

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

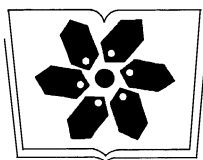
Acta Ecologica Sinica



第 32 卷 第 24 期 Vol.32 No.24 **2012**

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 32 卷 第 24 期

2012 年 12 月 (半月刊)

目 次

从文献计量角度分析中国生物多样性研究现状.....	刘爱原,郭玉清,李世颖,等 (7635)
CO ₂ 浓度升高和模拟氮沉降对青川箭竹叶营养质量的影响.....	周先容,汪建华,张 红,等 (7644)
陕西中部黄土高原地区空气花粉组成及其与气候因子的关系——以洛川县下黑木沟村为例.....	吕素青,李月从,许清海,等 (7654)
长三角地区 1995—2007 年生态资产时空变化.....	徐昔保,陈 爽,杨桂山 (7667)
基于智能体模型的青岛市林地生态格局评价与优化.....	傅 强,毛 锋,王天青,等 (7676)
青藏高原高寒草地生态系统服务功能的互作机制.....	刘兴元,龙瑞军,尚占环 (7688)
北京城市绿地的蒸腾降温功能及其经济价值评估.....	张 彪,高吉喜,谢高地,等 (7698)
武汉市造纸行业资源代谢分析.....	施晓清,李笑诺,赵吝加,等 (7706)
丽江市家庭能耗碳排放特征及影响因素.....	王丹寅,唐明方,任 引,等 (7716)
基于分布式水文模型和福利成本法的生态补偿空间选择研究.....	宋晓谕,刘玉卿,邓晓红,等 (7722)
设施塑料大棚风洞试验及风压分布规律.....	杨再强,张 波,薛晓萍,等 (7730)
湖南珍稀濒危植物——珙桐种群数量动态.....	刘海洋,金晓玲,沈守云,等 (7738)
云南岩陀及其近缘种质资源群体表型多样性.....	李萍萍,孟衡玲,陈军文,等 (7747)
沙埋和种子大小对柠条锦鸡儿种子萌发、出苗和幼苗生长的影响.....	杨慧玲,梁振雷,朱选伟,等 (7757)
栗山天牛天敌花绒寄甲在栎林中的种群保持机制.....	杨忠岐,唐艳龙,姜 静,等 (7764)
基于相邻木排列关系的混交度研究.....	娄明华,汤孟平,仇建习,等 (7774)
三种回归分析方法在 Hyperion 影像 LAI 反演中的比较.....	孙 华,鞠洪波,张怀清,等 (7781)
红松和蒙古栎种子萌发及幼苗生长对升温与降水综合作用的响应.....	赵 娟,宋 媛,孙 涛,等 (7791)
新疆杨边材贮存水分对单株液流通量的影响.....	党宏忠,李 卫,张友焱,等 (7801)
火干扰对小兴安岭毛赤杨沼泽温室气体排放动态影响及其影响因素.....	顾 韩,牟长城,张博文 (7808)
不同潮汐和盐度下红树植物幼苗秋茄的化学计量特征.....	刘滨尔,廖宝文,方展强 (7818)
腾格里沙漠东南缘沙质草地灌丛化对地表径流及氮流失的影响.....	李小军,高永平 (7828)
西双版纳人工雨林群落结构及其林下降雨侵蚀力特征.....	邓 云,唐炎林,曹 敏,等 (7836)
西南高山地区净生态系统生产力时空动态.....	庞 瑞,顾峰雪,张远东,等 (7844)
南北样带温带区栎属树种种子化学组成与气候因子的关系.....	李东胜,史作民,刘世荣,等 (7857)
模拟酸雨对龙眼叶片 PS II 反应中心和自由基代谢的影响.....	李永裕,潘腾飞,余 东,等 (7866)
沈阳市城郊表层土壤有机污染评价.....	崔 健,都基众,马宏伟,等 (7874)
降雨对旱作春玉米农田土壤呼吸动态的影响.....	高 翔,郝卫平,顾峰雪,等 (7883)
冬季作物种植对双季稻根系酶活性及形态指标的影响.....	于天一,逢焕成,任天志,等 (7894)
施氮量对小麦/玉米带田土壤水分及硝态氮的影响.....	杨蕊菊,柴守玺,马忠明 (7905)
微山湖鸟类多样性特征及其影响因素.....	吕昭智,潘卫林,张 鑫,等 (7913)
新疆北部棉区作物景观多样性对棉铃虫种群的影响.....	刘静静,董春颖,宋英琦,等 (7925)
杭州西湖北里湖沉积物氮磷内源静态释放的季节变化及通量估算.....	郭 静,陈求稳,张晓晴,等 (7932)
基于实码遗传算法的湖泊水质模型参数优化.....	王跃中,孙典荣,陈作志,等 (7940)
气候环境因子和捕捞压力对南海北部带鱼渔获量变动的影响.....	颜婷茹,焦海峰,毛玉泽,等 (7948)
象山港南沙岛不同养殖类型沉积物酸可挥发性硫化物的时空分布.....	徐呈祥 (7966)
专论与综述	
提高植物抗寒性的机理研究进展.....	常晓丽,金会军,王永平,等 (7981)
植被对多年冻土的影响研究进展.....	查同刚,张志强,孙 阁,等 (7991)
凋落物分解主场效应及其土壤生物驱动.....	赵洪涛,李叙勇,尹澄清 (8001)
街尘与城市降雨径流污染的关系综述.....	
期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 374 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 40 * 2012-12	

封面图说: 永兴岛海滩植被——永兴岛是中国西沙群岛的主岛,也是西沙群岛及南海诸岛中最大的岛屿。国务院 2012 年 6 月批准设立的地级三沙市,管辖西沙群岛、中沙群岛、南沙群岛的岛礁及其海域,三沙市人民政府就驻西沙永兴岛。永兴岛岛上自然植被密布,野生植物有 148 种,占西沙野生植物总数的 89%,主要树种有草海桐(羊角树)、麻枫桐、野枇杷、海棠树和椰树等。其中草海桐也称为羊角树,是多年生常绿亚灌木植物,它们总是喜欢倚在珊瑚礁岸或是与其他滨海植物聚生于海岸沙滩,为典型的滨海植物。

彩图提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201203040289

于天一, 逢焕成, 任天志, 李玉义, 唐海明, 杨光立, 肖小平, 汤文光, 陈阜. 冬季作物种植对双季稻根系酶活性及形态指标的影响. 生态学报, 2012, 32(24): 7894-7904.

Yu T Y, Pang H C, Ren T Z, Li Y Y, Tang H M, Yang G L, Xiao X P, Tang W G, Chen F. Effects of winter crops on enzyme activity and morphological characteristics of root in subsequent rice crops. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(24): 7894-7904.

冬季作物种植对双季稻根系酶活性及形态指标的影响

于天一^{1,2}, 逢焕成^{1,*}, 任天志¹, 李玉义¹, 唐海明³, 杨光立³,
肖小平³, 汤文光³, 陈阜²

(1. 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北京 100081; 2. 中国农业大学农学与生物技术学院, 北京 100193;
3. 湖南省农业科学院土壤与肥料研究所, 长沙 410125)

摘要: 基于湖南长沙 7a 定位试验, 以冬闲为对照, 研究了冬种马铃薯、紫云英及油菜为前茬作物对早、晚稻根系酶活性、形态指标及产量的影响。结果表明, 与冬闲相比, 冬种作物后早、晚稻根系丙二醛(MDA)含量增加, 但其根系的活性氧清除能力更强(SOD、POD 和 CAT 活性高), 能够在一定程度上缓解膜脂过氧化作用带来的伤害; 冬种不同作物对早晚稻根系形态的影响表现不一。冬种马铃薯和紫云英处理在早稻生育后期的根系优势明显, 并能在一定程度上促进晚稻根系生长, 双季稻总产量较对照分别增加 6.29% 和 7.76%, 而冬种油菜抑制了晚稻根系生长, 导致晚稻产量及双季稻总产分别降低 6.31% 和 1.96%; 相关性分析表明, 灌浆期较高的根长、根数、根体积和根表面积是冬种作物改善双季稻产量的主要原因。综合来看, 冬种马铃薯和紫云英对于促进双季稻根系生长, 提高稻谷产量具有重要作用, 而冬种油菜则不利于提高双季稻的稻谷生产力。

关键词: 冬季作物; 双季稻; 根系酶活性; 根系形态; 产量

Effects of winter crops on enzyme activity and morphological characteristics of root in subsequent rice crops

