长期稻鸭共作对稻田杂草群落组成及物种多样性的影响

魏守辉¹ 强 胜^{1*} 马 波¹ 韦继光¹ 陈建卫²

吴建强² 谢桐洲² 沈晓昆³

(1 南京农业大学杂草研究室, 南京 210095) (2 江苏省丹阳市延陵镇农技站, 江苏丹阳 212341)

(3 江苏省镇江市科技局, 江苏镇江 212001)

摘 要 2000~2003 年连续 4 年研究了稻鸭共作条件下田间杂草群落的特征及其动态变化规律。结果表明, 在长期稻鸭共作条件下, 田间杂草密度逐年降低, 下降趋势符合阻滞模型 $y = k + a \cdot e^{bx}$, 模型参数 b 反映了杂草种群的下降速率。在稻田 6 种主要杂草中, 水虱草 (*Fimbristylis miliaceae*)、陌上菜 (*Lindernia procumbens*)、丁香蓼 (*Ludwigia prostrata*) 种群数量降低较快, 鸭舌草 (*Monochoria vaginalis*)、异型莎草 (*Cyperus difformis*) 次之, 稗 (*Echinochloa crusgalli*) 最慢。稻鸭共作使稻田杂草群落的物种多样性持续降低, 群落均匀度提高, 群落相似性与稻鸭共作前相比逐年降低。说明稻鸭共作改变了田间杂草的群落结构, 有利于限制杂草的发生危害。随着稻鸭共作的连年进行, 对田间杂草的控制效果逐渐上升, 4 年后达 99% 以上。稻鸭共作是稻田替代化学除草的一种非常有效的生物、生态控草措施, 具有显著的经济和生态效益。

关键词 稻鸭共作 种群动态 物种多样性 群落均匀度 杂草综合管理

INFLUENCE OF LONG-TERM RICE-DUCK FARMING SYSTEMS ON THE COMPOSITION AND DIVERSITY OF WEED COMMUNITIES IN PADDY FIELDS

WEI Shou-Hui¹ QIANG Sheng^{1*} MA Bo¹ WEI Ji-Guang¹ CHEN Jian-Wei²

WU Jian-Qiang² XIE Tong-Zhou² and SHEN Xiao-Kun³

(1 Weed Research Laboratory, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

(2 Yanling Agrotechnical Extension Station of Danyang, Danyang, Jiangsu 212341, China)

(3 Science and Technology Bureau of Zhenjiang, Zhenjiang, Jiangsu 212001, China)

Abstract Weed infestation is a major threat to rice production, and herbicides have been used extensively to control weeds in paddy fields. However, increasing environmental pressures against herbicide use have led farmers to consider alternative approaches to weed control and more emphases have been placed on the development of ecologically sound weed management strategies. Ducks can be used to control weeds, and rice-duck farming systems, which integrate raising ducks into rice cultivation methods, provide an innovative approach to weed management. Field studies were conducted during 2000–2003 in Danyang, Jiangsu Province, to evaluate the long-term influence of rice-duck farming systems on the structure and dynamics of weed communities in paddy fields, including effects on the population density, species richness, species diversity, community evenness and similarity of weed communities across years. The results showed that under long-term rice-duck farming systems, the density of paddy weeds decreased annually and the trend was best fit by the model, $y = k + a \cdot e^{bx}$, where the parameter b indicated the rate of decrease of different weed populations. Of the six main weed species in paddy fields, the population density of *Fimbristylis miliaceae*, *Lindernia procumbens*, and *Ludwigia prostrata* decreased rapidly, followed by slower decreases in *Monochoria vaginalis*, *Cyperus difformis*, and *Echinochloa crusgalli*. Rice-duck farming decreased the species richness and species diversity in paddy fields, and increased the evenness of weed communities. Compared to weed communities before the introduction of ducks, Sorensen's similarity indices of weed communities in paddy fields decreased every year, revealing that the structure of weed community was changed substantially. Rice-duck farming provided a more

diversified environment for weed growth and seed storage, which greatly limited weed infestation in paddy fields. Consecutive surveys showed that rice-duck farming was an effective control of paddy weeds with more than a 99% overall reduction by the end of the fourth year. Rice-duck farming is an effective and ecologically-based weed management strategy that has significant economic and ecological benefits.

