

稻鱼共作生态系统浮游植物群落结构和生物多样性

袁伟玲, 曹凑贵*, 汪金平, 蔡明历, 王昌付

(华中农业大学作物栽培与生理生态研究中心, 湖北武汉 430070)

摘要: 稻鱼共作技术是中国传统农业的精华, 通过对稻鱼共作系统水体浮游植物的种类组成、密度、生物量及多样性进行分析, 明确该系统中浮游植物数量变化特性, 为进一步开发利用这一经典农艺提供理论基础和实践依据。结果表明, 稻田生态系统中浮游植物群落包含蓝藻门、甲藻门、隐藻门、裸藻门、绿藻门和硅藻门等 6 门, 共 38 属 93 种。稻鱼共作显著增加稻田水体浮游植物的密度和生物量, 降低硅藻和蓝藻的优势度, 增加绿藻和裸藻的优势度, 提高了稻田水体浮游植物多样性指数。

关键词: 稻鱼共作; 浮游植物; 密度; 生物量; 优势种; 多样性

The community structure and diversity of phytoplankton in rice-fish ecological system

YUAN Weiling, CAO Coughui*, WANG Jinping, CAI Mingli, WANG Changfu

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

Abstract: The rice-fish ecological system is one of the classics practices from the traditional Chinese agriculture. The species composition, density, biomass and diversity of phytoplankton in rice-fish ecological system were investigated to reveal its quantitative characteristics and provide theoretical and practical basis for further development and utilization of this classical agricultural technique. The results showed that there were 6 phyla, 38 genera and 93 species in the plots, including Cyanophyta, Chlorophyta, Bacillariophyta, Euglenophyta, Cryptophyta, and Pyrrophyta. Compared to CK, the rice-fish ecological system increased its density and biomass, decreased the predominance of Bacillariophyta and Cyanophyta, and increased the diversity index.

Key Words: rice-fish ecological system; phytoplankton; density; biomass; predominance; diversity

稻-鱼共作系统是以稻作水田为条件, 以种稻为中心, 充分利用稻田立体空间, 光、热、水及生物资源的高效人工湿地生态系统^[1-2]。这种模式将种植业与养殖业有机结合起来, 最大限度地提高稻田产出率, 已成为我国南方稻作区提高水稻栽培产量和生态经济效益的一种主要种养模式^[3-8]。浮游植物 (Phytoplankton) 作为稻田水体生态系统微生物主要类群之一, 不仅是其能源的重要提供者, 同时还具有吸收固持 N、P, 增加土壤有机质含量, 改善土壤物理性状, 提高土壤肥力, 促进水稻生长等作用^[9]。其生长繁殖除受到自身生物学特性, 外界环境因素如温度、营养盐的影响以外, 还受其他生物和人为活动的影响^[10-11]。目前对浮游植物研究多集中于河流、湖泊和海洋, 关于稻田水体浮游植物的研究尚未见报道^[12-15]。本文通过田间试验对稻鱼共作系统水体浮游植物的种类组成、密度、生物量及多样性进行分析, 明确该系统中浮游植物数量变化特性, 为合理利用稻田水体浮游植物, 进一步开发利用稻鱼共作这一经典农艺提供理论基础和实践依据。

1 材料与方法

1.1 试验地点与土壤

试验于 2006 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性沉积

基金项目: 国家重大科技专项资助项目 (2004BA520A02)

收稿日期: 2008-09-11; **修订日期:** 2008-11-28

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

物发育的水稻土,耕层土壤厚 20 cm,下为 10 cm 厚的犁底层。其基本肥力性质为:全 N1.09 g/kg,全 P1.17 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 试验设计

试验设 2 个处理:(1)放鱼 200 条(RF);(2)不放鱼(CK),各小区随机区组设计,3 次重复。小区面积为 160 m²。中稻品种为两优培九(*Oryza sativa* Liangyoupeijiu),鱼为鲫鱼(*Carassius auratus gibelio*)。

水稻于 4 月 20 日播种,5 月 26 日移栽,9 月 5 日收获。小区间用泥巴砌成田埂,覆上地膜,防止肥水串流。田间开挖围沟,深 30 cm、宽 40 cm。于返青期(6 月 10 日)放入 200 尾鱼苗(按 15 000 条/hm²,长约 5cm),齐穗期(8 月 20 日)收回,养鱼期间田间水深维持在 8cm;收鱼后稻田不再灌溉。水稻种植方式以宽窄行栽插。在水稻全生育期不进行化学除草治虫、不施肥。

