

稻鸭共育稻田水体藻类动态变化

汪金平¹, 曹凑贵^{1,*}, 李成芳¹, 金 晖², 袁伟玲¹, 展 茗¹

(1. 华中农业大学作物栽培与生理生态研究中心, 武汉 430070; 2. 华中农业大学水产学院, 武汉 430070)

摘要: 稻鸭共育技术作为稻田复合种养模式, 是有效控制常规稻作生态污染的重要技术途径。通过对不同时期稻田藻类群落种类、密度、生物量及环境因子进行测定, 研究稻鸭共育稻田水体藻类动态变化规律。结果表明, 稻田藻类群落包括蓝藻门、绿藻门、硅藻门、裸藻门、隐藻门及甲藻门共 6 门、38 属、108 种。随着水稻发育进程, 藻类优势种单位生物量增加, 前期皆以银灰平裂藻、栅藻等为优势种, 后期对照以方鼓藻、灿烂颤藻、短小舟形藻等为优势种, 而放鸭区优势种皆是裸藻门, 包括绿色裸藻、尖尾裸藻、梭形裸藻等。稻鸭共育稻田水体藻类初期有个适应期, 在放鸭后 15d 左右藻类密度及生物量显著下降, 之后开始上升。与常规对照相比, 稻鸭共育藻类密度及生物量较低, 放鸭对稻田水体生态系统的影响主要体现在放鸭 45d 以后, 表现为水体全 P 增加, 全 N 减少, 藻类多样性下降, 优势种发生变化。环境因子与藻类相关分析表明, 全磷与裸藻生物及藻类总生物量存在显著正相关, 相关系数分别为 0.697、0.625, 而全 N 与藻类相关性不显著。

关键词: 稻鸭共育复合系统; 藻类; 密度; 生物量; 多样性; 优势种

文章编号: 1000-0933(2009)08-4353-08 中图分类号: Q143 文献标识码: A

Elgal change in paddy water under rice-duck complex ecosystem

WANG Jing-Ping¹, CAO Cou-Gui^{1,*}, LI Cheng-Fang¹, JIN Hui², YUAN Wei-Ling¹, ZHAN Ming¹

¹ Crop Production and Physiology Center, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China

² Fisheries College, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(8): 4353 ~ 4360.

Abstract: The rice-duck complex ecosystem, a type of integrated utilization method of paddy fields, is a major complex planting and breeding model of paddy fields in south China, and opens a new way of sustainable development for rice and waterfowl production. This paper discussed the influences of the stocking of ducks in paddy fields on the species, quantities, diversity and biomass of algae. The field experiment was designed including conventional paddy ecosystem (CK) and rice-duck complex ecosystem (RD). The results showed that there were 6 algal phyla, 57 algal genera and 108 species found in all paddy water during sampling periods, and the phyla were *Cyanophyta*, *Chlorophyta*, *Bacillariophyta*, *Euglenophyta*, *Cryptophyta*, *Pyrrophyta*. The difference of the algal numbers in the two treatments was not obvious, but the algal density and biomass in RD was lower than those in CK. As rice growing, the predominant algal biomass in individual increased in paddy water. The predominant algal species during the early periods of rice growth were *Merismopedia glanca*, *Scaedsmus quadricauda*, *Euglena viridis*, *Cryptomonas erosa*, but in the late periods (45th day after putting into ducks), the predominant algal species in CK were *Closterium acerosum*, *Cosmarium quadrum*, *Cosmarium formosulum* etc (belong to *Chlorophyta* phylum), and the predominant algal species in RD were *Euglena viridis*, *Euglena oxyuris*, *Phacus longicauda* etc. (belong to *Euglenophyta* phylum). Compared with CK, the algal density and biomass in RD decreased significantly within 15 days after putting into ducks; moreover the content of total P increased, and the content of total N and the genus diversity reduced during the late periods of rice growth (45th day after putting into ducks). Correlation analysis between the algae and the environment factors showed that there were positive relationships between the content of total P, *Euglenophyta*

基金项目: 国家重大科技专项资助项目(2006BAD02A02); 湖北省农业创新岗位资助项目

收稿日期: 2008-05-13; 修订日期: 2009-04-08

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: ccgui@mail.hzau.edu.cn

density and the total biomass of algae, and the indexes were 0.697 and 0.625, respectively.

Key Words: rice-duck complex ecosystem; algae; density; Biomass; diversity; predominant species

稻鸭复合生态系统是以稻作水田为条件,以种稻为中心,家鸭田间网养的自然与人工相配合的生态工程系统,是有效控制常规稻作生态污染的重要技术途径^[1,2]。相关研究表明,稻鸭共育技术具有控虫防病、除草松土、培肥土壤、改善水稻群体结构、甲烷减排、提高稻米品质等方面的作用^[2~6]。

稻田藻类作为水体生态系统能源的重要提供者,具有吸收 N、P,增加土壤有机质含量,改善土壤物理性状,提高 P 的有效性,及促进水稻生长的作用^[7,8]。目前对于藻类的研究多集中于河流、湖泊和海洋,而关于稻田水体藻类的研究则不多,由于环境条件不同,稻田水体藻类群落组成、密度及生物量皆不同于其他水体藻类,稻田藻类主要由蓝藻门、甲藻门、金藻门、隐藻门、裸藻门、绿藻门、硅藻门共 7 门组成^[9~11]。稻鸭共育改变了稻田水体生态环境,能显著增加裸藻的数量,而减少绿藻、硅藻数量,对蓝藻、隐藻的影响不明显^[9,12,13]。至于稻鸭共育藻类群落动态变化及其与环境因子的关系,还有待研究。本文以稻田藻类植物群落为研究对象,通过设置放鸭与对照区两个处理,每隔 15d 对水体藻类植物群落组成、密度、生物量及多样性进行测定分析,结合稻田水体理化性质变化规律,探讨稻鸭共育水体藻类群落动态变化规律,为稻鸭共育技术推广提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地点与土壤

