

稻鸭共作复合系统的生态环境效应研究

甄若宏^{1,2}, 王强盛, 周建涛, 郑建初, 何劭俊, 卞新民

(1. 江苏省农业科学院科技服务处, 江苏南京210014; 2. 南京农业大学农学院, 江苏南京210095)

摘要 [目的] 为稻鸭共作的实践应用提供理论依据。[方法] 通过小区试验研究, 分析稻鸭共作条件下, 稻田土壤、水体理化性状、稻鸭共作对稻田常发性及危害严重的病虫害的发生情况以及对稻田天敌蜘蛛的影响和稻田生态系统的价值流动。[结果] 结果表明, 稻鸭共作较明显地改善了表层土壤的理化性状, 与对照处理相比, 表层土壤容重降低5.30%, 土壤总孔隙度提高2.52%, 土壤有机质增加6.41%; 水体总氮、氧化还原电位、化学需氧量分别比对照增加了9.31%、27.51%、16.46%。稻鸭共作对稻田有害生物也有较明显的控制效应, 对稻飞虱和稻纵卷叶螟的防效分别为65.49%和39.27%, 对条纹叶枯病、稻田杂草的防效比常规稻作分别高0.62和22.2个百分点。稻鸭共作经济效益比常规稻作高3492元/hm²。[结论] 稻鸭共作有利于水稻的生长发育。

关键词 稻鸭共作; 土壤肥力; 病虫害; 价值流动

中图分类号 S181 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2008)21-09008-04

Study on the Ecology Environment Effect of Rice-duck Integrated Farming

ZHEN Ruohong et al. (Sci-technology Service Department, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing, Jiangsu 210014)

Abstract [Objective] The aim of study was to provide theoretical basis for applying rice-duck integrated farming. [Method] The physical-chemistry characters of soil and water in paddy field, the developing regularity of rice diseases, insects and weed, and value flow of paddy field in rice-duck integrated farming were studied through plot experiment. [Result] The results showed that rice-duck integrated farming could apparently improve the physical-chemistry characters of soil surface layer. Compared with the CK, the soil bulk density decreased 5.30%, soil total porosity and soil organic matter increase by 2.52% and 6.41% respectively. The water total N, oxidation-reduction potential and chemical demand oxygen increased by 9.31%, 27.51% and 16.46% respectively. The rice-duck integrated farming also had obvious control effect on harmful biology in the rice paddy, prevention effect on the rice planthopper and *Cnaphalocrosis medialis* Guenee were 65.49% and 39.27% respectively. The stripe virus, rice weed control effects were 0.62 and 22.2 parts higher than conventional rice farming. The economic efficiency of rice-duck integrated farming was 3492 yuan/hm² higher than conventional rice farming. [Conclusion] The rice-duck integrated farming was advantageous to growth of rice.

Key words Rice-duck integrated farming; Soil fertility; Rice diseases; Insects and weeds; Value flow

常规稻作模式中化学性物质的长期使用, 不仅使稻田各种病虫害产生了抗性, 带来了严重的防治难题, 也污染了农业生态环境和农产品品质, 降低了稻田生态系统的稳定性。而在传统稻田养鸭基础上发展起来的稻鸭共作技术, 利用鸭子在稻田的活动以有效控制稻田病虫害的发生, 从而减少化学物质的使用, 实现水稻的可持续发展。目前关于稻鸭共作的研究报道较多^[1-5], 但由于生态环境、地域特征和稻作技术不同使研究结果颇有争议, 笔者针对江苏稻区单季稻生产情况, 研究分析稻鸭共作对土壤、水体理化性状和稻田常发及危害严重的病虫害、杂草及稻田主要天敌蜘蛛的影响效应, 分析了稻鸭共作模式的价值流动, 旨在为稻鸭共作的实践应用提供依据, 进一步丰富稻鸭共作理论。

1 材料与试验方法

1.1 试验设计 试验在南京农业大学东台试验场进行, 土壤类型为潴育型水稻土, 肥力中等。试验设对照区(CK)、稻鸭共作区(Rice-duck Mutualism Region, RD)和常规稻作区(Common Rice Production Region, CR), 每小区面积178 m², 各处理重复3次。试验用氮肥为尿素, 磷肥为过磷酸钙, 钾肥为氯化钾。各处理肥料用量, 纯氮270 kg/hm², 基追比5.5:4.5, 磷肥做基肥, 一次基施, 钾肥50%作基肥, 50%作穗肥, 氮、钾肥穗肥在倒2.5叶施用, N:P₂O₅:K₂O为1.0:0.5:0.8。其中对照区和稻鸭共作区在水稻抽穗前不喷农药以控制稻田病虫害; 常规稻作区根据常规高产的栽培管理措施进行; 稻鸭共作区, 四周用尼龙网围起来, 设立鸭棚供鸭子休息和取