1.3 田间取样及室内分析

在放鱼后每隔约 15d 进行 1 次采样,水稻生育期共采样 5 次,每次采样在 8:00—10:00 进行。具体步骤如下^[16-17]:

(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。

(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。

(3) 浮游植物的计数 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,不同门类的浮游植物计数按章宗涉等^[18]的方法进行。

(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。

1.4 数据分析与处理

稻田水体温度为土层以下 10cm 处温度,水温和太阳辐射数据通过田间小气候自动观测仪测得。

对浮游植物定量分析的数据进行计算,得到优势度、物种多样性及均匀度指数。

优势度指数: $Y = n_i / N \cdot f_i$ (n_i 为第 i 种的个体数; f_i 为该种出现的频率; N 为每个种出现的总个体数)^[17]。

运用 Shannon-Weiner 多样性指数和均匀度(J)研究浮游植物多样性指数^[19]。

试验结果均以每次测得的 3 次重复分析的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 光照和水温变化

浮游植物生长、发育、繁殖和分布规律直接或间接受水温和光照的影响^[20]。图 1 显示了稻鱼共作系统水体温度与太阳辐射的动态变化。稻鱼共作期间,RF 和 CK 中水体温度均呈升-降-升-降的趋势,且平均温度分别为 $(28.27 \pm 0.96) ^\circ\text{C}$ 和 $(28.00 \pm 0.75) ^\circ\text{C}$ ($P < 0.05$)。在这个温度区间,适合多种浮游植物生长和繁殖;且在此温度范围内,鲫鱼的活动量较大,新陈代谢旺盛^[21]。太阳辐射变化与温度变化趋势基本一致,其平均值为 114.40 W/m^2 ,最高值出现在 7 月 20 日,为 128 W/m^2 。

2.2 浮游植物群落的组成

稻田生系统浮游植物群落包含蓝藻门、甲藻门、隐

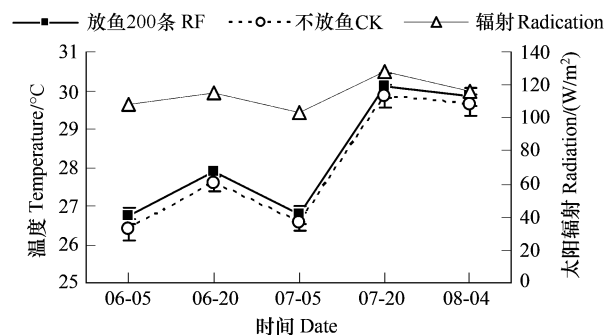


图 1 稻鱼共作系统水体温度与太阳辐射动态变化

Fig. 1 Variation of water temperature and radiation in rice-fish ecological system

藻门、裸藻门、绿藻门、硅藻门等六门,共 36 属 107 种组成。从调查结果看,RF 中种类最多的为绿藻门,共 14 属 27 种,占浮游植物种类总数的 25.23%;其次是裸藻门和硅藻门,为 4 属 23 种和 8 属 22 种,分别占浮游植物种类总数的 21.50% 和 20.56%。隐藻门和甲藻门均仅 1 种,占浮游植物种类总数的 0.93%。与 RF 和 CK 相比,水源区浮游植物种类数较少,且 RF 中水体浮游植物种类数显著($P < 0.05$)多于 CK 处理。这可能与水体流动、水体营养水平及鱼类捕食有关^[22]。

2.3 密度

由图 2 可见,水稻分蘖初期(放鱼初期),RF 和 CK 中浮游植物密度都比较低,分别为 0.53×10^6 ind/L 和 0.47×10^6 ind/L,这可能由于刚引入了外来水源。水稻分蘖盛期,由于稻田中丰富营养及光照,浮游植物密度显著增加。放鱼后 15d,RF 中总密度达到最大为 3.17×10^6 ind/L。而 CK 中浮游植物密度在 7 月 5 日达到最高,为 1.89×10^6 ind/L。随后逐渐降低,一方面可能是由于鱼取食的原因^[22];另一方面,到水稻分蘖盛期后,由于水稻生长对营养及光照的竞争使得浮游植物的密度降低^[23]。从整个研究期间看,RF 和 CK 处理平均密度分别为 1.42×10^6 ind/L 和 1.15×10^6 ind/L。稻田水体中浮游植物密度随时间的波动较大,可能是由于稻田水体条件不稳定,浮游植物易受环境及其他外界因素如引入水源、鱼的活动等影响。

