

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第33卷 第14期 Vol.33 No.14 **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 14 期 2013 年 7 月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

石鸡属鸟类研究现状..... 宋 森,刘迺发 (4215)

个体与基础生态

不同降水及氮添加对浙江古田山 4 种树木幼苗光合生理生态特征与生物量的影响.....
..... 闫 慧,吴 茜,丁 佳,等 (4226)

低温胁迫时间对 4 种幼苗生理生化及光合特性的影响..... 邵怡若,许建新,薛 立,等 (4237)

不同施氮处理玉米根茬在土壤中矿化分解特性..... 蔡 苗,董燕婕,李佰军,等 (4248)

不同生育期花生渗透调节物质含量和抗氧化酶活性对土壤水分的响应.....
..... 张智猛,宋文武,丁 红,等 (4257)

天山中部天山云杉林土壤种子库年际变化..... 李华东,潘存德,王 兵,等 (4266)

不同作物两苗同穴互作育苗的生理生态效应..... 李伶俐,郭红霞,黄耿华,等 (4278)

镁、锰、活性炭和石灰及其交互作用对小麦镉吸收的影响..... 周相玉,冯文强,秦鱼生,等 (4289)

CO₂ 浓度升高对毛竹器官矿质离子吸收、运输和分配的影响 庄明浩,陈双林,李迎春,等 (4297)

pH 值和 Fe、Cd 处理对水稻根际及根表 Fe、Cd 吸附行为的影响 刘丹青,陈 雪,杨亚洲,等 (4306)

弱光胁迫对不同耐荫型玉米果穗发育及内源激素含量的影响..... 周卫霞,李潮海,刘天学,等 (4315)

玉米花生间作对玉米光合特性及产量形成的影响..... 焦念元,宁堂原,杨萌珂,等 (4324)

不同林龄胡杨克隆繁殖根系分布特征及其构型..... 黄晶晶,井家林,曹德昌,等 (4331)

植被年际变化对蒸散发影响的模拟研究..... 陈 浩,曾晓东 (4343)

蝇蛹金小蜂的交配行为及雄蜂交配次数对雌蜂繁殖的影响..... 孙 芳,陈中正,段毕升,等 (4354)

西藏飞蝗虫粪粗提物的成分分析及其活性测定..... 王海建,李彝利,李 庆,等 (4361)

不同水稻品种对稻纵卷叶螟生长发育、存活、生殖及飞行能力的影响..... 李 霞,徐秀秀,韩兰芝,等 (4370)

种群、群落和生态系统

基于 *mtCOII* 基因对山东省越冬代亚洲玉米螟不同种群的遗传结构分析
..... 李丽莉,于 毅,国 栋,等 (4377)

太湖湿地昆虫群落结构及多样性..... 韩争伟,马 玲,曹传旺,等 (4387)

西江下游浮游植物群落周年变化模式..... 王 超,赖子尼,李新辉,等 (4398)

环境和扩散对草地群落构建的影响..... 王 丹,王孝安,郭 华,等 (4409)

黄土高原不同侵蚀类型区生物结皮中蓝藻的多样性..... 杨丽娜,赵允格,明 姣,等 (4416)

景观、区域和全球生态

基于景观安全格局的建设用地管制分区..... 王思易,欧名豪 (4425)

黑河中游湿地景观破碎化过程及其驱动力分析..... 赵锐锋,姜朋辉,赵海莉,等 (4436)

2000—2010 年青海湖流域草地退化状况时空分析 骆成凤,许长军,游浩妍,等 (4450)

基于“源”“汇”景观指数的定西关川河流域土壤水蚀研究 李海防,卫 伟,陈 瑾,等 (4460)

农业景观格局与麦蚜密度对其初寄生蜂与重寄生蜂种群及寄生率的影响 ... 关晓庆,刘军和,赵紫华 (4468)

CO₂ 浓度和降水协同作用对短花针茅生长的影响..... 石耀辉,周广胜,蒋延玲,等 (4478)

资源与产业生态

城市土地利用的生态服务功效评价方法——以常州市为例..... 阳文锐,李 锋,王如松,等 (4486)

城市居民食物磷素消费变化及其环境负荷——以厦门市为例..... 王慧娜,赵小锋,唐立娜,等 (4495)

研究简报

间套作种植提升农田生态系统服务功能..... 苏本营,陈圣宾,李永庚,等 (4505)

矿区生态产业评价指标体系 王广成,王欢欢,谭玲玲 (4515)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 308 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 32 * 2013-07



封面图说: 古田山常绿阔叶林景观——亚热带常绿阔叶林是我国独特的植被类型,生物多样性仅次于热带雨林。古田山地处中亚热带东部,浙、赣、皖三省交界处,由于其特殊复杂的地理环境位置,分布着典型的中亚热带常绿阔叶林,是生物繁衍栖息的理想场所,生物多样性十分突出。中国科学院在这里建立了古田山森林生物多样性与气候变化研究站,主要定位于研究和探索中国亚热带森林植物群落物种共存机制,阐释生物多样性对森林生态系统功能的影响,以及监测气候变化对于亚热带森林及其碳库和碳通量的影响。

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/stxb201204090495

蔡苗,董燕婕,李佰军,周建斌. 不同施氮处理玉米根茬在土壤中矿化分解特性. 生态学报, 2013, 33(14): 4248-4256.

Cai M, Dong Y J, Li B J, Zhou J B. Decomposition characteristics of maize roots derived from different nitrogen fertilization fields under laboratory soil incubation conditions. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(14): 4248-4256.

不同施氮处理玉米根茬在土壤中矿化分解特性

蔡 苗,董燕婕,李佰军,周建斌*

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

摘要:以黄土高原南部地区 7a 定位试验不同氮肥处理玉米根茬为研究对象,通过室内培养试验研究了施氮量分别为 0、120 和 240 kg N/hm² 处理玉米根茬(分别用 R₀、R₁₂₀、R₂₄₀ 表示)在 15—20 cm 和 45—50 cm 土层土壤中有有机碳矿化及其对土壤微生物量碳、可溶性有机碳和矿质态氮含量的影响。结果表明,不同处理玉米根茬 C/N 为 R₀>R₂₄₀>R₁₂₀。培养条件下, R₁₂₀ 和 R₂₄₀ 根茬的碳矿化速率高于 R₀ 根茬, R₁₂₀ 与 R₂₄₀ 根茬之间差异不显著。不同处理根茬 C/N 与其培养过程中碳素累积表观矿化量呈极显著负相关关系。3 种施氮量处理的玉米根茬在培养过程中有机碳矿化率、潜在碳矿化量、土壤微生物量碳、可溶性有机碳含量均为添加 R₁₂₀ 根茬的处理最高, R₂₄₀ 次之, R₀ 最低。添加 R₁₂₀ 和 R₂₄₀ 根茬显著提高了培养起始时土壤矿质态氮含量。R₀、R₁₂₀ 和 R₂₄₀ 根茬在 15—20 cm 土层土壤中的碳矿化率分别比其在 45—50 cm 土层土壤中高 51.70%、26.41% 和 27.84%。在评价根茬还田对农田生态系统碳、氮等养分循环的作用时,应同时考虑施肥对根茬分解和转化的影响。