Key words Rice-duck farming, Population dynamics, Species diversity, Community evenness, Integrated weed management

水稻(*Oryza sativa*)是我国重要的粮食作物,杂草危害是影响水稻产量的主要因素之一,对于田间杂草的治理,人们通常采用化学防除的方式。但化学除草剂的长期大量使用,会对环境和农产品造成污染(张宗炳,1988),破坏农田的生物多样性(吴春华和陈欣,2004),并且容易导致杂草抗药性(李永丰等,1999)。保障生态和粮食安全,发展绿色食品生产,已经成为我国农业可持续发展的重要战略目标之一。目前我国的水稻生产,已开始从单纯追求高产转向以健康、安全为前提的优质高产,要求对杂草进行综合管理,提倡利用生物、生态的措施来治理杂草,尽量减少化学除草剂的使用(Maxwell, 1999; 尤民生等,2004)。

稻鸭共作是日本在学习借鉴中国传统稻田养鸭技术的基础上发展起来的稻田复合种养系统,自1989年创始以来,迅速推广到韩国、越南、中国、菲律宾等国家,目前我国江苏、安徽、浙江、湖南、云南、四川等地均有推行(沈晓昆,2003)。已有的研究表明,稻鸭共作复合农业生态系统具有防治病虫害(Nakornsri & Vongsaroj, 1998; Su, 2001; 朱克明等, 2001; 李云明等, 2004; 朱凤姑等, 2004)、培肥土壤(王华等,2003; 王强盛等,2004)、减少甲烷排放(黄璜等,2003)及提高稻米品质(王强盛等,2004)等功能,在稻田减施或不施化肥、农药(杀虫剂、杀菌剂、除草剂等),就可以达到安全、优质生产的目的,具有显著的经济和生态效益(章家恩等,2002)。把稻鸭共作复合生态系统作为一种生态控草模式,利用鸭子长期在稻田活动影响杂草正常生长,降低杂草危害的研究目前专门报道较少。为此,本文从杂草群落生态学的角度,结合田间杂草种群的动态变化,研究了稻鸭共作复合生态系统的长期控草效应,为发展基于杂草群落结构调控的生态控草措施提供理论基础,同时为进一步推广稻鸭共作复合农业生态体系提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 研究区概况

稻鸭共作技术 2000 年由江苏省镇江市科委从

日本引进,最早在丹阳市延陵镇农技站农场进行示范推广。延陵地处亚热带季风气候区,年均温 15 ~ 16 ℃,降水量 1 000 ~ 1 100 mm,6 ~ 9 月雨量占全年的 40% ~ 55%, ≥ 3 ℃和 ≥ 10 ℃积温分别为 5 300 ~ 5 640 ℃和 4 740 ~ 4 950 ℃,无霜期约 220 ~ 240 d,全年日照 2 000 ~ 2 200 h,本区农业生产历来以水稻、小麦(*Triticum aestivum*)一年两熟为主。试验田为典型的稻麦轮作田,种植年限在 10 年以上。土壤类型为黄泥土(隶属潴育型水稻土亚类,黄泥土土属),pH 值为 6.6,耕层有机质含量为 26.0 g·kg⁻¹,全氮为 1.56 g·kg⁻¹,全磷为 0.52 g·kg⁻¹,全钾为 12.88 g·kg⁻¹。

1.2 试验设计及稻鸭共作田间管理措施

从最初进行稻鸭共作的 10 块田中选择地势平坦、排灌方便、大小相似(2 667 m² 左右)的 3 块田作为稻鸭共作控草体系的主要研究对象,于 2000 ~ 2003 年连续 4 年进行稻鸭共作。田块四周筑埂高 20 cm、宽 80 cm,以满足田间保水及鸭群栖息的要求。2000 年 6 月 4 日麦收后,小麦秸秆全部旋耕入土,灌水沤泡 10 d 左右,6 月 16 日整平后手工插秧。水稻品种为‘香糯 833’,移栽规格为 27.8 cm × 30.9 cm,每穴 5 苗。为防止鸭子逃逸和天敌危害,田块四周用尼龙网隔开,辅以 AC-40 脉冲器及附属电流线路组成的电控防护栅栏。每块田边选择平地搭建一个 6 m² 左右的鸭棚,供鸭子遮阳、避雨和栖息。雏鸭品种选用“镇鸭 1 号”,在水稻移栽后 10 d 左右放入稻田,密度 270 只·hm⁻²。稻田放鸭后 2 周,每天在鸭棚内定时投喂精饲料,以后逐步减少投喂,水稻齐穗前(9 月 6 日)收鸭。放鸭初期田间保持 3 ~ 5 cm 水层,随鸭体长大逐渐增至 10 ~ 15 cm,鸭收回后及时排水,间歇灌溉,保持田间湿润状态。2001 ~ 2003 年田间的栽培管理措施与 2000 年一致,在插秧方式上,由人工栽插改为机插(东洋 PF455S 型插秧机),栽插规格为 15 cm × 30 cm,水稻品种选用“优丰”。田间冬季作物种植小麦,品种为‘扬麦 15 号’,撒播,用种量 150 kg·hm⁻²,麦田 1999 年以前为化学除草,1999 年冬季考虑到要进行稻鸭共作改为人工除草,2000 ~ 2003 年撒播紫云英(*Astragalus sinicus*)

