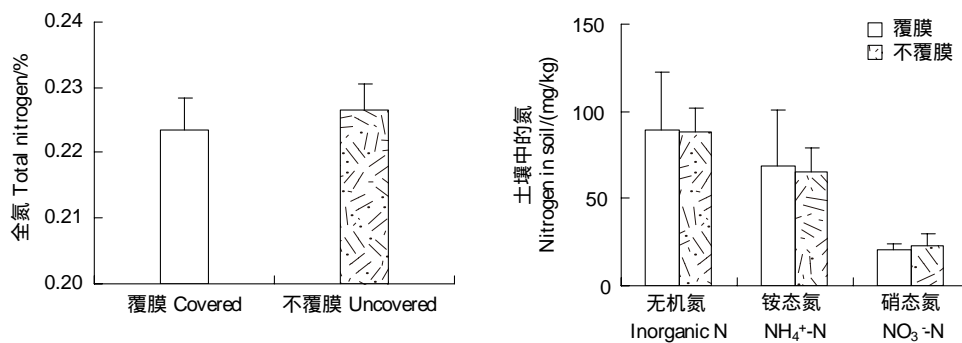


图 1 覆膜对土壤中全氮、无机氮、铵态氮及硝态氮含量的影响

Fig. 1 Influence of plastic film mulching on the levels of Total N, Inorganic N, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N, and NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N

无机氮为硝态氮和铵态氮之和

硝态氮是作物可利用氮素的主要形态。由于土壤中 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 容易淋失而造成地下水污染,因此引起广泛重视。覆膜和不覆膜土壤的硝态氮平均值分别为 20.6 mg/kg 和 23.0 mg/kg,均低于铵态氮含量(图 1)。覆膜使土壤的硝态氮含量平均值降低了 10.4%。土壤中硝态氮的浓度取决于硝化作用和反硝化作用的强度,本研究中覆膜对反硝化细菌数量的增加大于硝化细菌。因此土壤中的反硝化作用也强于硝化作用,导致硝态氮含量有所降低。但两地块中硝态氮含量的差异仍未达到显著性水平,这可能是由于土壤本身不均匀,或者是本次实验采样数偏少所致,为了减少这类情况,今后的研究中可适当地增加采样数量。

无机氮即铵态氮与硝态氮之和,覆膜和不覆膜土壤中的平均值分别为 89.5 mg/kg 和 87.7 mg/kg。总体来说,尽管仅占全氮的 1%—5%,土壤无机氮却是植物吸收氮素的主要形态。土壤无机氮的含量随季节变化,同时受通气性、温度、湿度、微生物活性及 pH 值等土壤因素影响。本文测得的土壤无机氮在 43.2—130.5 mg/kg 范围内,其中铵态氮占 60.3%—84.2%,说明土壤无机氮主要以铵态氮为主。

理论上,覆膜种植条件能够改善土壤水分和温度条件,导致土壤氮素矿化作用和硝化作用加强,能增加土壤中硝态氮<sup>[7-9, 18, 23]</sup>和铵态氮<sup>[7, 19]</sup>的含量。本实验中,覆膜种植对土壤的保墒节水作用不存在显著影响,因此氮素生理群落微生物数量的变化不大,土壤的矿化、硝化作用无明显变化,从而覆膜种植对土壤中铵态氮和硝态氮不产生的显著的影响。

## 2.4 地膜覆盖条件下植物氮素的含量与分布特征

覆膜和不覆膜种植条件下莴苣各部位中的全氮含量平均值均依下列次序增加:根部,茎部,叶部(图2),增幅为1.1—2.0倍,与黄银晓等<sup>[24]</sup>等的研究结果相一致。覆膜与不覆膜相比,全氮含量根部降低了2.8%,茎部与叶部分别升高了10.5%和6.8%,但差异均未达到显著性水平。根、茎、叶中全氮含量相差不大,可归结为下列两方面:(1)地膜覆盖后田间水分充足,土壤中无机氮含量不占优势,且根系活力和土壤反硝化细菌数量较高;(2)施入的氮肥和有机氮矿化产物有相当一部分最终以矿质氮形式残留在土壤中,是土壤中可浸取态矿质氮的主体,而被吸收的氮仅占一小部分。因此,尽管覆膜对硝态氮或铵态氮有一定的影响,但对植物的全氮含量影响甚微。