YU Tianyi^{1,2}, PANG Huancheng^{1,*}, REN Tianzhi¹, LI Yuyi¹, TANG Haiming³, YANG Guangli³, XIAO Xiaoping³,
TANG Wenguang³, CHEN Fu²

1 Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China

2 College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100193, China

3 Hunan Soil and Fertilizer Institute, Changsha 410125, China

Abstract: Root is the principal plant organ for nutrient and water uptake, and the place for transformation, synthesis, and assimilation of plant materials. Enzyme activity and morphological characteristics of root are closely related to crop yield and quality. Previous researches have investigated management practices, such as variety, tillage, fertilization, and irrigation, which affect enzyme activity and morphological characteristics of rice root. Planting winter crop is a common practice in double-cropping paddy fields in southern China. Several cereals, grasses, and legumes have been used as winter crops to improve physical, chemical, and biological properties of paddy soil. Winter crops are also beneficial for soil erosion control and environmental amelioration. Nevertheless, the effects of planting winter crops on soil enzyme activity and morphological characteristics of rice root in double-cropping paddy fields are unclear. The objective of this study was to investigate the effects of winter crops, including potato (*Solanum tuberosum* L.), Chinese milk vetch (*Astragalus sinicus* L.), and rape seed (*Brassica napus* L.), on yields and enzyme activity and morphological traits of root in subsequent rice crops using a 7

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项经费项目(201103001)

收稿日期: 2012-03-04; 修订日期: 2012-09-25

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: hepang@caas.ac.cn

-year experiment located in Changsha city, Hunan province. Chinese milk vetch was seeded directly at the end of September (approximately 20d before the harvest of late rice), and harvested in the middle of April. Rape seed and potato were transplanted at the end of October and harvested at the end of April. At the harvest of Chinese milk vetch, rape seed, and potato, about 22500 kg/hm², 7500 kg/hm², and 22500 kg/hm² straw was returned to the field respectively. Crop yields of early and late rice were estimated at harvesting time from 2005 to 2011. Rice roots were sampled to estimate enzyme activity and morphological characteristics at typical growth stages of early and late rice crops in 2011. In comparison with the control (winter fallow), inclusion of winter crops increased root malondialdehyde (MDA) content in early growth stages for both early and late rice crops. No significant difference was found between all the treatments in late growth stages for both early and late rice crops. Winter crops also improved the activities of superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT), and peroxidase (POD) in the roots of subsequent rice crops, which were helpful for remitting cell membrane peroxidation. Root morphology traits of the succeeding rice crops varied with preceding winter crops. Planting potato and Chinese milk vetch promoted root growth of early and late rice crops, thus increased rice yield by 6.29% and 7.76% in 2011, respectively. On the other hand, planting rape seed inhibited root growth of late rice and decreased late rice yield by 6.31%, and double rice yield by 1.96%. Correlation analysis indicated that under potato and Chinese milk vetch treatments, the greater length, number, volume, and surface area of rice roots at grain filling stage were major factors contributed to the improved double rice yields. No significant correlations were observed between yield and enzyme activities (MDA, SOD, POD and CAT) of rice. We concluded that potato and Chinese milk vetch were beneficial winter crops for improving root growth and yield of double rice, while rape seed was not recommended as a suitable winter crop in double cropping rice production. In addition, environmental and economic effects should be considered when selecting winter crops.

Key Words: winter crop; double rice; enzyme activity of root; root morphology; yield

水稻根系既是吸收养分和水分的主要器官,且与多种激素和有机酸的合成密切相关^[1-2],在水稻的生长发育过程中起到了举足轻重的作用。根系酶活性及形态特征是根系质量优劣的体现,与水稻地上部生长发育、产量和品质的形成关系密切^[3-6]。国内外大量的研究表明水稻形态及生理特性主要受水稻品种^[7]、耕作方式^[8]、施肥水平^[9]、灌溉^[10]等措施的影响。湖南是我国双季稻的主产区,在双季稻田上冬季种植作物能够有效地提高稻田土壤肥力、改善土壤结构,促进微生物活动^[11-13],而土壤性质的改变无疑会影响后茬水稻根系的生长及生理特性,进而影响产量水平,关于这方面的报道相对较少。因此本研究以湖南省农科院土壤肥料研究所 2004 年设置的不同冬季作物-双季稻定位试验为平台,在 7a 定位试验的基础上进行了早、晚稻根系酶活性、形态特性的研究并探讨根系特性与水稻产量之间的关系,从而为选择适合双季稻高产的冬季作物及三熟制模式下的水稻根系生长调控提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验在湖南省土壤肥料研究所网室进行,试验小区为防渗水泥池,每个小区面积为 1.1m²,规格 130(长)cm×85(宽)cm×100(高)cm,设有可封堵的排水口和灌水口。试验地年降水量 1200—1700 mm,年平均气温 16—18℃,≥10℃的活动积温 5000—5800℃,全年日照时数 1295.9 h,无霜期 260—310 d。供试土壤为四世纪红色黏土发育的红黄泥。试验始于 2004 年,试验前耕层土壤基础化学性质为:有机质 13.3 g/kg,全氮 1.46 g/kg,全磷 0.81 g/kg,全钾 13.0 g/kg,碱解氮 154.5 mg/kg,有效磷 39.2 mg/kg,速效钾 57.0 mg/kg,pH 值 5.4。

1.2 试验设计

试验设 4 个处理,以冬闲-双季稻为对照,其它 3 个处理分别为马铃薯-双季稻,紫云英-双季稻,油菜-双季

稻。每个处理重复3次,随机区组排列。于2004年9月至2011年11月进行了7a周年轮作试验,紫云英供试品种为“宁波大桥”,油菜供试品种为“湘杂油7号”,马铃薯供试品种为“东农303”。早稻供试品种为杂交稻“株两优211”,晚稻供试品种为杂交稻“丰源优299”,冬季作物及双季稻管理措施均按照当地常规水平(见表1),冬种作物7a后耕层土壤养分含量见表2。

表1 稻田农事管理
Table 1 Management practices in paddy field

作物 Plant	日期(年-月-日) Date(year. month. day)	管理措施 Field management practices
冬季作物 Winter crop	2010-09-28	播种紫云英, 播种量为 37.5 kg/hm ² , 播种前施用纯氮 75.0 kg/hm ² , P ₂ O ₅ 45.0 kg/hm ² 作为基肥
	2010-10-28	移栽油菜(移栽密度 5.4×10 ⁴ hm ²), 移栽前施用纯氮 75.0 kg/hm ² , P ₂ O ₅ 45.0 kg/hm ² 作为基肥
	2010-11-25	油菜追施纯氮 55.2 kg/hm ²
	2010-11-30	移栽马铃薯(移栽密度 6×10 ⁴ kg/hm ²), 移栽前施用纯氮 75.0 kg/hm ² , P ₂ O ₅ 45.0 kg/hm ² 作为基肥
	2010-12-05	紫云英追施 P ₂ O ₅ 32.4 kg/hm ²
	2011-02-05	紫云英和油菜追施纯氮 55.2 kg/hm ²
	2011-03-23	马铃薯施纯氮 55.2 kg/hm ²
	2011-04-18	紫云英部分翻压还田(还田量为 22500 kg/hm ²)
早稻 Early rice	2011-04-30	收获油菜和马铃薯, 油菜部分秸秆翻压还田(还田量为 7500 kg/hm ²), 马铃薯的部分地上茎和覆盖稻草翻压还田(还田量分别为 4155 kg/hm ² 和 15000 kg/hm ²)
	2011-04-05	早稻播种、塑料软盘育秧
	2011-05-02	早稻移栽插秧(行距 20 cm, 株距 30 cm), 施纯氮 103.5 kg/hm ² , P ₂ O ₅ 45.0 kg/hm ² , K ₂ O 67.5 kg/hm ² 作为基肥
	2011-05-09	施用纯氮 69.0 kg/hm ² 作为追肥
	2011-06-02—06-14	晒田
	2011-06-15—07-11	复水, 干湿交替灌溉
	2011-07-15	早稻收获
	2011-06-27	晚稻播种、塑料软盘育秧
晚稻 Late rice	2011-07-17	晚稻移栽插秧(行距 20 cm, 株距 30 cm), 施纯氮 132.5 kg/hm ² , P ₂ O ₅ 45.0 kg/hm ² , K ₂ O 67.5 kg/hm ² 作为基肥
	2011-07-24	施用纯氮 88 kg/hm ² 作为追肥
	2011-08-17—08-27	晒田
	2011-08-28—10-14	复水, 干湿交替灌溉
	2011-10-20	晚稻收获

