

规模化稻鸭生态种养对稻田杂草群落组成 及物种多样性的影响*

沈建凯^{1,4} 黄 璜^{1,4**} 傅志强^{3,4} 张 亚^{2,4} 陈 灿^{1,4} 金小马^{1,4}
廖晓兰^{2,4} 龙 攀^{1,4} 高文娟^{1,4} 谢小婷^{1,4}

(1. 湖南农业大学农学院 长沙 410128; 2. 湖南农业大学生物安全科技学院 长沙 410128;
3. 湖南农业大学理学院 长沙 410128; 4. 农业部多熟制作物栽培与耕作重点实验室 长沙 410128)

摘 要 为探索规模稻鸭生态种养稻田杂草群落的变化动态,运用植物群落生态的方法研究了规模稻鸭生态种养、常规稻鸭生态种养和水稻单一种植稻田杂草的群落变化特点及控草效果。结果表明:规模稻鸭生态种养杂草密度显著降低,与水稻单一种植比较防效为94%;水稻分蘖到孕穗期稻田杂草主要由看麦娘(*Alopecurus pratensis*)、稗草(*Echinochloa crusgalli*)、狗牙根(*Cynodon dactylon*)、水花生(*Alternanthera philoxeroides*)、鸭舌草(*Mouochoria vaginalis*)、水竹叶(*Murdannia triquetra*)和鳢肠(*Eclipta prostrata*)组成,抽穗期到成熟期主要由水花生、稗草、狗牙根和水竹叶组成。研究还表明,规模稻鸭生态种养水稻分蘖期物种丰富度、Simpon指数、Shannon-Wiener指数略高于水稻单一种植,Pielou指数低于水稻单一种植;孕穗期到成熟期物种丰富度、Simpon指数、Shannon-Wiener指数低于水稻单一种植,Pielou指数显著高于水稻单一种植。水稻全生育期规模稻鸭生态种养与常规稻鸭生态种养比较稻田杂草密度、杂草生物量和多样性指数差异不显著,但杂草生物多样性指数略有提高。说明规模稻鸭生态种养显著改变稻田杂草的群落结构和组成,可抑制杂草发生危害,达到有效控草目的。

关键词 规模稻鸭生态种养 杂草管理 群落组成 物种多样性 防治效果

中图分类号: S451.1; S474 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-3990(2010)01-0123-06

Effect of large-scale rice-duck eco-farming on the composition and diversity of weed community in paddy fields

SHEN Jian-Kai^{1,4}, HUANG Huang^{1,4}, FU Zhi-Qiang^{3,4}, ZHANG Ya^{2,4}, CHEN Can^{1,4}, JIN Xiao-Ma^{1,4},
LIAO Xiao-Lan^{2,4}, LONG Pan^{1,4}, GAO Wen-Juan^{1,4}, XIE Xiao-Ting^{1,4}

(1. College of Agronomy, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China;
2. College of Bio-safety Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China;
3. College of Science, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China;
4. Key Laboratory of Multi-cropping Cultivation and Farming System, Ministry of Agriculture, Changsha 410128, China)

Abstract Changing characteristics of weed community, weed-controlling effect of large-scale rice-duck eco-farming (SF), conventional rice-duck eco-farming (CF) compared to mono-cropping rice (CK) were analyzed in order to explore the dynamics of weed communities in large-scale rice-duck eco-farming paddy fields. The study shows that weed density in paddy fields significantly decreases with more than 94% grass-controlling effect under SF compared with CK. Before rice booting stage, weeds compose mainly of *Alopecurus pratensis*, *Echinochloa crusgalli*, *Cynodon dactylon*, *Alternanthera philoxeroides*, *Mouochoria vaginalis*, *Murdannia triquetra* and *Eclipta prostrata* in SF. During heading to ripe stage, weeds are mainly *A. philoxeroides*, *E. crusgalli*, *C. dactylon*, *M. triquetra*. At tillering, species richness, Simpon index and Shannon-Wiener index are higher while Pielou index is lower in SF than in CK. From booting to ripening, weed species richness, Simpon index and Shannon-Wiener index are lower while Pielou index is significantly higher in SF than in CK. In the entire rice growth period, weed density, weed fresh weight and species diversity are

* 国家科技支撑计划项目“农田循环生产关键技术研究及集成示范”(2007BAD89B00)资助

** 通讯作者: 黄璜(1958~), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事农业生态学、作物信息科学研究与教学。E-mail: hh863@126.com
沈建凯(1985~), 男, 硕士, 主要从事农田生物多样性及农业生态学研究。E-mail: sjk20081983@126.com

收稿日期: 2009-05-21 接受日期: 2009-08-26

not significantly different between SF and CF, but species diversity is higher in SF than in CF. SF changes the structure of weed community and decreases weed species diversity, effectively limiting weed infestation in paddy fields.

