

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

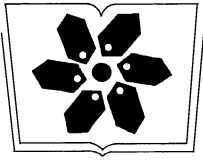
Acta Ecologica Sinica



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/stxb201204120512

李伶俐, 郭红霞, 黄耿华, 李彦鹏, 杨铁钢. 不同作物两苗同穴互作育苗的生理生态效应. 生态学报, 2013, 33(14): 4278-4288.

Li L L, Guo H X, Huang G H, Li Yan P, Yang T G. Physiological & ecological effects of companion-planted grow seedlings of two crops in the same hole. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(14): 4278-4288.

不同作物两苗同穴互作育苗的生理生态效应

李伶俐¹, 郭红霞^{2,3}, 黄耿华⁴, 李彦鹏^{2,3}, 杨铁钢^{2,3,*}

(1. 河南农业大学农学院, 郑州 450002; 2. 河南省农业科学院经济作物研究所, 郑州 450002;

3. 河南省农业科学院农业部中原地区作物栽培科学观测试站, 郑州 450002; 4. 濮阳市经济作物工作站, 濮阳 457000)

摘要:为了探明不同作物两苗同穴互作育苗提高目的作物幼苗素质的机理,本试验在塑料温棚 20—30℃、自然光照条件下,采用 532mm×280mm 具有 200 方形孔的塑料育苗盘,用土壤作基质,分别以小麦、玉米、谷子、高粱和目的作物棉花、油菜、番茄、花生、牡丹、烟草同穴播种,研究了互作育苗对育苗土壤微生物、酶活性及根系分泌物的影响,以及对目的作物幼苗根系活力、叶片可溶性糖含量和 ATP 含量的影响,结果表明:随互作苗的加入,育苗土壤中细菌数量显著增加 52.80%—102.76%、放线菌数量显著增加 34.11%—76.48%、真菌数量显著降低 44.33%—56.14%;所测土壤酶活性显著提高,其中脱氢酶活性显著提高 30.57%—66.37%、中性磷酸酶活性显著提高 38.17%—54.37%、转化酶活性显著提高 23.74%—35.04%、脲酶酶活性显著提高 60.25%—85.47%;所测根系分泌物积累量显著减少,其中 2,4-二叔丁基苯酚显著减少 32.80%—51.65%、2,6-二叔丁基苯酚显著减少 36.60%—56.59%、邻苯二甲酸二丁酯显著减少 10.42%—49.99%、9-16 碳烯酸甲酯显著减少 25.62%—55.59%;目的作物则表现为根系活力、叶片可溶性糖含量和 ATP 含量显著提高,增加了目的作物幼苗根重、苗重和侧根数,离床存活期延长,栽后缓苗期缩短,表现互作促进。在所有互作处理中,以棉花+小麦、棉花+谷子、油菜+谷子、番茄+小麦、番茄+谷子、花生+小麦、花生+谷子、牡丹+谷子、烟草+谷子处理中目的作物幼苗素质表现较好。不同作物两苗同穴互作育苗改善了育苗土壤微生物数量和结构,这可能是提高土壤酶活性和降低土壤有害根系分泌物积累的主要原因,进而提高了目的作物幼苗素质。

关键词:互作育苗;土壤微生物;土壤酶活性;根系分泌物;生理特性;幼苗素质

Physiological & ecological effects of companion-planted grow seedlings of two crops in the same hole

LI Lingli¹, GUO Hongxia^{2,3}, HUANG Genghua⁴, LI Yanpeng^{2,3}, YANG Tiegang^{2,3,*}

1 Agronomy College, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China

2 Economic Crop Research Institute, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002, China

3 MOA Scientific Observational and Experimental Station of Crop Cultivation in Central China, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002, China

4 Puyang Workstation for Economic Crops, Puyang 457000, China

Abstract: We have developed a companion-planted grow seedlings technique, based on the plastic hole plate method used for large-scale crop seedling production, for growing gramineous crops in combination with target crops such as cotton, rape, tomato, and peanut in the same planting hole. This new grow seedlings method takes advantage of the fibrous root system of gramineous crops to keep the root system of growing seedlings tightly bound together, thus preventing damage to seedling root systems during removal from plastic hole trays and mechanical transplantation into the field. Because of its superior suitability for mechanical transplantation, the technique increases the survival percentage of transplanted seedlings,

基金项目:国家农业科技成果转化基金资助项目(2009GB2D000214)

收稿日期:2012-04-12; 修订日期:2012-12-10

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: ytg126@126.com

shortens the post-transplantation convalescence period, and improves target crop quality. To elucidate the mechanisms responsible for enhancing crop seedling quality when two crops are grown in the same hole, we studied the eco-physiological effects of the new technique on soil microorganism quantity, enzyme activity, and root secretion, as well as target crop root vigor and soluble sugar and adenosine triphosphate leaf content. Wheat, maize, millet, and sorghum were used to promote seedling growth of target crops such as cotton, rape, tomato, peanut, peony, and tobacco. Seeds were sown in 532×280 mm² plastic trays containing 200 square holes with soil as a substrate, and the resulting seedlings were grown under natural light conditions at 20—30°C in plastic sheds. When crop seedlings were companion-grown in this fashion, the number of bacteria and actinomycetes in the matrix soil increased significantly—by 52.80%—102.76% and 34.11%—76.48%, respectively—and the number of fungi in the soil decreased by 44.33%—56.14%. Soil enzyme activity also increased significantly; for example, increased activity was observed for dehydrogenase (30.57%—66.37%), neutral phosphatase (38.17%—54.37%), invertase (23.74%—35.04%), and urease (60.25%—85.47%). At the same time, significant decreases were detected in root exudates, including 2,4-di-tert-butylphenol (32.80%—51.65%), 2,6-di-tert-butylphenol (36.60%—56.59%), dibutyl phthalate (10.42%—49.99%), and methyl palmitoleate (25.62%—55.59%). Root vigor and soluble sugar and adenosine triphosphate content in leaves of target crops increased significantly. As a consequence, root weight, seedling weight, and lateral roots of target crops increased; these results revealed robust growth, strong photosynthetic capacity, and greater reserve power, which laid the material and energy foundation for quick regrowth and enhanced survival of transplanted seedlings. Among treatments, the most favorable results were obtained for cotton-wheat, cotton-millet, rape-millet, tomato-wheat, tomato-millet, peanut-wheat, peanut-millet, peony-millet, and tobacco-millet combinations. In conclusion, the quantity and colony composition of soil microorganisms was improved when two seedlings of two crops were companion-planted in the same hole. This soil microorganism enhancement may have been the primary cause of increased soil enzyme activity and decreased accumulation of detrimental root exudates; it would help reduce crop auto-toxicity and improve soil nutritional conditions, thus boosting target crop seedling quality. Soil microorganisms play an important role in soil nutrition transformation, organic matter decomposition, detrimental material degradation, and soil fertility recovery. In addition, they can produce growth stimulants and antibiotics, which stimulate crop growth and suppress growth of harmful microorganisms, respectively. The improved soil microorganism composition and increased soil enzyme activity observed when seedlings of two crops were companion-planted may be related to additive effects of root system exudates from the two crops; both crop type and nutritional situation may affect the quantity and type of these secretions, which enhance soil microbe quantity and soil enzyme activity.