关键词:根茬矿化;土壤微生物量碳;可溶性有机碳;矿质态氮

Decomposition characteristics of maize roots derived from different nitrogen fertilization fields under laboratory soil incubation conditions

CAI Miao, DONG Yanjie, LI Baijun, ZHOU Jianbin*

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

Abstract: In natural ecosystems, soil organic carbon is derived almost exclusively from residues of previous vegetation or from contributions of growing plants. Roots have long been suspected to be an important source of soil organic matter. After grain harvest, the decomposition of root residues which remained in the field will contribute to soil fertility and crop productivity. Different fertilizations will affect the quantity and chemical properties of crop roots to varying degrees, such as root biomass, carbon and nitrogen nutrient contents in crop root. Recently, more attention has been paid to the effects of root residue decomposition on crop yield and soil physical and chemical characteristics, for instance, crop roots remained in field play a role in sustaining soil moisture and increasing soil organic carbon in microbes. In this study, the relationship between decomposition of crop root residues and soil carbon and nitrogen transformation under different nitrogen fertilizations was discussed. We collected maize roots from a 7-year long term different cultivation and nitrogen fertilizer experimental field located at the south edge of the Loess Plateau (108°04'07"E, 34°17'56"N) in December 2010 after maize harvest. Maize roots in 0—20 cm soil depth were gathered from field plots in 0, 120 and 240 kg N/hm² treatments and marked R₀, R₁₂₀ and R₂₄₀, respectively. At the same time, soil samples were collected in 15—20 cm and 45—50 cm along the maize protection belt. Air-dried soils of 100 g in the two layers were mixed with three maize roots in proportion of 2% dry weight

基金项目:国家“十二五”科技支撑计划课题(2012BAD15B04);国家自然科学基金项目(40773057);西北农林科技大学创新团队项目

收稿日期:2012-04-09; **修订日期:**2012-08-29

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: jbzhou@nwsuaf.edu.cn

respectively and incubated at 25 °C for 105 days, soil moisture was kept at 70% of field water holding capacity. During the incubation period, soil CO₂ release, microbial biomass carbon, dissolved organic carbon and mineral nitrogen contents in soils were determined regularly. Also, we applied a kinetic equation to fit the cumulative carbon mineralization amount of maize root with the incubation time. The results showed that C/N ratios of the three different nitrogen fertilized maize roots were $R_0(130:1) > R_{240}(74:1) > R_{120}(65:1)$. It was found that carbon mineralization rates of maize root ranked in the order that $R_{120} > R_{240} > R_0$ in two soil layers. At the end of the incubation, there performed a significantly negative correlation between C/N ratio of the three maize roots and their cumulative CO₂ release amounts. Root carbon mineralization ratio, potential carbon mineralization amount, soil microbial biomass carbon and dissolved organic carbon contents were all highest in the R_{120} addition treatment compared to the R_0 and R_{240} addition treatments. Soil mineral nitrogen content significantly increased at the beginning of incubation in R_{120} and R_{240} addition treatments. At the two soil layers, carbon mineralization ratios of R_0 , R_{120} and R_{240} were 51.7%, 26.4% and 27.8% greater in the 15—20 cm soil layer than that in the 45—50 cm soil layer, respectively. The findings demonstrate that decomposition characteristics of crop root under different fertilizations should be taken into account when we evaluate the effects of crop residues returned to soil on carbon and nitrogen nutrient cycling in farmland ecosystems.

Key Words: maize root carbon mineralization; soil microbial biomass carbon; soil dissolved organic carbon; soil mineral nitrogen

农田生态系统受人为利用和管理措施的影响较大,作物成熟后地上部分被移除,大量根系残茬存留在土壤里。作物根茬留田是培肥地力的主要机理之一,越来越受到人们的重视。

不少学者从农学角度研究了玉米根系的分布特性。玉米根系的扩展范围一般为 1.25 m,大部分根系可达 1.6 m^[1]。张喜英^[2]指出,夏玉米 80% 以上的根系集中分布在 0—40 cm 土层中。苗惠田等^[3]研究表明,不同施肥处理中玉米根茬平均占整株玉米生物量的 5.5%。在表层(0—30 cm)土壤中玉米根系干重占总根重的 65.7%—74.2%^[4]。农业生产中施用化肥,在提高作物产量的同时,也增加了作物秸秆和根茬的数量。有研究表明,施用氮磷钾肥料后玉米根茬生物量是不施肥对照的 2.5 倍^[3];此外,玉米根系分布及其含氮量也明显受到氮肥种类与施氮量的影响^[5]。

一些研究指出,玉米秸秆残体和根系残体对土壤有机碳的积累作用存在差异,与作物地上部分茎秆碳相比,根系中的碳更加稳定,对土壤有机碳的贡献作用更显著^[6-7],且对根际的影响最大^[8]。目前关于不同施肥处理与玉米根茬养分特性的关系及根茬还田对土壤养分循环的影响等报道较少。为此,本文以不同施氮量处理下的玉米根茬为研究对象,采用室内培养试验方法研究其在不同土层深度的土壤中分解转化特性及对土壤碳、氮组分的影响,旨在了解施肥与作物根茬养分特性的关系,为合理施肥、维持生态系统养分平衡提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

不同施氮量处理的玉米根茬采自西北农林科技大学农作一站(108°04′07″E, 34°17′56″N)不同栽培模式定位试验田。该定位试验始于 2003 年 6 月,实行冬小麦—夏玉米轮作,一年两熟。夏玉米每年 6 月初播种,10 月初收获。氮肥施用尿素(含 N 46%),每季作物施氮量为 0、120 和 240 kg N/hm²,试验不同处理重复 4 次,玉米种植期间分别在苗期和拔节期追肥,各占总施氮量的 1/3 和 2/3,穴施。玉米品种为郑单 958。供试土壤取自同一定位试验田,土壤类型为褐土类,壤土亚类,红油土属,系统分类为土垫旱耕人为土,耕层土壤质地为粉砂质粘壤土。

2010 年 10 月初玉米收获时,用铁锹在施氮量为 0、120 和 240 kg N/hm²小区收集 0—20 cm 深度的玉米根茬,分别用 R_0 、 R_{120} 、 R_{240} 表示。在不同施氮处理小区中沿梅花形分别收集 5 株玉米根茬,带回实验室后洗去

泥土,90℃杀青半小时,60℃烘干,粉碎并通过1 mm筛,按照相同施氮量处理混合均匀后备用。收集玉米根茬同时,采集玉米种植保护带15—20 cm和45—50 cm两个土层土壤,剔除作物根、石块等杂物,风干,磨细过2 mm筛备用。土壤样品及玉米根茬基本性状如表1所示。