食所用。鸭子选用高邮麻鸭, 于水稻移栽后10 d将鸭龄10 d左右的鸭子放入稻田, 每小区放鸭4只, 抽穗期将鸭收回。

1.2 测定项目与方法 土壤养分的测定与计算: 水稻成熟期取土样分层测定土壤有机质及氮、磷、钾速效养分和全量养分含量, 测定方法参照文献[6]。于水稻成熟期, 5点取样, 分层测定土壤理化性状。土壤容重和孔隙度测定采用环刀法, 具体方法参见文献[7]。

水体取样: 为保持取样的一致性, 在鸭子活动过后等待30 min, 水体稳定下来再取样, 取样时期为水稻有效分蘖临界叶龄期, 水样中铵态氮采用纳氏比色法, 总氮和总磷采用过硫酸钾氧化法, 总钾采用火焰光度法, 溶解氧采用膜电极法, 电导率采用电导仪法, 氧化还原电位采用电极法, 化学需氧量采用酸性高锰酸钾法, 具体测定方法参见文献[8]。

水稻病虫害的分析方法参照文献[9-10], 稻飞虱和蜘蛛的分析采取5点取样, 每点10穴, 在放鸭10 d后开始每隔10天分析1次, 计算百穴虫量; 在放鸭10 d后开始分析纵卷叶螟和条纹叶枯病的发生与危害情况。稻田杂草分析在水稻拔节期进行, 采用倒“W”型9点取样, 每样方面积为1 m², 计数各小区的杂草种类和数量。

2 结果与分析

2.1 稻鸭共作对土壤物理性状的影响 土壤容重是衡量土壤疏松程度的重要物理指标之一, 由于鸭子在稻田的不间断活动, 对稻田土壤起到中耕作用, 有效疏松土壤, 使土壤结构得到合理改善, 各土层深度的土壤容重均小于未放鸭的CK处理, 尤其是表层土壤, 土壤容重比CK处理降低了5.30%, 比CR处理降低了2.34%, 中下层土壤容重也较CR处理和CK处理有所下降, 但差异不大, 显示稻鸭共作稻田土壤结构良好, 疏松多孔, 有利于土壤内外物质的交换。各土层深度

基金项目 江苏省农业科技项目(BC2005312); 国家科技攻关重大项目(2002BA516A14)。

作者简介 甄若宏(1978-), 女, 河北石家庄人, 博士研究生, 研究方向: 环境生态、农业生态和区域农业。

收稿日期 2008-05-12

的毛管孔隙和非毛管孔隙均是RD处理大于CK和CR处理,而且土壤表层的总孔隙度与CK处理差异达2.52%,非毛管孔隙度差异达19.03%,显示RD处理更有利于土壤表层结构和土壤通气性条件的改善。进行稻鸭共作后由于鸭子在稻田的作用土壤容重明显降低,改善了土壤的孔隙性,增加了土壤的通气性,也增加了土壤的持水性,从而使土壤结构得到有效改善,能够同时满足作物对水分和空气的要求,有利于调节养分状况和植物根系伸展,促进水稻的生长发育。

2.2 稻鸭共作对培肥效应的影响 受土壤质地、结构、组成和营养元素本身特性以及田间小气候的影响,土壤中营养元素具有明显的垂直分异现象。RD处理,由于鸭子在稻田的活动,不仅有效刺激土壤养分的释放,而且鸭子的排泄物以及残余饵料都相应程度地增加了土壤养分含量。由表2可见,在0~5 cm土层深度,RD处理的有机质、碱解氮、速效磷、速效钾比未放鸭的CK处理分别提高了6.41%、9.74%、5.24%和5.17%,中下层土壤养分含量也有所增加,但总体的变化幅度没有土壤表层大,显示稻鸭共作更有利于养分在土壤表层富集,这可能也与鸭子的活动以及排泄物的还田多集中于土壤表层有关。CR处理相对于RD处理来讲,土壤有

机质及土壤速效养分也都有不同程度的降低,这可能主要与稻鸭共作长期淹水以及鸭子在稻田的活动有效刺激土壤养分释放有关。

表1 不同处理对不同土层深度土壤物理性状的影响

Table 1 Effects of rice duck integrated farming on soil physical characters in different soil depths

土层 cm	处理	容重 g/cm^3	总孔隙度 %	非毛管孔隙度 %
Soil layer	Treatment	Bulk density	Total porosity	Non-capillary porosity
0~5	RD	1.25Bb	53.34Aa	8.25Aa
	CR	1.28ABb	53.11Aa	7.84Ab
	CK	1.32Aa	52.03Aa	6.68Bc
6~10	RD	1.29Aa	50.12Aa	6.17Aa
	CR	1.30Aa	50.06Aab	6.16Aa
	CK	1.30Aa	49.15Ab	6.11Aa
11~15	RD	1.31Aa	50.02Aa	5.54Aa
	CR	1.32Aa	49.26Aa	5.28ABa
	CK	1.33Aa	48.91Aa	4.96Bb

注:不同小写字母表示差异在0.05水平显著;不同大写字母表示差异在0.01水平极显著。下表同。

Note: Different lowercases mean significant differences at 0.05 level, different capital letters mean extremely significant differences at 0.01 level.