Key Words: companion-planted grow seedlings; soil microorganisms; soil enzyme activity; root secretion; seedling physiological characteristics; seedling quality

实现作物工厂化育苗、机械化移栽,对提高土地资源和光热资源利用率,减少农作用工和劳动强度,提高农作生产效益,推动农作规模化、专业化生产,增加作物产量,确保粮食安全,稳定粮、棉、油、菜生产有重要的意义。但是,在作物工厂化育苗中所用轻型基质重复使用,则会导致作物幼苗素质降低,死苗严重,如不断换新基质则成本高而浪费,改用穴盘土壤基质育苗,则因为棉花、油菜、番茄等作物根系团聚力差,幼苗脆弱,起苗时根系和土壤不抱团,极易断苗伤根;另外,在机械化移栽中发现成捆无土作物幼苗苗时易造成断根和脱根,而且无土幼苗没有根重极性,机栽喂苗下落立棵不稳而影响移栽质量。为了解决上述两个问题,我们进行了多方面探索研究,其中考虑到作物根系分泌物对作物生长、微生物分布、养分平衡有重要的影响,其化感自毒作用是连作障碍的主要因素^[1-4],分析了重复所用育苗基质中的根系分泌物,结果发现其中2,4-二叔丁基苯酚、2,6-二叔丁基苯酚、邻苯二甲酸二丁酯和9—16碳烯酸甲酯等几种物质的含量比育苗初次使用基质中的明显增加,有研究表明,2,4-二叔丁基苯酚、邻苯二甲酸二丁酯等物质在土壤中积累会明显降低作物光合能

力,抑制作物生长,降低抗病性^[5-9],为此,用土壤做育苗基质,并基于不同作物间作可以提高作物的根系活力,增加对磷、铁等营养元素的吸收利用,改善土壤微生物结构和土壤酶活性,提高叶片光合能力,减轻自毒作用^[10-21]等研究结果,又考虑到禾本科作物根系发达且柔韧性好,和棉花、油菜、花生等作物同穴互作育苗可能会提高幼苗根系团聚力,实现幼苗根系团聚抱钵不散落,确保起苗和移栽时幼苗根系完好无损,并形成根重极性,有利于机械移栽幼苗下落立稳,提高移栽质量,在没有前人进行不同作物两苗同穴互作育苗研究的情况下,尝试性的进行了棉花、油菜、番茄、花生、烟草和牡丹分别与小麦、玉米、谷子和高粱两苗同穴互作育苗的首创试验,结果发现,两苗同穴互作育苗既实现了作物幼苗根系团聚,同时提高了目的作物幼苗的素质。因此,本文在上述试验研究结果基础上,进一步研究了不同作物两苗同穴互作育苗土壤微生物、酶活性和根系分泌物等生理生态效应,以探明其提高目的作物幼苗素质的机理,为不同作物工厂化育苗技术提升和机械化移栽提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

采用 532×280mm² 具有 200 方形孔,孔径 24mm,下孔径 10mm,透水口孔径 0.8mm,孔高 45mm 的育苗盘,用孔径 5mm 左右的筛子筛过的壤土做基质,播种前每盘用等量的水浇湿润,每孔播入目的作物和互作物种子各一粒,设 6 个目的作物组,每个目的作物组设单作对照,试验处理分组及组合如下表 1,每处理 10 盘,育苗期间每 3d 浇 1 次自制的营养液,塑料温棚温度控制在 20—30℃,自然光照。

表 1 不同作物两苗同穴互作育苗试验处理

Table 1 Experimental treatments of companion-planted grow seedlings of two crops in the same hole

项目 Item	分组代号 Code					
	A	B	C	D	E	F
	棉花 Cotton	油菜 Rape	番茄 Tomato	花生 Peanut	烟草 Tobacco	牡丹 Peony
互作处理 Mutual aid Treatments	A1:棉花+小麦 A2:棉花+玉米 A3:棉花+谷子 A4:棉花+高粱	B1:油菜+小麦 B2:油菜+谷子 B3:油菜+高粱	C1:番茄+小麦 C2:番茄+谷子 C3:番茄+高粱	D1:花生+小麦 D2:花生+玉米 D3:花生+谷子 D4:花生+高粱	E1:烟草+谷子	F1:牡丹+谷子
单作对照 Monoculture contrast	A0:棉花	B0:油菜	C0:番茄	D0:花生	E0:烟草	F0:牡丹
育苗期 Grow seedling stage/d	30	50	50	25	50	50

1.2 测定项目与方法

1.2.1 土壤微生物

达育苗苗龄后,每处理取育苗钵土混合样,细菌采用牛肉膏蛋白胨琼脂平板表面涂布法;真菌采用马丁氏(Martin)培养基平板表面涂布法;放线菌采用改良高氏一号合成培养基平板表面涂布法^[22]。结果以每 g 鲜土所含数量表示(CFU/g)。

1.2.2 土壤酶活性

脱氢酶活性采用 TTC 还原法测定;转化酶采用硫代硫酸钠滴定法测定;脲酶采用苯酚钠比色法;多酚氧化酶采用邻苯三酚比色法^[23-24]。

1.2.3 根系分泌物

(1) 根系分泌物提取 参照刘秀芬等^[25]的方法加以改良。两苗互作育苗达育苗苗龄后轻轻拔出幼苗,收集根际土混合样,风干研细,过 40 目筛子,从中取出 500g 于三角瓶中,加入 1000mL 的 80% 乙醇,置于摇床上震荡 24 h(180 r/min,25℃),真空过滤(漏斗上放置两层滤纸),然后在旋转蒸发仪上浓缩至 10mL 左右(42℃),收集蒸发后的溶液,同时做 10 个重复,最后把这 10 个重复的浓缩提取液混合后再浓缩至干,待蒸发

皿冷却后加入甲醇 5 mL,再将蒸发皿中的甲醇入 10 mL 容量瓶中,再加入 3 mL 甲醇于蒸发皿中,倾入 10 mL 容量瓶中,并用甲醇定容至刻度,再用 0.22 μm 有机滤膜过滤后,用于高效液相色谱法(HPLC)分析。