表1 土壤及玉米根茬样品基本性质
Table 1 Basic properties of soil samples and maize roots

样品 Sample		土壤 pH Soil pH	有机碳/(g/kg) Organic carbon	全氮/(g/kg) Total nitrogen	C/N 比 C/N ratio	碳酸钙/(g/kg) Soil CaCO ₃
土壤	15—20	7.76	9.05	0.90	10.06	67.92
Soil /cm	45—50	7.96	4.68	0.41	11.41	10.73
玉米根茬	R ₀	—	413.70	3.18	130.09	—
Maize root	R ₁₂₀	—	422.63	6.48	65.22	—
	R ₂₄₀	—	444.70	6.04	73.63	—

“—”表示试验未测定

1.2 矿化培养试验

以上述15—20 cm和45—50 cm两个层次土壤和R₀、R₁₂₀、R₂₄₀3种不同施氮量处理玉米根茬为研究因素,同时设不加玉米根茬的土壤作为对照,组成完全方案,共8个处理,每个处理重复15次。培养试验开始前测定土壤含水量,加蒸馏水至含水量为土壤田间持水量的70%,预培养一周以恢复土壤微生物活性。称取土样20 g(按烘干土计算),3种不同施氮量处理玉米根茬以2%的比例分别与两个层次的土样混合均匀后装入培养瓶,同时设不加根茬的土壤对照(CK)和无土壤样品的空白处理。在培养的第1、2、3、5、6、7、8、9、11、16、18、22、26、30、35、41、47、53、58、64、70、76、79、84、89、93、97、103、105天测定各处理CO₂释放量,并于培养第0、10、30、60、100天取各处理中的3个重复测定土壤微生物量碳、可溶性有机碳和矿质态氮含量。

1.3 分析项目及测定方法

土壤和玉米根茬中的有机碳采用重铬酸钾-外加热法;土壤和玉米根茬中全氮采用半微量凯氏法;土壤碳酸钙采用气量法测定;土壤含水量用烘干法;pH值测定水土比为5:1^[9]。

CO₂释放量采用碱液吸收法测定^[10]。将盛有10 mL 0.1 mol/L NaOH溶液的塑料瓶和装有土样的培养瓶置于同一外瓶中,加盖密封,置于25℃恒温培养箱中。定期更换NaOH溶液,并用称重法保持水分。1.5 mL 1 mol/L BaCl₂沉淀-0.1 mol/L盐酸溶液滴定剩余NaOH溶液,根据NaOH消耗量计算培养期间CO₂释放。

土壤微生物量碳测定采用氯仿熏蒸浸提法^[11],用0.5 mol/L K₂SO₄浸提(水土比4:1),土壤微生物量碳含量以熏蒸和未熏蒸土壤的碳含量之差除以转化系数 k_{EC} 得到($k_{EC}=0.45$)^[12]。土壤可溶性有机碳用0.5 mol/L K₂SO₄浸提(水土比4:1),TOC分析仪(Phoenix 8000)测定。土壤矿质态氮用0.5 mol/L K₂SO₄浸提(水土比4:1),流动分析仪测定,矿质态氮为铵态氮和硝态氮含量之和。

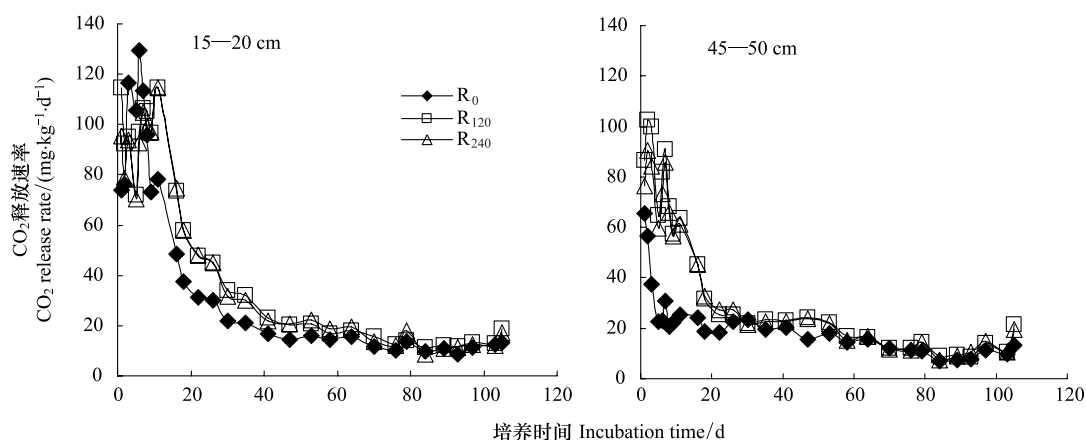
1.4 数据处理方法

数据分析采用Microsoft Excel 2007和SAS 8.0软件进行方差分析,Duncan法进行多重比较。采用一次动力学方程模型,拟合玉米根茬碳矿化随培养时间的累积量变化^[13-14],表达式为: $C_t = C_0(1 - e^{-kt})$,式中 C_0 为潜在碳矿化释放的CO₂量, C_t 为经过 t 时间后累积释放的CO₂量, k 为碳库周转速率,半周转期 $T_{1/2} = \ln 2/k$ 。

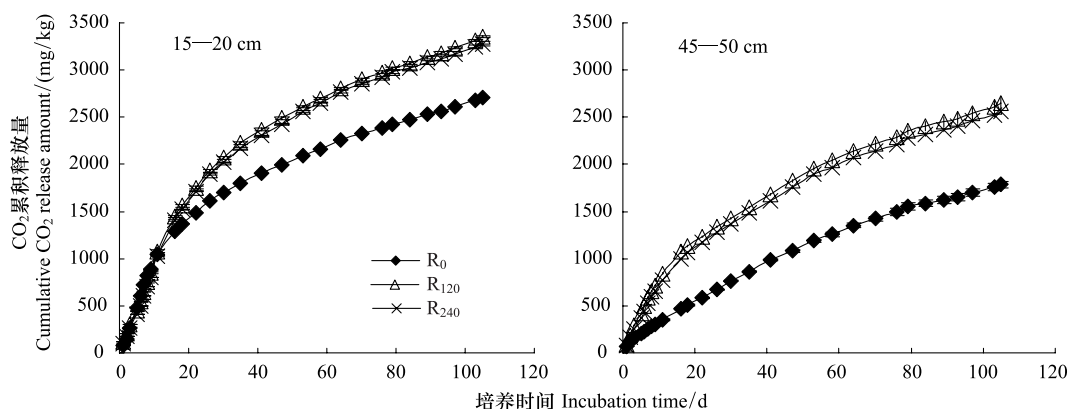
2 结果与分析

2.1 不同施氮量玉米根茬碳矿化特性

培养过程中不同施氮量处理的玉米根茬CO₂释放速率如图1所示。培养起始阶段3种根茬在两个层次土壤中CO₂释放速率均最高,随时间延长逐渐降低,这与培养起始玉米根茬中微生物易利用的碳源较多有关。培养6周后15—20 cm土层土壤各处理CO₂释放速率趋于稳定,而45—50 cm土层土壤培养3周后CO₂释放速率趋于平稳。不同施氮量处理玉米根茬相比,R₁₂₀和R₂₄₀根茬CO₂释放速率高于R₀,R₁₂₀与R₂₄₀之间差异不显著。培养后期(>80 d)不同处理玉米根茬矿化速率基本稳定在10 mg·kg⁻¹·d⁻¹。