试验于 2005 年 5 月至 9 月在华中农业大学试验农场进行,前作油菜。实验地土壤为第四纪黄土沉积物发育的水稻土,耕层土壤厚 20 cm,下为 10 cm 厚的犁底层;地下水位常年深埋在 1.5 m 以下。其基本肥力性质为:全 N 1.09 g/kg,全 P 1.17 g/kg,有机质 16.76 g/kg,硝态氮 12.1 mg/kg,铵态氮 0.52 mg/kg,土壤 pH 值为 6.80,土壤容重 1.18 g/cm³。

1.2 试验材料

中稻品种为两优培九(*Oryza sativa* L.),鸭子为本地麻鸭(*Tadorna*),

1.3 试验设计

小区试验设 2 个处理:(1)不放鸭(CK);(2)放鸭(RD),按 16 只/667m²标准放养。各小区随机区组设计,3 次重复,每小区面积为 160m²。施肥按 N 180 kg/hm², P₂O₅ 90 kg/hm², K 150 kg/hm² 标准做基肥一次性施用。

1.4 田间管理及设置

田间开挖围沟深 30cm、宽 40cm,以便鸭子嬉水和取样。小区之间用泥巴砌成田埂,覆上地膜,防止肥水串流。以 4 指规格尼纶丝网沿田埂围隔,围网高度以 0.6~0.8m,以防鸭逃走。水稻种植方式以宽窄行栽插,各小区均实行浅水淹灌(无沟处水深 10cm)。水稻移栽后 10d 放鸭,至水稻齐穗期收鸭子,在此期间稻鸭共同生长,形成稻护鸭、鸭促稻的共生关系。在养鸭小区一角落放置一鸭棚,以便鸭子休憩和喂食。(其目的为防止饲料进入稻田土壤和水体);饲料为农家肉鸡花料,碳水化合物饲料,主要组分为玉米 60.2%,豆粕 27%,鱼粉 2%,菜粕 4%,棉粕 3%,磷酸氢钙 1.3%,石粉 1.2%,食盐 0.3%,添加剂 1%)饲料量根据田间饵料情况酌情补饲料,在水稻全生育期不进行化学除草治虫。

1.5 田间取样及室内分析

在放鸭后每隔 15d 进行 1 次采样,共采样 5 次,每次采样具体时间选择在 8:00~10:00 进行。具体步骤如下:

(1) 用水瓢在稻田中舀水,倒入 25 号浮游植物网中过滤,过滤后样品收集在 125ml 采样瓶中,加甲醛液固定,带回实验室,置于显微镜下,进行定性观察^[14,15]。

(2) 用采水器取水样 1L 倒入 1L 广口瓶中,加 15ml 碘液固定,带回实验室将水样倒入沉淀器,经 24h 沉淀后,用虹吸管吸掉上清液,余不足 30ml,转动活塞,将标本集于 30ml 的标本瓶中,并用少量清液清洗沉淀器 2~3 次,直至水液达到标本瓶中 30ml 刻度为止,加少量甲醛液固定,待计数用^[15,16]。

(3) 藻类植物的计数,将标本摇匀,待充分均匀后,用 0.1ml 定量吸管,吸取标本液 0.1ml,置于 0.1ml 计数框内,复以盖玻片计数,不同门类的藻类植物计数按章宗涉等的方法进行^[15,16]。

(4) 生物量测定,在计数的基础上,通过对个体体积的抽样测量,按水的比重换算成重量^[15,16]。

(5) 水体化学性质测定,总氮(TN)含量采用过硫酸钾氧化-紫外分光光度法测定;总磷(TP)含量采用过硫酸钾氧化-钼蓝比色法;溶解氧(DO)采用碘量法;pH 值采用带有玻璃电极的酸度计测定;化学需氧量(COD)采用重铬酸钾法;生化需氧量(BOD₅)采用稀释接种法^[17]。

1.6 数据分析与处理

运用 Shannon-Weiner 和 Simpson 多样性指数研究藻类多样性指数^[18,19]。

试验结果均以每次测得的 3 次重复平均值与标准差来表示,试验数据采用 EXCEL-2003 软件统计分析。

2 结果与分析

2.1 水体理化性状

由表可见(表 1),随着水稻生育进程,稻田水体营养水平提高,表现为水体 TP、COD、BOD 都有明显增加。与对照相比,稻鸭共育可以显著降低水体的 pH 值,增加水体的化学需氧量和生化需氧量,对稻田水体营养物质 TN、TP 影响差异主要体现在后期(水稻分蘖盛期以后),表现为养鸭区水体的全氮低于对照区,而全磷含量高于对照区,差异显著。稻田水体 DO 呈一定的日变化规律(图 1),稻鸭共育稻田水体 DO 在 23:00 点至次日 11:00 点要高于对照区,其他时段则低于对照,差异显著。

