

## 稻鸭共作对水稻根系生长的影响

全国明<sup>1,2</sup>, 章家恩<sup>1</sup>, 滕丽丽<sup>1</sup>, 陈瑞<sup>1</sup>, 许荣宝<sup>1</sup>

(1 华南农业大学 热带亚热带生态研究所, 广东 广州 510642;

2 广州城市职业学院 生物与环境工程系, 广东 广州 510405)

**摘要:**通过田间对比试验,研究了稻鸭共作技术对水稻根系的影响效应.结果表明:在稻鸭共作复合生态系统中,由于鸭子的田间活动和刺激作用,明显改善了水稻的根系生长质量.与常规稻作相比,水稻的根系活力、根系总吸收面积和活跃吸收面积分别增加4.76%~72.54%、9.16%~32.07%和0.93%~55.31%;水稻的根系体积、根系干质量、根系比表面积和生长中后期的根冠比也有不同程度的提高.说明稻鸭共作对减缓水稻根系的早衰、增强植株生理活性和促进水稻的生长发育均具有积极作用.

**关键词:**稻鸭共作; 水稻; 根系; 生长

中图分类号:S181;S511

文献标识码:A

文章编号:1001-411X(2008)03-0001-05

## Effects of Integrated Rice-Duck Farming on Rice Root Growth

QUAN Guo-ming<sup>1,2</sup>, ZHANG Jia-en<sup>1</sup>, TENG Li-li<sup>1</sup>, CHEN Rui<sup>1</sup>, XU Rong-bao<sup>1</sup>

(1 Institute of Tropical and Subtropical Ecology, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China;

2 Department of Biology and Environmental Engineering, Guangzhou City Polytechnic, Guangzhou 510405, China)

**Abstract:**The effects of integrated rice-duck farming technology on rice roots were studied. The results showed that the growth quality of rice roots was markedly improved in the integrated rice-duck farming ecosystem because of the stimulations and daily activities of ducks. Compared with the conventional rice farming, the root activity, the total absorbing surface area and active absorbing surface area of rice roots were increased by 4.76% - 72.54%, 9.16% - 32.07% and 0.93% - 55.31%, respectively. The volume, dry mass, total absorbing surface area/volume ratio of rice roots and rice root/shoot ratio at middle-late stage were enhanced to some extent too. This indicated that rice-duck farming had positive effects on the postponement of rice root aging, improvement of physiological activity of rice plant, and rice growth and development.

**Key words:**integrated rice-duck farming; *Oryza sativa*; root; growth

稻鸭共作作为一项环境友好型的生态农业技术,是对我国传统稻田养鸭技术的继承和发展.它利用水稻与鸭子这2个主要物种构建起1个种养复合生态系统,充分利用稻田的立体空间和光、热、水、气以及生物资源;通过鸭子在物种、时空结构上的有机嵌合,形成了一个动态的多级食物链网结构和物

质循环利用体系,提高了稻田生态系统的能量利用效率,并可改善田间环境质量<sup>[1]</sup>.由于具有明显的社会、经济与生态效益,稻鸭共作技术近年来在中国、日本以及东南亚的一些国家和地区推广应用面积不断增加,相应的研究领域也逐渐扩展.目前,我国对稻鸭共作系统中的水稻生理<sup>[2,3]</sup>、土壤肥力<sup>[4]</sup>、

收稿日期:2007-11-12

作者简介:全国明(1975—),男,讲师,博士研究生; 通讯作者:章家恩(1968—),男,教授,博士,E-mail: jeanzh@scau.edu.cn

基金项目:国家973计划(2006CB100206);国家自然科学基金(30770403);国家科技星火计划项目(2006EA780011);教育部博士点基金(20050564005);广东省科技计划项目(2004B20101017,2007B020709007);广东省自然科学基金(06105467)

甲烷排放<sup>[5-6]</sup>、生物防治效应<sup>[7-10]</sup>、水生生物<sup>[11-12]</sup>以及综合效益<sup>[13-14]</sup>等方面开展了深入的研究,并取得较多的成果。

水稻根系既是吸收水分和营养物质的重要器官,也是合成某些活性物质(如氨基酸、内源激素等)的重要场所,根系的发育及其生理活性高低与水稻的物质生产、同化产物的运输、分配和植株衰老等有着密切的关系,对水稻地上部的生长、籽粒灌浆、产量形成和米质优劣均具有重要的作用<sup>[15-16]</sup>。一般而言,根系越庞大,活性越高,吸收能力越强,作物获取的养分、水分就越多,产量优势就越明显<sup>[17]</sup>。目前,有关水稻根系的生长特性已有较多的研究<sup>[18-19]</sup>,但稻鸭共作条件下水稻根系的变化规律尚鲜见详细的报道<sup>[3,20-21]</sup>。为此,本试验研究了稻鸭共作生态复合系统中水稻根系的生长发育动态,为稻鸭共作生态种植模式的推广应用提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

供试水稻品种为丝苗选 *Oryza sativa* cv. Simiaoxuan, 由华南农业大学农学院提供。供试鸭品种为地方麻鸭 *Tadorna tadorna*。