绿肥控草。在选定的 3 块稻鸭共作田中，每年分别随机设置 3 个对照区，将长 8.5 m，宽 1 m，厚 0.5 cm 的胶皮一端插入土中 10 cm，围成 4 m² 的方形区域，小区中不进行稻鸭共作，也不除草，进行的栽培、管理等农事操作同稻鸭共作区，研究长期稻鸭共作对田间杂草发生基数的影响及其控草效应。

1.3 调查方法及数据分析

杂草调查在收鸭排水后的第二天进行，对照区 5 点对角取样，每样方面积 0.11 m²，稻鸭共作区 9 点倒“W”行取样，每样方面积 1 m²（张朝贤等，1998）。杂草密度为每平方米的杂草株数；物种丰富度 S 即样方中包含的所有杂草种类数；物种多样性用 Shannon-Wiener 指数测定， $H' = -\sum P_i \cdot \ln P_i$ ，其中 $P_i = N_i/N$ ， N_i 为样方中第 i 物种的个体数， N 为样方总个体数；群落优势度用 Simpson 指数测定， $D = \sum P_i^2$ ；群落均匀度用 Pielou 均匀度指数测定， $J = H'/\ln S$ （马克平和刘玉明，1994）；群落相似性用 Sorensen 指数测定，定性测定 $C_s = 2j/(a + b)$ ，定量测定 $C_N = 2jN/(aN + bN)$ ，其中 j 为群落 A 与 B 所共有的物种数， a 为群落 A 含有的全部物种数， b 为群落 B 含有的全部物种数， aN 为群落 A 的物种数目， bN 为群落 B 的物种数目， jN 为群落 A (jNa) 和 B (jNb) 共有种中个体数目较小者之和（马克平等，1995）。研究数据使用 Excel 和 Origin 进行处理、绘图，并使用 SPSS 进行统计分析，测验各处理间的差异显著性。

2 结果与分析

2.1 长期稻鸭共作对稻田杂草密度的影响

2.1.1 对稻田杂草群落密度的影响

在稻田连续 4 年进行稻鸭共作，结果表明，田间杂草密度随着共作年数的增加而逐渐降低，杂草的发生基数从 2000 年的 169.0 ind·m⁻² 降低到 2003 年的 17.7 ind·m⁻²，降低幅度将近 90%，年均递减 50% 以上（图 1）。在稻鸭共作区，杂草的发生得到了有效控制，2001 年以后田间只有少许萤蔺（*Scirpus juncooides*）和夹稗稗（*Echinochloa crusgalli*）发生，密度不足 1 ind·m⁻²。对稻鸭共作的控草效应用指数模型 $y = k + a \cdot e^{bx}$ 进行曲线模拟，结果显示该模型能较好地拟合试验结果，其中对照区杂草密度的变化规律为 $y = 17.857 + 150.932 e^{-1.330x}$ （ $R^2 = 0.9977^{**}$ ），而稻鸭共作区杂草密度的变化规律符合 $y = -0.306 + 169.322 e^{-1.983x}$ （ $R^2 = 0.9999^{**}$ ）。模型 $y = k + a \cdot e^{bx}$ 是一种阻滞模型，其中参数 b 可

以反映群体数量的变化情况， b 值越小，群体数量的降低速度越快。稻鸭共作区的 b 值（-1.983）小于对照区（-1.330），说明稻鸭共作区杂草密度的降低更迅速，从田间杂草数量的实际变化情况来看，稻鸭共作区杂草密度年均降低 84.04%，4 年累计降低幅度达 99.82%，显著高于对照区（ $p < 0.05$ ）。

图 1 稻鸭共作对稻田杂草密度的影响
Fig.1 Effects of rice-duck farming on weed density in paddy fields
CK: 对照区 Check plot RD: 稻鸭共作区 Rice-duck farming plot