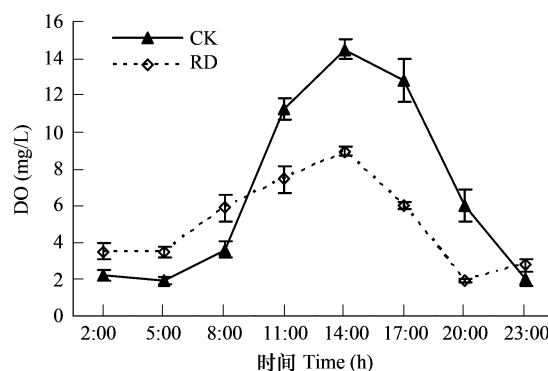


图1 不同稻田生态系统水体 DO 日变化

Fig. 1 Daily variations of DO in paddy water between different paddy ecosystems

表 1 不同稻田生态系统水体理化性质动态变化

Table 1 Changes of the physical and chemical properties in paddy water under different paddy ecosystem

采样时间 Sampling time (DAPD)	处理 Treatment	pH	TN (mg·L ⁻¹)	TP (mg·L ⁻¹)	DO (mg·L ⁻¹)	COD _{Cr} (mg·L ⁻¹)	BOD ₅ (mg·L ⁻¹)
0	CK	9.04 ± 0.07a	6.08 ± 0.41a	0.20 ± 0.06a	4.73 ± 0.38a	28.42 ± 0.98a	2.90 ± 0.52a
	RD	9.00 ± 0.21a	5.74 ± 0.81a	0.22 ± 0.05a	4.07 ± 0.20a	29.39 ± 1.96a	2.38 ± 0.81a
15	CK	8.90 ± 0.21a	4.52 ± 1.13a	0.26 ± 0.05a	3.60 ± 0.55a	28.83 ± 2.71a	2.09 ± 0.47a
	RD	7.47 ± 0.03b	5.23 ± 0.51a	0.31 ± 0.05a	5.15 ± 0.44a	38.94 ± 2.99b	3.14 ± 0.66a
31	CK	8.58 ± 0.37a	3.26 ± 0.45a	0.12 ± 0.03a	3.50 ± 0.53a	33.10 ± 1.29a	5.69 ± 0.48a
	RD	7.41 ± 0.08b	1.04 ± 0.35b	0.16 ± 0.06a	5.26 ± 0.93a	41.15 ± 1.69b	9.02 ± 1.07b
44	CK	7.76 ± 0.18a	4.06 ± 0.49a	0.78 ± 0.05a	4.07 ± 0.75a	41.39 ± 0.77a	9.46 ± 1.51a
	RD	7.29 ± 0.04b	2.09 ± 0.31b	1.00 ± 0.10b	7.57 ± 1.03a	49.26 ± 1.74b	15.77 ± 1.14b
60	CK	8.42 ± 0.06a	7.00 ± 1.30a	0.52 ± 0.13a	4.51 ± 0.59a	35.36 ± 0.19a	8.96 ± 0.47a
	RD	7.49 ± 0.02b	4.74 ± 0.65b	0.64 ± 0.05b	7.69 ± 1.61a	41.77 ± 1.73b	9.53 ± 0.56a

同一列相同字母表示在 5% 水平上差异不显著,DAPD:放鸭后天数,下同 Common letters in a column are not significantly different at the 5% level; DAPD: days after putting into ducks; the same below

2.2 藻类植物群落的组成

种类动态变化分析(图 2),5 次采样藻类群落主要包括蓝藻门、绿藻门、硅藻门及裸藻门,隐藻门及甲藻

门共 6 门 38 属 108 种。研究表明,稻鸭共作对稻田藻类种类数量影响不大,而改变藻类各门间的构成比例。与对照相比,放鸭区前期(放鸭后前 1 个月)种类数差异不明显,后期(放鸭 1 个月后)放鸭区绿藻种类数显著减少,而裸数种类数显著增加。

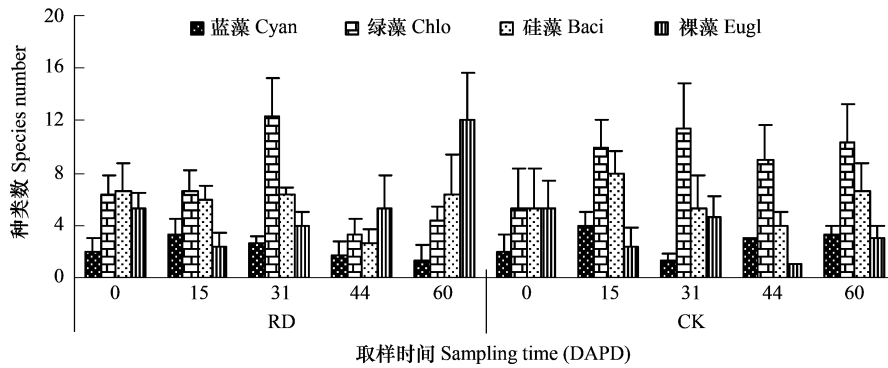


图2 不同稻田生态系统水体藻类群落种类变化

Fig. 2 Number change of the algal species in paddy water under different paddy ecosystems

藻类构成动态分析表明(表 2),蓝藻门 5 次取样共有 4 属 9 种,不同处理间蓝藻种类差异不大,前期以个体较小的银灰平裂藻为常见种,而个体较大的小颤藻、点形念珠藻和固氮鱼腥藻则出现在水稻生育后期,颤藻

表 2 不同稻田生态系统藻类常见种变化

Table 2 Change of the common algal species in paddy water under different paddy ecosystem