表2 不同处理对不同土层深度土壤养分的影响

Table 2 Effects of different treatments on soil nutrients at different soil depths

土层 cm	处理	有机质 g/kg	碱解氮 ng/kg	速效磷 ng/kg	速效钾 ng/kg
Soil layer	Treatment	Organic matter	Available N	Available P	Available K
0~5	RD	16.6Aa	101.9Aa	26.1Aa	101.4Aa
	CR	15.9Aab	98.7Aab	25.2Aa	98.6Aab
	CK	15.6Ab	96.5Ab	24.8Aa	96.6Ab
6~10	RD	15.2Aa	94.9Aa	24.7Aa	86.7Aa
	CR	15.0Aa	94.1Aa	23.5ABb	86.3Aa
	CK	14.9Aa	93.4Aa	22.4Bc	85.1Aa
11~15	RD	15.1Aa	92.5Aa	22.8Aa	84.6Aa
	CR	14.8Aab	89.9Ab	21.2ABb	83.8Aa
	CK	14.5Ab	88.6Ab	20.6Bb	83.2Aa

2.3 稻鸭共作对水体理化性质的影响 由表3可知,RD处理水体中的总氮、总磷和总钾显著高于CK和CR处理,比CK处理分别增加9.31%、16.46%和16.42%,比CR处理分别增加5.69%、9.52%和13.04%,说明鸭子的活动有效刺激土壤养分的释放,鸭子排泄物可明显提高稻田水体养分含量。养殖水体有效氮的主要成分为铵态氮含量^[11],RD处理铵态氮浓度比CK处理提高了8.39%,这主要与鸭子对稻田的中耕作用有关。RD处理由于鸭在稻田经常性游动和搅拌,没有影响水中浮游植物的生长量和光合放氧能力,RD处理的溶解氧比CK处理增加33.33%,从而有利于改善土壤通气性,

提高水稻发根力,促进壮蘖的形成和抗性的增强。RD处理的氧化还原电位在各处理中也表现最高,比CK处理升高27.51%,氧化还原电位的升高有利于水体和土壤对物质的分解,不利于有害物质积累,从而有助于稻株对营养物质的吸收。另外,电导率和化学需氧量与水体营养物质浓度和悬浮物含量呈一定的正相关^[12],RD处理的电导率比CK处理高出46.63%,而作为氧化有机物和还原物所需氧量的化学需氧量,RD处理比CK处理增加16.46%,这2个方面都说明稻鸭共作区的营养物质浓度和总溶解固体物明显增加,有利于水稻的生长发育。

表3 不同处理对稻田水体理化性质的影响

Table 3 Effects of different treatments on physical and chemical properties of water body in paddy field

处理	铵态氮 ng/L	总氮 ng/L	总磷 ng/L	总钾 ng/L	溶解氧 ng/L	电导率 $\mu S/cm$	氧化还原电位 mV	化学需氧量 ng/L
Treatment	Ammonium N	Total N	Total P	Total K	Dissolved oxygen	Conductivity	Redox potential	Chemical oxygen demand
RD	1.68Aa	2.33Aa	0.098Aa	1.66Aa	6.4Aa	462.9Aa	418.26Aa	18.8Aa
CR	1.62Aa	2.11Bb	0.084Bb	1.38Bb	5.3Bb	410.3Bb	384.52Bb	16.9Bb
CK	1.45Bb	2.04Bb	0.079Bc	1.34Bb	4.8Bc	315.7Cc	325.67Cc	15.8Bc