图1 不同施氮量处理玉米根茬 CO₂ 释放速率动态变化Fig. 1 Dynamics of CO₂ release rate of maize roots derived from different nitrogen fertilization fields

添加玉米根茬的土壤 CO₂ 释放量与对照土壤 CO₂ 释放量的差值反映了培养过程中玉米根茬有机碳的表观矿化量。不同处理玉米根茬累积表观矿化量动态变化如图 2 所示。15—20 cm 土层土壤中不同施氮处理玉米根茬在培养的前 20 d 累积表观矿化量差异不显著,之后 R₁₂₀ 和 R₂₄₀ 根茬碳矿化量逐渐高于 R₀, R₁₂₀ 与 R₂₄₀ 之间无明显差异。45—50 cm 土层土壤中 R₁₂₀ 和 R₂₄₀ 根茬的累积表观矿化量始终高于 R₀。培养前期(前 20d)在 15—20 cm 土层土壤中根茬矿化量占整个培养过程(105d)根茬有机碳矿化总量的 52.24%—55.01%,在 45—50 cm 土壤中根茬矿化量占有有机碳矿化总量的 32.67%—46.65%。

图2 不同施氮量处理玉米根茬 CO₂ 累积释放量动态变化Fig. 2 Amount of cumulative CO₂ release of maize roots derived from different nitrogen fertilization fields

不同处理玉米根茬在土壤中分解特性见表 2。培养结束时(105d)在 15—20 cm 和 45—50 cm 土层土壤中,不同施氮量处理玉米根茬 CO₂ 累积释放量均为 R₁₂₀ 最高, R₂₄₀ 次之, R₀ 最低。15—20 cm 和 45—50 cm 土层土壤中 R₁₂₀ 根茬的 CO₂ 累积释放量较 R₀ 分别高 23.69% 和 48.44%, 差异显著 ($P < 0.05$), R₁₂₀ 和 R₂₄₀ 根茬之间差异不显著。

不同处理玉米根茬碳矿化率为培养结束时根茬 CO₂ 累积释放量占培养起始时加入根茬总有机碳含量的比例。由表 2 可见,培养结束时不同处理玉米根茬碳矿化率在 15—20 cm 和 45—50 cm 土层土壤中均为 R₁₂₀ > R₂₄₀ > R₀, 3 种根茬彼此间差异显著 ($P < 0.05$)。不同土层相比, R₀、R₁₂₀、R₂₄₀ 根茬在 15—20 cm 土层土壤中的碳矿化率分别比其在 45—50 cm 土层土壤中高 51.70%、26.41%、27.84%。

如表 2 所示,采用一次动力学方程拟合玉米根茬 CO₂ 累积释放量随培养时间变化方程的相关系数均达到极显著水平 ($P < 0.01$)。不同土层土壤中,根茬潜在碳矿化量 C_0 为 R₁₂₀ > R₂₄₀ > R₀。不同土层土壤比较,

15—20 cm 土层土壤玉米根茬的潜在碳矿化量高于 45—50 cm 土壤相应根茬。生物活性碳库周转速率 k 在 15—20 cm 土层土壤大于在 45—50 cm 土层土壤,即在下层土壤中 R_0 、 R_{120} 和 R_{240} 根茬的活性碳库半周期较上层土壤分别长 2.1、3.4 和 4.4 d。

表 2 不同施氮量处理玉米根茬在土壤不同土层的分解特性

Table 2 Decomposition characteristics of maize roots derived from different nitrogen fertilization fields in two soil layers

土层/cm Soil layer	处理 Treatment	CO ₂ 累积释放量 /(mg/kg) Cumulative CO ₂ release amount	碳矿化率/% Carbon mineralization ratio	C ₀ /(mg/kg)	k/d ⁻¹	T _{1/2} /d	R
15—20	R ₀	2708.50±22.75 b	33.39±0.28 c	2569.85	0.0144	48.1	0.993
	R ₁₂₀	3350.21±10.88 a	40.43±0.13 a	3319.58	0.0320	21.7	0.998
	R ₂₄₀	3279.87±23.54 a	37.61±0.27 b	3281.68	0.0312	22.2	0.998
45—50	R ₀	1785.41±37.14 b	22.01±0.46 c	2303.52	0.0138	50.2	0.999
	R ₁₂₀	2650.31±65.79 a	31.98±0.79 a	2663.64	0.0276	25.1	0.994
	R ₂₄₀	2565.66±17.14 a	29.42±0.20 b	2618.06	0.0261	26.6	0.996

不同小写字母表示同一土层各处理间差异显著 ($P<0.05$)

2.2 添加玉米根茬对土壤碳、氮组分的影响

2.2.1 土壤微生物量碳 (SMBC) 含量动态变化

由图 3 可知,添加玉米根茬处理在 15—20 cm 及 45—50 cm 土层土壤中的微生物量碳含量均较对照土壤显著提高 ($P<0.05$)。添加 3 种不同施氮量处理玉米根茬处理的土壤在培养过程中 15—20 cm 和 45—50 cm 土层 SMBC 平均含量范围分别为 355.88—468.37 mg/kg 和 103.57—180.42 mg/kg。培养期间 (105d) 同一土层不同施氮量玉米根茬处理 SMBC 的平均含量为 R_{120} 最高, R_{240} 次之, R_0 处理最低, R_{120} 与 R_{240} 之间差异不显著。15—20 cm 土层土壤 CK、 R_0 、 R_{120} 和 R_{240} 处理土壤微生物量碳的平均含量分别为 45—50 cm 土层土壤相应处理的 13.45、3.12、2.55 和 2.65 倍,差异显著 ($P<0.05$)。培养 10d 时 45—50 cm 土层土壤中添加 R_0 、 R_{120} 和 R_{240} 根茬的处理土壤微生物量碳含量较培养起始 (0 d) 提高了 11.94%—43.96%。