Key words Large-scale rice-duck eco-farming, Weed control, Community composition, Species diversity, Controlling effect (Received May 21, 2009; accepted Aug. 26, 2009)

杂草是农田生态系统的重要组成部分,它与作物竞争光、水、肥等资源,影响作物生长,导致作物减产、产品质量下降^[1-3]。为保证作物正常生长,需对杂草进行合理控制。过去人们一直努力将杂草从农业生态系统中清除或使用除草剂等化学物质将其杀灭。近年来保护农业生态系统中杂草等野生植物多样性以及发挥其在维持生态平衡中的作用逐渐为人们所重视^[4-7]。

生态立体式种养结合农作模式——稻田养鸭在继承传统农业精华的基础上逐渐发展起来,并应用于生态农业和观光农业,取得了显著经济效益和生态效益^[8]。稻田养鸭系统中,鸭子昼夜生活于稻田中,可为稻田水稻治虫^[9-10]、除草^[9-11]、抑病^[12-13]、施肥^[14]、中耕浑水^[14]、刺激水稻生长^[14-16]、减排甲烷^[16-18]、提高水稻抗性^[19]和稻米品质^[20-21],在安全、优质稻米生产中发挥了重要作用^[22-23]。常规稻田养鸭每公顷放鸭 180~225 只,单位围栏鸭子总数 100~200 只^[24],单位围栏面积 0.4~1 hm²。在我国开始积极鼓励土地承包经营权流转,发展适度规模经营背景下,资源利用程度低、劳动力投入偏高的常规稻田养鸭难以适应实际生产需要,适度规模化稻田生态种养受到关注。然而目前相关研究尚少见报道,尤其是规模稻田生态种养稻田杂草群落变化动态与防治研究报道更是少见。为此,本文研究了规模稻田生态种养的田间杂草群落和物种多样性变化,为规模稻田生态种养的杂草防控提供理论基础,为发展规模稻田生态种养提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 材料

供试水稻品种为“陆两优 996”,由湖南亚华种业公司提供。肥料为兴湘牌尿基型高含量复合肥(总养分含量 48%, N:P₂O₅:K₂O=11:4:9, 湖南省土壤肥料研究所研制, 湖南省兴湘肥料有限公司生产)和湘江牌尿素(N 46.2%, 湖南智成化工有限公司生产)。鸭品种为“江南一号”水鸭和“金定麻鸭”,湖南省浏阳市鸿鹄禽业有限公司提供。供试土壤有机质含量为 25.2 g·kg⁻¹, 全氮 1.38 g·kg⁻¹, 速效磷 29.7 mg·kg⁻¹, 速效钾 59.5 mg·kg⁻¹, pH 6.9。

1.2 试验设计与田间管理

试验于 2008 年在湖南省浏阳市北盛镇稻鸭生态农业示范基地进行,该基地共有农田 140 hm²,以

水稻-水稻-油菜种植模式为主。试验区域总面积 15.2 hm², 2007 年为水稻-水稻-冬季休闲种植模式,早晚稻施用常规农药和除草剂防治水稻病、虫和草害,冬天农田不灌溉不排水处于自然休闲状态。2008 年早晚稻田机械化翻耕,水稻抛秧,不施用任何除草剂、农药等化学药剂。

试验共设 3 个处理:(1)规模稻鸭生态种养(Large scale rice-duck eco-farming, SF),面积 4 hm²,每公顷放鸭 150 只,共 600 只,不间隔,周围用尼龙网围栏,稻田中间搭设 1 个鸭棚供鸭子休息;以 5 丘具有代表性的田块为取样点。(2)常规稻鸭生态种养(Conventional rice-duck eco-farming, CF),面积 0.1 hm²,每公顷放鸭 150 只,共 15 只,以自然丘块围栏,搭设 1 个鸭棚。(3)水稻单一种植(Mono-cropping rice, CK),面积 0.1 hm²,不投放鸭苗。试验根据灌溉区域分设 3 次重复。

稻田灌溉为沟渠人工引灌,规模稻鸭生态种养因种养面积大,高峰用水期局部稻田不能及时到水,偶有田间局部干湿不一;田间保持水稻深水活蔸,浅水分蘖,有水壮苞抽穗,后期干干湿湿,不过早脱水。肥料人工撒施,水稻全生育期不施用农药、除草剂。根据实际情况适当补给鸭子饵料,勤查围栏,防鸭外逃,并每天查看规模养鸭区鸭子活动情况,辅助人工驱赶、投食引诱等办法引导鸭子在田中均匀作业。