2.4 不同处理对稻田生物的影响

2.4.1 对稻飞虱、蜘蛛的影响。由图1可见,RD和CR2处理的稻飞虱数量都明显低于CK处理,说明RD处理由于鸭

子在稻田的捕食、践踏等特性而有效地控制了活动在稻株中下部的稻飞虱,共作期间对稻飞虱的生物防治效应达到65.49%;CR处理由于化学药剂的使用对稻飞虱的化控效应

比 RD 处理的生物防治效应高出 6.19 个百分点。

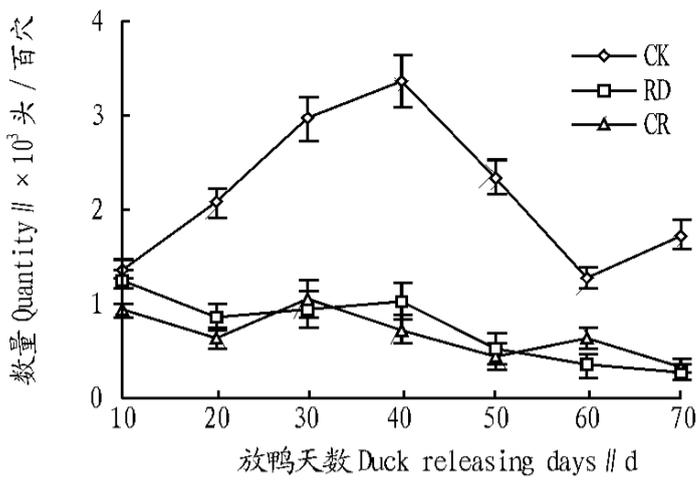


图1 不同处理稻飞虱的动态变化

Fig.1 Dynamic changes of brown planthopper in different treat nerts

蜘蛛是稻田重要的捕食性天敌,对水稻害虫起到明显的控制作用。图2为不同处理稻飞虱与蜘蛛关系,由图2可知,蜘蛛与稻飞虱呈正相关关系,表明蜘蛛与稻飞虱存在食物链跟随现象,但RD和CR处理蜘蛛与稻飞虱的相关性均不及CK处理,说明RD处理中鸭子和CR处理的化学物质使用都对蜘蛛产生了影响,但RD处理稻飞虱与蜘蛛的相关性系数要明显高于CR处理,显示RD处理鸭子在捕食稻飞虱的同时对稻田蜘蛛的生物影响不如CR处理化控效应显著,表明RD处理比CR处理能更好地调控稻飞虱与蜘蛛之间的数量关系,更好地发挥天敌蜘蛛对稻飞虱的控制作用。

2.4.2 对条纹叶枯病的影响。条纹叶枯病是以灰飞虱为传毒介体的病毒病害,因此不同时期、不同数量、不同带毒率的灰飞虱都会影响到条纹叶枯病的发病程度,防治灰飞虱就成了预防条纹叶枯病的关键。由图3可见,稻鸭共作对稻飞虱

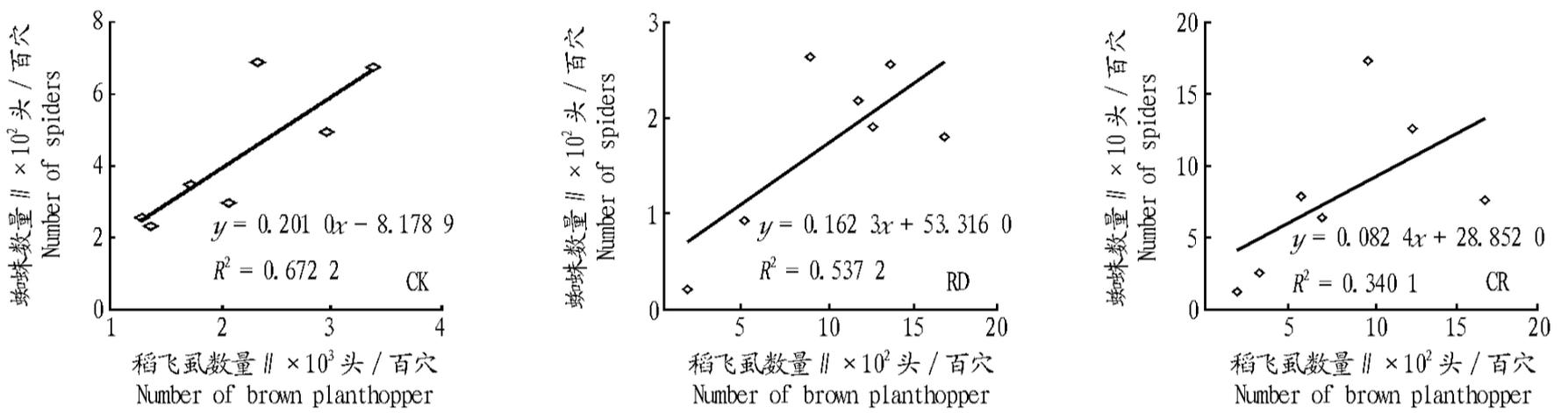


图2 不同处理稻飞虱与蜘蛛的关系

Fig.2 Relationship between brown planthopper and spiders in different treat nerts

有明显的控制作用,从而显著降低了条纹叶枯病的发病率,各时期RD处理病株率明显低于CK处理,显示RD处理对条纹叶枯病有显著的生物防治作用;CR处理由于化学药剂的使用对条纹叶枯病也有明显的化控效果,但由于化学药剂的局限性等特点使得CR处理对条纹叶枯病的综合防效比RD处理低0.62个百分点,表明RD处理的生物控制效应与CR处理的化控效应相当。