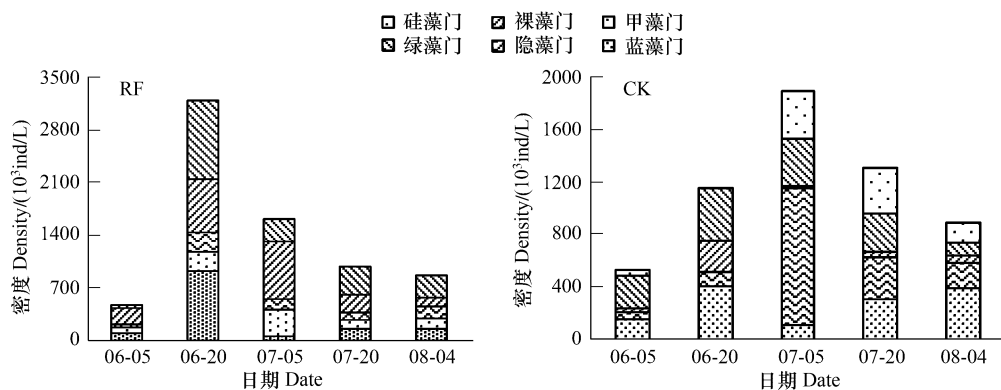


图 2 稻鱼共生生态系统浮游植物密度动态变化

Fig. 2 Variation of the phytoplankton density in rice-fish ecological system

2.4 生物量

由图 3 可见,RF 中水体浮游植物的平均数量为 9.37 mg/L,其中主要是裸藻、硅藻和绿藻,它们分别占其总量的 23.47%、29.87% 和 24.54%,其次是隐藻,为 15.70%;甲藻最少为 0.04%。而 CK 中水体浮游植物的平均数量为 6.99 mg/L,其中主要是绿藻、硅藻和蓝藻,分别占总个体数量的 28.70%、28.47% 和 19.37%。图 3 显示放鱼一个月(7 月 5 日)后,浮游植物生物量显著降低,可能是由于鱼的取食改变了稻田水体水生生物食物链结构^[17],使得不同藻类的种类和数量发生变化引起的。水稻生长前期,放入的鱼处于稚鱼阶段,主要嗜食浮游动物(包括小型的枝角类、挠足类和轮虫),其期间稻田水体中营养丰富,光照充足,浮游植物生物量显著增加。水稻生长后期,随着鱼的生长,其食性逐渐以摄食浮游植物(硅藻类、水绵)为主而又兼食有机碎屑,同时也摄食少量的浮游动物(如小型轮虫类、小型枝角类幼体和挠足类等)。当水体中的裸、绿藻和硅藻为优势种群时,鱼可能以此为主食^[23-24]。

2.5 优势度

根据优势度的分析,RF 中优势度最高的 6 个种依次银灰平裂藻(*Merismopedia glauca*)、四尾栅藻(*Scenedesmus quadricauda*)、方鼓藻(*Cosmarium quadrum*)、尖针杆藻(*Synedra acus*)、短小舟形藻(*Navicula exigua*)、灿烂颤藻(*Oscillatoria splendida*)。而 CK 中优势种为绿色裸藻(*Euglena viridis*)、灿烂颤藻(*Oscillatoria splendida*)、尖尾裸藻(*Euglena oxyuris*)。从优势度种类组成来看,RF 中 6 个最占优势的种除银灰平裂藻和灿烂颤藻外,均为绿藻;而 CK 中裸藻占明显优势。与其他水体相比,稻田水体蓝藻种类和数量均