水稻 3 月 23 日播种,4 月 22 日抛秧,抛秧密度 30 万蔸·hm⁻²。鸭子 5 月 1 日下田,下田鸭龄 10 日,平均体重 120 g,6 月 20 日收鸭。4 月 15 日翻耕时施复合肥 450 kg·hm⁻²,水稻抛秧立苗施尿素 75 kg·hm⁻²。

1.3 调查方法

调查采用 5 点取样法,每点取样面积 1 m²(1m×1m)。水稻分蘖期、孕穗期、抽穗期、成熟期各调查 1 次杂草种类、株数。水稻收割前 15 d 测定杂草地上部分鲜重、株高。

杂草密度为每平方米杂草株(分蘖)数;物种丰富度(S)为样方所包含的所有杂草的种类数;群落优势度(D)用 Simpson 指数测度: $D = \sum p_i^2$; 物种多样性(H')用 Shannon-Wiener 指数测度: $H' = -\sum p_i \log_2 p_i$; 群落均匀度(J)用 Pielou 均匀度指数测度: $J = H' / \ln S$ ^[25-26]。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。防效(%) = $(a-b)/a$, a 、 b 分别为 CK、SF(或 CF)稻田的杂草密度、

鲜重和株高。

1.4 数据分析

试验数据均为 3 次重复的平均值, 用 Excel2003 绘图和 DPS6.55 进行不同处理间差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 规模稻鸭生态种养对稻田杂草密度的影响

从图 1 可知, 放鸭后 SF 和 CF 稻田杂草密度明显低于 CK。水稻全生育期 SF 和 CF 杂草密度变化趋势一致, 随水稻生长呈下降趋势; CK 在水稻孕穗前杂草密度呈上升趋势, 之后逐渐下降。由于 SF 稻田面积大, 鸭子喜欢群聚, 在稻田活动不均匀, 导致局部杂草密度高, 水稻抽穗期前 SF 高于 CF; 但随着鸭子在田间活动的逐渐增强, 抽穗期 SF 和 CF 稻田杂草密度基本接近, 防治效果均达 94%以上。

由表 1 可以看出, SF 和 CF 稻田杂草密度、鲜重和株高均极显著低于 CK, 鲜重防治效果分别为 90.72%和 96.98%, 株高防治效果分别为 65.43%和 78.72%; 水稻成熟期密度防效分别为 94.20%和 94.99%。SF 和 CF 对杂草的密度、生物量和株高的影响效果显著, 说明 SF 和 CF 稻田杂草的危害减轻, 稻田杂草数量少, 规模稻鸭生态种养鸭子可有效抑制杂草生长, 防止杂草的发生。

2.2 规模稻鸭生态种养对稻田杂草群落组成的影响

从表 2 可以看出, SF、CF、CK 稻田分别有 8 种、3 种和 10 种杂草。SF 杂草群落在水稻分蘖期和孕穗

期主要由看麦娘 (*Alopecurus pratensis*)、稗草 (*Echinochloa crusgalli*)、狗牙根 (*Cynodon dactylon*)、水花生 (*Alternanthera philoxeroides*)、鸭舌草 (*Mouochoria vaginalis*)、水竹叶 (*Murdannia triquetra*) 和鳢肠 (*Eclipta prostrata*) 组成, 抽穗期到成熟期主要由水花生、稗草、狗牙根和水竹叶组成。CF 杂草群落主要由稗草、狗牙根和鸭舌草组成, 水稻整个生育期中杂草群落组成基本保持不变。CK 杂草群落在水稻分蘖期主要由稗草、鸭舌草、水花生、异型莎草 (*Cyperus difformis*)、水竹叶、狗牙根、鳢肠和矮慈姑 (*Sagittaria pygmaea*) 组成, 孕穗期到抽穗期由稗草、鸭舌草、异型莎草、陌上菜 (*Lindernia procumbens*)、水花生、看麦娘、水竹叶、狗牙根和矮慈姑组成, 成熟期由稗草、鸭舌草、异型莎草、陌上菜、水花生、水竹叶、看麦娘和矮慈姑组成。总体来看 CK 杂草群落组成物种最多, SF 次之, CF 最少。