刺激按摩作用,有利于稻株的生长,使叶片嫩绿,加上田间保留水层,湿度大,因此为稻纵卷叶螟的繁殖提供了有利条件。

2.4.4 对杂草的影响。试验场常年发生的杂草有9科13种,由图5可见,鸭舌草、鳢肠、丁香蓼、陌上菜、稗草、水苋菜、异型莎草等密度较大,而RD处理由于鸭子对杂草的采食以及鸭子在稻田的践踏、穿行、搅浑田水抑制杂草光合能力,从而有效控制了稻田杂草的发生,RD处理仅发现杂草4科6种,主要以中上层杂草稗草、鳢肠、丁香蓼为主,RD处理对杂草的综合防效为96.10%,CR处理施用除草剂后对杂草起到了一定的控制作用,但由于药剂的时效性及局限性,使CR处理对杂草的控制效果仅为73.90%,比RD处理降低了22.20个百分点,表明RD处理的生物控草效应优于CR处理的化学除草效果。

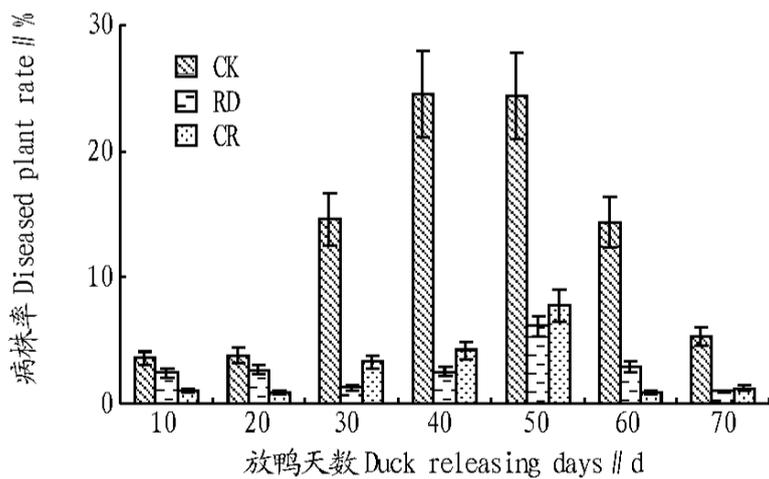


图3 不同处理条纹叶枯病的动态变化

Fig.3 Dynamic changes of rice stripe disease in different treat nerts

2.4.3 对稻纵卷叶螟的影响。稻纵卷叶螟是危害水稻的主要害虫之一,它主要通过幼虫嗜食水稻叶肉,危害水稻。由图4可知,RD和CR处理稻纵卷叶螟虫量都低于CK,表明RD和CR处理对稻纵卷叶螟都有一定的控制效果,RD处理对稻纵卷叶螟的综合防效为39.27%,CR处理则为75.24%,表明对危害稻株上部叶片的稻纵卷叶螟RD处理的生物控制效果不如CR处理的化控效应,这主要是因为鸭子对稻株的

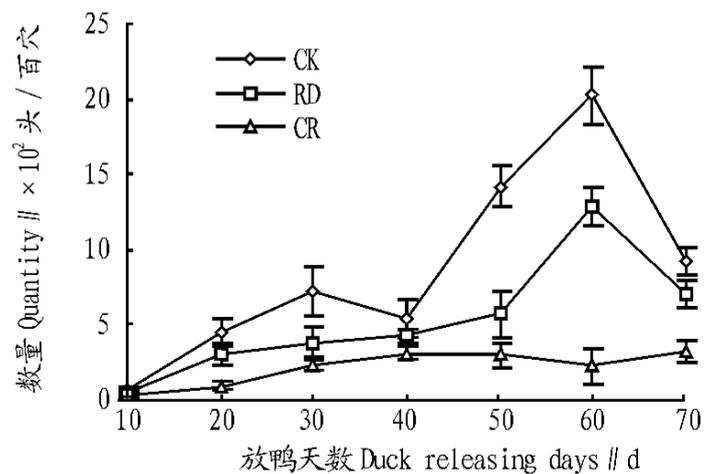
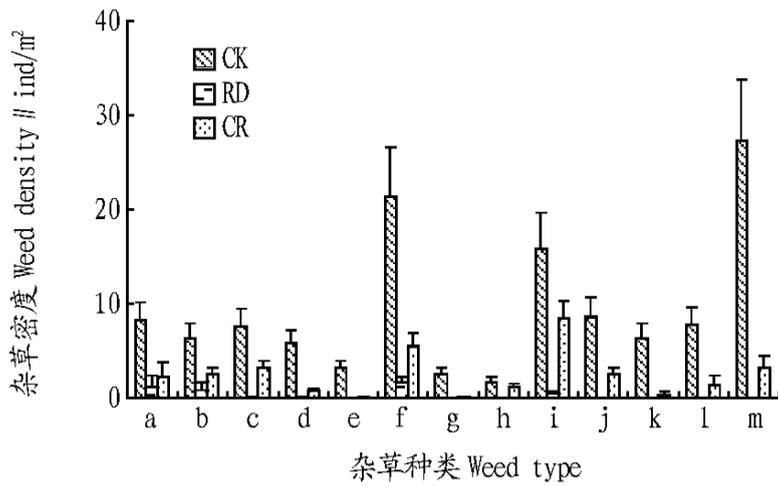