采样时间 Sampling time	RD	CK
0	银灰平裂藻, <i>Merismopedia glanca</i> *; 四尾栅藻 <i>Scenedesmus quadricauda</i> *; 绿色裸藻, <i>Euglena viridis</i> *; 嗜蚀隐藻, <i>Cryptomonas erosa</i> *; 尖针杆藻, <i>Synedra acus</i> ; 短小舟形藻, <i>Navicula exigua</i> ; 弯曲栅藻, <i>Scenedesmus arcuatus</i> ; 十字藻, <i>Crucigenia apiculata</i> ; 梭形裸藻, <i>Euglena acus</i>	银灰平裂藻, <i>Merismopedia glanca</i> *; 四尾栅藻 <i>Scenedesmus quadricauda</i> *; 绿色裸藻, <i>Euglena viridis</i> *; 嗜蚀隐藻, <i>Cryptomonas erosa</i> *; 尖针杆藻, <i>Synedra acus</i> ; 短小舟形藻, <i>Navicula exigua</i> ; 弯曲栅藻, <i>Scenedesmus arcuatus</i> ; 十字藻, <i>Crucigenia apiculata</i> ; 梭形裸藻, <i>Euglena acus</i>
15	四角盘星藻, <i>Pediastrum tetras</i> *; 四尾栅藻, <i>Scenedesmus quadricauda</i> *; 绿色裸藻, <i>Euglena viridis</i> *, 嗜蚀隐藻, <i>Cryptomonas erosa</i> *, 银灰平裂藻, <i>Merismopedia glanca</i> ; 灿烂颤藻, <i>Oscillatoria splendida</i> ; 尖针杆藻, <i>Synedra acus</i> , 二形栅藻, <i>Scenedesmus dimorphus</i> ; 弯曲栅藻, <i>Scenedesmus arcuatus</i>	尖针杆藻, <i>Synedra acus</i> *, 窄异极藻, <i>Gomphonema angustatum</i> *, 四尾栅藻, <i>Scenedesmus quadricauda</i> *, 绿色裸藻, <i>Euglena viridis</i> *, 银灰平裂藻, <i>Merismopedia glanca</i> ; 优美平裂藻, <i>Merismopedia elegans</i> ; 灿烂颤藻, <i>Oscillatoria splendida</i> ; 卵形双菱藻, <i>Surirella ovata</i> ; 四角盘星藻, <i>Pediastrum tetras</i> ; 弯曲栅藻, <i>Scenedesmus arcuatus</i> ; 四尾栅藻, <i>Scenedesmus quadricauda</i>
31	二形栅藻, <i>Scenedesmus dimorphus</i> *; 弯曲栅藻, <i>Scenedesmus arcuatus</i> *; 尖尾裸藻, <i>Euglena oxyuris</i> *; 三棱扁裸藻, <i>Phacus triqueter</i> *; 嗜蚀隐藻, <i>Cryptomonas erosa</i> *; 银灰平裂藻, <i>Merismopedia glanca</i> ; 灿烂颤藻, <i>Oscillatoria splendida</i> ; 尖针杆藻, <i>Synedra acus</i> ; 瞳孔舟形藻, <i>Navicula pupula</i> ; 窄异极藻, <i>Gomphonema angustatum</i> ; 谷皮菱形藻, <i>Nitzschia palea</i> ; 四足十字藻, <i>Crucigenia tetrapedia</i> ; 小空星藻, <i>Coelastrum microporum</i>	谷皮菱形藻, <i>Nitzschia palea</i> *; 四尾栅藻, <i>Scenedesmus quadricauda</i> *; 方鼓藻, <i>Cosmarium quadrum</i> *; 嗜蚀隐藻, <i>Cryptomonas erosa</i> *; 尖针杆藻, <i>Synedra acus</i> ; 四角盘星藻, <i>Pediastrum tetras</i> ; 弯曲栅藻, <i>Scenedesmus arcuatus</i> ; 绿色裸藻, <i>Euglena viridis</i> ; 尖尾裸藻, <i>Euglena oxyuris</i> ; 三棱扁裸藻, <i>Phacus triqueter</i>
44	绿色裸藻, <i>Euglena viridis</i> *; 梭形裸藻, <i>Euglena acus</i> *; 三棱扁裸藻, <i>Phacus triqueter</i> *; 优美平裂藻, <i>Merismopedia elegans</i> ; 谷皮菱形藻, <i>Nitzschia palea</i> ; 方鼓藻, <i>Cosmarium quadrum</i> ; 嗜蚀隐藻, <i>Cryptomonas erosa</i>	短小舟形藻, <i>Navicula exigua</i> *; 锐新月藻, <i>Closterium acerosum</i> *; 方鼓藻, <i>Cosmarium quadrum</i> *; 固氮鱼腥藻, <i>Anabaena azotica</i> ; 灿烂颤藻, <i>Oscillatoria splendida</i> ; 美丽鼓藻, <i>Cosmarium formosulum</i> ; 嗜蚀隐藻, <i>Cryptomonas erosa</i>
60	绿色裸藻, <i>Euglena viridis</i> *; 尖尾裸藻, <i>Euglena oxyuris</i> *; 长尾扁裸藻, <i>Phacus longicauda</i> *; 中间异极藻, <i>Gomphonema intricatum</i> ; 粗壮双菱藻, <i>Surirella robusta</i> ; 锐新月藻, <i>Closterium acerosum</i> ; 实球藻, <i>Pandorina morum</i> ; 非洲团藻, <i>Volvox africanus</i> ; 扭曲扁裸藻, <i>Phacus tortus</i> ; 扭叶扁裸藻, <i>Phacus tortifolius</i>	灿烂颤藻, <i>Anabaena azotica</i> *; 方鼓藻, <i>Cosmarium quadrum</i> *; 美丽鼓藻, <i>Cosmarium formosulum</i> *; 嗜蚀隐藻, <i>Cryptomonas erosa</i> *; 点形念珠藻, <i>Nostoc punctiforme</i> ; 尖针杆藻, <i>Synedra acus</i> ; 短小舟形藻, <i>Navicula exigua</i> ; 池生菱形藻, <i>Nitzschia stagnorum</i> ; 实球藻, <i>Pandorina morum</i> ; 四角盘星藻, <i>Pediastrum tetras</i>