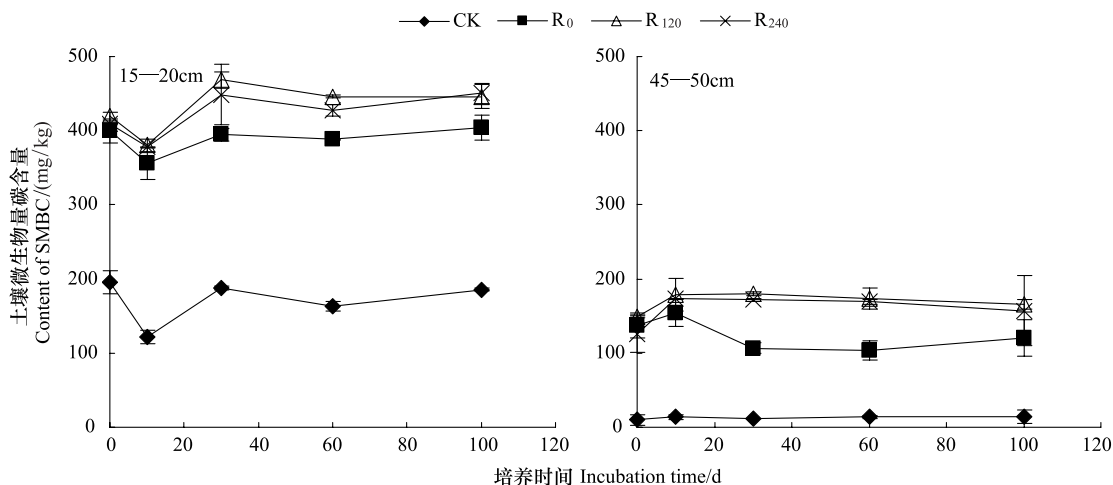


图 3 不同根茬处理培养过程中 SMBC 含量动态变化

Fig. 3 Dynamics of SMBC concentrations in soils mixed with different maize roots during the 105-day incubation period

2.2.2 土壤可溶性有机碳 (DOC) 含量动态变化

由图 4 可见,添加玉米根茬处理 15—20 cm 和 45—50 cm 土层土壤 DOC 含量均较对照土壤显著提高。培养过程中 15—20 cm 及 45—50 cm 土层土壤 DOC 平均含量分别为 90.1—155.6 mg/kg 和 52.0—160.8 mg/kg, R_0 、 R_{120} 、 R_{240} 处理差异不显著。DOC 平均含量最高为 45—50 cm 土层土壤 R_{120} 处理,最低为 45—50 cm 土

层 CK 处理。同一土层土壤, DOC 平均含量为 R_{120} 最高, R_{240} 次之, R_0 最低。15—20 cm 土层 CK、 R_0 、 R_{240} 处理 DOC 平均含量较 45—50 cm 土层分别高 73.4%、28.0% 和 1.7%。

培养 30 d 时 15—20 cm 土层各处理土壤 DOC 含量达到整个培养期间最低, 比起始 DOC 含量降低了 26.9%—45.9%; 45—50 cm 土层除 CK 处理在 30 d 时 DOC 含量最低, 其余处理 DOC 含量均在培养 10 d 时达到最低值, 较起始降低了 60.5%—71.2%, 之后各处理土壤 DOC 含量呈逐渐增加趋势。培养结束时, 15—20 cm 和 45—50 cm 土层 R_0 、 R_{120} 、 R_{240} 处理 DOC 含量较培养起始分别降低了 14.0%—35.8% 和 31.4%—61.1%, 其中 R_{120} 处理 DOC 含量下降最多, R_{240} 处理次之, R_0 处理下降幅度最小。

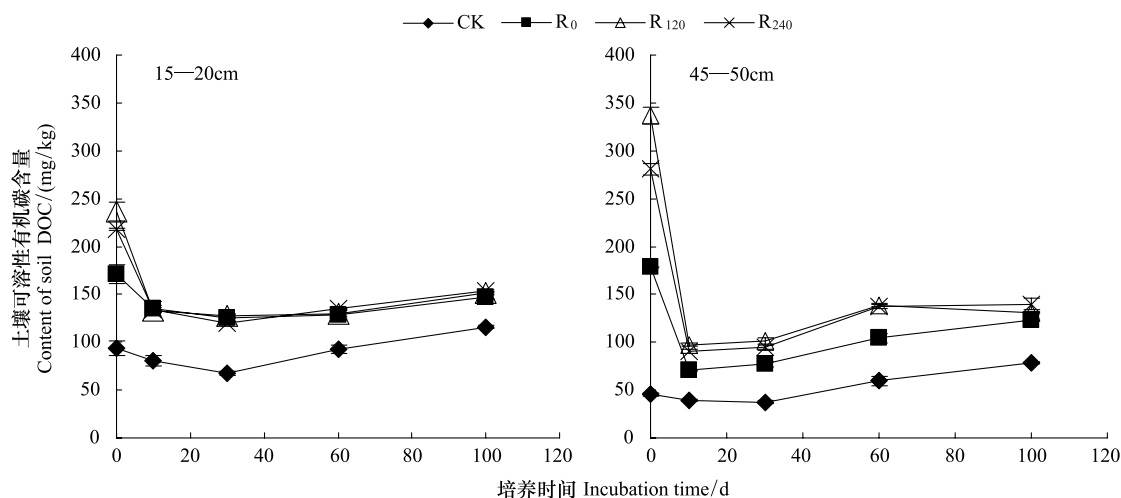


图 4 不同根茬处理培养过程中 DOC 含量动态变化

Fig. 4 Dynamics of DOC concentrations in soils mixed with different maize roots during the 105-day incubation period

2.2.3 土壤矿质态氮含量动态变化

由图 5 可见, 培养起始时 15—20 cm 和 45—50 cm 土层土壤 R_{120} 和 R_{240} 处理土壤矿质态氮含量显著高于 R_0 和 CK 处理。随着培养时间延长, CK 处理土壤矿质态氮含量呈逐渐增加趋势。 R_0 、 R_{120} 和 R_{240} 处理的土壤矿质态氮含量在培养 10 d 时显著下降, 在 15—20 cm 和 45—50 cm 土层土壤中, 分别比培养起始降低了 63.7%—96.1% 和 80.0%—95.8%, 其中 15—20 cm 土层土壤 R_0 处理矿质态氮含量下降幅度最大。培养 10d 至结束, R_0 、 R_{120} 和 R_{240} 处理土壤矿质态氮含量均显著低于对照土壤, 添加 R_0 、 R_{120} 和 R_{240} 根茬的各处理之间矿质态氮含量差异不显著。培养后期 (60—100 d) 添加 R_0 、 R_{120} 和 R_{240} 根茬处理的土壤矿质态氮含量有

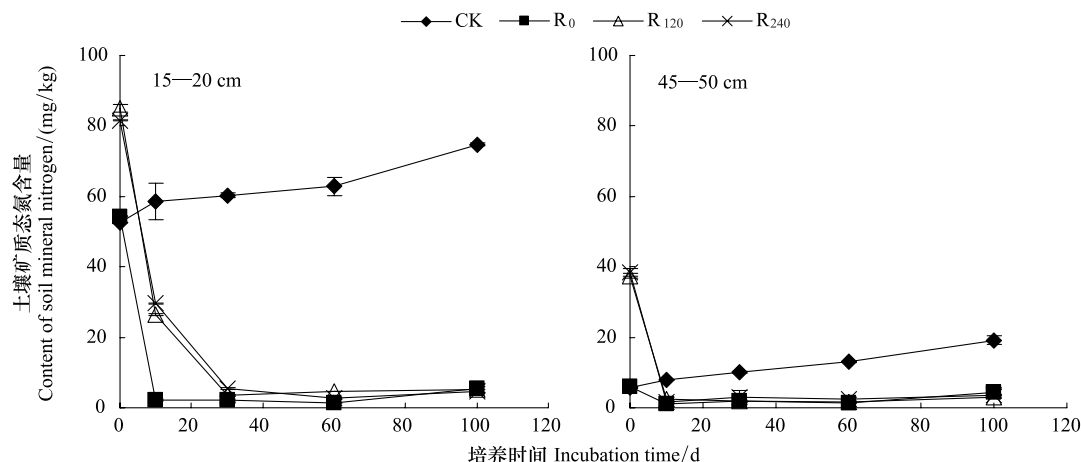


图 5 不同根茬处理培养过程中土壤矿质态氮含量动态变化

Fig. 5 Dynamics of soil mineral N concentrations in soils mixed with different maize roots during the 105-day incubation period