1.3 取样分析

每年早、晚稻成熟期实打实收,测定小区稻谷产量。

于稻田定位试验第7年(2011),早稻和晚稻分蘖期、齐穗期及灌浆期每小区选择地上部长势基本一致的水稻连续取4蔸,采用自制的挖根器(长25 cm,宽15 cm,深20 cm),置于40目尼龙网袋中,用流水冲洗,以免根系丢失,然后用吸水纸吸干附着在根上的水分。取其中的两蔸水稻根系进行生理指标的测定,其中超氧化物歧化酶(SOD)活性采用氮蓝四唑(NBT)光化还原法测定,以反应抑制NBT光氧化还原50%酶量为一个酶活力单位,用μ/g表示酶活力;过氧化物酶(POD)活性采用愈创木酚法测定,记录2 min内愈创木酚被氧化的速率,以ΔA470·g⁻¹·min⁻¹表示酶活力;过氧化氢酶(CAT)活性采用紫外分光光度法测定,在240 nm连续测定其吸光度3 min,以1 min内A240减少0.1的酶量为1个酶活力单位,以μ·g⁻¹·min⁻¹表示酶活力;丙二醛(MDA)含量测定采用硫代巴比妥酸法测定,以μmol/g表示含量。剩下的两蔸水稻根系用于根系形态指标的测定,采用直接称重法测定根鲜重(RFW),采用排水法测定根系体积,采用方格法测定总根长(RL);根半径(RR)=(RFW/RL×π)^{1/2};根表面积(RS)=2πRR×RL。

1.4 数据统计方法

用Excel进行试验数据处理,用DPS统计软件进行试验数据的方差分析及相关性分析。

表 2 冬季作物种植 7a 后耕层土壤(0—20cm)养分状况(2011)

Table 2 Soil nutrients after planting winter crops for 7 years (2011)

处理 Treatments	有机质 Organic matter /(g/kg)	全氮 Total nitrogen /(g/kg)	全磷 Total phosphorus /(g/kg)	碱解氮 Available nitrogen /(mg/kg)	有效磷 Available phosphorus /(mg/kg)
Po-R-R	24.61	1.79	0.78	133.31	12.66
Mv-R-R	23.72	1.68	0.69	123.25	10.97
Ra-R-R	19.91	1.39	0.67	88.76	5.41
Fa-R-R	20.43	1.45	0.65	103.93	8.08

Po-R-R、Mv-R-R、Ra-R-R 及 Fa-R-R 分别代表马铃薯-早稻-晚稻 Chinese milk vetch-Rice-Rice; 紫云英-早稻-晚稻 Rape-Rice-Rice; 油菜-早稻-晚稻及冬闲-早稻-晚稻 Fallow-Rice-Rice

2 结果与分析

2.1 冬季作物种植对早、晚稻根系丙二醛含量的影响

由图 1 可知,早、晚稻的根系 MDA 含量随生长过程的推进均呈逐渐增加的趋势,不同冬种作物处理之间根系 MDA 含量无显著差异。与冬闲相比,冬种作物处理显著增加了早稻分蘖期、齐穗期及晚稻分蘖期的根系 MDA 含量,而对早稻灌浆期、晚稻齐穗期与灌浆期的根系 MDA 含量影响不显著,说明冬种作物后早、晚稻生育前期根系膜脂过氧化程度加剧。

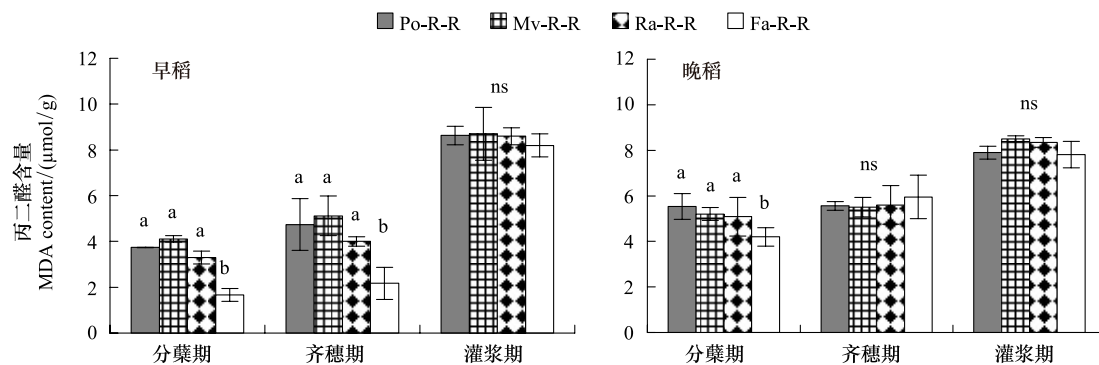


图 1 冬季作物种植对水稻根系丙二醛含量的影响

Fig. 1 Effect of winter crop planting on MDA content of rice roots

不同字母表示处理间差异显著($P < 5\%$); ns 代表处理间差异不显著; ns 代表处理间差异不显著; Po-R-R、Mv-R-R、Ra-R-R 及 Fa-R-R 分别代表马铃薯-早稻-晚稻 Chinese milk vetch-Rice-Rice; 紫云英-早稻-晚稻 Rape-Rice-Rice; 油菜-早稻-晚稻及冬闲-早稻-晚稻 Fallow-Rice-Rice

2.2 冬季作物种植对早、晚稻根系保护酶活性的影响

由图 2 可知,早、晚稻的根系 SOD 活性随生长过程的推进呈先增后减的趋势,不同冬种作物处理对水稻根系 SOD 活性的影响不同。从早稻可以看出,整个生育期冬种马铃薯处理的水稻根系 SOD 活性显著高于对照,其中分蘖、齐穗和灌浆期较对照分别高出 48.29%、51.64% 和 68.29%,冬种紫云英和油菜处理与对照差异不显著;晚稻生长季冬种紫云英处理的根系 SOD 活性分蘖、齐穗和灌浆期分别较对照高出 54.32%、33.62% 和 53.40%,冬种马铃薯和油菜处理与对照差异不显著。说明冬种马铃薯和紫云英能够分别提高早稻和晚稻的根系 SOD 活性,水稻根系抗氧化能力增强。

由图 3 可知,冬种作物处理能够显著提高早晚稻的根系 CAT 活性,其中早稻生长季,冬种马铃薯处理的作用最为明显,根系 CAT 活性较冬闲处理分别增加 147.1%、260.6% 和 237.5%,且显著高于冬种紫云英和油菜处理,而在晚稻季不同冬种作物处理之间差异不显著。

由图 4 可知,早晚稻的根系 POD 活性的变化趋势与 SOD 相似,随生长过程的推进呈先增后减的趋势。各冬季作物种植处理对早稻的根系 POD 活性的影响不同,早稻生长季冬种马铃薯处理的根系 POD 活性分蘖期和齐穗期显著高于对照,较对照分别增加 26.96% 和 24.28%。冬种紫云英处理分蘖期和灌浆期显著高于