2.1.2 对稻田主要杂草密度的影响

稻田各主要杂草的密度在长期稻鸭共作控草体系中均有不同程度的降低。对 2000 ~ 2003 年对照区中发生密度和频度均较高的 6 种稻田主要杂草鸭舌草（*Monochoria vaginalis*）、丁香蓼（*Ludwigia prostrata*）、稗、水虱草（*Fimbristylis miliaceae*）、陌上菜（*Lindernia procumbens*）、异型莎草（*Cyperus difformis*）等的种群密度变化情况进行了曲线拟合，结果显示其变化规律同样符合阻滞模型 $y = k + a \cdot e^{bx}$ （图 2）。从所得模型中反映种群变化速率的参数 b 值来看，水虱草（ $b = -4.124$ ）的种群密度下降最快，其次为陌上菜（ $b = -2.990$ ）和丁香蓼（ $b = -2.705$ ）。这 3 种杂草对水分的要求较严格，喜生于干湿交替的环境，进行稻鸭共作后，田间一直保持 3 cm 以上水层，改变了其适生环境，导致种群数量迅速降低，在田间能够勉强生存的植株个体也非常矮小，容易被鸭子取食或受到鸭群活动的干扰。鸭舌草（ $b = 0.325$ ）和异型莎草（ $b = -1.291$ ）对水分的要求较多，稻鸭共作初期，鸭体较小，田间水层管理较浅，随着鸭子逐渐长大，水层不断加深，这样的水分环境不会对其发生危害产生较大影响，但鸭喜欢取食鸭舌草和异型莎草，因而其种群数量在田间也有较大程度降低。稗（ $b = 1.963$ ）的种群数量在长期稻鸭共作条件下降低

图 2 稻鸭共作对稻田主要杂草密度的影响

Fig.2 Effects of rice-duck farming on the density of major weed species in paddy fields

a: 鸭舌草 *Monochoria vaginalis* b: 丁香蓼 *Ludwigia prostrata* c: 稗 *Echinochloa crusgalli* d: 水虱草 *Fimbristylis miliaceae* e: 陌上菜 *Lindernia procumbens* f: 异型莎草 *Cyperus difformis*

较慢,可能由于稗为稻田恶性杂草,对田间各种水层环境有着极强的适应能力,并且稗与水稻具有拟态竞争特性,有些从育秧田带入移栽田,夹杂在稻株中的稗,不为鸭子取食,也在一定程度上增加了田间稗的种群数量。

2.2 长期稻鸭共作对稻田杂草群落物种多样性的影响

从每年对照区杂草的发生动态来看,稻鸭共作尚未对次年田间杂草的物种丰富度造成显著影响,但稻鸭共作区的调查结果表明,田间杂草群落的物种丰富度逐年降低,2002年后发生危害的杂草种类只有1到2种,与2000年相比已达到显著水平(表1)。从Shannon-Wiener指数来看,稻鸭共作使对照区和稻鸭共作区的物种多样性均有所降低,说明长期稻鸭共作会在一定程度上限制某些杂草的发生危害,从而降低田间杂草的发生种类。Simpson指数可以测度群落的优势集中性(柏立新等,2003),其值越小,说明群落的优势种越不明显,田间杂草难以发生严重危害,研究结果显示,群落优势度随稻鸭共作的长期进行略有增加,但与2000年相比差异不显著,

说明稻鸭共作控草体系的选择性不强,不会很快导致田间单优杂草种群的形成。Pielou均匀度指数反映了群落中杂草分布的均匀程度,稻鸭共作对杂草群落均匀度的年际影响不显著,总体趋势为随稻鸭共作年数的增加,群落的均匀度略有上升,这从另一个侧面说明杂草群落中优势种的地位有所降低,各杂草种群在田间的分布趋于均匀。

2.3 长期稻鸭共作对稻田杂草群落相似性的影响

分别计算2000~2003年对照区及稻鸭共作区杂草群落间的Sorensen相似性指数,结果表明,随着稻鸭共作的进行,田间对照区杂草群落的相似性与2000年相比逐年下降(表2)。Sorensen定性测度的相似性值高于定量测度,但下降幅度较小,而定量测度的下降幅度较大,2003年与2000年之间差异已达到显著水平($p < 0.05$)。稻鸭共作区杂草群落的相似性情况与对照区一致,与2000年相比均呈逐年降低的趋势。从Sorensen定量测度指数看,稻鸭共作区当年杂草群落与次年的相似性逐渐上升。从同一年对照区与稻鸭共作区杂草群落间的相似性来看,稻鸭共作年数越长,相似性越低。此外,本研究结果

表 1 长期稻鸭共作对稻田杂草群落物种多样性的影响
Table 1 Influence of long-term rice-duck farming on the species diversity of weed communities in paddy fields

指数 Indices	对照区 Check plot				稻鸭共作区 Rice-duck farming plot			
	2000	2001	2002	2003	2000	2001	2002	2003
物种丰富度 Species richness	6	8	8	7	8	3	2*	1*
香农指数 Shannon-Wiener index	1.55	1.52	1.44	1.38	1.78	0.51*	—	—
辛普森指数 Simpson's index	0.24	0.28	0.35	0.40	0.37	0.47	—	—
Pielou 均匀度指数 Pielou evenness index	0.77	0.78	0.79	0.81	0.92	0.87	—	—