从表 3 可以看出, 水稻分蘖期 SF 和 CK 都由单子叶杂草、双子叶杂草、阔叶杂草、禾本科杂草和莎草科杂草类群组成, CF 由单子叶杂草、阔叶杂草、禾本科杂草、莎草科杂草类群组成; SF 和 CF 各类群杂草密度显著低于 CK, SF 与 CF 间差异不显著。水稻孕穗期, SF 由单子叶杂草、双子叶杂草、阔叶杂草、禾本科杂草类群组成, CF 由单子叶杂草、阔叶杂草、禾本科杂草类群组成; SF 和 CF 共有的杂草类群密度均极显著低于 CK, SF 禾本科类杂草密度显著低于 CF。水稻抽穗期各处理杂草类群组成和孕穗期相同, SF 和 CF 共有的单子叶、阔叶杂草及 CF 的禾本科杂草类群密度极显著低于 CK, SF 的禾本科杂草显著低于 CK。水稻成熟期, SF 由单子叶杂草、双子叶杂草、阔叶杂草、禾本科杂草类群组成, 且各类群杂草密度均极显著低于 CK; CF 由单子叶和禾本科杂草类群组成, 也极显著低于 CK, 且其单子叶杂草显著低于 SF。可以看出水稻整个生育期中 SF 和 CF 稻田杂草类群密度基本上显著低于 CK, 而 SF 与 CF 之间差异不明显。

2.3 规模稻鸭生态种养对杂草生物多样性的影响

从表 4 可知, 水稻分蘖期 SF 的物种丰富度显著高于 CF 且与 CK 差异不显著, 水稻生长中后期 (孕穗期到成熟期) SF 的物种丰富度极显著低于 CK, 与 CF

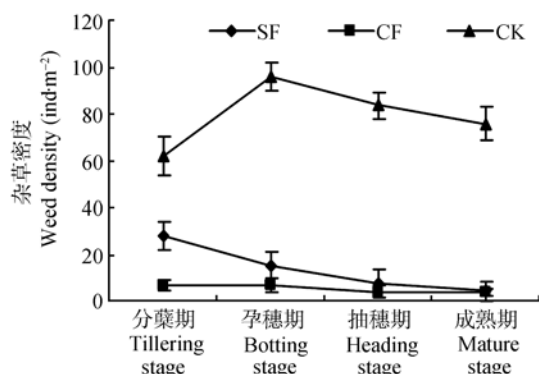


图 1 不同处理对稻田杂草密度的影响

Fig. 1 Influence of different treatments on weed density of paddy field

表 1 不同处理对稻田杂草密度、生物量和株高的影响及防效

Tab. 1 Influence and control effect of different treatments on weed density, fresh weight and plant height

处理 Treatment	密度 Density (ind · m ⁻²)	密度防效 Control effect based on weed density (%)	鲜重 Fresh weight (g · m ⁻²)	鲜重防效 Control effect based on fresh weight (%)	株高 Plant height (cm)	株高防效 Control effect based on plant height (%)
SF	4.40±4.2bB	94.20	16.39±0.23bB	90.72	3.32±0.03bB	65.43
CF	3.80±1.5bB	94.99	5.34±0.11bB	96.98	2.03±0.02bB	78.72
CK	75.80±7.2aA	—	176.56±0.63aA	—	9.62±0.06aA	—

小、大写字母分别表示 5% 和 1% 的显著水平, 下同。Values with different small and capital letters in one column are significantly different at 5% and 1% level respectively. The same below.

表 2 不同处理稻田杂草种类和密度
Tab. 2 Weed species and density in paddy fields of different treatments

处理 Treat- ment	时期 Stage	杂草密度 Weed density (ind · m ⁻²)											
		鸭舌 草 ^①	稗草 ^②	异型 莎草 ^③	陌上 菜 ^④	水花 生 ^⑤	看麦 娘 ^⑥	矮慈 姑 ^⑦	水竹 叶 ^⑧	狗牙 根 ^⑨	鳢肠 ^⑩	合计 Total	
SF	分蘖期	Tillering stage	0.52	0.80	—	—	0.64	1.64	0.56	0.28	0.80	0.32	5.56bAB
	孕穗期	Booting stage	0.24	1.00	—	—	0.60	1.04	—	0.68	0.48	0.04	4.08bB
	抽穗期	Heading stage	0.04	0.42	—	—	0.56	—	—	0.24	0.24	—	1.50bB
	成熟期	Mature stage	—	0.20	—	—	0.40	—	—	0.12	0.16	—	0.88bB
CF	分蘖期	Tillering stage	0.24	0.72	—	—	—	—	—	—	0.36	—	1.32bB
	孕穗期	Booting stage	0.12	0.80	—	—	—	—	—	—	0.40	—	1.32bB
	抽穗期	Heading stage	0.08	0.52	—	—	—	—	—	—	0.20	—	0.80bB
	成熟期	Mature stage	—	0.52	—	—	—	—	—	—	0.24	—	0.76bB
CK	分蘖期	Tillering stage	3.68	4.52	1.12	—	2.08	—	0.16	0.28	0.26	0.26	12.36aA
	孕穗期	Booting stage	4.04	4.72	3.04	2.76	1.88	1.80	0.08	0.48	0.30	0.08	19.18aA
	抽穗期	Heading stage	3.48	5.04	3.52	2.52	1.20	0.56	0.08	0.48	0.36	—	17.24aA
	成熟期	Mature stage	3.72	5.08	3.44	2.20	1.08	0.30	0.04	0.60	—	—	16.46aA