* 优势种 Represented as predominant species.

属的灿烂颤藻在水稻全生育期都有发现。绿藻门在稻田水体种类数最多的,5次取样共发现绿藻 16 属 35 种,不同时期变化较大,前期以二形栅藻,弯曲栅藻和四尾栅藻为常见种,后期常见种为锐新月藻和方鼓藻;对照区绿藻种类数一直最多,在水稻生育后期优势更为明显,而稻鸭区在放鸭 45d 后种类数显著下降。硅藻门 5 次采样有 10 属 25 种,不同时期变化不大,全生育期以短小舟形藻和尖针杆藻为常见种,不同处理之间差异不显著。裸藻门 5 次取样共发现 4 属 36 种,其中绿色裸藻在全生育期皆为常见种;不同处理间前期裸藻种类数差异不大,在水稻生育后期,放鸭区的裸藻种类数要明显高于 CK。隐藻门就只发现啮蚀隐藻,其在水稻各生育期都有发现,是常见种。甲藻门在 5 次采样中发现不多,只有薄甲藻和光薄甲藻。

2.3 藻类植物群落的密度、生物量

2005 年藻类群落密度采样表明(图 3),不同处理比较,对照区密度较高,除放鸭初期密度较低,其他都维持 $1.0 \times 10^6 \text{ ind} \cdot \text{L}^{-1}$ 以上,尤其在放鸭后第 15 天左右达到最高,总密度高达 $2.66 \times 10^6 \text{ ind} \cdot \text{L}^{-1}$,而放鸭区只在放鸭第 45 天高于 $1.0 \times 10^6 \text{ ind} \cdot \text{L}^{-1}$,达 $1.69 \times 10^6 \text{ ind} \cdot \text{L}^{-1}$,其他各期都低于 $1.0 \times 10^6 \text{ ind} \cdot \text{L}^{-1}$,特别是在放鸭后第 15 天最低,为 $10.49 \times 10^3 \text{ ind} \cdot \text{L}^{-1}$ 。在藻类构成上,对照区以硅藻、绿藻及蓝藻为主,而放鸭区以裸藻、绿藻为主,其种变化动态见表 4。

藻类生物量分析表明,对照区藻类生物量都要高于放鸭区,水稻移栽第 25 天后生物量维持在 $5.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$

以上,受锐新月藻,方鼓藻,美丽鼓藻生物量高所影响,第 55 天甚至高达 $16.70 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。放鸭区各时期藻类生物量要显著低于对照,在放鸭后 15d 最低,只有 $0.077 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,移栽后 55d 达到最高, $6.93 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。在藻类构成上,对照区前期以裸藻,硅藻为主,后期则绿藻占明显优势;而放鸭区以裸藻为主,除放鸭后第 15 天略低,裸藻生物量占藻类总生物量的 37%,其他时期裸藻生物量比值都高于 50%。具体优势种变化动态见表 4。

2.4 多样性指数

属多样性指数动态进行分析表明(图 5),处理间两种生物多样性指数都呈降-升-降的趋势。与常规稻田相比,稻鸭区在放鸭后前 1 月内变化不大,在放鸭 1 月后多样性指数下降,在最后 2 个时期(分别为水稻孕穗期及齐穗期)差异显著,这主要是因为放鸭区在后期裸藻优势度显著增加所致。

3 小结与讨论

稻鸭共育技术作为一项种养复合、环境友好的无公害综合农业技术,具有明显的生态、经济和社会效益。稻田产出比较表明(表 3),和对照相比,稻鸭共育稻田水稻经济产量和生物产量差异不显著,考虑到鸭子的产出,稻鸭共育稻田总产值要显著高于常规稻作。目前稻鸭共育在中国南方稻区发展迅速,在各科研单位掀起了一股研究热潮,但对其生态学功能及其共生的内在机理等方面仍有待研究。

影响稻田藻类的生态因素很多,诸如光强、溶解氧、酸碱度、营养水平、水体微生物及水生动物等的作用^[20,21]。稻鸭共生由于鸭子的加入形成了一个复合种养的生态系统,鸭群的活动及鸭子的排泄使整个系统“复杂”起来。稻田养鸭对稻田水体藻类的影响很多,稻鸭养鸭对水体藻类的影响主要体现 3 个方面:即水体混水扰动、粪便排放及鸭子的取食等。