* :表示在 0.05 水平上与 2000 年差异显著 Indicate significant difference from year 2000 at the 0.05 level

表 2 长期稻鸭共作对稻田杂草群落相似性的影响
Table 2 Influence of long-term rice-duck farming on the similarity of weed communities in paddy fields

Sorensen 指数 Sorensen indices	年份 Year	对照区 Check plot				稻鸭共作区 Rice-duck farming plot			
		2000	2001	2002	2003	2000	2001	2002	2003
对照区 Check plot	2000	—	(0.409)	(0.282)	(0.171)	(0.192)	(0.004)	(0.006)	(0.000)
	2001	0.857	—	(0.737)	(0.480)	(0.429)	(0.041)	(0.022)	(0.002)
	2002	0.857	1.000	—	(0.688)	(0.440)	(0.018)	(0.037)	(0.003)
	2003	0.823	0.933	0.933	—	(0.473)	(0.032)	(0.055)	(0.005)
稻鸭共作区 Rice-duck farming plot	2000	0.857	0.875	0.875	0.933	—	(0.025)	(0.024)	(0.004)
	2001	0.444	0.464	0.364	0.400	0.364	—	(0.049)	(0.044)
	2002	0.250	0.400	0.400	0.222	0.300	0.400	—	(0.126)
	2003	0.286	0.222	0.222	0.250	0.222	0.500	0.667	—

表中未加括号的数值为 Sorensen 群落相似性指数的定性测度,加括号的数值为 Sorensen 指数的定量测度 Figures in the table without parenthesis are the qualitative measure of community similarity index of Sorensen, and figures in parenthesis are the quantitative measure

还表明,在杂草群落结构演变过程中群落相似性的测度上,Sorensen 定量测度指数较定性测度指数更能反映某一控草措施对杂草群落结构的微小影响。

2.4 长期稻鸭共作对稻田杂草的控制效果

2000 年稻鸭共作初期杂草基数较大,陌上菜、鸭舌草、异型莎草、丁香蓼等稻田主要杂草的发生密度达 20 ind•m⁻²,尽管稻鸭共作对这些杂草的控制效果均在 80% 以上,但田间仍有小部分杂草未能及时被鸭子取食而长大,鸭子一般不喜欢取食大龄杂草,因而这些残余杂草能够在田间继续发生危害,在一定程度上影响了总体防效。随着稻鸭共作的继续进行,2001~2003 年稻田除有少量稗、陌上菜、矮慈姑(*Sagittaria pygmaea*)及萤蔺发生危害外,基本上未见其它杂草发生,控草效果达 100%(表 3)。试验期间对稗的防效总体上没有其它杂草理想,据田间观察,放鸭后新萌发的稗基本上被鸭取食,很少在田间发生危害。但夹杂在稻株中的夹棵稗由于与水稻有着较强的拟态性,鸭子很少取食,因而得以在稻田中继续危害,从而在很大程度上降低了稻鸭共作对稗的控制效果。因此,若要提高稻鸭共作的控稗效果,必须首先加强对水稻育秧田稗的防除,防止将其带入稻鸭共作田。长期稻鸭共作对稻田各类别杂草的作用趋势均表现为随共作年限的增加,控草效果越来越好,其中对双子叶杂草的效果优于单子叶杂草

($p < 0.05$)。对阔叶草效果略高于禾草及莎草,但差异未达到显著水平。总体来说,稻鸭共作对稻田杂草具有较好的控制效果,稻鸭共作 2 年以上,控草效果可达 95%,4 年后控草效果达到 99% 以上。

2.5 稻鸭共作与常规稻作的经济效益分析

在常规稻作系统中,农药(包括除草剂、杀虫剂、杀菌剂等)、化肥在资金投入上约占 40%,稻鸭共作系统中虽然减少了这部分费用,但购买鸭苗、田间防护设施及饲料也要支出大笔费用,约占总投入的 50% 以上(表 4)。此外,在田间农事操作费用方面,稻鸭共作由于增加了放鸭、养鸭、收鸭等活动而增加了劳力支出,因而从总体来看,实施稻鸭共作的总投入要高于常规稻作。从系统收益来看,常规稻作系统中仅产出水稻,产量平均为 7 950 kg•hm⁻²,单价 1.1 元•kg⁻¹,总产值为 8 745 元•hm⁻²。而在稻鸭共作系统中,产出包括水稻和肉鸭,水稻虽然种植密度小,产量略低(6 750 kg•hm⁻²),但由于未受农药、化肥污染,稻米为无公害的绿色食品,因而其单价较高(1.8 元•kg⁻¹),再加上肉鸭产值,稻鸭共作系统的总产值高达 15 727.5 元•hm⁻²。在分别扣除各自投入后,常规稻作每公顷净收益 3 259.5 元,稻鸭共作净收益 6 621.0 元,稻鸭共作每公顷收益比常规稻作增加 1 倍以上,经济效益非常可观。并且,由于稻鸭共作系统未使用化肥、农药,不会对环境造成危