图4 不同处理稻纵卷叶螟的动态变化

Fig.4 Dynamic changes of rice leaf roller in different treat nerts

2.5 稻鸭共作对稻田生态系统价值流动的影响 由表4可



注:a 为稗草,b 为千金子,c 为异型莎草,d 为扁秆草,e 为水莎草,f 为鳢肠,g 为矮慈姑,h 为眼子菜,i 为丁香蓼,j 为陌上菜,k 为节节菜,l 为水苋菜,m 为鸭舌草。

Note :a. *Echinochloa crusgalli* ;b. *Leptochloa chinensis* ;c. *Cyperus difformis* ;d. *Scirpus planiculmis* ;e. *Juncellus serotinus* ;f. *Eclipta alba* ;g. *Sagittaria pygmaea* ;h. *Potamogeton distinctus* ;i. *Ludwigia prostrata* ;j. *Lindernia procumbens* ;k. *Rotala indica* ;l. *Ammannia baccifera* L.;m. *Monochoria vaginalis* .

图5 不同处理稻田杂草密度

Fig.5 Weed density in paddy field under different treatments

知,RD 处理由于鸭子在稻田活动的长时性、旺盛的杂食性,有效控制了稻田病虫害,并培肥地力,虽然在此过程中增大了养鸭成本,增加了鸭苗、鸭饲料和围网的投入费用,但 RD 处理生产的安全、优质稻米和鸭肉的市场销售价格明显高于普通米和鸭肉,从而使得 RD 处理的产出较高,RD 处理的净收入分别比 CR 处理高出 31.16%,相当于 3 492 元/hm²,经济

效益明显增加,足见鸭子对稻作生产的积极作用。

3 结论与讨论

目前我国无公害稻米的生产主要通过控制化肥、农药用量,禁用高毒、高残留农药等措施来实现,而稻鸭共作技术,是将雏鸭放养稻田,通过提供动植物之间的共生环境,利用雏鸭旺盛的杂食性和在稻田里不断践踏、戏水,吃掉稻田里的杂草和害虫,产生中耕浑水效果来刺激水稻生长,增强水稻抗倒伏能力,阻碍土壤氧化层和还原层的分化,防止脱氮^[13],促进养分物质流动。同时,鸭的粪便作为有机肥料,在水稻生长期间减少农药使用,减轻了农业生产给生态环境的压力,生产出优质大米和鸭肉,确保食品卫生安全,有利于农业资源的充分利用和可持续发展。此外,鸭子在稻田活动的长时性、高效性、安全性等特点也有效改善了土壤、水体的理化性质。朱金明等曾报道稻鸭共作可以降低土壤有害物质含量,使土壤环境向良性发展^[14];杨志辉等也认为稻鸭共作提高了稻田土壤养分含量,并且土壤物理性状也得到一定的改善,使土壤团聚体和土壤结构系数都有不同程度的提高,从而促进水稻对养分的吸收^[15]。该试验通过对稻田土壤、水体理化性状的测定表明,稻鸭共作有效改善了土壤结构,使土壤容重降低,提高了土壤总孔隙度和非毛管孔隙度,土壤有机质、速效养分与未放鸭的对照处理相比也都有不同程度的增加。对稻鸭共作对稻田水体理化性状的影响研究还较少,笔者对水稻有效分蘖叶龄期的取样分析表明稻鸭共作后提高了水体养分含量,改善了水体氧化还原情况,从而促进根系对营养元素的吸收与水稻生长发育。

表4 不同处理稻田生态系统的价值流动参数值

Table 4 Value flow parameter of rice ecosystems under different treatments

处理 Treatment	投入 Input						产出 Output		净收入 Net income		
	稻种 Rice seed	肥料 Fertilizer	水电费 Charges for water and electricity	苗鸭 Duckling	饲料 Forage	设施防护费 Facilities protection	农药 Pesticide	机械作业 Machine		稻谷 Paddy	肉鸭 Duck
RD	375	2 100	450	675	1 050	525	600	1 650	18 840	3 150	14 700
CR	375	2 100	675	0	0	0	1 650	1 650	17 658	0	11 208