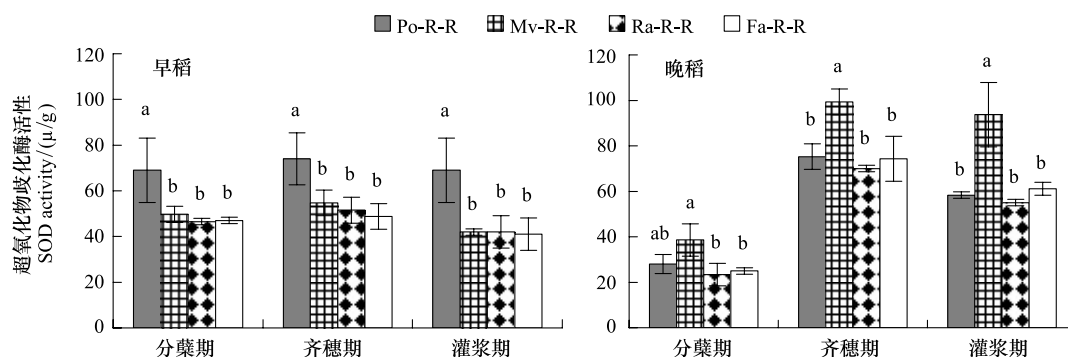


图2 冬季作物种植对水稻根系超氧化物歧化酶活性的影响

Fig. 2 Effect of winter crop planting on SOD activity content of rice root

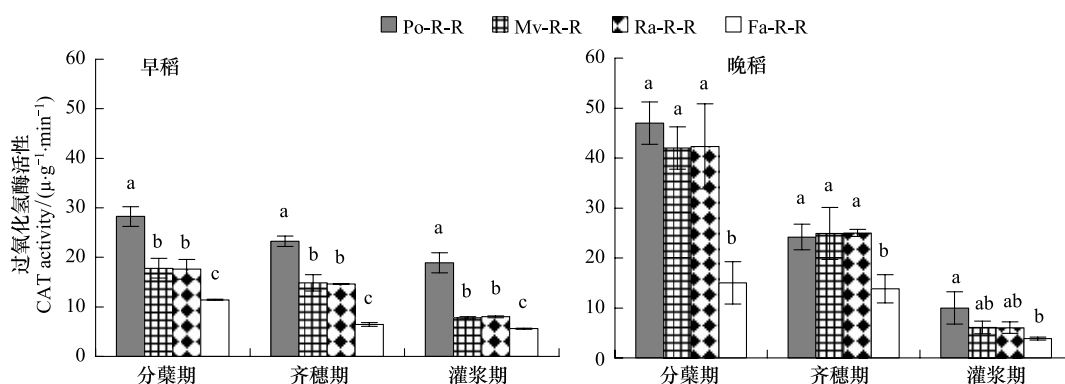


图3 冬季作物种植对水稻根系过氧化氢酶活性的影响

Fig. 3 Effect of winter crop planting on CAT activity content of rice root

对照,分别增加 14.55% 和 33.96%;晚稻生长季冬种紫云英处理能够显著提高根系 POD 活性,其中分蘖期、齐穗期和灌浆期较对照分别增加 60.97%、53.19% 和 79.11%,冬种马铃薯和冬种油菜处理与对照差异不显著。说明冬种紫云英能够提高早、晚稻的根系 POD 活性,冬种马铃薯能够提高早稻根系 POD 活性。

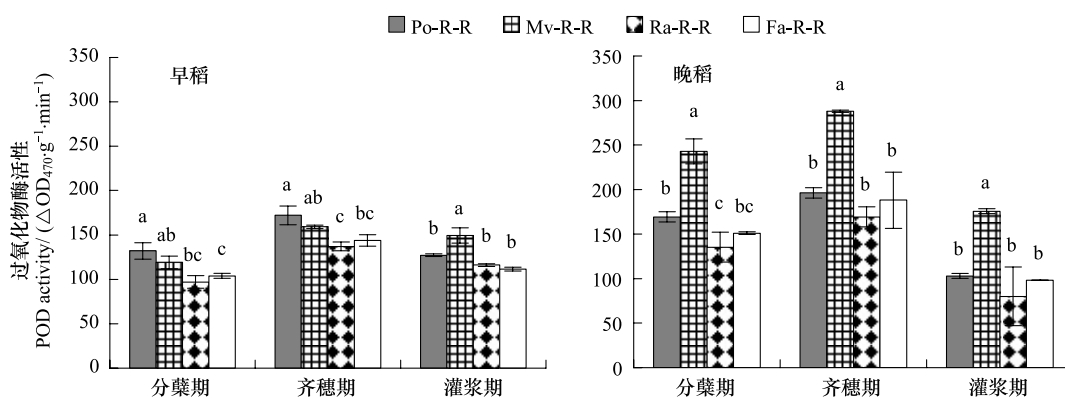


图4 冬季作物种植对水稻根系过氧化物酶活性的影响

Fig. 4 Effect of winter crop planting on POD activity content of rice root

综合 MDA 及三大保护酶(SOD、POD 和 CAT)4 个指标可以看出,冬种作物增加了早、晚稻生育前期根系膜脂过氧化产物丙二醛含量,但其水稻根系活性氧清除能力更强(SOD、POD 和 CAT 活性高),能够缓解膜脂过氧化作用带来的伤害,到生育后期各处理的 MDA 含量差异不显著。另外种植不同冬季作物对水稻根系保护酶活性提高程度不同,其中早稻季以冬种马铃薯的作用更为明显,晚稻季以冬种紫云英的作用更为明显,而

冬种油菜的作用较小。

2.3 冬季作物种植对早、晚稻根系形态的影响

由图 5 可知,各处理早、晚稻根长呈先增后减的趋势。不同冬种作物处理对水稻根长的影响不同。由早稻可以看出,分蘖期和齐穗期各冬种作物处理根长显著低于对照,而灌浆期显著高于对照,其中冬种马铃薯和紫云英的作用更为明显;从晚稻可以看出,分蘖期各处理差异不显著,齐穗和灌浆期冬种马铃薯和紫云英处理的根长均显著高于对照,较对照分别增加 17.39%—26.41% 和 17.47%—19.98%,冬种油菜处理与对照差异不显著。说明冬种作物抑制了早稻生育前期根长增加,但延缓了早、晚稻生育后期的根系衰老,其中冬种紫云英和马铃薯的作用更为明显。

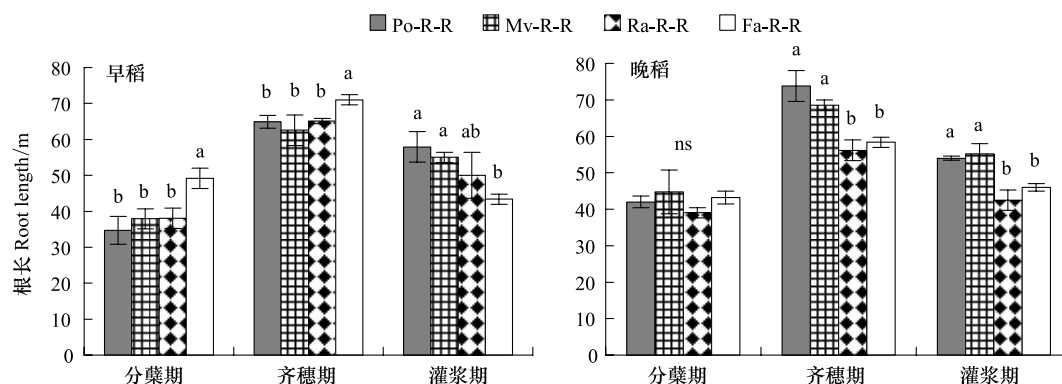


图 5 冬季作物种植对水稻根长的影响

Fig. 5 Effect of winter crop planting on root length of rice

根表面积与根系对土壤养分和水分的吸收、利用有关。由图 6 可知,根表面积的变化与根长类似,即早稻分蘖期和齐穗期各冬种植物处理根表面积均显著低于对照,灌浆期显著高于对照,其中冬种马铃薯和紫云英的作用更为明显;而冬种油菜降低了晚稻的根表面积,其中齐穗期和灌浆期较对照分别降低 15.80% 和 15.63%。

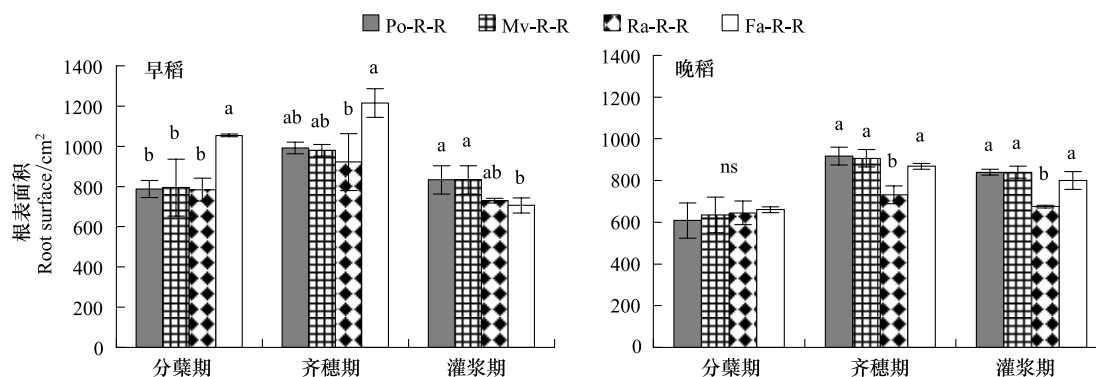


图 6 冬季作物种植对水稻根表面积的影响

Fig. 6 Effect of winter crop planting on root surface of rice

根系数量反映了根系的盛衰状况。由图 7 可知,早晚稻根数均呈先增后减的趋势。由早稻可以看出,分蘖期和齐穗期各处理差异不显著,灌浆期冬种马铃薯和紫云英均显著高于对照,较对照分别增加 15.95% 和 11.35%。冬种油菜处理根数与对照差异不显著。晚稻生长季冬种紫云英处理分蘖期显著高于对照,较对照增加 32.37%。冬种油菜处理晚稻根数齐穗期和灌浆期则较对照分别降低 11.02% 和 13.21%。说明冬种紫云英后增加了早晚稻根数,冬种油菜后降低了晚稻根数。