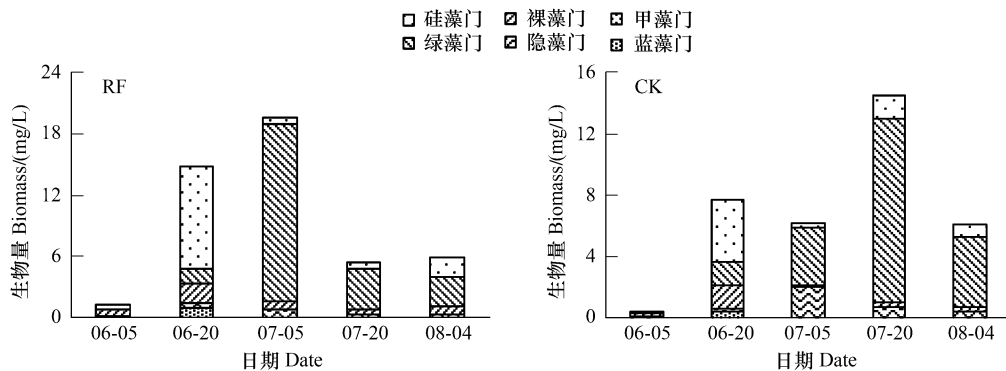


图3 稻鱼共生生态系统浮游植物生物量动态变化

Fig. 3 Variation of the phytoplankton Biomass in paddy water in rice-fish ecological system

较低,可能是由于稻田水体较浅,鱼的活动搅动水体使得水体透明度较低的原因^[25]。

2.6 多样性及均匀度

稻鱼共生生态系统多样性指数(H')和均匀度(J)动态变化如图4所示。在整个采样期间,处理间两种生物多样性指数均呈降-升-降的趋势。RF和CK中Shannon-Weiner多样性指数和均匀度(J)在采样初期均比较接近,在6月20日,RF中浮游植物的多样性指数和均匀度(J)明显低于CK。但在7月5号,RF中浮游植物多样性指数显著高于CK,均匀度却显著低于CK。7月20日后两者无明显差异。8月4号多样性指数和均匀度下降至最低。这主要是因为不同处理浮游植物优势种群不同所致^[26]。稻田水体中浮游植物多样性较高,均匀度也较大,说明其优势种的优势度不大,种类结构较均匀(图4)。

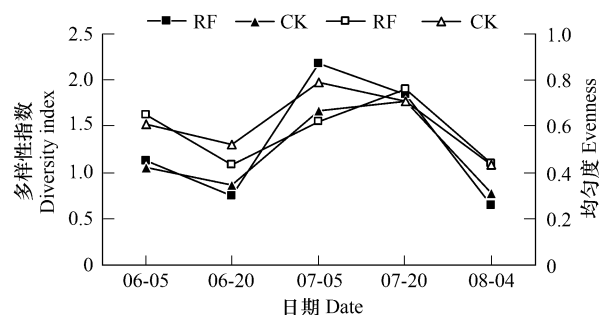


图4 稻鱼共生系统浮游植物多样性指数及均匀度动态变化

Fig. 4 Variation of phytoplankton diversity index and evenness in rice-fish ecological system

3 结论

3.1 稻田生态系统中浮游植物群落包含蓝藻门、甲藻门、隐藻门、裸藻门、绿藻门和硅藻门等6门,共38属93种。稻鱼共作水体中的浮游植物中绿藻、裸藻和硅藻分别占浮游植物种类总数的25.23%、21.50%和20.56%。

3.2 放鱼1个月后,浮游植物的密度、生物量和多样性显著降低。稻鱼共作期间,从优势度种类组成来看,RF中最占优势的种除银灰平裂藻和灿烂颤藻外,均为绿藻;而CK中裸藻占明显优势。

3.3 稻鱼共生稻田浮游植物群落多样性增加,表明在稻鱼共生生态系统中,通过鱼在物种、时空结构的有机结合,补充了常规稻作系统生态位上的不足,形成多级循环的食物网,提高了系统的稳定性和质量,从而实现资源优化,达到系统结构与功能的高效协调。

Reference:

- [1] Frei M, Becker K. Integrated rice-fish culture: coupled production saves resources. *Natural Resources Forum*, 2005, 29: 135-143.
- [2] Fernando C H. Rice field ecology and fish culture-an overview. *Hydrobiologia*, 1993, 259: 91-113.
- [3] Haroon A K Y, Pittman K A. Rice-fish culture: feeding, growth and yield of two size classes of *Puntius gonionotus* Bleeker and *Oreochromis* spp. in Bangladesh. *Aquaculture*, 1992, 154: 261-281.
- [4] Liu W J, Wang Y F, Xu R L. Ecological characteristics of phytoplankton in waters of biological controlling and ordinary rice fields. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2001, 12(1): 59-62.