通过稻鸭共作对稻田有害生物的调查,结果表明,稻鸭共作对稻飞虱有显著的生物控制效果,但综合防效稍低于常规处理的化控效果。水稻条纹叶枯病是近年来频频发生在江苏稻作区的重大毁灭性病害,稻鸭共作对条纹叶枯病有显著的防治作用,其综合防效比常规处理的化控效果高出 0.62 个百分点。稻纵卷叶螟是危害水稻的主要害虫之一,蛾卵量大,危害盛期长,严重威胁水稻的生长发育,由于稻纵卷叶螟主要危害稻株上部的功能叶片,因此随着水稻的生长发育及田间郁蔽度的增加,导致鸭子对稻纵卷叶螟的控制效果不理想,综合防效仅为 39.27%。稻鸭共作由于鸭子在稻田的觅食、践踏等活动特性而对稻田杂草有显著的控制作用,综合防效为 96.10%,比常规稻作提高 22.20 个百分点,表明稻鸭共作的生物控草效果优于除草剂的化控效应,从而可有效减少稻田因使用化学性物质而造成田间杂草的恶性循环。虽然稻鸭共作的投入成本较常规稻作高,但稻鸭共作生产的无公害大米和鸭肉,销售价格较高,从而增加了稻鸭共作产出,纯收入比常规稻作高出 3 492 元/hm²。

参考文献

- [1] 甄若宏,王强盛,沈晓昆,等.我国稻鸭共作生态农业的发展现状与技术展望[J].农村生态环境,2004,20(4):1-5.
- [2] 王强盛,黄丕生,甄若宏,等.稻鸭共作对稻田营养生态及稻米品质的影响[J].应用生态学报,2004,15(4):639-645.
- [3] SUSINTEO.Evaluation of different duck varieties for the control of the golden apple snail (*Pomacea canaliculata*) in transplanted and direct seeded rice[J].Crop Protection,2001,20(7):599-604.
- [4] 杨治平,刘小燕,黄璜,等.稻田养鸭对稻鸭复合系统中病、虫、草害及蜘蛛的影响[J].生态学报,2004,24(12):2756-2760.
- [5] 禹盛苗,金千瑜,欧阳由男,等.稻鸭共育对稻田杂草和病虫害的生物防治效应[J].中国生物防治,2004,20(2):99-102.
- [6] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,2000:14-113.
- [7] 中国科学院南京土壤研究所土壤物理研究室.土壤物理性质测定[M].北京:科学出版社,1978.
- [8] 王强盛,黄丕生,甄若宏,等.稻鸭共作对稻田营养生态及稻米品质的影响[J].应用生态学报,2004,15(4):639-645.
- [9] 张左生.粮油作物病虫鼠害预测预报[M].上海:上海科学技术出版社,1994:8-268.
- [10] 浙江省农业科学院植物保护研究所病毒病研究组.水稻病毒病[M].北京:中国农业出版社,1975:102-108.
- [11] 舒廷飞,温琰茂,汤叶涛.养殖水环境中氮的循环与平衡[J].水产科学,2002,21(2):30-34.

表3 精密度试验结果 (n=5)

Table 3 Result of precision test

编号 No.	Mn	Cd	Cr	Zn	Cu	Fe	Pb	Hg	Se
1	0.136 5	0.129 2	0.006 1	0.227 1	0.118 6	0.022 7	0.045 0	0.010 4	0.212 3
2	0.136 9	0.129 5	0.006 0	0.226 7	0.118 4	0.027 5	0.043 9	0.010 6	0.213 7
3	0.137 3	0.133 1	0.006 1	0.224 5	0.118 5	0.021 7	0.044 6	0.010 7	0.216 4
4	0.135 6	0.135 5	0.005 9	0.225 7	0.117 8	0.016 3	0.044 4	0.010 5	0.213 1
5	0.135 6	0.132 7	0.005 9	0.225 4	0.118 5	0.015 8	0.044 7	0.010 8	0.209 2
RSD %	0.07	0.26	1.67	0.46	0.27	0.43	0.92	1.49	1.22

2.4 回收率试验 在一定量的样品溶液中加入标准溶液,最后定容在25 ml 容量瓶中,并用此样品溶液进行加标回收率实验,结果见表4。

2.5 样品测定结果 将按照上面步骤制备好的喜树叶和喜树籽的样品,用原子吸收光谱仪进行测定。测定结果见表5。

表4 各元素回收率 (n=3)

Table 4 Recovery rate of the elements

元素 Element	样品含量 $\mu\text{g/ml}$ Sample Content	加入量 $\mu\text{g/ml}$ Adding amount	测得量 $\mu\text{g/ml}$ Measured quantity	回收率 % Recovery rate
Mn	0.675 0	0.160	0.824 0	98.7
Cd	0.004 5	0.200	0.238 0	116.4
Cr	0.010 7	0.032	0.045 0	105.4
Zn	0.028 7	1.000	1.069 3	103.9
Cu	0.001 5	0.400	0.412 7	102.8
Fe	0.505 0	0.200	0.570 0	80.9
Pb	0.016 0	1.000	1.133 0	111.5
Hg	0.040 0	4.200	4.533 0	106.9
Se	0.024 0	12.000	12.833 0	106.7