根系体积也反应了根系的发达程度。由图 8 可知,早晚稻根体积均呈先增后减的趋势。冬季作物种植显著降低了早稻分蘖期和齐穗期根体积,至灌浆期各处理差异不显著;冬种作物对晚稻根体积影响较小,仅冬

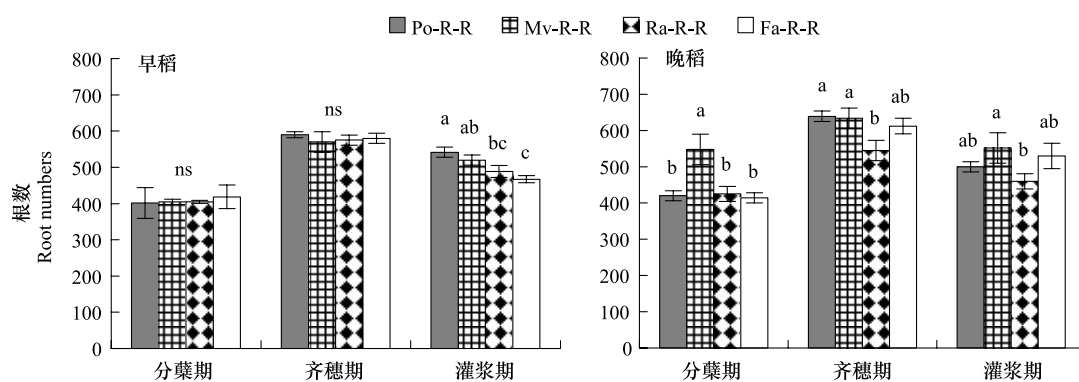


图7 冬季作物种植对水稻根数的影响

Fig. 7 Effect of winter crop planting on root numbers of rice

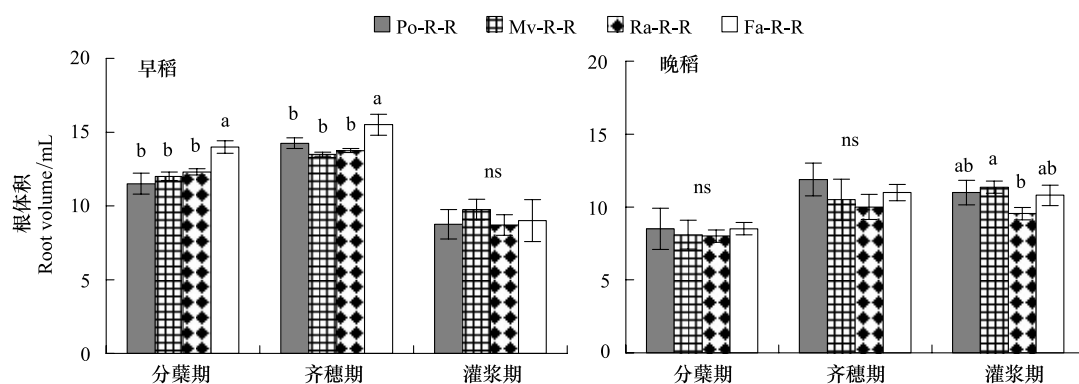


图8 冬季作物种植对水稻根体积的影响

Fig. 8 Effect of winter crop planting on root volume of rice

种紫云英处理在灌浆期显著高于冬种油菜处理。

综合根长、根数、根表面积及根体积可以看出,各冬种作物处理延缓了早稻灌浆期根系衰老,其中冬种马铃薯和紫云英的作用更为明显,说明在水稻生长的关键时期冬季作物种植处理的早稻具有发达的根系来吸收土壤水分和养分,进而促进地上部生长,这为水稻的灌浆结实及后期籽粒的形成打下了良好的基础。而且冬种马铃薯和紫云英能够在一定程度上促进晚稻根数和根长的增加,总体来讲冬种马铃薯和紫云英能够促进后茬双季稻根系的生长,而冬种油菜在一定程度上抑制了晚稻根系生长。

2.4 冬季作物种植对双季稻产量的影响

由产量年变化曲线(图9、图10)可知,受气候、品种等因素的影响,早稻、晚稻及双季稻产量年际间波动

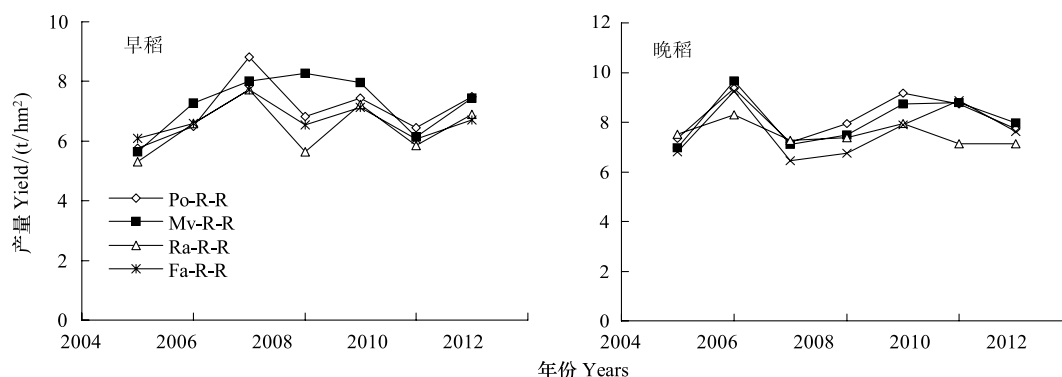


图9 早、晚稻产量年际间变化

Fig. 9 Annual changes of early and late rice yield

较大。试验之初(2005 年)各处理差异较小,随着时间的推进各处理产量差异显著,冬种不同作物对双季稻产量的影响不同,2006 年至 2011 年冬种马铃薯及冬种紫云英处理的早稻、晚稻及双季稻产量均高于对照,其中双季稻历年平均产量较对照分别高出 6.35% 和 7.11% (表 3),冬种作物 7 年后(2011 年)两处理双季稻总产量分别提高 6.29% 和 7.76% (表 3)。冬种油菜处理早、晚稻产量表现不稳定,其双季稻总产量仅在 2007 年略高于对照,其它年份均低于对照,其中历年平均产量较对照降低 2.50% (表 3),冬种油菜 7 年后(2011 年)晚稻产量及双季稻总产分别降低 6.31% 和 1.96% (表 3)。说明冬种马铃薯和紫云英对于提高双季稻稻谷产量具有重要作用,而冬种油菜则不利于提高双季稻的稻谷生产力。

2.5 早晚稻根系特性与水稻产量之间的关系

水稻根系酶活性及形态指标与产量密切相关。由表 4 可知,根系酶活性(SOD、POD 及 CAT)及 MDA 含量与产量的相关性均未达到显著水平。早稻灌浆期根长、根数,晚稻灌浆期根表面积、根体积与产量的相关性达到显著水平,早稻灌浆期根表面积与产量的相关性达到极显著水平。说明在本试验条件下,冬季作物种植主要是通过影响水稻的根系形态特性来影响产量的,在水稻生长的关键时期尤为突出。已有研究证明水稻关键生育期的根系形态指标与产量的相关性达到显著或极显著水平^[14],这一点在本试验中也得到了验证。

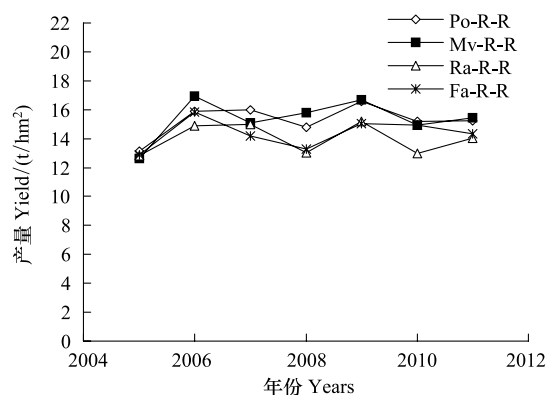


图 10 双季稻产量年际间变化

Fig. 10 Annual changes of double rice yield

表 3 冬季作物种植对双季稻产量的影响

Table 3 Effect of winter crop planting on yield of double rice

处理 Treatments	2011 产量/(t/hm ²) Yield of 2011			2005—2011 平均产量/(t/hm ²) Average yield from 2005 to 2011		
	早稻 Early rice	晚稻 Late rice	双季稻 Double rice	早稻 Early rice	晚稻 Late rice	双季稻 Double rice
Po-R-R	7.49a	7.72ab	15.21a	7.04a	8.21a	15.25a
Mv-R-R	7.44a	7.98a	15.42a	7.25a	8.11a	15.36a
Ra-R-R	6.90b	7.13c	14.03b	6.46b	7.52b	13.98c
Fa-R-R	6.70b	7.61b	14.31b	6.69b	7.65b	14.34b