表 3 长期稻鸭共作对稻田杂草的控制效果
Table 3 Control effects of long-term rice-duck farming on the weed species in paddy fields

杂草种类 Weed species	控草效果 Weed control effects (%)			
	2000	2001	2002	2003
鸭舌草 <i>Monochoria vaginalis</i>	95.31	100.00*	100.00*	100.00*
异型莎草 <i>Cyperus difformis</i>	82.29	100.00*	100.00*	100.00*
丁香蓼 <i>Ludwigia prostrata</i>	90.74	100.00*	100.00*	100.00*
稗 <i>Echinochloa crusgalli</i>	75.00	96.27*	73.33	97.19*
水虱草 <i>Fimbristylis miliaceae</i>	78.95	100.00*	100.00*	100.00*
节节菜 <i>Rotala indica</i>	—	100.00	100.00	100.00
陌上菜 <i>Lindernia procumbens</i>	91.15	95.00	100.00*	100.00*
千金子 <i>Leptochloa chinensis</i>	—	100.00	100.00	100.00
萤蔺 <i>Scirpus juncoides</i>	100.00	100.00	0.00*	100.00
矮慈姑 <i>Sagittaria pygmaea</i>	100.00	—	100.00	100.00
单子叶杂草 Monocot weeds	83.44	95.99*	97.44*	99.64*
双子叶杂草 Dicot weeds	88.59	98.33*	100.00*	100.00*
阔叶草 Broadleaf weeds	90.32	95.67*	100.00*	100.00*
禾草 Grass weeds	— 50.00	96.27*	73.33*	97.19*
莎草 Sedge weeds	80.81	100.00*	96.88*	100.00*
所有杂草 Overall weed species	86.24	96.62*	98.11*	99.76*

* : 表示在 0.05 水平上与 2000 年控草效果差异显著 Indicate significant difference from the control effects of year 2000 at the 0.05 level

表 4 稻鸭共作与常规稻作经济效益比较
Table 4 Comparison of economic benefits between rice-duck farming and conventional rice farming (yuan•hm⁻²)

处理 Treatment	投入 Input		产出 Output	
	项目 Item	费用 Fees	项目 Item	费用 Fees
稻鸭共作 Rice-duck farming	稻种 Rice seeds	127.5	稻谷 Rice grains	6 750 × 1.8 = 12 150.0
	绿肥 Green manure	82.5	肉鸭 Ducks	265 × 1.5 × 9.0 = 3 577.5
	灌溉 Irrigation	375.0	合计 Total	15 727.5
	农事操作 Agronomic practices	2 250.0		
	雏鸭 Ducklings	1 134.0		
	饲料 Forage	1 050.0		
	防护设施 Safeguards	2 775.0	净收益 Net income	6 621.0
	农业税 Agricultural tax	1 312.5		
常规稻作 Conventional rice farming	合计 Total	9 106.5		
	稻种 Rice seeds	115.5	稻谷 Rice grains	7 950 × 1.1 = 8 745.0
	化肥 Chemical fertilizer	1 882.5	合计 Total	8 745.0
	农药 Pesticides	255.0		
	灌溉 Irrigation	682.5		
	农事操作 Agronomic practices	1 237.5	净收益 Net income	3 259.5
	农业税 Agricultural tax	1 312.5		
	合计 Total	5 485.5		

农事操作除耕作、移栽、收获等常规管理措施外,还包括放鸭、管鸭及收鸭等操作。稻鸭共作水稻产量按试验区平均 6 750 kg•hm⁻²计算,单价 1.8 元•kg⁻¹;肉鸭产量 265 只•hm⁻²,平均重量 1.5 kg•只⁻¹,单价 9.0 元•kg⁻¹;常规稻作水稻产量按当地平均水平 7 950 kg•hm⁻²计算,单价 1.1 元•kg⁻¹ Besides tillage, seedling transplanting and harvest work, the agronomic practices also includ duck release, duck management and duck taking back activities; Rice yield in rice-duck farming is 6 750 kg•hm⁻² averaged by trial plots, the price is 1.8 yuan•kg⁻¹; The amount of ducks is 265 ind. •hm⁻², the average weight is 1.5 kg•ind⁻¹ and the price is 9.0 yuan•kg⁻¹; Rice yield in conventional rice farming is 7 950 kg•hm⁻² averaged by local level, the price is 1.1 yuan•kg⁻¹