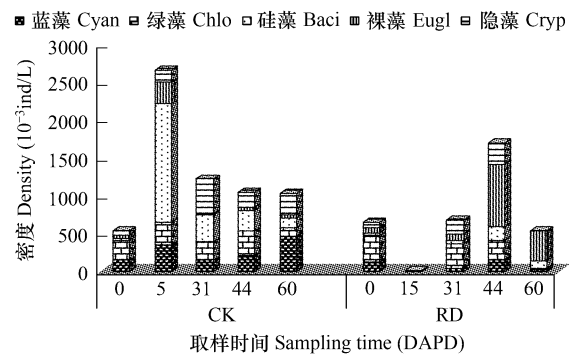


图 3 不同稻田生态系统藻类密度动态变化

Fig. 3 Change of the algal density in paddy water under different paddy ecosystems

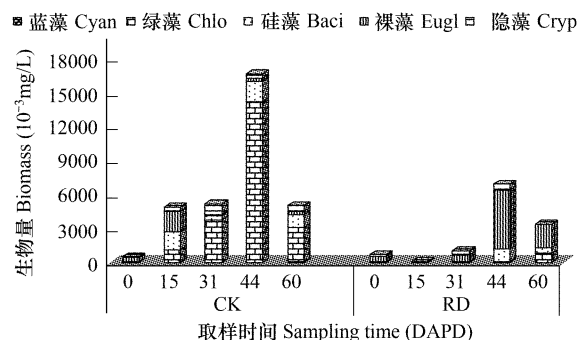


图 4 不同稻田生态系统藻类生物量动态变化

Fig. 4 Change of the algal biomass in paddy water under different paddy ecosystem

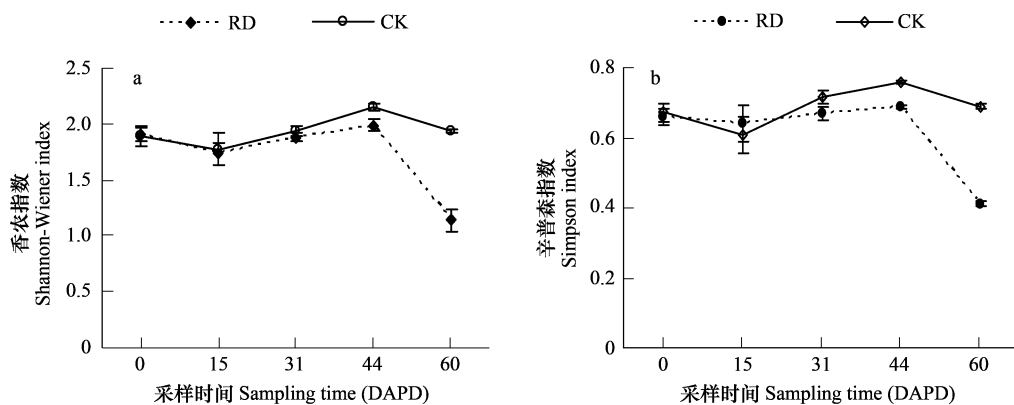


图5 不同稻田生态系统藻类多样性指数

Fig. 5 Change of the genus diversity in paddy water under different paddy ecosystems

表3 不同稻田生态系统产量及产值分析

Table 3 The yield and output value under different paddy ecosystem

处理 Treatments	水稻经济产量 Rice economic yield (kg/hm ²)	水稻生物产量 Rice Biomass yield (kg/hm ²)	水稻产值 Rice output value (yuan/hm ²)	鸭子产值 Duck output value (yuan/hm ²)	总产值 Total output value (yuan/hm ²)
CK	7470a	14641a	11952a	0a	19422a
RD	7800a	15288a	12480a	4325b	24605b

稻谷价格按 1.6 元/千克计算 The price of rice was calculate by 1.6 yuan/kg

鸭子往往在温度较低的凌晨和傍晚出来活动寻食,而温度较高的正午停在田边或鸭棚休息^[1,5]。鸭子的活动一方面加快了稻田水体水气交换,能促进水体 DO 含量增加,另一方面,鸭子的活动导致水体浊度的增加,光照强度变低,抑制水体浮游植物(主要是藻类植物)进行光合作用,从而减少水体 DO 含量,由此导致稻鸭共育水体 DO 含量呈现相应的日变化规律。在稻鸭共育稻田里,鸭子的混水降低水体的透光率,致使对光照要求严格的绿藻、硅藻显著降低,而对光照要求相对较少的蓝藻则变化不大^[22]。此外,稻田养鸭对水稻植株的扰动可促进水稻的生长,水稻生长旺盛,根活力增强,促进根系的活动,加强了根系向水体分泌物质,并增加其泌氧能力^[2]。

鸭粪的排放可明显改善稻田水体的理化性质,据测定在稻鸭共育两个月的时间里,1 只鸭排泄在稻田里的粪便约 10 kg,这相当于氮 47g、磷 70g、钾 31g^[1]。可见粪便的排放可提高水体总氮、总磷、总钾浓度, COD、BOD₅ 上升,促进养分循环,有利于水体中的浮游植物、浮游动物和底栖动物数量的增加,刺激水稻的生长发育^[1,2]。水稻植株生长旺盛,导致水稻吸 N 量增加,可能要大于鸭粪的贡献量,由此导致水体 N 素减少,故稻鸭共育稻田水体在水稻生育后期含 N 量比对照要低。稻鸭共育稻田裸藻数量增加,可能与裸藻喜欢生长于有机质含量高的水体,而稻田鸭粪增加水体的营养水平有关^[23]。对环境因子与藻类群落相关分析表明(表 3),全磷与裸藻密度和藻类总生物量存在显著正相关,与藻类物种数量存在一定的负相关,为 -0.583。DO、BOD₅ 与裸藻密度存在显著正相关,而 pH、TN、COD 与藻类相关性不显著。可见,TP 是最重要的环境制约因子,裸藻受环境影响最大。