表 4 水稻主要根系特性与产量之间的相关性(2011 年)

Table 4 Correlation between main root characters and rice yield in 2011

指标 Indexes	早稻 Early rice			晚稻 Late rice		
	分蘖期 Tillering stage	齐穗期 Heading stage	灌浆期 Filling stage	分蘖期 Tillering stage	齐穗期 Heading stage	灌浆期 Filling stage
丙二醛含量 MDA content	0.8748	0.9053	0.8063	0.1480	-0.1916	0.0167
超氧化物歧化酶活性 SOD activity	0.6967	0.7569	0.6254	0.8431	0.8073	0.7662
过氧化氢酶活性 CAT activity	0.7949	0.8268	0.6908	0.0249	-0.0215	0.1619
过氧化物酶活性 POD activity	0.8826	0.8826	0.8102	0.8574	0.8298	0.8428
根长 Root length	-0.8125	-0.8006	0.9633 *	0.8574	0.8298	0.8428
根表面积 Root surface	-0.7187	-0.5530	0.9963 **	-0.3301	0.9339	0.9500 *
根数 Root numbers	-0.7999	0.1651	0.9742 *	0.6552	0.9352	0.9043
根体积 Root volume	-0.8705	-0.6243	0.3691	0.3279	0.4557	0.9873 *

* 表示差异达到 0.05 显著水平($r \geq 0.9500$), ** 表示差异达到 0.01 显著水平($r \geq 0.9900$)

3 结论与讨论

3.1 冬季作物种植对双季稻根系酶活性及形态指标的影响

一般认为,在短期或轻度逆境胁迫下,植物一系列抗氧化酶 SOD、POD、CAT 等活性显著提高,可以增强清除活性氧自由基的能力,有效减缓膜脂过氧化产物 MDA 的产生,维持细胞膜的稳定性,从而提高植物对逆境的适应能力。但当胁迫时间延长或程度加重时,植物生理生化代谢紊乱,整个抗氧化系统崩溃,过氧化产物 MDA 含量急剧增加,导致膜结构及生理完整性被破坏,影响植物的生理代谢及生长发育。本研究表明,冬种作物后增加了早、晚稻生育前期根系的膜脂过氧化产物丙二醛含量,这可能是因为冬季作物残茬还田腐解初期,氮的矿化与固定同时进行,但固定大于矿化,如果土壤中氮素不足,则会出现土壤微生物与后季作物争氮的现象^[15-16],使早稻根系遭受逆境胁迫,膜脂过氧化程度增加,从而抑制了早稻生育前期根系的生长,然而这种抑制程度较小,随着还田物质的腐解,养分大量释放^[17],能够促进早稻后期的根系生长,以弥补前期生长受到的抑制,表现为根系三大保护酶(SOD、POD 和 CAT)活性提高,清除活性氧自由基的能力增强,有效减缓膜脂过氧化产物 MDA 的产生。而晚稻季仍有部分冬季作物秸秆及早稻的根茬残留,此时正值 8 月上中旬,土壤温度较高,秸秆腐解速度较快可能仍然会造成微生物与水稻争氮的现象,进而影响根系生长,使 MDA 含量增加,但其具体原因仍需进一步探讨。因此在冬季作物-双季稻种植模式中适当增加水稻基肥氮的比例可能会在一定程度上缓解水稻根系受到的胁迫,将会为根系提供更有利的生长环境。

水稻根系形态发育受品种、栽培措施等因素^[18]的影响。本研究表明,虽然冬季作物种植后抑制了早稻齐穗前根系生长,但总体来讲冬种马铃薯和紫云英促进了双季稻根系生长,使水稻具有发达的根系来吸收养分和水分,进而促进地上部生长。这可能是因为紫云英为豆科植物,能够利用根瘤菌共生固氮^[19],紫云英还田既增加土壤养分循环中氮,也增加了土壤有机质含量,进而促进水稻根系生长。稻草中富含纤维素、木质素等富碳物质以及 N、P、K 等多种营养元素^[20],还田后有利于更新土壤腐殖质,增加土壤有机质及氮含量,因此稻草覆盖结合马铃薯残茬还田同样能够起到改善土壤结构、培肥地力的效果,这可能是其促进后茬水稻根系生长原因。笔者通过对 2011 年耕层土壤养分含量的测定表明,冬种马铃薯和紫云英 7 年后,土壤有机质、氮和磷含量较对照均有所增加(表 2),证明了冬种马铃薯及紫云英可以培肥地力这一观点。本研究还表明冬种油菜在一定程度上抑制了晚稻生长,这可能是因为春季收获油菜籽带走大量养分,而并未将秸秆全部还田(表 1),冬季施肥量又不足以维持土壤养分平衡,导致土壤碱解氮及速效磷含量降低(表 2),从而影响根系的生长,还可能与秸秆种类及土壤条件有关,本文未涉及到这方面的研究,其具体原因尚需进一步探讨。

3.2 水稻根系酶活性及形态指标与产量的关系

本研究表明,冬种马铃薯和紫云英增加了双季稻产量,但增产的幅度小于高菊生等^[21]和余泓等^[22]所得出的结论,研究还表明冬种油菜降低了晚稻产量,从而导致双季稻减产,这与高菊生等所得出的结论相悖,可能的原因是在高菊生等的研究中将冬季作物当做绿肥施用,秸秆全部翻压还田,本试验条件下只将部分冬季作物秸秆翻压还田(表 1),这会减少土壤有机质和养分的增加量,降低后茬水稻的增产幅度,其中油菜的秸秆还田量较少,在一定程度上耗竭了土壤氮、磷养分(表 2),从而导致减产,因此适当增加油菜-双季稻种植模式中施肥量或秸秆还田量,才能维持土壤养分平衡,保证双季稻田的生产力。

作物地上部生长所需要的养分大部分由根系提供,因此根系酶活性及形态特性与产量之间的关系一直是人们研究的热点。一般认为高产水稻单根干重大^[18,23],根系总吸收面积及活跃吸收面积大^[18],根系氧化力较强^[18],单根根数多^[5],单根根长长^[23],根系 MDA 含量低、抗氧化能力强^[24]。而本研究认为与根系酶活性指标相比,根系形态指标与产量之间的相关性更高,说明冬季作物种植主要是通过影响水稻根系形态来引起产量的变化,在水稻生长的关键时期尤为突出。这可能是因为在本试验条件下保护酶是为了缓解 MDA 对细胞膜的伤害而被动增加,并不能提高根系生理活性,而根长、根数、根表面积等根系形态指标与根系吸收水分和养分的能力密切相关,能够直接影响到水稻的地上部生长,进而影响水稻产量形成。因此,从栽培和育种的角度改善单株水稻质量,增加根表面积、根长、根体积和根数,保证在水稻的灌浆结实期能够有强大的根系

来吸收水分和养分,以促进水稻的地上部生长,这对于进一步提高三熟制种植模式中双季稻产量具有重要意义。

与传统的冬闲-双季稻种植模式相比,冬季作物种植增加了种植模式中作物种类,改变了土壤利用方式,即水田改为水旱轮作。本研究认为在该地区冬季种植马铃薯和紫云英是促进双季稻根系生长,提高稻田生产力的重要措施,但不同冬季作物种植对整个稻田生态系统的影响是一个复杂过程,需从多方面来评价,如春季水资源短缺地区的稻田必须在冬季蓄水保水、种植经济作物可以提高稻田周年生产能力和经济效益等,另外在南方双季稻区选择合适的冬季作物要综合考虑环境效益及不同冬季作物与双季稻的搭配等问题。而本文针对3种不同冬季作物还田后引起的双季稻根系酶活性、形态指标及产量仅仅进行了初步的比较研究,关于不同冬季作物秸秆还田后的腐解、养分释放速率,不同冬季作物对水稻根际微环境的影响及其与地上部的关系今后仍需深入探讨。