① *Mouochoria vaginalis* ② *Echinochhloa crausgalli* ③ *Cyperus difformis* ④ *Lindernia procumhens* ⑤ *Alternanthera philoxeroides*
⑥ *Alopecurus pratensis* ⑦ *Sagittaria pygmaea* ⑧ *Murdannia triquetra* ⑨ *Cynodon dactylon* ⑩ *Eclipta prostrata*.

表 3 不同处理稻田杂草类群落密度
Tab. 3 Weed density of different groups in paddy fields of different of treatments ind · m⁻²

时期 Stage	杂草类群 Weed group	SF	CF	CK
分蘖期 Tillering stage	单子叶杂草 Monocotyledoneae weeds	5.0±1.43abA	1.3±0.79bA	14.2±4.95aA
	双子叶杂草 Dicotyledoneae weeds	1.0±0.62aA	—	2.1±1.55aA
	阔叶杂草 Broadleaf weeds	1.5±0.80bAB	0.2±0.19bB	5.9±1.90aA
	禾本科杂草 Gramineae weeds	3.8±1.38abA	1.0±0.42bA	8.9±3.38aA
	莎草科杂草 Cyperaceae weeds	0.1±0.04aA	0.1±0.08aA	1.1±0.58aA
孕穗期 Booting stage	单子叶杂草 Monocotyledoneae weeds	4.4±0.88bB	1.2±0.80bB	19.2±4.64aA
	双子叶杂草 Dicotyledoneae weeds	0.6±0.54bA	—	4.6±3.49aA
	阔叶杂草 Broadleaf weeds	1.3±0.77bB	0.1±0.08bB	11.2±3.11aA
	禾本科杂草 Gramineae weeds	3.8±0.84bB	1.2±0.76cB	7.9±0.86aA
	莎草科杂草 Cyperaceae weeds	—	—	3.0±1.65aA
抽穗期 Heading stage	单子叶杂草 Monocotyledoneae weeds	0.1±0.11bB	0.8±0.34bB	16.7±2.69aA
	双子叶杂草 Dicotyledoneae weeds	0.5±0.08bB	—	3.7±1.03aA
	阔叶杂草 Broadleaf weeds	1.1±0.53bB	0.1±0.08bB	9.7±1.66aA
	禾本科杂草 Gramineae weeds	2.2±1.10bAB	0.7±0.39bB	7.0±1.65aA
	莎草科杂草 Cyperaceae weeds	—	—	3.5±1.65aA
成熟期 Mature stage	单子叶杂草 Monocotyledoneae weeds	2.6±0.68bB	0.7±0.24cB	17.1±2.59aA
	双子叶杂草 Dicotyledoneae weeds	0.4±0.32bB	—	3.0±1.82aA
	阔叶杂草 Broadleaf weeds	0.5±0.39bB	—	9.6±1.39aA
	禾本科杂草 Gramineae weeds	0.5±0.32bB	0.5±0.24bB	9.7±1.46aA
	莎草科杂草 Cyperaceae weeds	—	—	4.3±1.35aA

表 4 不同处理稻田杂草生物多样性指数
Tab. 4 Weed diversity indexes in paddy fields of different treatments

时期 Stage	多样性指数 Diversity index	SF	CF	CK
分蘖期 Tillering stage	Simpon 指数 Simpon index	0.74±0.08aA	0.61±0.04abA	0.54±0.02bA
	Shannon-Wiener 指数 Shannon-Wiener index	1.21±0.14abA	0.95±0.02bA	1.41±0.13aA
	Pielou 均匀度指数 Pielou index	0.75±0.04bA	0.95±0.02aA	0.62±0.02bA
	物种丰富度 Species richness	4.00±0.02aA	2.00±0.01bA	4.00±0.02aA
孕穗期 Booting stage	Simpon 指数 Simpon index	0.61±0.11aA	0.60±0.15aA	0.58±0.03aA
	Shannon-Wiener 指数 Shannon-Wiener index	1.12±0.14bAB	0.95±0.12bB	1.75±0.16aA
	Pielou 均匀度指数 Pielou index	0.87±0.13aA	0.96±0.10aA	0.71±0.04bA
	物种丰富度 Species richness	2.80±0.01bB	2.20±0.01bB	4.50±0.02aA
抽穗期 Heading stage	Simpon 指数 Simpon index	0.60±0.07aA	0.59±0.11aA	0.65±0.05aA
	Shannon-Wiener 指数 Shannon-Wiener index	0.92±0.12bB	0.90±0.08bB	1.71±0.22aA
	Pielou 均匀度指数 Pielou index	0.91±0.11aA	0.97±0.08aA	0.72±0.03bA
	物种丰富度 Species richness	2.20±0.01bB	2.00±0.01bB	4.20±0.02aA
成熟期 Mature stage	Simpon 指数 Simpon index	0.56±0.07bA	0.51±0.14bA	0.73±0.05aA
	Shannon-Wiener 指数 Shannon-Wiener index	0.63±0.14bB	0.75±0.09bB	1.75±0.24aA
	Pielou 均匀度指数 Pielou index	0.92±0.14aA	0.97±0.09aA	0.70±0.03bB
	物种丰富度 Species richness	2.00±0.01bB	2.00±0.01bB	4.10±0.01aA