## 3 讨论

### 3.1 地膜覆盖对植物氮素分布迁移特征的影响

#### 3.1.1 地膜覆盖对植物氮素分布特征的影响

富集系数(bioaccumulation coefficient, *BCF*)又称吸收系数,是指作物体某部位某一元素的浓度与土壤中该元素浓度之比,可比较不同元素间的分布和迁移差异。莴苣中元素氮的 *BCF* 表示式如下:

$$BCF_{\text{根}} = \text{莴苣根中全氮含量} / \text{土壤中全氮含量}$$

由表3可见,覆膜及不覆膜种植方式下,莴苣根部氮的富集系数平均值分别为7.1和7.2,即覆膜使莴苣根部全氮的 *BCF* 平均值下降了1.5%,但未达到显著性差异。因此,覆膜种植方式对莴苣根部氮素富集的影响很小。

覆膜种植方式下莴苣根部全氮 *BCF* 的大小并不代表覆膜种植下莴苣对氮素利用率高。事实上,长期的地膜覆盖能够改变土壤的水热状况,减少土壤全氮的含量(图1),加速  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  和  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  的释放,有利于作物对土壤氮素的吸收<sup>[25]</sup>,从而加速氮素从根部向茎叶部的迁移。这也是植株根部氮素最少的原因。

#### 3.1.2 地膜覆盖对植物氮素迁移特征的影响

迁移系数(translocation factor, *TF*)是地上部元素的含量与地下部同种元素含量的比值,用来评价植物将元素从根向茎或者叶运输和富集的能力。迁移系数越大,表明此元素从根系向地上器官转运的能力越强。元素氮的迁移系数的公式表示如下:

$$TF1 = \text{莴苣茎中全氮含量} / \text{莴苣根中全氮含量}$$

$$TF2 = \text{莴苣叶中全氮含量} / \text{莴苣根中全氮含量}$$

由表3可见,覆膜种植方式下,莴苣中全氮从根向茎、根向叶的迁移系数平均值分别为1.8和2.3,不覆膜种植方式下相应的迁移系数平均值分别为1.6和2.1,即覆膜使 *TF1* 和 *TF2* 平均值分别提高了12.5%和9.5%。覆膜增强莴苣的蒸腾作用,促进全氮从根部向茎部、叶部迁移的能力,从而导致根部氮素减少。但 *TF* 值均未达到显著性差异,说明覆膜对莴苣氮素迁移系数的影响较小。

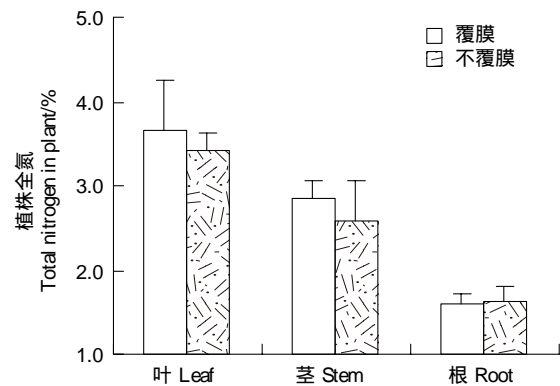


图2 覆膜对莴苣根、茎、叶部位全氮含量的影响

Fig. 2 Influence of plastic film mulching on the content of total N in roots, stems and leaves

表3 土壤-莴苣体系中的全氮富集系数和迁移系数(*TF*)

Table 3 Influence of cultivation patterns on (*BCF*) value of total N from soil-lettuce system

土壤 (Soil)	统计量 (Statistic)	<i>BCF</i> 根 (BCF in root)	<i>TF1</i>	<i>TF2</i>
覆膜 (Covered)	最大值 (Maximum)	8.0	2.0	2.9
	最小值 (Minimum)	6.4	1.5	2.0
	平均值 (Average)	7.1	1.8	2.3
	标准差 (Standard deviation)	0.7	2.0	0.4
不覆膜 (Uncovered)	最大值 (Maximum)	8.0	1.8	2.2
	最小值 (Minimum)	6.0	1.2	1.9
	平均值 (Average)	7.2	1.6	2.1
	标准差 (Standard deviation)	0.9	0.2	0.2