(2) 仪器与试剂 用美国 DIONEX 公司 ultimate3000 高效液相色谱仪。2,4-二叔丁基苯酚、2,6-二叔丁基苯酚、邻苯二甲酸二丁酯和 9-16 碳烯酸甲酯标品分析纯均由北京飞美斯分析科技有限公司提供;甲醇,色谱纯,美国迪马公司(Dimark);水为超纯水,台湾艾科超纯水机制。

(3) 色谱条件 参考陈会明等^[26]的方法加以改良。色谱柱:Acclaim 120 C_{18} 反相柱(5 μm , 250 \times 4.6 mm),温度:室温(约 25 $^{\circ}\text{C}$);检测器:紫外检测器;检测波长:选择保存波长 190—400 nm 紫外光谱图。流动相梯度:0—5 min 内甲醇梯度变化范围为 95%—100%;5—20 min 内甲醇保持在 100%;20—25 min 内甲醇梯度变化范围为 100%—95%;25—30 min 内甲醇浓度保持在 95%。流速:1.0 mL/min。

(4) 标准溶液的配制 准确称取 2,4-二叔丁基苯酚、2,6-二叔丁基苯酚、邻苯二甲酸二丁酯和 9—16 碳烯酸甲酯各 0.5000 g 置于 500 mL 容量瓶中,用甲醇定容后振荡均匀,即得 4 种物质质量浓度各为 1 g/L 的混合标准储备液,再逐级用甲醇稀释至所需要的浓度。

1.2.4 ATP 含量

参照生物发光法(荧光素-荧光素酶法)^[27]叶片组织 ATP 提取采用 pH 值 7.8 的甘氨酸-甘氨酸缓冲系统热提取法^[28](内含 1 mmol/L EDTA、1 mmol/L MgSO_4 、1 mg/mL 牛血清蛋白),标准 ATP 采用 Sigma Co. 产品,取纯化的 ATP 溶于 20 mmol/L Tris pH 值 7.8 的缓冲液,作为 ATP 标准液,用 FG-3000 型发光光度计测定,整个测定在 25 $^{\circ}\text{C}$ 恒温水浴下进行。

1.2.5 根系活力

每盘取 5 株棉苗根系,用 TTC 方法测定^[29]。

1.2.6 可溶性糖含量

每盘取 5 株棉苗叶片活样,用蒽酮比色法测定^[29]。

1.2.7 幼苗质量

每盘取棉苗 10 株,分别测量根鲜重、侧根数、苗,求平均值。

1.2.8 离床存活期和缓苗期

离床存活期为起苗后用保鲜袋封存保质存活天数;缓苗期为幼苗移栽大田后至出现新叶的天数。

2 结果分析

2.1 不同作物两苗同穴互作育苗对基质土壤微生物数量的影响

土壤微生物是土壤生物化学特性的重要组成部分,在土壤营养物质转化、有机质分解、有害物降解、肥力修复等方面起着重要的作用,并且可以产生生长刺激素和抗生素,从而抑制病原微生物生长,刺激作物生长^[30]。细菌、放线菌和真菌是土壤微生物的三大主要类群,表 2 可见,不同作物两苗同穴互作育苗均比目的作物单作育苗显著影响了育苗土壤微生物数量和结构,表现育苗土壤中细菌和放线菌数量均显著提高,真菌数显著降低。有研究指出,当土壤中真菌数量及其组成比例提高时土传病害发生的危险性增加,细菌和放线菌数量及其组成比例增加,土传病害发生概率下降^[31]。李云鹏等^[32]研究发现根际放线菌数量增加、放线菌数量与真菌数量的比值提高,作物抗病性增强。可见,两苗互作育苗降低了育苗土壤真菌数量,增加了细菌和放线菌数量及其组成比例,有利于降低作物幼苗发病率。

2.2 不同作物两苗同穴互作育苗对基质土壤酶活性的影响

土壤微生物活性与土壤酶活性密切相关,土壤酶活性的大小可敏感地反映土壤中生化反应的方向和强度,脱氢酶、转化酶活性增强有利于土壤中有机质的转化;土壤脲酶直接参与土壤中含氮有机化合物的转化,其活性增强可提高土壤氮素供应水平;土壤中磷酸酶能促进土壤中有机磷化合物水解,生成作物所能利用的无机态磷^[33]。表 3 可见,各处理组不同作物两苗同穴互作育苗均比目的作物单作育苗显著提高了所测土壤酶活性,这为土壤营养环境的改善提供了生化基础。

表 2 不同作物两苗同穴互作育苗对基质土壤微生物数量的影响

Table 2 Effects of companion-planted grow seedlings of two crops in the same hole on soil microorganisms

处理 Treatments	土壤微生物 Soil microorganisms/(10 ³ CFU/g)		
	细菌 Bacteria	真菌 Fungi	放线菌 Actinomycetes
A0	1547.64±8.68c	96.56±0.36a	164.47±1.68c
A1	2836.15±10.83b	46.67±0.24b	286.23±1.87a
A2	3056.58±9.12a	47.92±0.35b	274.61±2.02a
A3	2794.62±9.35b	46.36±0.26b	281.54±1.64a
A4	2694.12±10.84b	42.35±0.23b	220.57±1.87b
B0	1468.47±8.50b	86.13±0.26a	156.28±2.13b
B1	2423.25±10.23a	42.51±0.35b	247.24±1.74a
B2	2546.26±10.16a	43.35±0.24b	245.64±1.93a
B3	2458.47±8.50a	45.63±0.36b	251.28±2.03a
C0	1634.54±10.31b	83.15±0.26a	145.94±2.15b
C1	2497.52±9.07a	45.87±0.32b	240.02±1.84a
C2	2567.38±9.05a	45.16±0.26b	242.67±1.84a
C3	2501.35±9.16a	44.91±0.25b	243.35±1.78a
D0	1657.62±8.57c	97.53±0.33a	162.48±1.58b
D1	3236.25±10.53a	45.65±0.34b	284.25±1.65a
D2	3016.35±9.35ab	46.95±0.25b	276.73±1.82a
D3	2874.65±9.45b	47.26±0.32b	286.75±1.46a
D4	2894.45±10.32b	45.37±0.31b	267.56±1.65a
E0	1069.26±8.90b	86.13±0.25a	135.85±2.35b
E1	2168.06±10.15a	46.15±0.26b	223.58±1.93a
F0	1262.45±8.34b	79.61±0.23a	135.67±2.32b
F1	2315.67±9.16a	42.61±0.22b	238.35±1.98a

显著性检验是分组进行,同列不同字母分别表示差异达5%显著水平

表 3 不同作物两苗同穴互作育苗对基质土壤酶活性的影响

Table 3 Effects of companion-planted grow seedlings of two crops in the same hole on activity of soil enzymes