差异不显著, 表明 SF 水稻生育前期稻田杂草群落的物种丰富, 种类较多。Simpon 指数表明, 水稻分蘖期 SF 显著高于 CK, 孕穗期和抽穗期 SF、CF 和 CK 间无显著差异, 成熟期 SF 与 CF 显著低于 CK, 表明规模稻鸭生态种养(SF)体系对杂草种群防治的选择性不强, 水稻生育前期由于鸭子小, 对杂草采食、践踏等强度小, 稻田出现优势种杂草; 随鸭子逐渐长大, 对杂草的防治能力提高, 优势种杂草生长也受到影响, 优势种群的形成受限, 优势杂草种群难以发生严重危害。Shannon-Wiener 指数表明, 除分蘖期 SF 与 CK 差异不明显, 其他时期均显著或极显著低于 CK, 说明 SF 较 CK 的物种多样性降低, 在一定程度上限制了某些杂草发生危害。Pielou 均匀度指数反映群落中杂草分布的均匀程度, 分蘖期 SF 与 CK 差异不显著, CF 显著高于 CK, 孕穗期到成熟期 SF、CF 显著高于 CK, 表明 SF 稻田的杂草群落在水稻分蘖期有少量优势种群存在, 但随水稻、鸭子的生长, 优势种群逐渐消失。

3 讨论

3.1 稻鸭生态种养稻田的杂草生物防控

杂草管理措施是影响田间杂草种群密度和物种多样性的重要因素^[27]。稻鸭生态种养系统通过鸭子群集劳作替代人为杂草管理, 改变杂草群落的物种组成和丰富程度, 导致杂草群落组成和物种多样性发生变化。稻鸭生态种养稻田杂草群落发生变化的主要因素一是养鸭期间稻田需要保持 3~5 cm 水层, 大量杂草种子浸在水中发芽受抑^[28]; 二是鸭子在田间穿行, 中耕浑水, 改变了田间的生态环境, 影响了已发芽杂草的正常生长; 三是鸭子对稻田杂草的取食作用; 四是鸭子活动刺激水稻生长, 提高了水稻与田间杂草争夺光、热、水和肥等资源的能力。正是由于这些因素的综合作用实现了鸭子替代人工或除草剂防治稻田杂草。本研究表明, 大尺度区域单位围栏的规模化稻鸭生态种养可实现改变稻田杂草群落结构, 降低杂草物种多样性, 抑制稻田杂草危害的目标; 鸭舌草、陌上菜、异型莎草、矮慈姑等稻田主要杂草数量减少, 基本实现了稻田杂草生态控制目标, 达到除草治草的目的。这与刘小燕等^[29]、禹盛苗等^[13]的研究结果相似, 但规模稻鸭生态种养在水稻生长前期(分蘖期)稻田杂草出现少量优势种群。

3.2 稻鸭生态种养对稻田杂草生物多样性的影响

物种丰富度指数是对一定数量的田间杂草中种类数的量度, Pielou 均匀度指数是对田间杂草群落中不同杂草间数量分布均匀程度的量度。水稻分蘖期,

田间肥料养分充足, 大量杂草种子随着温度的升高开始迅速萌发, 杂草物类丰富, 此期鸭子小尚不能发挥强大的除草功效, 因而杂草分布不均匀, Simpson 指数显著增高, 杂草优势种群出现; 水稻生长中后期, 杂草对养分、光照、水分等环境资源与水稻激烈竞争处于劣势^[30], 鸭子的活动和鸭粪(有机肥)的输入影响土壤状况(包括养分体系、有机质动态、土壤温度、土壤氧化还原状况等)进而影响杂草正常生长^[31-32], 物种丰富度显著下降, Simpson 指数降低。本试验中, 水稻生长后期规模稻鸭生态种养区域杂草逐渐趋于均匀分布, 优势种群消失。Shannon-Wiener 多样性指数是对田间杂草物种丰富度和物种均匀度的综合量度, 本研究发现规模稻鸭生态种养区域杂草 Shannon-Wiener 多样性指数明显低于水稻单一种植区域, 魏守辉等^[33]的研究也证明了这一点。说明规模化稻鸭生态种养可有效降低稻田杂草的生物多样性, 抑制杂草对水稻的持续危害, 是水稻杂草生物防治的有效手段。