稻鸭共育稻田水体生态系统水体食物链由水体营养物质、水体微生物、藻类、水生动物及鸭子等构成,鸭子取食改变了稻田水体水生生物食物链结构^[9,24,25]。鸭子作为滤食性动物,放鸭稻田水体原生动物显著降低,轮虫及桡足类动物亦有所下降,考虑到稻田水生植物(主要是藻类)与水生动物存在着食物链关系,鸭子因采食水生动物而改变了稻田水生生物食物链结构,必然会影响到藻类群落组成及数量^[12,26]。因此,加强对稻田水体藻类植物和水生动物的相关性分析,有利于更好地分析稻鸭共育对水体生态系统水生生物群落的

影响。

表 3 环境因子与藻类群落相关分析表

Table 3 Correlation matrix between the environmental factors and the algae in paddy water

	蓝藻密度 Cyanophyta density	绿藻密度 Chlorophyta density	硅藻密度 Bacillariophyta density	裸藻密度 Euglenophyta density	藻类种类总数 Total algal number	藻类密度总量 Total algal density	藻类生物总量 Total algal biomass	Shannon- Wiener index
pH	0.485	0.371	0.363	-0.418	0.218	0.260	-0.198	0.221
TN	0.417	-0.378	-0.044	-0.403	0.040	-0.224	-0.162	-0.134
TP	0.104	-0.154	-0.117	0.697 *	-0.583	0.176	0.625 *	0.010
DO	-0.433	-0.447	-0.380	0.751 **	-0.277	-0.198	-0.111	-0.549
COD	-0.333	-0.234	-0.352	0.599	-0.389	-0.101	0.354	-0.075
BOD5	0.016	-0.007	-0.280	0.653 *	-0.356	0.130	0.465	0.122

“*”表示在 5% 水平上差异显著; “**”表示在 1% 水平上差异显著, $n=10$ “*” means significant difference at 5% level, “**” means significant difference at 1% level, $n=10$

藻类群落分析表明,与对照相比,稻鸭共育稻田在放鸭后第 15 天,稻田水体藻类密度及生物量显著降低,之后开始回升。这说明藻类群落需要时间去适应一个新的环境,即要有一个适应期^[27]。2005 年藻类群落动态变化表明,随着水稻生育进程,藻类优势种单位生物量增加。稻田水体前期以银灰平裂藻,四尾栅藻,绿色裸藻为优势种,后期对照以方鼓藻,灿烂颤藻,短小舟形藻等为优势种,以绿藻门为主;而稻鸭共育区优势种为绿色裸藻,尖尾裸藻,梭形裸藻等,都属于裸藻门。这是因为随着水稻生育进程,稻田水体营养水平提高所致^[9,28]。

总体而言,稻鸭共育对稻田水体藻类群落的影响是多方面的。因此,有必要把水体环境、水生植物、水生动物、水稻生长及鸭子的生活习性结合起来进行研究,探明稻鸭共生对稻田水体生态系统的作用,建立水体藻类群落动态变化模型,从而为规范稻鸭共生水分管理、鸭子放养数量的确定及鸭饲料管理提供理论依据,促进稻鸭共生技术的推广应用,还需要进一步研究。

References:

- [1] Shen X K. Rice-duck Farming — The New No-pollution-and- Organic-Rice Production Technology. Beijing: Agricultural Science and Technological Press in China, 2003. 35 — 36.
- [2] Hossain S T, Sugimoto H, Ahmed G J U, Islam M R. Effect of integrated rice-duck farming on rice yield, farm productivity, and rice-provisioning ability of farmers. Asian Journal of Agriculture and Development, 2005, 2(1): 79 — 86.
- [3] Wang Q S, Huang P S, Zhen R H, Jing L M, Tang H B, Zhang C Y. Effect of rice-duck mutualism on nutrition ecology of paddy field and rice quality. Chinese Journal of Applied Ecology, 2004, 15 (4): 639 — 645.
- [4] Yang Z H, Huang H, Wang H. Paddy soil quality of wetland rice-duck complex ecosystem. Chinese Journal of Soil Science, 2004, 35 (2): 117 — 121.
- [5] Huang Y, Wang H, Huang H, Yang, Z H, Luo, Y C. Characteristics of methane emission from wetland rice duck complex ecosystem. Agriculture Ecosystems & Environment, 2005, 105(1): 181 — 193.
- [6] Ekurem E, Ryohei Y. Comparative studies on behavior, weeding and pest control of duck free ranged in paddy fields. Japanese Poultry Science, 1996, 33: 261 — 267.
- [7] Thind H S, Rowell D L. Effects of algae and fertilizer-nitrogen on pH, Eh and depth of aerobic soil in laboratory columns of a flooded sandy loam. Biology and Fertility of Soils, 1999, 28 (2): 162 — 168.
- [8] Zhang Q M, Tie W X, Huo F Y, Zhu Z L. Algae function in paddy field ecosystem and its effect on reducing ammonia volatilization from paddy fields. Soil, 2006, 38 (6): 814 — 819.
- [9] Wang J P, Cao C G, Jin H, Wang C F, Liu F H. Effects of rice-duck farming on aquatic community in rice fields. Sci. Agric Sinica, 2006, 39 (10): 2001 — 2008.
- [10] Yamazaki M, Hamada N, Kamimoto T, Momii T, Kimura M. Habitats of aquatic organisms in a paddy field during flooding period. Edaphologia, 2004, 74: 1 — 10.