处理 Treatments	土壤酶 Soil enzymes/(μg/g 干土)			
	脱氢酶 Dehydrogenase	中性磷酸酶 Neutral phosphatase	转化酶 Invertase	脲酶 Urease
A0	2.65±0.08c	25.46±0.25b	606.42±8.68b	1316.03±15.64c
A1	3.97±0.05a	36.97±0.23a	796.98±7.87a	2479.77±14.67a
A2	3.60±0.07b	36.06±0.26a	774.75±9.02a	2215.25±18.02b
A3	3.62±0.05b	35.18±0.23a	768.61±9.64a	2397.57±16.34a
A4	3.46±0.07b	36.15±0.24a	787.74±8.87a	2195.46±14.65b
B0	2.37±0.05c	24.13±0.26b	556.28±8.13b	1465.54±12.51b
B1	3.67±0.07a	35.87±0.25a	787.27±7.84a	2475.26±10.57a
B2	3.26±0.05b	35.35±0.24a	745.64±8.43a	2346.54±15.16a
B3	3.45±0.08ab	35.63±0.16a	752.48±8.13a	2414.48±15.50a
C0	2.54±0.06b	23.15±0.23b	545.91±8.02b	1334.74±10.37b
C1	3.72±0.07a	35.82±0.22a	680.72±6.84a	2475.58±12.27a
C2	3.68±0.05a	35.16±0.23a	672.77±8.24a	2467.35±15.15a
C3	3.75±0.07a	34.91±0.25a	673.75±7.58a	2381.37±14.26a
D0	2.64±0.05b	26.55±0.26b	594.48±8.65b	1448.64±12.18c
D1	4.12±0.07a	38.67±0.24a	786.23±7.85a	2516.15±13.53a
D2	3.98±0.08a	37.92±0.15a	774.64±8.02a	2456.58±14.72a
D3	3.89±0.06a	37.36±0.24a	758.54±7.68a	2394.82±13.35a
D4	4.02±0.07a	37.35±0.21a	769.57±7.58a	2494.52±15.74a
E0	2.26±0.05b	22.13±0.23b	535.82±8.15b	1269.86±14.90b
E1	3.76±0.05a	34.15±0.23a	723.58±7.57a	2178.86±14.65a
F0	2.45±0.06b	22.64±0.24b	555.67±8.12b	1254.47±14.51b
F1	3.67±0.07a	33.97±0.16a	738.35±6.57a	2175.67±12.35a

2.3 不同作物两苗同穴互作育苗对基质土壤根系分泌物含量的影响

根系分泌物是植物与土壤进行物质、能量与信息交流的重要载体物质。2,4-二叔丁基苯酚、2,6-二叔丁基苯酚、邻苯二甲酸二丁酯、邻苯二甲酸二(2-乙基己基)酯(DEHP)等化感物质浓度不同对作物生长、土壤酶活性和土壤微生物有不同程度的影响^[5-9,34-36]。表4可见,各处理组互作育苗均比目的作物单作育苗显著降低了基质土壤中所测根系分泌物的含量。不同作物两苗互作育苗使育苗土壤中这些化感物质含量降低,可能是互作育苗提高了育苗土壤酶活性(表1),改善了育苗土壤微生物数量和结构(表2),从而促进了根系分泌物的分解代谢有关。

表4 不同作物两苗同穴互作育苗对基质土壤根系分泌物含量的影响(nmol/kg)

Table 4 Effects of companion-planted grow seedlings of two crops in the same hole on content of root secretion in matrix soil

处理 Treatments	根系分泌物 Root secretion/(nmol/kg)			
	2,4-二叔丁基苯酚 2,4-di-tert-butylphenol	2,6-二叔丁基苯酚 2,6-di-tert-butylphenol	邻苯二甲酸二丁酯 Dibutyl phthalat	9—16 碳烯酸甲酯 Methyl palmitoleate
A0	14.04±0.09a	13.86±0.06a	17.64±0.06a	9.12±0.05a
A1	7.15±0.09c	6.35±0.05d	10.25±0.07c	4.25±0.03c
A2	8.04±0.11b	8.51±0.07b	9.45±0.04d	4.67±0.02c
A3	7.36±0.07bc	7.23±0.05c	12.52±0.05b	5.48±0.03b
A4	7.57±0.07bc	6.51±0.07d	10.48±0.05c	4.05±0.04c
B0	13.86±0.10a	14.51±0.06a	15.64±0.08a	10.54±0.04a
B1	8.65±0.12b	8.04±0.06b	10.57±0.11b	6.05±0.05c
B2	8.26±0.23b	7.24±0.04c	10.48±0.06b	6.47±0.05c
B3	7.86±0.14c	7.51±0.06bc	9.94±0.08b	7.84±0.04b
C0	14.94±0.06a	12.64±0.05a	16.21±0.07a	9.15±0.04a
C1	9.34±0.05bc	7.04±0.05b	12.02±0.05c	4.95±0.04c
C2	9.12±0.06c	6.34±0.55b	12.61±0.05bc	5.61±0.03b
C3	10.04±0.07b	6.64±0.78b	13.28±0.07b	5.65±0.04b
D0	15.14±0.09a	14.56±0.06a	16.64±0.06a	8.97±0.05a
D1	7.45±0.09c	6.75±0.05d	9.27±0.07c	4.45±0.03cd
D2	8.54±0.11b	8.01±0.07b	9.05±0.04d	4.62±0.02c
D3	7.32±0.07bc	7.14±0.05c	10.62±0.05b	5.22±0.03b
D4	7.45±0.07bc	6.32±0.07d	9.68±0.05c	4.13±0.04d
E0	15.23±1.90a	12.05±0.06a	15.94±0.05a	9.57±0.03a
E1	9.65±0.06b	7.64±0.05b	8.45±0.05b	4.35±0.02b
F0	12.61±0.04a	13.35±0.04a	10.56±0.05a	10.67±0.04a
F1	6.34±0.04b	8.15±0.06b	9.46±0.06b	6.47±0.03b

2.3 不同作物两苗同穴互作育苗对目的作物某些生理特性的影响

表5可见,各处理组互作育苗均比目的作物单作育苗显著提高了目的作物的根系活力、叶片可溶性糖和ATP含量,棉花、油菜、番茄、花生分别与小麦、谷子互作育苗所测生理指标较与玉米、高粱互作的高,互作较好。目的作物根系活力强,叶片可溶性糖和ATP含量高,说明育苗期间目的作物长势好、光合能力高、储备能量多,为其移栽成活快缓苗奠定了物质和能量基础。