*BCF* 根:表示全氮在根中的富集系数;*TF1*:全氮从根向茎的迁移系数;*TF2*:全氮从根向叶的迁移系数



### 3.2 相关性分析

对各个土壤特性参数、土壤微生物氮素生理群组成、土壤脲酶活性、土壤及植物中不同氮素形态以及根、茎、叶中的富集系数作相关性分析(表4)。结果表明,土壤含水率与土壤硝态氮呈显著正相关( $P < 0.05$ ),降雨、灌溉和施肥是影响土壤中硝态氮迁移的主要因素。当土壤水分蒸发时,硝态氮随水分向上迁移;反之,当土壤灌溉或受雨水淋溶时,硝态氮随之向下渗透。硝态氮在水平方向的运移同样与土壤水分有关,其水平运移速率随土壤含水量的增加而增大,但水平运移浓度随含水量的增加而减小。

土壤有机质与全氮量呈显著正相关(表4)。土壤有机质一般含氮5%左右<sup>[26]</sup>,且绝大部分分布在表层土壤中。氮素中,95%以上为有机态,因此土壤全氮含量的变化取决于有机质含量的变化,即取决于土壤有机质积累和分解的相对速率。土壤水分状况和质地是影响有机质和氮素含量的两个重要因素。水分过多,有机质分解速率降低。质地黏重,不但通气性差,微生物和酶活动受到抑制,且有机质受到粘粒的保护而降低可给性。因此,排水不良或质地黏重的土壤有机质和氮素含量常较排水良好或质地轻而粗的土壤多。我们的土壤分析结果与此结论相符。

土壤亚硝化细菌将氨氧化为亚硝酸盐,是整个硝化作用的限速步骤,因此铵态氮与亚硝化细菌呈显著相关(表4)。土壤脲酶直接参与土壤中含氮有机化合物的转化。鉴于其专一性,脲酶仅能水解尿素生成氨<sup>[27]</sup>,成为硝化反应的反应物。理论上,脲酶活性增强,能提供更多的氨参与硝化反应,从而提高亚硝化细菌活性。实验得出的脲酶与亚硝化细菌呈显著负相关(表4)的结果可能与土壤温度等其它理化性质有关,也可能与氨化细菌、硝化细菌、反硝化细菌等之间的相互作用相关。

表4 莴苣的相关性分析

Table 4 Correlation analysis of Lettuce

相关项 Contiguous item	相关系数 Correlation coefficient	显著性水平 Significant difference
土壤含水率与土壤 $\text{NO}_3\text{-N}$	0.639	<0.05
有机质与土壤全氮	0.632	<0.05
脲酶与土壤亚硝化细菌	-0.718	<0.05
土壤 $\text{NH}_4\text{-N}$ 与亚硝化细菌	-0.719	<0.05
土壤无机氮与亚硝化细菌	-0.730	<0.05

## 4 结论

与不覆膜种植方式相比,覆膜种植方式对土壤含水率、pH 值及脲酶活性的影响不明显。覆膜后,有机质含量的平均值减少了6.0%。土壤无机氮中铵态氮含量高于硝态氮含量;覆膜方式降低了1.3%的土壤全氮的含量。其中,覆膜使铵态氮含量的平均值增加了6.5%,硝态氮减少了10.4%。单因素方差分析表明,覆膜种植和不覆膜种植的土壤有机质及全氮含量的差异达到显著性水平。

两种种植方式下,氮素生理群微生物的组成情况均以反硝化细菌占优势,其次是氨化细菌和亚硝化细菌,硝化细菌数量最少。覆膜种植方式下,反硝化细菌占氮素生理群总数的77.8%—96.2%,氨化细菌、亚硝化细菌及硝化细菌占氮素生理群总数的1.8%—16.5%、0.6%—5.1%、0.4%—2.8%。覆膜种植方式使氨化细菌的平均值减少了28.2%,亚硝化、硝化及反硝化的平均值分别增加了119.8%、26.7%、48.7%。

无论是覆膜还是不覆膜,莴苣植株的全氮主要分布在叶片,其次是茎部,而在根部分布相对较少。覆膜种植方式下莴苣不同部位全氮含量的平均值与不覆膜的相比,根部降低了2.8%,茎部与叶部分别升高了10.5%和6.8%。

覆膜种植方式对莴苣根部的富集系数及根部、茎部、叶片的迁移系数的影响较小。覆膜种植方式下莴苣根部全氮的富集系数(BCF)平均值比不覆膜的减少了1.5%。覆膜使TF1(全氮从莴苣根部向茎部的迁移系数)和TF2(全氮从莴苣根部向叶部的迁移系数)平均值分别提高了12.5%和9.5%。相关性分析表明,有机