害,因而有利于农业的可持续发展,具有良好的生态效益和社会效益。

3 讨 论

杂草的发生危害受到很多因子的限制,在特定种植方式下出现的某些优势杂草与环境条件、除草

剂种类及农作措施等均有关(Legere & Samson, 1999; Shrestha *et al.*, 2002)。强胜等(2003)也研究发现,种植制度通过提供不同的耕作方式、轮作方式及杂草管理措施会显著影响田间杂草群落的组成和草害发生程度。在特定的作物种植模式下,田间形成了特殊的水分、光照条件,从而对某些杂草的萌发

及生长进行调控。在稻鸭共作复合种养系统中, 田间的水分管理与常规栽培有较大差异, 从水稻移栽到齐穗期, 田间水层随鸭体长大由 3 cm 增至 15 cm, 中间不进行晒田。这样的水分环境, 会抑制喜湿但不耐深水层的千金子、水虱草、丁香蓼等杂草的萌发生长, 降低其在田间的危害。而鸭舌草、稗、异型莎草等杂草对水分要求较多, 能够适应比较深的水层环境, 因而能在田间继续发生危害。

在稻鸭共作系统中, 田间特殊的水分环境对杂草群落组成产生了一定影响, 但鸭群活动对于系统控草机制的发挥起着更为重要的作用。鸭对田间杂草的控制作用表现为直接取食、践踏及中耕混水等作用。鸭为杂食性水禽, 除捕食昆虫及其它小动物外, 对稻田几乎所有杂草都有取食。水稻叶片由于富含硅质, 鸭不喜欢取食, 因而很少受到伤害(Manda, 1992)。鸭群在田间的日夜活动, 会对水稻株间的杂草进行践踏, 并且使水的混浊度增加, 从而抑制杂草的萌发及正常生长。据报道, 在稻鸭共作的围网区(不放鸭), 鸭群活动产生的混水有 76.3% 的控草作用(王强盛等, 2004)。此外, 鸭子通过对土壤的频繁扰动, 取食其中的水生生物, 可以将杂草种子翻出土壤, 暴露悬浮于水中, 或被鸭子取食, 或因种子储存条件改变而腐烂死亡, 从而间接减少了次年田间杂草的发生基数。

通过连续多年的调查, 表明在稻田实行稻鸭共作, 可以显著降低田间杂草的发生危害, 使稻田主要杂草鸭舌草、陌上菜、异型莎草等的发生数量逐年降低, 群落均匀度提高, 能在很大程度上改善稻田杂草群落的结构。随着人们对环境生态问题的日益关注, 基于生态规律的有害生物治理措施逐渐受到人们重视(Maxwell, 1999)。作为一项种养复合、环保生态型的综合农业生产技术, 稻鸭共作充分利用了稻、鸭之间的共生关系, 极大地发挥了稻田的生产功能、养殖功能及生态调控功能, 使水稻生产摆脱了对除草剂、杀虫剂、杀菌剂及化肥等的依赖, 具有良好的生态、经济效益, 有利于农业的可持续发展。

参 考 文 献

Bai LX (柏立新), Zhang LW (张龙娃), Chen XB (陈小波), Feng HJ (冯汉金) (2003). Composition and diversity of the weed community in transgenic *Bt* cotton (four bollguard strains) fields. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), 27, 610 – 616. (in Chinese with English abstract)

Huang H (黄璜), Yang ZH (杨志辉), Wang H (王华), Hu ZY (胡泽友), Chen SG (陈仕贵), Chen C (陈灿) (2003). A

study on the pattern of methane emission in wetland rice-duck complex ecosystems. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 23, 929 – 934. (in Chinese with English abstract)

Legere A, Samson DN (1999). Relative influence of crop rotation, tillage, and weed management on weed associations in spring barley cropping system. *Weed Science*, 47, 112 – 122.