- [5] Ali A B. Seasonal dynamics of microcrustacean and rotifer communities in Malaysian rice fields used for rice fish farming. *Hydrobiology*, 1990, 206:139-148.
- [6] Vromant N, Duong L T, Ollevier F. Effect of fish on the yield and yield components of rice in integrated concurrent rice-fish systems. *Journal of Agricultural Sciences*, 2002, 138(63): 63-71.
- [7] Vromant N, Chau N T H, Ollevier F. The effect of rice seeding rate and fish stocking on the floodwater ecology of the rice field in direct seeded, concurrent rice-fish systems. *Hydrobiologia*, 2001, 445:151-164.
- [8] Rajeeb K, Mohanty H N, Verma P S Brahmanand. Performance evaluation of rice-fish integration system in rainfed medium land ecosystem. *Aquaculture*, 2004, 230:125-135.
- [9] Zhang Q M, Tie W X, Yu B, He 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.
- [10] Sun X Q, Dong S G, Tang Z H. Influences of nutrients and illuminance on phytoplankton community structure. *South China Fisheries Science*, 2008, 14(1):1-9.
- [11] 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: 162-168.
- [12] Song X, Huang L, Zhang J, Huang X P, Zhang J B, Yin J Q, Liu S. Variation of phytoplankton biomass and primary production in Daya Bay during spring and summer. *Marine Pollution Bulletin*, 2004, 49:1036-1044.
- [13] Liu W J, Wang Y F, Xu R L. Ecological characteristics of phytoplankton in waters of biological controlling and ordinary rice fields. *Chinese Journal of Applied Ecology*. 2001, 12(1):59-62.
- [14] Burgi H, Stadelmann P. Change of phytoplankton composition and biodiversity in Lake Sempach before and during restoration. *Hydrobiologia*, 2002, 469: 33-48.
- [15] Vromant N, Nguyen T H C. Overall effect of rice biomass and fish on the aquatic ecology of experimental rice plots. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2005, 111:153-165.
- [16] 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.
- [17] Wang J P, Cao C G, Jin H, Liu F H. Effects of rice-duck farming on aquatic community in rice fields. *Science Agriculture Sinica*, 2006, 39(10): 2001-2008.
- [18] Zhang Z S, Huang X F. *Freshwater plankton Investigation*. Beijing: Science Press, 1991.
- [19] Ma K P. The methods of measuring community diversity. I. measurement of diversity. *Chinese Biodiversity*, 1994, 2: 162-168
- [20] Cui Y, Chen B J, Ma S S. Correlation of phytoplankton and its environmental actors in Rushanbay. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2000, 11(6):935-938.
- [21] Attayde J L, Hansson L A. Effect of nutrient recycling by zooplankton and fish on phytoplankton communities. *Oecologia*, 1999, 121, 47-54.
- [22] 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.
- [23] Oehme M, Frei M, Razzak M A, Dewan S, Becker K. Studies on nitrogen cycling under different nitrogen inputs in integrated rice-fish culture in Bangladesh. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2008, 79(2): 181-191.
- [24] 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. *Ecol. Res.*, 2004, 19: 645-653.
- [25] Lin Q Q, Lei L M, Han B P. Cyanophyta in South subtropical reservoirs with different trophic levels. *Chinese Journal of Ecology*, 2007, 26(7): 1027-1033.
- [26] Yang F Y, Li X J, Wang Z C, Zhao C S, Zhu S C. Microorganisms Characteristics of Rice-Fish Poly-Ecosystem with Saline-Alkaline Wetlands. *Wetland Science*, 2003, 1(2):105-110.

参考文献:

- [9] 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, 6:814-819.
- [10] 孙晓庆, 董树刚, 汤志宏. 营养盐和光照对浮游植物群落结构的影响. *南方水产*, 2008, 14(1):1-9.
- [16] 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.
- [17] 汪金平, 曹凑贵, 金晖, 刘丰颢. 稻鸭共育对稻田水生生物群体的影响. *中国农业科学*, 2006, 39(10): 2001-2008
- [18] 章宗涉, 黄祥飞. *淡水浮游生物研究方法*. 北京: 科学出版社, 1991.
- [19] 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. *生物多样性*, 1994, 2: 162-168.
- [25] 林秋奇, 雷腊梅, 韩博平. 南亚热带不同营养水平水库的蓝藻组成与动态. *生态学杂志*, 2007, 26(7):1027-1033.
- [26] 杨富亿, 李季军, 王志春, 赵春生, 朱世成. 盐碱化湿地稻-鱼复合生态系统微生物特征. *湿地科学*, 2003, 1(2): 105-110.