致谢:感谢湖南农业大学农学院农业部多熟制作物栽培与耕作学重点开放实验室的黄璜教授、李海林老师、郑华斌博士及研究生扈婷根系生理指标的测试中提供的帮助。

References:

- [1] Inukai Y, Ashikari M, Kitano H. Function of the root system and molecular mechanism of crown root formation in rice. *Plant and Cell Physiology*, 2004, 45(Suppl): 17-17.
- [2] Yang C M, Yang L Z, Yang Y X, Ouyang Z. Rice root growth and nutrient uptake as influenced by organic manure in continuously and alternately flooded paddy soils. *Agricultural Water Management*, 2004, 70(1): 67-81.
- [3] Zhu D F, Lin X Q, Cao W X. Effects of deep roots on growth and yield in two rice varieties. *Scientia Agricultura Sinica*, 2001, 34(4): 429-432.
- [4] Zhang H, Tan G L, Yang L N, Yang J C, Zhang J H, Zhao B H. Hormones in the grains and roots in relation to post-anthesis development of inferior and superior spikelets in japonica/indica hybrid rice. *Plant Physiology and Biochemistry*, 2009, 47(3): 195-204.
- [5] Zhang C S, Wang Y L, Long Y C, Dong G C, Yang L X, Huang J Y. Main roots traits affecting yield level in conventional *Indica* rice cultivars (*Oryza sativa* L.). *Acta Agronomica Sinica*, 2005, 31(2): 137-143.
- [6] Yang J C. Relationships of rice root morphology and physiology with the formation of grain yield and quality and the nutrient absorption and utilization. *Scientia Agricultura Sinica*, 2011, 44(1): 36-46.
- [7] Zhang H, Xue Y G, Wang Z Q, Yang J C, Zhang J H. Morphological and physiological traits of roots and their relationships with shoot growth in "super" rice. *Field Crops Research*, 2009, 113(1): 31-40.
- [8] Feng Y H, Zou Y B, Roland J B, Li H S, Gao Y, Xu G L, Wang S H, Ao H J. Effects of different tillage system on the root properties and the yield in hybrid rice. *Scientia Agricultura Sinica*, 2006, 39(4): 693-701.
- [9] Fan J B, Shen Q R, Tan J Z, Ye L T, Song W J, Zhang Y L. Difference of root physiological and ecological indices in rice cultivars with different N use efficiency. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(6): 3052-3058.
- [10] Zhang Z C, Xu Y J, Chu G, Wang Z Q, Wang X M, Liu L J, Yang J C. Population quality of rice under different irrigation regimes. *Acta Agronomica Sinica*, 2011, 37(11): 2011-2019.
- [11] Wang H, Huang Y, Yang B S, Huang H, Zhang F. Paddy soil quality assessment under rice-ryegrass rotation system in red soil region of mid-subtropics. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(12): 3271-3281.
- [12] Murungu F S, Chidzu C, Muchaonyerwa P, Mkeni P N S. Decomposition, nitrogen and phosphorus mineralization from winter-grown cover crop residues and suitability for a smallholder farming system in South Africa. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2011, 89(1): 115-123.
- [13] Zhang F, Huang F Q, Xiao X P, Wu J M. Short-term influences of winter crops on microbial biomass carbon, microbial biomass nitrogen and C_{mic} -to- C_{org} in a paddy soil. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(2): 734-739.
- [14] Wei H Y, Zhang H C, Zhang S F, Hang J, Dai Q G, Huo Z Y, Xu K, Ma Q, Zhang Q, Liu Y Y. Root morphological and physiological characteristics in rice genotypes with different N use efficiencies. *Acta Agronomica Sinica*, 2008, 34(3): 429-436.
- [15] Yang Z Q, Wang W M. Accumulation and release of carbon and nitrogen after returning straw in soil. *Soil fertilizer*, 1991, (5): 43-46.
- [16] Wyland L J, Jackson L E, Schulbach K F. Soil-plant nitrogen dynamics following incorporation of a mature rye crop in a lettuce production system. *The Journal of Agricultural Science*, 1995, 124(1): 17-25.
- [17] Pan F X, Lu J W, Liu W, Geng M J, Li X K, Cao W D. Study on characteristics of decomposing and nutrients releasing of three kinds of green manure crops. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2011, 17(1): 216-223.
- [18] Li J, Zhang H C, Chang Y, Gong J L, Hu Y J, Long H Y, Dai Q G, Huo Z Y, Xu K, Wei H Y, Gao H. Influence of planting methods on root system morphological and physiological characteristics of super rice under high-yielding cultivation condition. *Acta Agronomica Sinica*, 2011, 37(12): 2208-2220.
- [19] Gao J S. Influence of long term fertilization on crops output of cruciferae in three typical parent material soil in south Hunan. *Chinese Agricultural*

- Science Bulletin, 2009, (15): 235-239.
- [20] Chen S H, Zhu Z L, Wu J, Liu D H, Wang C Q. Decomposition characteristics of straw return to soil and its effect on soil fertility in purple hilly region. Journal of Soil and Water Conservation, 2006, 20(6): 141-144.
- [21] Gao J S, Cao W D, Li D C, Xu M G, Zeng X B, Nie J, Zhang W J. Effects of long-term double-rice and green manure rotation on rice yield and soil organic matter in paddy field. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(16): 4542-4548.
- [22] Yu H, Gao J S, Liu M Y. Influence of planting potato in the winter fallow field on rice growth. Hunan Agricultural Sciences, 2010, (9): 39-40, 41-41.
- [23] Yoichiro K, Midori O. Root growth dynamics and stomatal behaviour of rice (*Oryza sativa* L.) grown under aerobic and flooded conditions. Field Crops Research, 2010, 117(1): 9-17.
- [24] Xu M, Jia D T, Ma D R, Miao W, Wang N, Chen W F. Changes in carbohydrate content and protective enzyme activity of Japonica type super rice during grain-filling stage in North China. Chinese Journal of Rice Science, 2011, 25(1): 59-64.

参考文献:

- [3] 朱德峰, 林贤青, 曹卫星. 水稻深层根系对生长和产量的影响. 中国农业科学, 2001, 34(4): 429-432.
- [5] 张传胜, 王余龙, 龙银成, 董桂春, 杨连新, 黄建晔. 影响籼稻品种产量水平的主要根系性状. 作物学报, 2005, 31(2): 137-143.
- [6] 杨建昌. 水稻根系形态生理与产量、品质形成及养分吸收利用的关系. 中国农业科学, 2011, 44(1): 36-46.
- [8] 冯跃华, 邹应斌, Roland J B, 李合松, 高彥, 许桂玲, 王淑红, 敖和军. 不同耕作方式对杂交水稻根系特性及产量的影响. 中国农业科学, 2006, 39(4): 693-701.
- [9] 樊剑波, 沈其荣, 谭炯壮, 叶利庭, 宋文静, 张亚丽. 不同氮效率水稻品种根系生理生态指标的差异. 生态学报, 2009, 29(6): 3052-3058.
- [10] 张自常, 徐云姬, 褚光, 王志琴, 王学明, 刘立军, 杨建昌. 不同灌溉方式下的水稻群体质量. 作物学报, 2011, 37(11): 2011-2019.
- [11] 王华, 黄宇, 阳柏苏, 黄璜, 张芬. 中亚热带红壤地区稻-稻-草轮作系统稻田土壤质量评价. 生态学报, 2005, 25(12): 3271-3281.
- [13] 张帆, 黄凤球, 肖小平, 吴家梅. 冬季作物对稻田土壤微生物量碳、氮和微生物熵的短期影响. 生态学报, 2009, 29(2): 734-739.
- [14] 魏海燕, 张洪程, 张胜飞, 杭杰, 戴其根, 霍中洋, 许轲, 马群, 张庆, 刘艳阳. 不同氮利用效率水稻基因型的根系形态与生理指标的研究. 作物学报, 2008, 34(3): 429-436.
- [15] 杨志谦, 王维敏. 秸秆还田后碳、氮在土壤中的积累与释放. 土壤肥料, 1991, (5): 43-46.
- [17] 潘福霞, 鲁剑巍, 刘威, 耿明建, 李小坤, 曹卫东. 三种不同绿肥的腐解和养分释放特征研究. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(1): 216-223.
- [18] 李杰, 张洪程, 常勇, 龚金龙, 胡雅杰, 龙厚元, 戴其根, 霍中洋, 许轲, 魏海燕, 高辉. 高产栽培条件下种植方式对超级稻根系形态生理特征的影响. 作物学报, 2011, 37(12): 2208-2220.
- [19] 高菊生. 湘南三种典型红壤生土长期施肥对十字花科作物产量影响. 中国农学通报, 2009, 25(15): 235-239.
- [20] 陈尚洪, 朱钟麟, 吴婕, 刘定辉, 王昌全. 紫色土丘陵区秸秆还田的腐解特征及对土壤肥力的影响. 水土保持学报, 2006, 2(6): 141-144.
- [21] 高菊生, 曹卫东, 李冬初, 徐明岗, 曾希柏, 聂军, 张文菊. 长期双季稻绿肥轮作对水稻产量及稻田土壤有机质的影响. 生态学报, 2011, 31(16): 4542-4548.
- [22] 余泓, 高菊生, 刘明月. 冬闲田种植马铃薯对水稻生长的影响. 湖南农业科学, 2010, (9): 39-40, 41-41.
- [24] 许明, 贾德涛, 马殿荣, 苗微, 王楠, 陈温福. 北方粳型超级稻灌浆结实期碳水化合物含量和保护酶活性的变化. 中国水稻科学, 2011, 25(1): 59-64.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 24 December, 2012 (Semimonthly)