Li YF (李永丰), Li YW (李宜慰), Liu ZD (刘正道), Zeng XB (曾宪彬) (1999). New developments in herbicide resistance in weed species and management strategies. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis* (江西农业大学学报), 21, 42 – 46. (in Chinese with English abstract)

Li YM (李云明), Zhao SQ (赵守清), Chen SC (陈绍才), Di XG (狄新贵) (2004). Effects of rice-duck farming for the control of major pests in paddy fields. *China Plant Protection* (中国植保导刊), 24(2), 14 – 15. (in Chinese)

Ma KP (马克平), Liu YM (刘玉明) (1994). The methods of measuring community biodiversity. I. Measurement of α diversity (Part 2). *Chinese Biodiversity* (生物多样性), 2, 231 – 239. (in Chinese)

Ma KP (马克平), Liu CR (刘灿然), Liu YM (刘玉明) (1995). The methods of measuring community biodiversity. II. Measurement of β diversity. *Chinese Biodiversity* (生物多样性), 3, 38 – 43. (in Chinese)

Manda M (1992). Paddy rice cultivation using crossbred duck. *Farming Japan*, 26, 35 – 42.

Maxwell BD (1999). My view. *Weed Science*, 47, 129.

Nakornsri K, Vongsaroj P (1998). Weed control with khaki Campbell ducks in transplanted rice. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 26, 101 – 108.

Qiang S (强胜), Shen JM (沈俊明), Zhang CQ (张成群), Shao GY (邵耕耘), Hu JL (胡金良), Wang FL (王凤良) (2003). The influence of cropping systems on weed communities in the cotton fields of Jiangsu Province. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), 27, 278 – 282. (in Chinese with English abstract)

Shen XK (沈晓昆) (2003). A new bio-rational and high quality rice production technique: rice-duck farming. *Agricultural Equipment and Technology* (农业装备技术), 29(2), 9 – 10. (in Chinese)

Shrestha A, Knezevic SZ, Roy RC, Ball-Coelho BR, Swanton CJ (2002). Effect of tillage, cover crop and crop rotation on the composition of weed flora in a sandy soil. *Weed Research*, 42, 76 – 87.

Su ST (2001). Evaluation of different duck varieties for the control of the golden apple snail (*Pomacea canaliculata*) in transplanted and direct seeded rice. *Crop Protection*, 20, 599 – 604.

Wang H (王华), Huang H (黄璜), Yang ZH (杨志辉), Liao XL (廖晓兰) (2003). Integrated benefits of paddy rice-duck complex ecosystem. *Rural Eco-Environment* (农村生态环境), 19(4), 23 – 26. (in Chinese with English abstract)

Wang QS (王强盛), Huang PS (黄丕生), Zhen RH (甄若宏),

Jing LM (荆留明), Tang HB (唐和宝), Zhang CY (张春阳) (2004). Effect of rice-duck mutualism on nutrition ecology of paddy field and rice quality. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 15, 639 – 645. (in Chinese with English abstract)

Wu CH (吴春华), Chen X (陈欣) (2004). Impact of pesticides on biodiversity in agricultural areas. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 15, 341 – 344. (in Chinese with English abstract)

You MS (尤民生), Liu YF (刘雨芳), Hou YM (侯有明) (2004). Biodiversity and integrated pest management in agroecosystems. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 24, 117 – 122. (in Chinese with English abstract)

Zhang CX (张朝贤), Hu XE (胡祥恩), Qian YX (钱益新), Zhu WD (朱文达), Wei SH (魏守辉), Ye GB (叶贵标), Li YZ (黎银忠), Xu ZM (徐正明) (1998). Weed survey in wheat fields in Jiangnan Plain. *Plant Protection* (植物保护), 24 (3), 14 – 16. (in Chinese with English abstract)

Zhang JE (章家恩), Lu JX (陆敬雄), Zhang GH (张光辉), Luo SM (骆世明) (2002). Study on the function and benefit of rice-duck agroecosystem. *Ecologic Science* (生态科学), 21, 6 – 10. (in Chinese with English abstract)

Zhang ZB (张宗炳) (1988). Influence of pesticides on agroecosystem. *Chinese Journal of Ecology* (生态学杂志), 7 (3), 25 – 29. (in Chinese with English abstract)

Zhu FG (朱凤姑), Feng QS (丰庆生), Zhuge Z (诸葛梓) (2004). Control impact of rice-duck ecological structure on harmful biotic community of rice fields. *Acta Agriculturae Zhejiangensis* (浙江农业学报), 16, 37 – 41. (in Chinese with English abstract)

Zhu KM (朱克明), Shen XK (沈晓昆), Xie TZ (谢桐洲), Dai WC (戴网成), Chen LG (陈良根), Gao JC (高金成), Wu JQ (吴建强), Yang YJ (杨玉俊), Chen JW (陈建卫), Xu G (徐刚) (2001). Preliminary study on rice-duck farming system. *Journal of Anhui Agricultural Sciences* (安徽农业科学), 29, 262 – 264. (in Chinese)

责任编辑: 骆世明 责任编辑: 张丽赫