质与土壤全氮呈显著正相关( $P < 0.05$ ),而脲酶、铵态氮及无机氮三者与亚硝化细菌均呈显著负相关( $P < 0.05$ )。

由于本实验点位于降水频繁的浙江,且试验中莴苣种植时间较为短暂,覆膜种植方式对土壤-莴苣体系中氮素分布和迁移特征的影响不明显。

#### References:

- [ 1 ] Lu H S, Wang H J, Ma H T, Liu Z S, Liu S X. The effect of covering soil film on the bearing of wheat, the moisture and the temperature of the dry land. *Journal of Luoyang Agricultural College*, 2000, 20(1): 19-21.
- [ 2 ] Li F M, Guo A H, Wei H. Effects of clear plastic film mulch on yield of spring wheat. *Field Crops Research*, 1999, 63(1): 79-86.
- [ 3 ] Hou X Y, Wang F X, Han J J, Kang S Z, Feng S Y. Duration of plastic mulch for potato growth under drip irrigation in an arid region of Northwest China. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2010, 150(1): 115-121.
- [ 4 ] Kwabiah A B. Growth and yield of sweet corn (*Zea mays* L.) cultivars in response to planting date and plastic mulch in a short-season environment. *Scientia Horticulturae*, 2004, 102(2): 147-166.
- [ 5 ] Anikwe M A N, Mbah C N, Ezeaku P I, Onyia V N. Tillage and plastic mulch effects on soil properties and growth and yield of cocoyam (*Colocasia esculenta*) on an ultisol in southeastern Nigeria. *Soil and Tillage Research*, 2007, 93(2): 264-272.
- [ 6 ] Dang T H, Hao M D, Guo S L, Cai G X. Effect of plastic-film mulch on water and nitrogen use by spring maize and on fate of applied nitrogen in the southern Loess Plateau. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(11): 1901-1905.
- [ 7 ] Liu S G, Wang J K. Effect of long-term covering with plastic film on  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  and  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  in depth profile of brown earth. *Chinese Journal of Soil Science*, 2006, 37(3): 443-446.
- [ 8 ] Li S Q, Li F M, Song Q H, Wang J. Effects of plastic film mulching periods on the soil nitrogen availability in semiarid areas. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(9): 1519-1526.
- [ 9 ] Gao Y J, Li Y, Zhang J C, Liu W G, Dang Z P, Cao W X, Qiang Q. Effects of mulch, N fertilizer, and plant density on wheat yield, wheat nitrogen uptake, and residual soil nitrate in a dryland area of China. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2009, 85(2): 109-121.
- [ 10 ] Du S N, Bai G S. Studies on effects of plastic film mulching on soil environment of maize field. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2007, 25(5): 56-59.
- [ 11 ] Gao M Y, Liu H, Ji C J, Wang Z Y, Qi S P. Covering effect on annual fluctuation of ammonifying bacteria in orchard soil. *Chinese Journal of Soil Science*, 2000, 31(6): 273-274.
- [ 12 ] Guo S F, Chen X S, Wang J K. Study on the plastic film mulching soil microorganisms. *Chinese Journal of Soil Science*, 1995, 26(1): 36-39.
- [ 13 ] Song Q H, Li F M, Wang J, Liu H S, Li S Q. Effect of various mulching durations with plastic film on soil microbial quantity and plant nutrients of spring wheat field in semi-arid Loess Plateau of China. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(12): 2125-2132.
- [ 14 ] Yuan X F, Wu P T, Wang Y K. Study on the effect of irrigation under plastic preservation of soil moisture on soil and crop. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2006, 25(1): 25-29.
- [ 15 ] Wang J K, Zhang J H, Xu X C, Zhang X D, Zhu F C. Effect of plastic film mulch on soil fertility. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 1992, 23(29): 32-37.
- [ 16 ] Li F L, Liu C Q, Yang Y G, Chen X Y, Jiang Q J. Effect of plastic mulching on translocation characteristics of copper and zinc in soil and Chinese cabbage (*Brassica chinensis*) system. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2009, 25(2): 54-58.
- [ 17 ] Yao J G, Yu Z X. Study on effects of plastic film mulching on soil fertility. *Anhui Agricultural Science Bulletin*, 1998, 4(1): 36-37.
- [ 18 ] Wang J K, Liu S G, Li S Y. Effect of long-term plastic film mulching and fertilization on inorganic N distribution and organic N mineralization in Brown earth. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2006, 20(6): 107-110.
- [ 19 ] Li Y S, Wu L H, Lu X H, Zhao L M, Fan Q L. Dynamics of ammonium and nitrate nitrogen in rainfed rice soil under plastic film mulching cultivation in mountainous region. *Bulletin of Science and Technology*, 2007, 23(2): 207-210.
- [ 20 ] Song Q H. *Microbial Communities and Nutrient Cycling in the Soil Growing Spring with Plastic Film Mulching in Semi-Arid Loess Plateau*. Lanzhou: Lanzhou University, 2006.
- [ 21 ] Wang J K, Peng T, Zhang X D, Zhu D M, Chen X Z. Effect of sheeting with plastic film on activities of soil enzymes. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 1997, 28(3): 210-213.
- [ 22 ] Liu M, Wu L H. Study on changes of soil fertility in rain fed paddy soils with mulching plastic film. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 2003, 15(1): 8-12.
- [ 23 ] Schonbeck M W, Evanylo G K. Effects of mulches on soil properties and tomato production II. Plant-available nitrogen, organic matter input, and