表5 样品微量元素含量测定结果

Table 5 Sample determination result of trace element content

元素 Element	含量 $\times 10^2 \mu\text{g/ml}$ Content	
	叶 Leaf	籽 Seed
Mn	2.442 0	1.764 0
Cd	0.018 4	0.026 2
Cr	0.043 1	0.099 9
Zn	0.301 5	0.170 8
Cu	0.089 0	0.097 8
Fe	1.066 7	0.586 2
Pb	0.211 5	0.286 7
Hg	0.756 7	0.643 7
Se	2.172 7	1.863 3

(上接第9011 页)

- [12] CHRISTIAN R. The effect of submerged aquatic vegetation on phytoplankton and water quality in the tidal freshwater Potomac river [J]. J Freshw Ecol, 1990, 5(3): 279 - 288.
- [13] 王宏康. 水体污染与防治概论 [M]. 北京: 北京农业大学出版社, 1991:

从试验结果可以得出,在喜树叶和喜树籽中 Mn、Se、Fe 3 种元素具有较高含量,其他元素含量相对较低,测定的9种微量元素在喜树叶中的含量顺序为: Mn > Se > Fe > Hg > Zn > Pb > Cu > Cr > Cd; 在喜树籽中的含量顺序是: Se > Mn > Hg > Fe > Pb > Zn > Cr > Cu > Cd。

3 结论

该研究通过火焰原子吸收光谱法分别测定了喜树叶和喜树籽中的9种微量元素,通过试验得出在喜树叶中的含量顺序为: Mn > Se > Fe > Hg > Zn > Pb > Cu > Cr > Cd; 在喜树籽中的含量顺序是: Se > Mn > Hg > Fe > Pb > Zn > Cr > Cu > Cd。

微量元素因为其在生物体内的特殊作用,近年来受到了人们的广泛关注。顾青等研究了 Cu^{2+} 对喜树的影响时,发现 Cu^{2+} 能够使愈伤细胞中的喜树碱含量明显增加^[9]。微量元素在喜树中是否对抗癌物质喜树碱的生物合成起到调节的作用,是何种元素对该过程起到的作用或是通过几种元素的协同作用共同调节,是否可以通过改变微量元素从而增加喜树碱的产量,某种微量元素是否能够刺激喜树籽的成熟,或刺激喜树籽发芽等是接下来研究的内容。

参考文献

- [1] 中国科学院中国植物志编写委员会. 中国植物志 [M]. 北京: 科学出版社, 1982: 144 - 145.
- [2] 牟瑶松, 罗猛, 祖元刚, 等. 喜树碱及其衍生物结构修饰及构效关系的研究 [J]. 中国药理学杂志, 2006, 41(11): 804 - 806.
- [3] 徐春艳, 黄明智, 薛传新. 10-羟基喜树碱的合成及光谱表征 [J]. 光谱学与光谱分析, 2005, 25(11): 1772 - 1774.
- [4] 周云隆, 尤启冬, 李玉艳, 等. 喜树碱及其衍生物的合成 [J]. 中国医药工业杂志, 2001, 32(8): 375 - 380.
- [5] 马金娥, 田志娟, 李斌, 等. 7-乙基喜树碱的合成 [J]. 精细化工, 2004, 21(5): 392 - 394.
- [6] 王昌林, 周月芬, 李昱. 喜树碱类抗肿瘤药物研究概况 [J]. 药学实践杂志, 2001, 19(3): 172 - 173.
- [7] 赵东亮, 郁建平. 从喜树果中分离提纯喜树碱的工艺条件 [J]. 山地农业生物学报, 2004, 23(6): 493 - 496.
- [8] 林克江, 李玉艳, 尤启冬. 喜树碱代谢活性产物 SN38 类似物的抗肿瘤构效关系研究 [J]. 中国药科大学学报, 2006, 37(3): 218 - 221.
- [9] 顾青, 宋达峰, 张虹, 等. Cu^{2+} 对喜树愈伤细胞中喜树碱合成的影响 [J]. 生物工程学报, 2006, 22(4): 624 - 628.
- [14] 朱金明, 施其俊, 胡南河, 等. 稻鸭共育对稻田土壤理化性状的影响 [J]. 安徽农业科学, 2006, 34(12): 2808.
- [15] 杨志辉, 黄璜, 王华. 稻-鸭复合生态系统稻田土壤质量研究 [J]. 土壤通报, 2004, 35(2): 117 - 121.

85 - 119.