所增加,培养 100 d 时矿质态氮含量在 15—20 cm 和 45—50 cm 土层土壤分别比培养 60 d 时增加了 14.17%—338.45% 和 36.41%—235.96%。

3 讨论

3.1 不同施氮处理玉米根茬在土壤中分解特性的差异

从培养过程中玉米根茬的分解动态看,培养前期根茬碳矿化速率较高,随着培养的进行,其分解释放的 CO_2 量逐渐降低。这是因为培养起始时根茬中单糖、有机酸和蛋白质等易分解有机物质的逐渐消耗,微生物难降解利用的组分(如木质素、多酚等)比例增加有关^[15],与其他学者的研究结果一致^[16]。

本试验表明,长期不同施肥处理会影响根茬在土壤中的分解特性。与不施氮肥根茬 R_0 相比,施氮量为 120 和 240 kg N/hm² 小区的玉米根茬在培养过程中有机碳矿化率在 15—20 cm 和 45—50 cm 土层土壤中分别增加了 21.06%、12.65% 和 45.28%、33.68%,这与施用氮肥处理提高了玉米根茬氮素含量,降低了根茬的碳氮比有关。与不施氮肥根茬 R_0 相比, R_{120} 、 R_{240} 根茬全氮含量分别提高 103.77%、89.94%,C/N 分别降低 49.87%、43.40%(表 1)。Saetre 等^[17]利用¹⁵N 标记试验表明,C/N 低的有机物料能够加快土壤碳、氮循环。陈兴丽^[16]等研究表明施用化肥或化肥与有机肥配施显著增加了玉米秸秆中氮素含量,使得秸秆 C/N 明显降低,施氮量为 0、120 和 240 kg N/hm² 处理的玉米秸秆 C/N 为 $N_{120} > N_0 > N_{240}$,碳矿化率 N_{120} 与 N_0 秸秆无明显差异, N_{240} 秸秆高于前两者。本研究结果中玉米根茬 C/N 为 $R_0 > R_{240} > R_{120}$, R_{120} 和 R_{240} 根茬碳矿化率显著高于 R_0 ,根茬 C/N 与其培养过程中有机碳累积表观矿化量呈极显著($P < 0.01$)负相关关系。植物残体中易分解活性有机物的含量与其分解特性具有紧密的联系,作物秸秆与根茬存在差异。从培养起始时加入不同处理玉米根茬土壤矿质氮及可溶性有机碳的含量看(图 4,图 5),加入 R_{120} 、 R_{240} 处理玉米根茬土壤矿质氮及可溶性有机碳含量显著高于不施氮肥根茬 R_0 ,说明不同增施氮肥处理同时增加了玉米根茬中活性有机碳及无机氮的含量,这可能是其有机碳分解率较不施肥根茬高的主要原因。

3.2 不同施氮处理玉米根茬对土壤活性有机碳组分的影响

与对照土壤相比,添加玉米根茬显著增加了土壤 SMBC 含量,与其他学者的研究结果一致^[18]。王淑平^[19]等研究,较对照和单施化肥土壤相比,玉米秸秆和根茬留田可分别增加土壤微生物量碳含量 38.4%—84.9% 和 27.2%—51.6%。这与玉米根茬为土壤微生物提供有效养分和能源,促进了微生物的活性、繁衍有关。不同施氮处理玉米根茬相比,施用氮肥处理玉米根茬(R_{120} 、 R_{240})培养过程中土壤微生物量碳含量均高于不施肥玉米根茬 R_0 。不同施肥处理玉米根茬对土壤微生物量碳的影响主要与不同玉米根茬的碳、氮等化学组分的差异性有关,同时也反映了微生物利用根茬中养分的特异性。

土壤可溶性有机碳是土壤有机碳库中最活跃的组分之一,是土壤微生物的最主要能源^[20],可溶性有机物中有 10%—40% 的组分能够直接被微生物分解利用^[21]。土壤中的可溶性有机碳是土壤有机物转化和微生物代谢活动的中间产物,其含量的高低是土壤微生物对有机物分解与利用的综合反映^[22]。张晋京等^[23]试验表明,玉米秸秆本身含有较多的水溶性物质。本研究中加入玉米根茬后,给土壤中补充了丰富的可溶性有机碳,为土壤微生物繁殖提供了可利用的碳源,促使微生物数量增加。不同处理随着培养时间延长,土壤可溶性有机碳含量逐渐降低。培养 30 d 时 15—20 cm 土层土壤各处理 DOC 含量比起始时降低了 26.9%—45.9%,45—50 cm 土层土壤 DOC 含量在培养 10 d 时比起始降低了 60.5%—71.2%,说明土壤中大量可溶性有机碳因易被微生物利用而在培养前期大量发生矿化,这与赵满兴^[22]的培养试验结果相符。随着培养进行,微生物逐渐利用难分解的有机物质,产生可溶性有机物,使得土壤中可溶性有机碳含量缓慢增加。

虽然土壤微生物量碳及可溶性有机碳均是土壤有机碳库中最活跃的组分,但培养过程中其变化趋势存在差异(图 3,图 4)。土壤 DOC 含量可能来源于根系本身,也可来自土壤有机物质在腐解过程中的分解,因此有必要进一步研究这两个组分间的联系。

3.3 根茬在不同土层土壤中的分解特性差异

不同土层土壤比较,不同施氮量处理根茬在 15—20 cm 土层土壤的 CO_2 累积表观释放量、有机碳矿化率、

潜在可释放 CO_2 量、土壤微生物量碳含量等均高于 45—50 cm 土层土壤,玉米根茬在下层土壤的半周转期也较上层土壤时间长,这与下层土壤肥力较低,土壤微生物活性弱有关。Sanaullah^[24] 研究称,根系物质对下层土壤有机质的贡献很大,有机物在下层土壤中的平均滞留时间较长。根系残体的加入能够显著增加土体上、下层中的微生物数量。与表土相比,下层土壤较好的非生物腐解条件能够弥补其不良的物理化学特性。本研究采用培养试验的方法比较了不同施肥处理玉米根茬在采自不同土层土壤中的分解特性,应该看到,室内培养条件与田间实际存在很大差异,因此,有必要进一步采用田间试验研究作物根茬还田在不同层次土壤中的分解转化特性及其对土壤碳、氮等养分循环的影响。