tilth-related properties. *Journal of Sustainable Agriculture*, 1998, 13(1): 83-100.

- [24] Huang Y X, Lin S H, Jiang G M, Han R Z, Gao L M. Characteristics of nitrogen and carbon contents in plants and soil in the Haihe River Basin. *Acta Ecologica Sinica*, 1994, 14(3): 225-234.
- [25] Su S Q, Wang Z Y, Zhang M, Hu X F. Effect of slow-release compound fertilizers and film-mulched dry farming on nitrogen nutrition and quality of rice. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2006, 20(1): 45-49.
- [26] Han F P, Zhang X C, Zheng J Y. Relativity analysis on soil organic matter with nitrogen and phosphorus of the middle Yellow River. *Yellow River*, 2007, 29(4): 58-59.
- [27] Zhou L K, Zhang Z M. The method of soil enzyme activity. *Chinese Journal of Soil Science*, 1980, 1(5): 154-155.

#### 参考文献:

- [1] 逯怀森, 王海军, 马洪涛, 刘卓帅, 刘社霞. 覆盖地膜对旱地小麦生育及土壤水分和温度的影响. *洛阳农业高等专科学校学报*, 2000, 20(1): 19-21.
- [7] 刘顺国, 汪景宽. 长期地膜覆盖对棕壤剖面中  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  和  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  动态变化的影响. *土壤通报*, 2006, 37(3): 443-446.
- [8] 李世清, 李凤民, 宋秋华, 王俊. 半干旱地区不同地膜覆盖时期对土壤氮素有效性的影响. *生态学报*, 2001, 21(9): 1519-1526.
- [10] 杜社妮, 白岗栓. 玉米地膜覆盖的土壤环境效应. *干旱地区农业研究*, 2007, 25(5): 56-59.
- [11] 高美英, 刘和, 冀常军, 王中英, 祁素萍. 覆盖对果园土壤氨化细菌数量年变化的影响. *土壤通报*, 2000, 31(6): 273-274.
- [12] 郭树凡, 陈锡时, 汪景宽. 覆膜土壤微生物区系的研究. *土壤通报*, 1995, 26(1): 36-39.
- [13] 宋秋华, 李凤民, 王俊, 刘洪升, 李世清. 覆膜对春小麦农田微生物数量和土壤养分的影响. *生态学报*, 2002, 22(12): 2125-2132.
- [14] 员学锋, 吴普特, 汪有科. 地膜覆盖保墒灌溉的土壤水、热以及作物效应研究. *灌溉排水学报*, 2006, 25(1): 25-29.
- [15] 汪景宽, 张继宏, 须湘成, 张旭东, 祝凤春. 地膜覆盖对土壤肥力影响的研究. *沈阳农业大学学报*, 1992, 23(Z9): 32-37.
- [16] 李非里, 刘丛强, 杨元根, 陈小英, 蒋琦杰. 覆膜对土壤-青菜体系 Cu 和 Zn 迁移特性的影响. *生态与农村环境学报*, 2009, 25(2): 54-58.
- [17] 姚建国, 於忠祥. 地膜覆盖的土壤养分变化研究. *安徽农学通报*, 1998, 4(1): 36-37.
- [18] 汪景宽, 刘顺国, 李双昇. 长期地膜覆盖及不同施肥处理对棕壤无机氮和氮素矿化率的影响. *水土保持学报*, 2006, 20(6): 107-110.
- [19] 李永山, 吴良欢, 路兴花, 赵利梅, 范巧兰. 丘陵山区覆膜旱作稻田土壤硝态氮和铵态氮动态变化规律探讨. *科技通报*, 2007, 23(2): 207-210.
- [20] 宋秋华. 半干旱黄土高原区地膜覆盖春小麦土壤微生物特征与养分转化. 兰州: 兰州大学, 2006.
- [21] 汪景宽, 彭涛, 张旭东, 朱冬梅, 陈新芝. 地膜覆盖对土壤主要酶活性的影响. *沈阳农业大学学报* 1997, 28(3): 210-213.
- [22] 刘铭, 吴良欢. 覆膜旱作稻田土壤肥力变化的研究. *浙江农业学报*, 2003, 15(1): 8-12.
- [24] 黄银晓, 林舜华, 蒋高明, 韩荣庄, 高雷明. 海河流域植物土壤中氮碳的含量特征. *生态学报*, 1994, 14(3): 225-234.
- [25] 苏胜齐, 王正银, 张敏, 胡小凤. 缓释复合肥与覆膜旱作对水稻氮素营养的效应研究. *水土保持学报*, 2006, 20(1): 45-49.
- [26] 韩凤朋, 张兴昌, 郑纪勇. 黄河中游土壤有机质与氮磷相关性分析. *人民黄河*, 2007, 29(4): 58-59.
- [27] 周礼恺, 张志明. 土壤酶活性的测定方法. *土壤通报*, 1980, 1(5): 154-155.

# ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 13 July, 2011 (Semimonthly)

## CONTENTS

Spatiotemporal variation of plant community aspections in the north-subtropical zone of eastern China .....	CHEN Xiaoqiu, QI Xiaoran, A Shan, et al (3559)
Seasonal variations and environmental control impacts of evapotranspiration in a hilly plantation in the mountain areas of North China .....	HUANG Hui, MENG Ping, ZHANG Jinsong, et al (3569)
Intra- and inter-specific variations in stem respiration for 14 temperate tree species in northeastern China .....	XU Fei, WANG Chuankuan, WANG Xingchang (3581)
Assessment of the ecological health of wetlands in Honghe supported by RS and GIS techniques .....	WANG Yihan, ZHOU Demin, SUN Yonghua (3590)
Phytoplankton community structure in Qinzhou Bay during flood season by analysis of HPLC photosynthetic pigment signatures .....	LAN Wenlu, WANG Xiaohui, LI Mingmin (3601)
Irreplaceability-based function zoning of nature reserves in the Three Rivers Headwater Region of Qinghai Province .....	QU Yi, WANG Xiulei, LUAN Xiaofeng, et al (3609)
Effects of snowmelt timing on individual growth and reproduction of <i>Pedicularis davidii</i> var. <i>pentodon</i> on the eastern Tibetan Plateau .....	CHEN Wennian, WU Yan, WU Ning, et al (3621)
Response of foliar $\delta^{13}\text{C}$ of <i>Quercus spinosa</i> to altitudinal gradients .....	FENG QiuHong, CHENG Ruimei, SHI Zuomin, et al (3629)
Soil water and nutrient characteristics of alfalfa grasslands at semi-arid and semi-arid prone to drought areas in southern Ningxia .....	REN Jingjing, LI Jun, WANG Xuechun, et al (3638)
Aboveground biomass of natural <i>Castanopsis fissa</i> community at the Xiaokeng of NanLing Mountain, Southern China .....	LI Gen, ZHOU Guangyi, WANG Xu, et al (3650)
Impacts of grazing on herbage quality of the alpine and subalpine meadows within Wutai Mountain .....	ZHANG Yiping, JIANG Yuan, LIU Quanru, et al (3659)
Short-term effects of warming on growth and stoichiometrical characteristics of <i>Abies fabiri</i> (Mast.) Craib seedling in Gongga mountain .....	YANG Liudong, YANG Yan, WANG Genxu, et al (3668)
Manganese stress on morphological structures of leaf and ultrastructures of chloroplast of a manganese hyperaccumulator, <i>Phytolacca americana</i> .....	LIANG Wenbin, XUE Shengguo, SHEN Jihong, et al (3677)
Allelopathic potential of volatile oil from <i>Chenopodium ambrosioides</i> L. on root tip cells of <i>Vicia faba</i> .....	HU WanJun, MA Danwei, WANG Yanan, et al (3684)
Contents and cycling of microelements in Karst urban poplar plantations .....	WANG Xinkai, TIAN Dalun, YAN Wende, et al (3691)
Fungal flora and population structure of polypores in the Great Xingan Mountains .....	CUI Baokai, YU Changjun (3700)
Growth competition characteristics of <i>Microcystis aeruginosa</i> Kutz and <i>Scenedesmus obliquus</i> (Turp.) Kutz under non-steady-state nutrient limitation .....	ZHAO Xiaodong, PAN Jiang, LI Jinye, et al (3710)
The characters of salt-tolerance at different growth stages in cotton .....	WANG Junjuan, WANG Delong, FAN Weili, et al (3720)
Assessment of tributyltin ecotoxicity using a model animal nematode <i>Caenorhabditis elegans</i> .....	WANG Yun, YANG Yanan, JIAN Fenglei, et al (3728)