3.3 杂草防治与生物多样性保持

生物多样性是农业生态系统健康指标特征之一, Charence 等^[34]认为采用化学除草剂大面积管理杂草不利于生物多样性的保持和农业生态系统的健康, 应对杂草实施综合管理^[35], 农田长期保留一定数量的杂草与作物共存, 对害虫的防治和土壤肥力的提高都有重要作用, 杂草根系发达, 还可防止水土流失^[7]。Lagerlof 等^[36]研究农田边缘植物多样性发现, 田埂的植物多样性增加, 害虫天敌种类和数量也大大增加; Hald 等^[37]的研究也表明, 植物种类多样性的维持对食草昆虫数量的维持很重要, 食草昆虫为鸟类提供食物, 在不使用除草剂的有机农场, 植物、食草昆虫和无脊椎动物的种类和数量均明显升高。本研究表明, 规模稻鸭生态种养系统中, 杂草生物多样性指数高于常规稻鸭生态种养, 但与常规稻鸭生态种养差异不显著, 说明规模稻鸭生态种养虽然杂草生物多样性提高, 但又不影响杂草防治效果。规模稻鸭生态种养系统稻谷产出 $11\,379.68\text{ 元}\cdot\text{hm}^{-2}$, 比常规稻鸭生态种养稻谷($11\,183.56\text{ 元}\cdot\text{hm}^{-2}$)净收益增加 44.47%, 说明规模稻鸭生态种养系统的杂草生物多样性提高并未对水稻生长造成影响, 而系统产出增加, 表明该系统的生态稳定性增强, 自然控害能力提高。

长期稻鸭生态种养, 可加大农田杂草种子库输出^[38], 改变稻田杂草群落组成, 降低稻田杂草密度^[33], 维持稻田杂草的多样性; 可利用杂草种群间相互制约不使某一种杂草产生生长优势, 利用生物多样控制稻田杂草; 同时有机结合合理农作制、化

肥配施等生态调控措施综合治理杂草^[35],既可减少化学除草剂的使用,减轻对环境的污染,又可控制优势杂草对作物的危害,保护非优势杂草的生物多样性,为食草性鸟提供食物,也为鸭提供丰富饵料,使稻田系统发挥出最大生态效应,提高稻作生态效益。