- [11] Yamazaki M, Hamada Y, Kamimoto N, Momii T, Kimura M. Composition and structure of aquatic organism communities in various water conditions of a paddy field. *Ecology Research*, 2004, 19: 645–653.
- [12] Yamazaki M, Yasuda N, Yamada T, Ota K, Kimura M. Comparison of aquatic organisms communities between paddy fields under rice-duck (Aigamo) farming and paddy fields under conventional farming. *Soil Science and Plant Nutrition*, 2004, 50 (3): 375–383.
- [13] Cao C G, Wang J P, Jin H, Yuan W L, Liu F H. Effect of rice-duck farming on algal community in paddy field. *Acta Hydro Sinica*, 2007, 31 (1): 146–148.
- [14] Saikia S K, Das D N. Feeding ecology of common carp (*Cyprinus carpio* L.) in a rice fish culture system of the Apatani Plateau (Arunachal Pradesh, India). *Aquatic Ecology*, 2008, DOI 10.1007/s10452-008-9174-y.
- [15] Zhang Z S, Huang X F. *Research Methods of Fresh-Water Plankton*. Beijing: Science Press, 1991. 232–257.
- [16] Canter-Lund H J, Lund W G. *Freshwater algae: their microscopic world explored*. Biopress Limited, Bristol, England, 1995. 21–31.
- [17] SEPA. *Methods for examination of water and wastewater*. Beijing: China Environmental Science Press, 2002. 256–258, 278–280.
- [18] Ma K P. The methods of measuring community diversity. I. measurement of a diversity. *Chinese Biodiversity*, 1994, 2(3): 162–168.
- [19] Maguran A E. *Ecological diversity and its measurement*. Princeton. Princeton University Press, 1988. 121–124.
- [20] Hang M S. *Fresh Water Biology*. Beijing: Agricultural Press, 1998. 41–44.
- [21] Golterman H L. The Labyrinth of nutrient cycles and buffers in wetlands: Results based on research in the camargue (Southern France). *Hydrobiologia*, 1995, 315(1): 39–58.
- [22] Madoni P. The Contribution of Ciliated Protozoa to Plankton and Benthos Biomass in a European Ricefield. *Journal of Eukaryotic Microbiology*, 2007, 43 (3): 193–198.
- [23] Scheffer M, Rinaldi S, Gagnani A, Mur L R, Vannes E H. On the dominance of filamentous cyanobacteria in shallow, turbid lakes. *Ecology*, 1997, 78 (1): 272–282.
- [24] Atsushi M, Yoshito Y. Development of food web analysis using stable isotope ratios in the paddy field aquatic ecosystem. *Drainage and Reclamation Engineering*, 2005, 240: 671–680.
- [25] d'Oultremont T, Gutierrez A P. A multitrophic model of a rice-fish agroecosystem I. A tropical fishpond food web. *Ecological Modelling*, 2002, 156 (2-3): 123–142.
- [26] Cao C G, Wang J P, Deng H. The impact of rice-duck intergrowth on aquatic animals community of rice fields. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25 (10): 2644–2649.
- [27] Burgi H, Stadelmann P. Change of phytoplankton composition and biodiversity in Lake Sempach before and during restoration. *Hydrobiologia*, 2002, 469: 33–48.
- [28] Giorgi A, Malacalza L. Effect of an industrial discharge on water quality and periphyton structure in a pampean stream. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2002, 75 (2): 107–119.

参考文献:

- [1] 沈晓昆. 稻鸭共作——无公害有机稻米生产新技术. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2003. 35–36.
- [3] 王强盛, 黄丕生, 甄若宏, 荆留明, 唐和宝, 张春阳. 稻鸭共作对稻田营养生态及稻米品质的影响. *应用生态学报*, 2004, 15(4): 639–645.
- [4] 杨志辉, 黄璜, 王华. 稻-鸭复合生态系统稻田土壤质量研究. *土壤通报*, 2004, 35(2): 117–121.
- [8] 张启明, 铁文霞, 尹斌, 贺发云, 朱兆良. 藻类在稻田生态系统中的作用及其对氨挥发损失的影. *土壤*, 2006, 38(6): 814–819.
- [9] 汪金平, 曹凑贵, 金晖, 王昌付, 刘丰颢. 稻鸭共生对稻田水生生物群落的影响. *中国农业科学*, 2006, 39(10): 2001–2008.
- [13] 曹凑贵, 汪金平, 金晖, 袁伟玲, 刘丰颢. 稻鸭共育对稻田水体藻类群落的影响. *水生生物学报*, 2007, 31(1): 146–148.
- [15] 章宗涉, 黄祥飞. *淡水浮游生物研究方法*. 北京: 科学出版社, 1991. 232–257.
- [17] 国家环保总局. *水和废水分析方法*. 北京: 中国环境科学出版社, 2002. 256–258, 278–280.
- [18] 马克平. 生物群落多样性的测度方法 I a 多样性的测度方法(上). *生物多样性*, 1994, 2(3): 162–168.
- [20] 韩茂森. *淡水生物学*. 北京: 农业出版社, 1998. 41–44.
- [26] 曹凑贵, 汪金平, 邓环. 稻鸭共生对稻田水生动物群落的影响. *生态学报*, 2005, 25 (10): 2644–2649.