Effect of oil exploitation on soil nematode communities in Daqing Oilfield .....	XIAO Nengwen, XIE Deyan, WANG Xuexia, et al (3736)
Effect of habitat degradation on soil meso- and microfaunal communities in the Zoigê Alpine Meadow, Qinghai-Tibetan Plateau .....	WU Pengfei, YANG Daxing (3745)
Characteristics of the soil environment of Dongting Lake wetlands and its response to the converting farmland to lake project .....	LIU Na, WANG Kelin, XIE Yonghong, et al (3758)
Modeling the changes of yield and deep soil water in apple orchards in Weibei rainfed highland .....	ZHANG Shehong, LI Jun, WANG Xuechun, et al (3767)
Potential soil $\text{N}_2\text{O}$ emissions and its controlling factors under different land use patterns on hilly-gully loess plateau .....	QI Jinhua, HUANG Yimei, ZHANG Hong, et al (3778)
Comparison between physiological properties and cold tolerance under low temperature treatment during different growing stages of rice in northeast central region of China .....	SONG Guangshu, SUN Zhongfu, SUN Lei, et al (3788)
Effect of sulfur on chlorophyll fluorescence of flue-cured tobacco at maturation stage .....	ZHU Yinghua, TU Naimei, XIAO Hanqian, et al (3796)
Effects of high temperature and strong light on chlorophyll fluorescence, the D1 protein, and Deg1 protease in Satsuma mandarin, and the protective role of salicylic acid .....	QIU Cuihua, JI Weiwei, GUO Yanping (3802)
Effect of plastic film mulching on the distribution and translocation of nitrogen in soil-lettuce system .....	LI Lili, LI Feili, LIU Qiuya, et al (3811)
An analysis on spatio-temporal dynamics of suitable habitats for waterbirds based on spatial zonation at Chongming Dongtan, Shanghai .....	FAN Xuezhong, ZHANG Liqun, YUAN Lin, et al (3820)
The bryophyte consumed by reindeers and species diversity of bryophyte in reindeer habitats .....	FENG Chao, BAI Xueliang (3830)
Evaluation of rainwater runoff storage by urban green spaces in Beijing .....	ZHANG Biao, XIE Gaodi, XUE Kang, et al (3839)
<b>Review and Monograph</b>	
Advances in methane-cycling microbial communities of permafrost and their response to global change .....	NI Yongqing, SHI Xuwei, ZHENG Xiaoji, et al (3846)
Heat transfer property of mammal pelage and its influencing factors .....	ZHENG Lei, ZHANG Wei, HUA Yan (3856)

# 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

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 31 卷 第 13 期 (2011 年 7 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 31 No. 13 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  
**主 管** 中国科学技术协会  
**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

**Editor-in-chief** FENG Zong-Wei  
**Supervised** by China Association for Science and Technology  
**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@espg.net

**Distributed** by Science Press  
Add:16 Donghuangchenggen North  
Street, Beijing 100717, China  
Tel:(010)64034563  
E-mail:journal@espg.net

**订 购** 全国各地邮局  
**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

**Domestic** All Local Post Offices in China  
**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