参考文献

- [1] Donald C M. Competition among crops and pasture plants[J]. *Advan Agron*, 1963, 15: 1–118
- [2] 陈欣, 王兆骞, 唐建军. 农业生态系统杂草多样性保持的生态学功能[J]. *生态学杂志*, 2000, 19(4): 50–52
- [3] 李扬汉. 中国杂草志[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998: 1–32
- [4] Altieri M A. How best can we use biodiversity in agroecosystems[J]. *Outlook on Agriculture*, 1991, 20: 15–23
- [5] McLaughlin A, Mineau P. The impact of agricultural practices on biodiversity[J]. *Agriculture, Ecosystem and Environment*, 1995, 55: 201–212
- [6] Day K. Agriculture's links to biodiversity[J]. *Agricultural Outlook*, 1996, 263: 32–37
- [7] 郭水良, 李扬汉. 杂草的基本特点及其丰富栽培地生物多样性的作用[J]. *资源科学*, 1996(3): 48–52
- [8] 章家恩, 陆敬雄, 张光辉, 等. 稻鸭共作生态农业模式的功能与效益分析[J]. *生态科学*, 2002, 21(1): 6–10
- [9] 全国明, 章家恩, 许荣宝, 等. 稻鸭共作技术的生物防治效应[J]. *生态科学*, 2005, 24(4): 336–338
- [10] Koji T, Liu X, Koko K, et al. The influence of free-ranging ducks (Indian runner, Chinese native duck and crossbred duck) on emerging weeds and pest insect infestation in paddy fields[J]. *Japan Journal Livestock Management*, 1998, 34(1): 1–11
- [11] 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
- [12] 何忠全, 毛建辉, 张志涛, 等. 我国近年来水稻重大病虫害可持续控制技术重要研究进展——非化学控害技术研究[J]. *植物保护*, 2004, 30(2): 23–27
- [13] 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
- [14] 杨华松, 戴志明, 万田正治, 等. 云南稻-鸭共生模式效益的研究及综合评价(二)[J]. *中国农学通报*, 2002, 18(5): 23–24, 59
- [15] Goh B D, Wei H, Takayam K Y, et al. Effect of physics stimulation by free-ranging aigamo ducks on rice growth and yield under a rice-duck farming system[J]. *Japanese Journal of Livestock Management*, 2001, 37(2): 69–74
- [16] 黄璜, 杨志辉, 王华, 等. 湿地稻-鸭复合系统的 CH_4 排放规律[J]. *生态学报*, 2003, 23(5): 929–934
- [17] 王华, 黄璜, 杨志辉, 等. 湿地稻-鸭复合生态系统综合效益研究[J]. *农村生态环境*, 2003, 19(4): 23–26
- [18] Xing P A, Huang H, Huang M, et al. Studies on technique of reducing methane emission in a rice-duck ecological system and the evaluation of its economic significance[J]. *Agricultural Sciences in China*, 2006, 5(10): 758–766
- [19] 章家恩, 许荣宝, 全国明, 等. 稻鸭共作对水稻生理特性的影响[J]. *应用生态学报*, 2007, 18(9): 1959–1964
- [20] 甄若宏, 王强盛, 何加骏, 等. 稻鸭共作对水稻产量和品质的影响[J]. *农业现代化研究*, 2008, 29(5): 615–617
- [21] 甘德欣, 黄璜, 黄梅. 稻鸭共栖高产高效的原因与配套技术[J]. *湖南农业科学*, 2003(5): 31–32, 36
- [22] 黄璜, 黄梅, 童泽霞, 等. 湿地农田生态系统农药“零量”输入的生态效益分析[J]. *湖南农业科学*, 2002(3): 45–47
- [23] 黄璜, 王华, 胡泽友, 等. 稻鸭种养生态工程的理论分析与实践过程[J]. *作物研究*, 2003, 17(4): 189–191
- [24] 禹盛苗, 金千瑜. 稻鸭共育新技术[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2006: 96–99
- [25] 马克平. 生物群落多样性的测度方法 I: α 多样性的测度方法(上)[J]. *生物多样性*, 1994, 2(3): 162–168
- [26] 马克平, 刘玉明. 生物群落多样性的测度方法 I: α 多样性的测度方法(下)[J]. *生物多样性*, 1994, 2(4): 231–239
- [27] Doucet C, Weaver S E, Hamill A S, et al. Separating the effects of crop rotation from management on weed density and diversity[J]. *Weed Sci*, 1999, 47: 729–735
- [28] 魏守辉, 强胜, 马波, 等. 稻鸭共作及其他控草措施对稻田杂草群落的影响[J]. *应用生态学报*, 2005, 16(6): 1067–1071
- [29] 刘小燕, 杨治平, 黄璜, 等. 湿地稻-鸭复合系统中田间杂草的变化规律[J]. *湖南农业大学学报*, 2004, 30(3): 292–293
- [30] 古巧珍, 杨学云, 孙本华, 等. 不同施肥条件下黄土麦地杂草生物多样性[J]. *应用生态学报*, 2007, 18(5): 1038–1042
- [31] Johnson K H, Clark H J, Schmitz O J, et al. Biodiversity and the productivity and stability of ecosystem[J]. *Trends in Ecology and Evolution*, 1996, 11: 372–377
- [32] 马丽荣, 蔺海明, 李荣, 等. 兰州引黄灌区小麦田杂草群落及生态位研究[J]. *中国生态农业学报*, 2008, 16(6): 1464–1468
- [33] 魏守辉, 强胜, 马波, 等. 长期稻鸭共作对稻田杂草群落组成及物种多样性的影响[J]. *植物生态学报*, 2006, 30(1): 9–16
- [34] Charence J S, Stephen D M. Weed science beyond the weeds: The role of integrated weed management in agroecosystem health[J]. *Weed Science*, 1996, 44: 437–445
- [35] 常向前, 李儒海, 褚世海, 等. 湖北省水稻主产区稻田杂草种类及群落特点[J]. *中国生态农业学报*, 2009, 17(3): 533–536
- [36] Lagerlof J, Wallin H. The abundance of arthropods along two field margins with different types of vegetation composition: An experimental study[J]. *Agriculture, Ecosystem and Environment*, 1993, 43: 141–154
- [37] Hald A B, Reddersen J. Wildlife indicators: Insects and wild plants[M]. Mijoministeriet: Mijostyrelsen, Copenhagen, 1990: 180
- [38] 李儒海, 强胜. 杂草种子传播研究进展[J]. *生态学报*, 2007, 27(12): 5361–5370