2.4 不同作物两苗同穴两苗互作对目的作物幼苗素质的影响

表5可见,不同作物两苗同穴互作育苗均比目的作物单作育苗显著提高了目的作物的根鲜重、侧根数和苗干重,离床存活期延长,缓苗期缩短,其中和小麦、谷子互作育苗,目的作物幼苗素质表现最好,根鲜重、侧根量、苗干重提高的最多,与根系活力、叶片可溶性糖含量、ATP含量提高最多相一致(表4);和玉米、高粱互作育苗,目的作物幼苗素质略有改善,苗干重、根鲜重、根系活力、叶片可溶性糖含量、ATP含量的提高量低于和小麦、谷子互作的,其主要原因可能是玉米、高粱长势较强所至。

表 5 不同作物两苗同穴互作育苗对目的作物生理特性的影响

Table 5 Effects of companion-planted grow seedlings of two crops in the same hole on physiological characteristics of target crops

处理 Treatments	测定项目 Observation items		
	根活力 Root vigor/ $(\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1})$	可溶性糖 Soluble sugar/%	ATP 含量 Adenosine triphosphate content/ $(\text{nmol}/\text{kg}$ 鲜重)
A0	465.29±19.48c	4.67±0.45c	1559.34±12.36d
A1	715.62±25.14a	5.56±0.41a	1895.16±12.64a
A2	652.47±21.64b	4.79±0.35bc	1687.68±14.15c
A3	678.15±18.64b	5.53±0.48a	1869.15±10.21a
A4	650.65±23.51b	5.02±0.53b	1795.58±15.64b
B0	426.52±20.26c	4.06±0.42c	1264.67±9.68b
B1	554.63±23.34a	5.43±0.35a	1565.25±10.04a
B2	563.14±20.16a	5.24±0.42a	1536.24±10.25a
B3	503.72±19.16b	4.34±0.42bc	1353.24±9.55ab
C0	412.67±23.51c	3.97±0.18c	953.35±8.34c
C1	538.68±20.67a	4.91±0.21a	1257.57±8.26a
C2	537.74±19.53a	4.95±0.18a	1268.41±10.02a
C3	495.85±20.12b	4.48±0.17b	1069.37±10.21b
D0	456.16±18.64c	4.64±0.12c	1425.37±11.24c
D1	645.34±19.62a	5.62±0.16a	1798.16±12.51a
D2	587.43±21.63ab	5.05±0.15b	1587.64±12.15b
D3	632.64±16.81a	5.54±0.14a	1769.15±11.21a
D4	595.57±19.49ab	5.44±0.16a	1695.52±13.62ab
E0	458.47±20.34b	3.75±0.15b	1035.84±9.15b
E1	587.52±21.04a	4.65±0.17a	1435.27±8.64a
F0	431.25±16.57b	3.98±0.12b	1364.18±9.65b
F1	597.62±18.67a	4.63±0.15a	1675.13±10.64a

表 6 不同作物两苗同穴互作育苗对目的作物幼苗素质的影响

Table 6 Effects of companion-planted grow seedlings of two crops in the same hole on seedling quality of target crops

处理 Treatments	调查项目 Observation items				
	根鲜重 Root fresh weight $/(\text{g}/\text{株})$	侧根数 Lateral roots $/(\text{No.}/\text{株})$	苗干重 Seedling dry weight $/(\text{g}/\text{株})$	离床存活期/d Survival stage from seedbed	缓苗期/d Convalescence after transplant
A0	2.38±0.03b	24.35±0.13c	1.89±0.01c	7	4.7
A1	3.06±0.04a	28.64±0.15a	2.39±0.02a	8	3.5
A2	2.68±0.03ab	26.92±0.12b	1.98±0.03bc	8	4.0
A3	3.04±0.03a	28.36±0.12a	2.46±0.02a	9	3.6
A4	2.76±0.02ab	28.67±0.13a	2.05±0.03b	8	3.6
B0	2.45±0.02c	28.57±0.12b	2.13±0.02c	10	5.2
B1	3.27±0.03a	31.23±0.14a	2.53±0.04a	12	4.0
B2	3.24±0.04a	31.56±0.12a	2.62±0.04a	12	3.8
B3	2.74±0.02b	30.16±0.13a	2.27±0.03bc	12	4.5
C0	1.84±0.02b	21.38±0.14b	1.34±0.01c	7	4.5
C1	2.05±0.02a	25.17±0.13a	1.43±0.02b	9	3.6
C2	2.16±0.02a	25.62±0.13a	1.68±0.02a	9	3.6
C3	2.04±0.03a	24.38±0.14a	1.42±0.01b	9	4.2
D0	2.51±0.03c	25.32±0.14b	1.85±0.01c	7	4.5
D1	3.34±0.04a	30.64±0.13a	2.37±0.02a	8	3.5
D2	2.87±0.03b	28.92±0.12a	1.96±0.03c	8	4.0
D3	3.28±0.03a	30.36±0.12a	2.45±0.02a	9	3.5
D4	3.08±0.02b	30.07±0.14a	2.24±0.03b	8	3.5
E0	1.44±0.02b	31.64±0.13b	1.12±0.01b	5	5.8
E1	1.96±0.02a	39.85±0.14a	1.54±0.02a	6	4.2
F0	2.68±0.02b	29.01±0.13b	2.15±0.03b	8	5.4
F1	3.12±0.03a	32.64±0.12a	2.61±0.02a	10	4.3

3 小结与讨论

从本试验结果综合看,不同作物两苗同穴互作育苗提高了目的作物的根系活力、叶片可溶性糖含量和 ATP 含量,增加了目的作物幼苗根重、苗重和侧根数,使目的作物育苗离床存活期延长,栽后缓苗期缩短,表现互作促进,其中棉花+小麦、棉花+谷子、油菜+谷子、番茄+小麦、番茄+谷子、花生+小麦、花生+谷子、牡丹+谷子、烟草+谷子表现较好(前期试验中由于玉米籽大而出苗力强、长势旺,严重抑制了油菜、番茄、牡丹、烟草小籽作物出苗和生长,小麦、高粱也由于长势相对强抑制了牡丹、烟草的出苗和生长,所以本试验中小籽作物没有设这些互作育苗),这可能与互作育苗明显改善了育苗土壤微生物数量和结构,使土壤细菌和放线菌数量显著增加,真菌数显著降低(表 2),并显著提高了育苗土壤酶活性(表 3),促进了土壤养分转化和有害物质的分解,显著减少了育苗土壤中 2,4-二叔丁基苯酚、2,6-二叔丁基苯酚、邻苯二甲酸二丁酯和 9—16 碳烯酸甲酯等根系分泌物的积累量(表 4),增加了土壤养分,改善了单作自毒的土壤生态环境有关。不同作物间作可以提高作物的根系活力,改善土壤微生物结构和土壤酶活性,提高叶片光合能力,减轻自毒作用^[10-21],刘广才等^[37]研究表明小麦/玉米间作系统具有明显的氮、磷、钾养分吸收优势,促进了小麦和玉米增产优势,郝艳茹等^[38]研究小麦/玉米间作以后,根系分泌有机酸的种类明显增加,根系体积和根活性吸收面积增加,这些研究结果直接或间接的支持了本试验结果。