根茬是农田生态系统中土壤有机物归还的主要来源。许多研究关注施肥提高作物产量及增加归还土壤根茬的数量,本研究表明,不同施肥处理影响玉米根茬碳、氮等养分含量,进而对其施入土壤后分解转化特性产生影响。因此,在评价根茬还田培肥土壤及其在农田生态系统碳、氮等养分循环中的作用时,应考虑不同施肥处理对根茬特性的影响,以达到平衡施肥,提高产量和保持地力常新的目的。

References:

- [1] Liu J M, An S Q, Liao R W, Ren S X, Liang H. Temporal variation and spatial distribution of the root system of corn in a soil profile. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2009, 17(3): 517-521.
- [2] Zhang X Y. *Crop Root and Soil Water Utility*. Beijing: China Meteorological Press, 1999.
- [3] Miao H T, Zhang W J, Lu J L, Huang S M, Xu M G. Effects of long-term fertilization on assimilated carbon content and distribution proportion of maize in fluvio-aquic soil. *Scientia Agricultura Sinica*, 2010, 43(23): 4852-4861.
- [4] Wang X L, Ren C L, Cheng Q C, Dai J Y, Jiang Y. Effect of fertilizer application on quantity of maize roots. *Journal of Jilin Agricultural University*, 1990, 12(3): 55-60.
- [5] Yi Z X, Wang P, Tu N M. Responses of roots distribution and nitrogen content of summer maize to nitrogen fertilization types and amounts. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2009, 15(1): 91-98.
- [6] Gale W J, Cambardella C A. Carbon dynamics of surface residue-and root-derived organic matter under simulated no-till. *Soil Science Society of America Journal*, 2000, 64(1): 190-195.
- [7] Rasse D P, Rumpel C, Dignac M F. Is soil carbon mostly root carbon? Mechanisms for a specific stabilization. *Plant and Soil*, 2005, 269(1/2): 341-356.
- [8] Wilts A R, Reicosky D C, Allmaras R R, Clapp C E. Long-term corn residue effects: harvest alternatives, soil carbon turnover, and root-derived carbon. *Soil Science Society of America Journal*, 2004, 68(4): 1342-1351.
- [9] Bao S D. *Soil and Agricultural Chemistry Analysis*. 3rd ed. Beijing: China Agricultural Press, 2005.
- [10] Wen Q X. *Research Method of Soil Organic Matter*. Beijing: China Agriculture Press, 1984: 273-281.
- [11] Vance E D, Brookes P C, Jenkinson D S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biology and Biochemistry*, 1987, 19(6): 703-707.
- [12] Wu J, Joergensen R G, Pommerening B, Chaussod R, Brookes P C. Measurement of soil microbial biomass C by fumigation-extraction-an automated procedure. *Soil Biology and Biochemistry*, 1990, 22(8): 1167-1169.
- [13] Xu J B, He Y Q, Li C L, Liu X L, Jiang C L. Relationship between biologically active organic carbon pool and carbon fractions in upland soils different in fertilization. *Soils*, 2007, 39(4): 627-632.
- [14] Zhuge Y P, Zhang X D, Liu Q. Effect of long-term fertilization on respiration process of mollisols. *Chinese Journal of Soil Science*, 2005, 6(3): 391-394.
- [15] Berg B. Litter decomposition and organic matter turnover in northern forest soils. *Forest Ecology and Management*, 2000, 133(1/2): 13-22.
- [16] Chen X L, Zhou J B, Liu J L, Gao Z X, Yang X Y. Effects of fertilization on carbon/nitrogen ratio of maize straw and its mineralization in soil. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2009, 20(2): 314-319.
- [17] Saetre P, Stark J M. Microbial dynamics and carbon and nitrogen cycling following re-wetting of soils beneath two semi-arid plant species. *Oecologia*, 2005, 142(2): 247-260.
- [18] Song R, Wu C S, Mou J M, Jiang Y, Guo J X. Effects of maize stubble remaining in field on dynamics of soil microbial biomass C and soil enzyme activities. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13(3): 303-306.
- [19] Wang S P, Zhou G S, Jiang Y M, Wang M H, Jiang Y, Liu X Y. Effect of corn stalk and stubble remained in field on soil biochemical factors.

Journal of Jilin Agricultural University, 2002, 24(6): 54-57.

- [20] Haynes R J. Labile organic matter as an indicator of organic matter quality in arable and pastoral soils in New Zealand. *Soil Biology and Biochemistry*, 2000, 32(2): 211-219.
- [21] Kalbitz K, Solinger S, Park J H, Michalzik B, Matzner E. Controls on the dynamics of dissolved organic matter in soils: a review. *Soil Science*, 2000, 165(4): 277-304.
- [22] Zhao M X, Karsten K, Zhou J B. Variation of content and structural characteristics of dissolved organic carbon and nitrogen in soluble organic matter during mineralization of several soils in the loess region. *Acta Pedologica Sinica*, 2008, 45(3): 476-484.
- [23] Zhang J J, Dou S, Jiang Y, Li C L, Ping L F. Dynamic changes of organic carbon contents in soil during period of decomposition of corn stalks. *Journal of Jilin Agricultural University*, 2000, 22(3): 67-72.
- [24] Sanaullah M, Chabbi A, Leifeld J, Bardoux G, Billou D, Rumpel C. Decomposition and stabilization of root litter in top-and subsoil horizons: what is the difference? *Plant and Soil*, 2010, 338(1/2): 127-141.

参考文献:

- [1] 刘晶森, 安顺清, 廖荣伟, 任三学, 梁宏. 玉米根系在土壤剖面中的分布研究. *中国生态农业学报*, 2009, 17(3): 517-521.
- [2] 张喜英. 作物根系与土壤水利用. 北京: 气象出版社, 1999.
- [3] 苗惠田, 张文菊, 吕家珑, 黄绍敏, 徐明岗. 长期施肥对潮土玉米碳含量及分配比例的影响. *中国农业科学*, 2010, 43(23): 4852-4861.
- [4] 王兴礼, 任成礼, 程其昌, 代静玉, 姜岩. 施用化学肥料对玉米根茬数量的影响. *吉林农业大学学报*, 1990, 12(3): 55-60.
- [5] 易镇邪, 王璞, 屠乃美. 夏播玉米根系分布与含氮量对氮肥类型与施氮量的响应. *植物营养与肥料学报*, 2009, 15(1): 91-98.
- [9] 鲍士旦. 土壤农化分析 (第三版). 北京: 中国农业出版社, 2005.
- [10] 文启孝. 土壤有机质研究法. 北京: 农业出版社, 1984: 273-281.
- [13] 徐江兵, 何园球, 李成亮, 刘晓利, 姜灿烂. 不同施肥处理红壤生物活性有机碳变化及与有机碳组分的关系. *土壤*, 2007, 39(4): 627-632.
- [14] 诸葛玉平, 张旭东, 刘启. 长期施肥对黑土呼吸过程的影响. *土壤通报*, 2005, 6(3): 391-394.
- [16] 陈兴丽, 周建斌, 刘建亮, 高忠霞, 杨学云. 不同施肥处理对玉米秸秆碳氮比及其矿化特性的影响. *应用生态学报*, 2009, 20(2): 314-319.
- [18] 宋日, 吴春胜, 牟金明, 姜岩, 郭继勋. 玉米根茬留田对土壤微生物量碳和酶活性动态变化特征的影响. *应用生态学报*, 2002, 13(3): 303-306.
- [19] 王淑平, 周广胜, 姜亦梅, 王明辉, 姜岩, 刘孝义. 玉米植株残体留田对土壤生化环境因子的影响. *吉林农业大学学报*, 2002, 24(6): 54-57.
- [22] 赵满兴, Karsten K, 周建斌. 黄土区几种土壤培养过程中可溶性有机碳、氮含量及特性的变化. *土壤学报*, 2008, 45(3): 476-484.
- [23] 张晋京, 窦森, 江源, 李翠兰, 平立凤. 玉米秸秆分解期间土壤中有机碳数量的动态变化研究. *吉林农业大学学报*, 2000, 22(3): 67-72.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 14 Jul. ,2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