CONTENTS

A bibliometric study of biodiversity research in China	LIU Aiyuan, GUO Yuqing, LI Shiyong, et al (7635)
Effects of elevated CO ₂ and nitrogen deposition on leaf nutrient quality of <i>Fargesia rufa</i> Yi	 ZHOU Xianrong, WANG Jianhua, ZHANG Hong, et al (7644)
Airborne pollen assemblages and their relationships with climate factors in the central Shaanxi Province of the Loess Plateau: a case in Xiaheimugou, Luochuan County	LÜ Suqing, LI Yuecong, XU Qinghai, et al (7654)
Spatial and temporal change in ecological assets in the Yangtze River Delta of China 1995—2007	 XU Xibao, CHEN Shuang, YANG Guishan (7667)
Evaluation and optimization of woodland ecological patterns for Qingdao based on the agent-based model	 FU Qiang, MAO Feng, WANG Tianqing, et al (7676)
Interactive mechanism of service function of alpine rangeland ecosystems in Qinghai-Tibetan Plateau	 LIU Xingyuan, LONG Ruijun, SHANG Zhanhuan (7688)
Preliminary evaluation of air temperature reduction of urban green spaces in Beijing	 ZHANG Biao, GAO Jixi, XIE Gaodi, et al (7698)
Resources metabolism analysis for the pulp and paper industry in Wuhan, China	 SHI Xiaoqing, LI Xiaonuo, ZHAO Linjia, et al (7706)
The characteristics and influential factors of direct carbon emissions from residential energy consumption: a case study of Lijiang City, China	WANG Danyin, TANG Mingfang, REN Yin, et al (7716)
Spatial targeting of payments for ecosystem services Based on SWAT Model and cost-benefit analysis	 SONG Xiaoyu, LIU Yuqing, DENG Xiaohong, et al (7722)
The wind tunnel test of plastic greenhouse and its surface wind pressure patterns	 YANG Zaiqiang, ZHANG Bo, XUE Xiaoping, et al (7730)
Population quantitative characteristics and dynamics of rare and endangered plant <i>Davidia involucrata</i> in Hunan Province	 LIU Haiyang, JIN Xiaoling, SHEN Shouyun, et al (7738)
Phenotypic diversity in populations of germplasm resources of <i>Rodgersia sambucifolia</i> and related species	 LI Pingping, MENG Hengling, CHEN Junwen, et al (7747)
Effects of sand burial and seed size on seed germination, seedling emergence and growth of <i>Caragana korshinskii</i> Kom. (Fabaceae) ...	 YANG Huiling, LIANG Zhenlei, ZHU Xuanwei, et al (7757)
Population-keeping mechanism of the parasitoid <i>Dastarcus helophoroides</i> (Coleoptera: Bothrideridae) of <i>Massicus raddei</i> (Coleoptera: Cerambycidae) in oak forest	YANG Zhongqi, TANG Yanlong, JIANG Jing, et al (7764)
Study of mingling based on neighborhood spatial permutation	LOU Minghua, TANG Mengping, QIU Jianxi, et al (7774)
Comparison of three regression analysis methods for application to LAI inversion using Hyperion data	 SUN Hua, JU Hongbo, ZHANG Huaiqing, et al (7781)
Response of seed germination and seedling growth of <i>Pinus koraiensis</i> and <i>Quercus mongolica</i> to comprehensive action of warming and precipitation	ZHAO Juan, SONG Yuan, SUN Tao, et al (7791)
Impacts of water stored in sapwood <i>Populus bolleana</i> on its sap flux	DANG Hongzhong, LI Wei, ZHANG Youyan, et al (7801)
Dynamics of greenhouse gases emission and its impact factors by fire disturbance from <i>Alnus sibirica</i> forested wetland in Xiaoxing'an Mountains, Northeast China	GU Han, MU Changcheng, ZHANG Bowen (7808)
Different tide status and salinity alter stoichiometry characteristics of mangrove <i>Kandelia candel</i> seedlings	 LIU Biner, LIAO Baowen, FANG Zhanqiang (7818)
Effects of shrub encroachment in desert grassland on runoff and the induced nitrogen loss in southeast fringe of Tengger Desert	 LI Xiaojun, GAO Yongping (7828)
Community structure and throughfall erosivity characters of artificial rainforest in Xishuangbanna	 DENG Yun, [TANG Yanlin], CAO Min, et al (7836)
Temporal-spatial variations of net ecosystem productivity in alpine area of southwestern China	 PANG Rui, GU Fengxue, ZHANG Yuandong, et al (7844)

Relationships between chemical compositions of <i>Quercus</i> species seeds and climatic factors in temperate zone of NSTEC	LI Dongsheng, SHI Zuomin, LIU Shirong, et al (7857)
Effects of simulated acid rain stress on the PS II reaction center and free radical metabolism in leaves of longan	LI Yongyu, PAN Tengfei, YU Dong, et al (7866)
Assessment of organic pollution for surface soil in Shenyang suburbs	CUI Jian, DU Jizhong, MA Hongwei, et al (7874)
The impact of rainfall on soil respiration in a rain-fed maize cropland	GAO Xiang, HAO Weiping, GU Fengxue, et al (7883)
Effects of winter crops on enzyme activity and morphological characteristics of root in subsequent rice crops	YU Tianyi, PANG Huancheng, REN Tianzhi, et al (7894)
Dynamic changes of soil moisture and nitrate nitrogen in wheat and maize intercropping field under different nitrogen supply	YANG Ruiju, CHAI Shouxi, MA Zhongming (7905)
Characteristics of the bird diversity and the impact factors in Weishan Lake	YANG Yuewei, LI Jiuen (7913)
The effect of cropping landscapes on the population dynamics of the cotton bollworm <i>Helicoverpa armigera</i> (Lepidoptera, Noctuidae) in the northern Xinjiang	LU Zhaozhi, PAN Weilin, ZHANG Xin, et al (7925)
The seasonal variations of nitrogen and phosphorus release and its fluxes from the sediments of the Beili Lake in the Hangzhou West Lake	LIU Jingjing, DONG Chunying, SONG Yingqi, et al (7932)
Optimization of lake model salmo based on real-coded genetic algorithm	GUO Jing, CHEN Qiuwen, ZHANG Xiaoqing, et al (7940)
The influence of climatic environmental factors and fishing pressure on changes of hairtail catches in the northern South China Sea	WANG Yuezhong, SUN Dianrong, CHEN Zuozhi, et al (7948)
Seasonal and spatial distribution of acid volatile sulfide in sediment under different mariculture types in Nansha Bay, China	YAN Tingru, JIAO Haifeng, MAO Yuze, et al (7958)
Review and Monograph	
Research progress on the mechanism of improving plant cold hardiness	XU Chengxiang (7966)
Influences of vegetation on permafrost: a review	CHANG Xiaoli, JIN Huijun, WANG Yongping, et al (7981)
Home-field advantage of litter decomposition and its soil biological driving mechanism: a review	ZHA Tonggang, ZHANG Zhiqiang, SUN Ge, et al (7991)
Research progress on the relationship of pollutants between road-deposited sediments and its washoff	ZHAO Hongtao, LI Xuyong, YIN Chengqing (8001)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的生态学专业性高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究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;新书评介和学术、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

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 32 卷 第 24 期 (2012 年 12 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 24 (December, 2012)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元