大多数作物都存在根系分泌物等化感物质自毒作用,且研究还发现自毒作用经常是作物产生连作障碍的一个主要原因^[7]。有研究表明,根系分泌物积累产生化感抑制作用,导致土壤微生物数量下降、多样性结构破坏,土壤微生物群落功能多样性下降,土壤酶活性降低,土壤生态系统恶化,进而显著抑制植株的生长,表现作物根系活力降低、叶片 SOD 活性及叶绿素含量下降,叶片中的 MDA 含量和细胞质膜相对透性增加,使植物抗病性下降^[6-9,34-36]。孙秀山等^[1]研究报道,花生连作年限增加,土壤和根际真菌数量显著增加,细菌和放线菌数量显著减少,土壤中碱性磷酸酶、蔗糖酶和脲酶活性逐年降低,花针期土壤及根际真菌显著抑制土壤磷酸酶活性;土壤细菌、土壤放线菌显著促进土壤磷酸酶活性,而根际真菌显著抑制蔗糖酶和脲酶活性,土壤细菌和放线菌显著促进脲酶活性,本研究互作育苗比单作育苗土壤细菌和放线菌数量显著增加,真菌数量显著下降,土壤酶活性显著提高,得到孙秀山等研究结果的支持。李彦斌等^[39]研究证明棉秆腐解物抑制棉花种子萌发,延长种子出苗时间,影响棉花植株生长,并随着秸秆腐解时间延长和秸秆还田数量增加,棉花叶净光合速率、气孔导度、蒸腾速率和胞间 CO₂ 浓度降低,李艳宾等^[40],研究棉秆腐解物中含有邻苯二甲酸二丁酯等 24 种化感物质,也证明棉秆腐解提取物对棉花种子萌发及幼苗生长产生抑制作用,这说明棉花也存在化感自毒。王玉洁等^[41]研究了 2,6-二叔丁基苯酚和邻苯二甲酸二甲酯 2 种化感物质在 50—500 μmol/L 浓度范围内处理茄子幼苗,茄子株高、茎粗、地上地下部干鲜重和根系活力都受到明显的抑制,丙二醛含量及超氧自由基产生速率增大,且随处理浓度的增加和处理时间的延长抑制作用加强。周宝利等^[31]研究表明,以 0.5 mmol/L 浓度邻苯二甲酸二甲酯处理茄子,增加了茄子根际微生物总量,降低真菌数量、增加了细菌和放线菌数量。李轶修^[3]研究表明邻苯二甲酸二丁酯对茄子种子萌发及幼苗的生长具有低浓度促进,高浓度抑制作用。本试验不同作物两苗同穴互作育苗显著降低了 2,4-二叔丁基苯酚、2,6-二叔丁基苯酚、邻苯二甲酸二丁酯和 9—16 碳烯酸甲酯物质在土壤中的积累,可能减轻了自毒危害,有利于幼苗生长。试验所测根系分泌物含量降低,土壤酶活性提高,可能与两苗互作育苗改善了土壤微生物结构,提高了土壤微生物活性,促进了有害物质的分解有关。至于试验处理中不同作物两苗同穴互作育苗为什么可以优化土壤微生物结构,提高土壤微生物活性,可能与各处理的不同作物根系物质友好互补有关,因为作物种类以及营养状况等都可影响根系分泌物的数量和种类,进而影响到土壤微生物数量和酶活性。

References:

- [1] Sun X S, Feng H S, Wan S B, Zuo X Q. Changes of main microbial strains and enzymes activities in peanut continuous cropping soil and their interactions. *Acta Agronomica Sinica*, 2001, 27(5):617-621.
- [2] Wu F Z, Zhao F Y. Study on root exudates and continues cropping obstacle. *Journal of Northeast Agricultural University*, 2003, 34(1):114-118.