A review of the researches on *Alectoris* partridge SONG Sen, LIU Naifa (4215)

Autecology & Fundamentals

Effects of precipitation and nitrogen addition on photosynthetically eco-physiological characteristics and biomass of four tree seedlings in Gutian Mountain, Zhejiang Province, China YAN Hui, WU Qian, DING Jia, et al (4226)

Effects of low temperature stress on physiological-biochemical indexes and photosynthetic characteristics of seedlings of four plant species SHAO Yiruo, XU Jianxin, XUE Li, et al (4237)

Decomposition characteristics of maize roots derived from different nitrogen fertilization fields under laboratory soil incubation conditions CAI Miao, DONG Yanjie, LI Baijun, et al (4248)

The responses of leaf osmoregulation substance and protective enzyme activity of different peanut cultivars to non-sufficient irrigation ZHANG Zhimeng, SONG Wenwu, DING Hong, et al (4257)

Interannual variation of soil seed bank in *Picea schrenkiana* forest in the central part of the Tianshan Mountains LI Huadong, PAN Cunde, WANG Bing, et al (4266)

Physiological & ecological effects of companion-planted grow seedlings of two crops in the same hole LI Lingli, GUO Hongxia, HUANG Genghua, et al (4278)

Effects of magnesium, manganese, activated carbon and lime and their interactions on cadmium uptake by wheat ZHOU Xiangyu, FENG Wenqiang, QIN Yusheng, et al (4289)

Effects of increased concentrations of gas CO₂ on mineral ion uptake, transportation and distribution in *Phyllostachys edulis* ZHUANG Minghao, CHEN Shuanglin, LI Yingchun, et al (4297)

Effects of pH, Fe and Cd concentrations on the Fe and Cd adsorption in the rhizosphere and on the root surfaces of rice LIU Danqing, CHEN Xue, YANG Yazhou, et al (4306)

Effects of low-light stress on maize ear development and endogenous hormones content of two maize hybrids (*Zea mays* L.) with different shade-tolerance ZHOU Weixia, LI Chaohai, LIU Tianxue, et al (4315)

Effects of maize || peanut intercropping on photosynthetic characters and yield forming of intercropped maize JIAO Nianyuan, NING Tangyuan, YANG Mengke, et al (4324)

Cloning root system distribution and architecture of different forest age *Populus euphratica* in Ejina Oasis HUANG Jingjing, JING Jialin, CAO Dechang, et al (4331)

Impact of vegetation interannual variability on evapotranspiration CHEN Hao, ZENG Xiaodong (4343)

Mating behavior of *Pachycrepoides vindemmiae* and the effects of male mating times on the production of females SUN Fang, CHEN Zhongzheng, DUAN Bisheng, et al (4354)

Component analysis and bioactivity determination of fecal extract of *Locusta migratoria tibetensis* (Chen) WANG Haijian, LI Yili, LI Qing, et al (4361)

Effects of different rice varieties on larval development, survival, adult reproduction, and flight capacity of *Cnaphalocrocis medinalis* (Guenée) LI Xia, XU Xiuxiu, HAN Lanzhi, et al (4370)

Population, Community and Ecosystem

Genetic structure of the overwintering Asian corn borer, *Ostrinia furnacalis* (Guenée) collections in Shandong of China based on *mtCOII* gene sequences LI Lili, YU Yi, GUO Dong, TAO Yunli, et al (4377)

The structure and diversity of insect community in Taihu Wetland HAN Zhengwei, MA Ling, CAO Chuanwang, et al (4387)

Annual variation pattern of phytoplankton community at the downstream of Xijiang River WANG Chao, LAI Zini, LI Xinhui, et al (4398)

Effect of species dispersal and environmental factors on species assemblages in grassland communities WANG Dan, WANG Xiao'an, GUO Hua, et al (4409)

- Cyanobacteria diversity in biological soil crusts from different erosion regions on the Loess Plateau: a preliminary result YANG Lina, ZHAO Yunge, MING Jiao, et al (4416)
- Landscape, Regional and Global Ecology**
- Zoning for regulating of construction land based on landscape security pattern WANG Siyi, OU Minghao (4425)
- Fragmentation process of wetlands landscape in the middle reaches of the Heihe River and its driving forces analysis ZHAO Ruifeng, JIANG Penghui, ZHAO Haili, et al (4436)
- Analysis on grassland degradation in Qinghai Lake Basin during 2000—2010 LUO Chengfeng, XU Changjun, YOU Haoyan, et al (4450)
- Research on soil erosion based on Location-weighted landscape index (LWLI) in Guanchuanhe River basin, Dingxi, Gansu Province LI Haifang, WEI Wei, CHEN Jin, et al (4460)
- Effects of host density on parasitoids and hyper-parasitoids of cereal aphids in different agricultural landscapes GUAN Xiaoqing, LIU Junhe, ZHAO Zihua (4468)
- Effects of interactive CO₂ concentration and precipitation on growth characteristics of *Stipa breviflora* SHI Yaohui, ZHOU Guangsheng, JIANG Yanling, et al (4478)
- Resource and Industrial Ecology**
- Eco-service efficiency assessment method of urban land use: a case study of Changzhou City, China YANG Wenrui, LI Feng, WANG Rusong, et al (4486)
- Changes in phosphorus consumption and its environmental loads from food by residents in Xiamen City WANG Huina, ZHAO Xiaofeng, TANG Lina, et al (4495)
- Research Notes**
- Intercropping enhances the farmland ecosystem services SU Benying, CHEN Shengbin, LI Yonggeng, et al (4505)
- Assessment indicator system of eco-industry in mining area WANG Guangcheng, WANG Huanhuan, TAN Lingling (4515)

《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 骆世明

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 33 卷 第 14 期 (2013 年 7 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 14 (July, 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