- [3] Zheng Y P, Wang C B, Huang S Z, Wu Z F. Research on relieving peanut continuous cropping stress. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2008, 30(3):384-388.
- [4] Li Y B, Liu J G, Li F, Liu S J, Geng W. Allelopathic effect of aqueous extract of cotton. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2008, 16(6):1489-1494.
- [5] Geng G D, Zhang S Q, Cheng Z H. A study on the allelopathy of dibutyl phthalate and its mechanism. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis, 2008, 30(6):1045-1048.
- [6] Qin H, Lin X G, Chen R X, Yin R. Effects of DEHP on dehydrogenase activity and microbial functional diversity in soil. Acta Pedologica Sinica, 2005, 42(5):829-834.
- [7] Li Y X, Zhou B L, Liu N, Fu Y W. Effect of different concentration dibutyl phthalate (DBP) on the germination and Seedlings growth of three vegetable Seeds. Acta Agriculturae Boreali Occidentalis Sinica, 2009, 18(2):217-220, 224-224.
- [8] Zhang X H, Zhang E H, Chai Q, He Q Z, Ren B C. Effects of phenol, 2,4-bis(1,1-dimethylethyl) on photosynthetic characters of hops seedling. Journal of Gansu Agricultural University, 2006, 41(5):50-54.
- [9] Zhang X H, Wang X X, Zhang E H. Allelopathic effect of phenol 2,4-bis(1,1-dimethylethyl) on microorganism of *Humulus lupulus* L. (hops) rhizospheric soil. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2008, 16(6):1606-1608.
- [10] XU Q, Cheng Z H, Lu T, Xie B Y. Effects of Intercropping on growth, nutrient uptake and rhizosphere Environment in plants. Acta Botanica Boreali-occidentalia Sinica, 2010, 30(2):0350-0356.
- [11] Jiao N Y, Ning T Y, Zhao C, Hou L T, Li Z J, Li Y J, Fu G Z, Han B. Effect of nitrogen application and planting pattern on N and P absorption and use in maize-peanut intercropping system. Acta Agronomica Sinica, 2008, 34(4):706-712.
- [12] Song Y N, Petra M, Zhang F S, Bao X G, Li L. Effect of intercropping on bacterial community composition in rhizosphere of wheat. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(7):2268-2274.
- [13] Song Y N, Wang H, Li C J, Zhang F S. Effect of wheat/soybean intercropping on Fe accumulation and mobilization in root apoplast. Acta Agronomica Sinica, 2000, 26(7):462-466.
- [14] Zuo Y M, Zhang F S. Effects of peanut mixed cropping with different gramineous plants on apoplast iron accumulation and reducing capacity of peanut. Chinese Journal of Applied Ecology, 2004, 15(2):221-225.
- [15] Zuo Y M, Liu Y X, Zhang F S. Effects of improved iron nutrition of peanut intercropped with maize on carbon and nitrogen metabolism and nitrogen-fixing of peanut nodule. Acta Ecologica Sinica, 2004, 24(11):2584-2589.
- [16] Zuo Y M, Li X I, Cao Y P, Zhang F S. The effects of peanut intercropped with maize on iron nutrition efficiency of peanut and intercropping advantage in sandy soil in Henan province. Acta Agronomica Sinica, 2003, 29(5):658-663.
- [17] Jiao N Y, Zhao C, Ning T Y, Hou L T, Fu Z G, Li Z J, Cheng M C. Effects of maize-peanut intercropping on economic yield and light response of photosynthesis. Chinese Journal of Applied Ecology, 2008, 19(5):981-985.
- [18] Macario B J, Sara A F, Elsa V Z. Chemical characterization of root exudates from rice (*Oryza sativa*) and their effects on the chemotactic Response of endophytic bacteria. Plant and Soil, 2003, 249:271-277.
- [19] Chai J, Huang P, Huang G B. Effect of intercropping on soil microbial and enzyme activity in the rhizosphere. Acta Pratacultural Sinica, 2005, 14(5):105-110.
- [20] Ghosh P K, Manna M C, Bandyopadhyay K K. Interspecific interaction and nutrient Use in soybean/sorghum inter-cropping system. Agronomy Journal, 2006, 98(4):1097-1108.
- [21] Yadav R S, Tamfadar J C. Influence of organic and inorganic phosphorus supply on the maximum secretion of acid phosphatase by plants. Biology and Fertility of Soils, 2001, 34(3):140-143.
- [22] Xu G H, Zeng H Y. The Guide of Soil Microorganisms Analytical Method. Beijing: Agriculture Press, 1986.
- [23] Guan S Y. Soil Enzyme and Its Research Methods. Beijing: Chinese Agricultural Press, 1987.
- [24] Zhou L K. Soil Enzymology. Beijing: Science Press, 1988.
- [25] Liu X F, Ma R X, Yuan G L, Sun S E. Study on isolation, identification and bioactivity of allelochemicals in rhizosphere. Acta Ecologica Sinica, 1996, 16(1):1-10.
- [26] Chen H M, Wang C, Wang X, Liu J, Zhang F. Analysis of Phthalates in Cosmetics by HPLC-DAD. Journal of Instrumental, 2004, 23(4):61-64.
- [27] Wang W G. Experiment Guide of Plant Physiology. Shanghai: Science and Technology Press, 1985:115-118.
- [28] Wang W G, Gu J B. Comparison of the methods for extracting ATP from plant leaves. Plant Physiology Communications, 1986(5):54-55.
- [29] Li H S. Plant physiological and biochemical experiment principle and technology. Experiment Beijing: Higher Education Press, 2004.
- [30] Wang Q, Tan Y F, Sun J X, Shi C J. Effect of reclaimed water on soil microorganism community in greenbelt. Grassland and Turf, 2010, 30(5):25-29.

- [31] Zhou B L, Sun C Q, Han L, Wu J X, Lei B. Effects of Dibutyl Phthalate on Amount of Verticillium dahliae and Soil Microbial Composition in Rhizosphere of Eggplant. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2010, 25(6):150-153.
- [32] Li Y P, Zhou B L, Li Z P, Yin Y L, Jiang L L, Fu Y W. Relationships between grafted eggplant's verticillium-resistance and rhizosphere soil biological activity. *Chinese Journal Ecology*, 2007, 26(6):831-834.
- [33] Yang Q H, Han J F, He D X. Effects of liquid film on the quantity of microorganisms and activity of enzymes in cotton field. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(6):1312-1317.
- [34] Gao Z H, Zhang X Y, Ge H B, Deng L J. Modeling the obstacle effects of strawberry root exudates. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2008, 14(1):189-193.
- [35] Yin R, Lin X G, Wang S G, Zhang H Y. Influence of phthalic acid esters in vegetable garden soil on quality of capsicum fruit. *Agro-Environment Protection*, 2002, 21(10):1-4.
- [36] Guo Y L, Li M H, Wu H T, Yuan L, Huang J G. Effects of root exudates on growth and nutrients uptake of tobacco seedlings. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2007, 13(3):458-463.
- [37] Liu G C, Yang Q F, Li L, Sun J H. Intercropping advantage and contribution of above-and-below ground interactions in wheat-maize Intercropping. *Acta Phytoecologica Sinica*, 2008, 32(2):477-484.
- [38] Hao Y R, Lao X R, Sun W H, Peng S L. Interaction of roots and rhizosphere in the wheat- maize intercropping system. *Rural Eco-Environment*, 2003, 19(2):18-22.
- [39] Li Y B, Liu J G, Cheng X R, Zhang W, Sun Y Y. The allelopathic effects of returning cotton stalk to soil on the growth of succeeding cotton. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(9):4942-4948.
- [40] Li Y B, Zhang Q, Wan C X, Gong M F, Zhang L L. Allelopathy and chemical constituents of decomposing products from cotton stalk. *Cotton Science*, 2009, 21(6):497-502.
- [41] Wang Y J, Yu J H, Zang Y, Zhu H. Effects of two allelochemicals on growth and physiological characteristics of eggplant seedlings. *Journal of Agriculuyral University*, 2007, 42(3):47-50.

参考文献:

- [1] 孙秀山, 封海胜, 万书波, 左学青. 连作花生田主要微生物类群与土壤酶活性变化及其交互作用. *作物学报*, 2001, 27(5):617-621.
- [2] 吴凤芝, 赵凤艳. 根系分泌物与连作障碍. *东北农业大学学报*, 2003, 34(1):114-118.
- [3] 郑亚萍, 王才斌, 黄顺之, 吴正锋. 花生连作障碍及其缓解措施研究进展. *中国油料作物学报*, 2008, 30(3):384-388.
- [4] 李彦斌, 刘建国, 李凤, 刘淑娟, 耿伟. 棉花植株水浸提液化感效应的研究. *中国生态农业学报*, 2008, 16(6):1489-1494.
- [5] 耿广东, 张素勤, 程智慧. 邻苯二甲酸二丁酯的化感作用及其作用机理研究. *江西农业大学学报*, 2008, 30(6):1045-1048.
- [6] 秦华, 林先贵, 陈瑞蕊, 尹睿. DEHP 对土壤脱氢酶活性及微生物功能多样性的影响. *土壤学报*, 2005, 42(5):829-834.
- [7] 李轶修, 周宝利, 刘娜, 付亚文. 邻苯二甲酸二丁酯对 3 种蔬菜作物种子萌发及幼苗生长的影响. *西北农业学报*, 2009, 18(2):217-220, 224-224.
- [8] 张新慧, 张恩和, 柴强, 何庆祥, 任宝仓. 2,4-二叔丁基苯酚对啤酒花幼苗光合特性的影响. *甘肃农业大学学报*, 2006, 41(5):50-54.
- [9] 张新慧, 王霞霞, 张恩和. 2,4-二叔丁基苯酚对啤酒花根际土壤微生物数量的化感效应研究. *中国生态农业学报*, 2008, 16(6):1606-1608.
- [10] 徐强, 程智慧, 卢涛, 谢宝英. 间作对植株生长及养分吸收和根际环境的影响. *西北植物学报*, 2010, 30(2):0350-0356.
- [11] 焦念元, 宁堂原, 赵春, 侯连涛, 李增嘉, 李友军, 付国占. 施氮量和玉米-花生间作模式对氮磷吸收与利用的影响. *作物学报*, 2008, 34(4):706-712.
- [12] 宋亚娜, Petra M, 张福锁, 包兴国, 李隆. 小麦/蚕豆, 玉米/蚕豆和小麦/玉米间作对根际细菌群落结构的影响. *生态学报*, 2006, 26(7):2268-2274.
- [13] 宋亚娜, 王贺, 李春俭, 张福锁. 小麦大豆间作对大豆根系体外铁库累积与利用的影响. *作物学报*, 2000, 26(7):462-466.
- [14] 左元梅, 张福锁. 不同禾本科作物与花生混作对花生根系体外铁的累积和还原力的影响. *应用生态学报*, 2004, 15(2):221-225.
- [15] 左元梅, 刘永秀, 张福锁. 玉米/花生混作改善花生铁营养对花生根瘤碳氮代谢及固氮的影响. *生态学报*, 2004, 24(11):2584-2589.
- [16] 左元梅, 李晓林, 曹一平, 张福锁. 河南省沙区玉米花生间作对花生铁营养效率及间作优势的影响. *作物学报*, 2003, 29(5):658-663.
- [17] 焦念元, 赵春, 宁堂原, 侯连涛, 付国占, 李增嘉, 陈明灿. 玉米-花生间作对作物产量和光合作用光响应的影响. *应用生态学报*, 2008, 19(5):981-985.
- [19] 柴强, 黄鹏, 黄高宝. 间作对根际土壤微生物和酶活性的影响研究. *草业学报*, 2005, 14(5):105-110.
- [22] 许光辉, 郑洪元. 土壤微生物分析方法手册. 北京:农业出版社, 1986.
- [23] 关松荫. 土壤酶及其研究法. 北京:中国农业出版社, 1987.
- [24] 周礼恺. 土壤酶学. 北京:科学出版社, 1988.

- [25] 刘秀芬,马瑞霞,袁光林,孙思恩. 根际区他感化学物质的分离,鉴定与生物活性的研究. 生态学报 1996,16(1):1-10
- [26] 陈会明 王超 王星,刘娟,张帆. 高效液相色谱二极管阵列检测器测定化妆品中的6种酞酸酯. 分析测试学报,2004,23(4):61-64.
- [27] 王维光. 植物生理学实验手册. 上海:科学技术出版社,1985:115-117.
- [28] 王维光,顾俭本. 从叶片中提取 ATP 方法的比较. 植物生理学通讯,1986,(5):54-55.
- [29] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术. 北京:高等教育出版社,2004.
- [30] 王齐,谭一凡,孙吉雄,师春娟. 中水灌溉绿地对土壤微生物数量的影响. 草原与草坪,2010,30(5):25-29.
- [31] 周宝利,孙传齐,韩琳,武建霞,雷斌. 邻苯二甲酸二丁酯对茄子根际土壤黄萎菌数量及土壤微生物组成的影响. 华北农学报,2010,25(6):150-153.
- [32] 李云鹏,周宝利,李之璞,尹玉玲,姜玲玲,付亚文. 嫁接茄的黄萎病抗性与根际土壤生物学活性的关系. 生态学杂志,2007,26(6):831-834.
- [33] 杨青华,韩锦峰,贺德先. 液体地膜覆盖对棉田土壤微生物和酶活性的影响. 生态学报,2005,25(6):1312-1317.
- [34] 高志华,张学英,葛会波,郑丽锦. 草莓根系分泌物障碍效应的模拟研究. 植物营养与肥料学报,2008,14(1):189-193.
- [35] 尹睿,林先贵,王曙光,张华勇. 农田土壤中酞酸酯污染对辣椒品质的影响. 农业环境保护,2002,21(10):1-4.
- [36] 郭亚利,李明海,吴洪田,袁玲,黄建国. 烤烟根系分泌物对烤烟幼苗生长和养分吸收的影响. 植物营养与肥料学报,2007,13(3):458-463.
- [37] 刘广才,杨祁峰,李隆,袁玲,黄建国. 小麦/玉米间作优势及地上部与地下部因素的相对贡献. 植物生态学报,2008,32(2):477-484.
- [38] 郝艳茹,劳秀荣,孙伟红,彭少麟. 小麦/玉米间作物根系与根际微环境的交互作用. 农村生态环境,2003,19(2):18-22.
- [39] 李彦斌,刘建国,程相儒,张伟,孙艳艳. 秸秆还田对棉花生长的化感效应. 生态学报,2009,29(9):4942-4948.
- [40] 李艳宾,张琴,万传星,龚明福,张利莉. 棉秆腐解物的化感作用及其主要化学成分分析. 棉花学报,2009,21(6):497-502.
- [41] 王玉洁 郁继华 张韵,朱虹. 两种化感物质对茄子生长及幼苗生理特性的影响. 甘肃农业大学学报,2007,42(3):47-50.

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)
- 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)
- 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)
- 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)
- 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)
- 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)
- 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)
- 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)
- 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)
- 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)
- 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

主编 王如松
主管 中国科学技术协会
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

出版 科学出版社
地址:北京东黄城根北街16号
邮政编码:100717

印刷 北京北林印刷厂
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

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

广告经营 京海工商广字第8013号
许可证

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

Editor-in-chief WANG Rusong
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

Published by Science Press
Add: 16 Donghuangchenggen North Street,
Beijing 100717, China

Printed by Beijing Bei Lin Printing House,
Beijing 100083, China

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

Domestic All Local Post Offices in China
Foreign China International Book Trading
Corporation
Add: P. O. Box 399 Beijing 100044, China



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