### 1.2 试验设计

试验于2005年晚季在华南农业大学宁西教学科研基地进行。试验田为赤红壤发育而成的水稻土,前茬种植早稻,7月收获后耙茬备耕,并使稻草还田,土壤肥力较高,排灌方便。

试验共设稻鸭共作(integrated rice-duck farming system, IRDFS)、混水处理(turbid water system, TWS)和常规稻作(conventional rice farming system, CRFS)3个处理,稻鸭共作区在秧苗返青后放入鸭子,鸭与水稻昼夜共栖,直到抽穗时收回;混水处理是在稻鸭共作区内用尼龙网围出1个1.5 m × 2.0 m的半封闭空间,稻田水体和养分能够自由流动,但鸭子不能进入;常规稻作区按当地常规水稻种植方法进行栽培生产。每处理4次重复,随机排列。稻鸭共作区与常规稻作区之间用泥土堆起宽50 cm、高30 cm的田埂,以免肥水串灌。除混水处理区面积为3 m<sup>2</sup>外,其余小区均为67 m<sup>2</sup>。

2005年7月28日大田育秧;8月15日插秧,栽插规格为株行距20 cm × 20 cm,每穴4棵秧苗,插秧前每小区施用干鸡粪6 750 kg · hm<sup>-2</sup>,折合N、P、K含量分别为220.05、207.90和114.75 kg · hm<sup>-2</sup>;8月22日围网,小区四周用高80 cm的尼龙网围栏,以防鸭子逃逸;8月28日放鸭,在稻鸭共作区按每667 m<sup>2</sup> 30只的规格放入5~10日龄的雏鸭;10月18日赶回鸭子;11月23日水稻成熟收割,稻田共育时间

50 d。稻鸭共作区在水稻整个生育期间不施用化肥、农药和除草剂;常规稻作区在8月28日和10月16日各喷施1次农药(杀虫快乳油),化肥采用一次性基肥法,即第1次喷药时施入水稻复合肥(NPK含量≥30%)112.5 kg · hm<sup>-2</sup>。水稻返青后,稻田始终保持8~10 cm的水深,收鸭后排水晒田,保持田面水分干湿交替的状态直至水稻成熟。

### 1.3 测定方法

在分蘖前期(initial tillering stage, ITS)、分蘖盛期(full tillering stage, FTS)、孕穗期(booting stage, BS)、抽穗期(heading stage, HS)、灌浆期(filling stage, FS)和完熟期(ripening stage, RS)挖取田间茎蘖数接近、具有代表性的水稻植株,连土带回实验室,小心清除泥沙后测定根系活力、根系总吸收面积、活跃吸收面积、根系体积和根系生物量。其中根系活力的测定采用TTC—氯化三苯基四氮唑法,根系总吸收面积、活跃吸收面积的测定采用甲烯蓝法,根系体积的测定采用排水法<sup>[22]</sup>。根系生物量的测定在105℃杀青30 min后,再80℃烘干至恒质量称取。

试验数据采用SPSS11.5和EXCEL进行统计,采用Duncan's新复极差法进行方差分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 稻鸭共作对水稻根系活力的影响

根系活力作为水稻生理特性的重要组成部分,是保证水稻前期生长旺盛和后期灌浆结实的基础,根系对氯化三苯基四氮唑(TTC)的还原力是根系活力的主要指标。从水稻生长的整个过程来看,根系活力在生育期内逐步降低,尤其是生长后期迅速下降(表1)。这可能是由于晚造水稻抽穗后气温下降不利于根系生长,也可能与植株转向生殖生长和生理衰老有关<sup>[21]</sup>。稻鸭共作的水稻根系活力较高,在分蘖前期、孕穗期、抽穗期和灌浆期分别比常规稻作增加4.76%、8.73%、12.33%和72.54%,其中灌浆期的差异显著;混水处理与常规稻作之间差异不显著。可见,放鸭能提高水稻的根系活力,延缓水稻根系的衰老,这种刺激效应尤其在生育后期更为明显。

### 2.2 稻鸭共作对水稻根系总吸收面积的影响

表2的结果显示,自移栽后水稻的根系总吸收面积迅速增加,到孕穗期达到最高值,稻鸭共作、混水处理和常规稻作分别为41.34、38.22和37.87 m<sup>2</sup> · 丛<sup>-1</sup>,此后缓慢下降,但相对而言,稻鸭共作的下降速度较小,在完熟期尚高达23.04 m<sup>2</sup> · 丛<sup>-1</sup>,而常规稻作则只有19.14 m<sup>2</sup> · 丛<sup>-1</sup>。从各个生育时期的对比来看,稻鸭共作的根系总吸收面积均高于常规稻作,在分蘖前期至完熟期分别上升9.77%、

表 1 不同处理对水稻根系活力的影响<sup>1)</sup>

Tab. 1 Effects of different treatments on rice root activity

处理 treatments	$\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$			
	分蘖前期 ITS	孕穗期 BS	抽穗期 HS	灌浆期 FS
稻鸭共作 IRDFS	224.27 ± 2.83a	109.96 ± 7.17a	24.49 ± 3.74a	12.32 ± 1.21a
混水处理 TWS	233.56 ± 9.85a	103.19 ± 1.77a	24.19 ± 2.48a	8.19 ± 0.55b
常规稻作 CRFS	214.07 ± 5.66a	101.12 ± 6.72a	21.80 ± 4.55a	7.14 ± 0.80b

1) 同列数字后字母相同者表示在 0.05 的水平上差异不显著 (Duncan's 法)

12.51%、9.16%、32.07%、20.55% 和 20.37%，其中抽穗期的差异显著；混水处理与常规稻作之间差异

不显著。

### 2.3 稻鸭共作对水稻根系活跃吸收面积的影响

水稻根系活跃吸收面积的变化动态与总吸收面积的相似，在孕穗期前活跃吸收面积不断增加，孕穗期后逐渐下降 (表 3)。稻鸭共作的根系活跃吸收面积在全生育期内均高于常规稻作，分蘖前期、分蘖盛期、孕穗期、抽穗期、灌浆期和完熟期的增幅分别为 0.93%、4.34%、17.07%、26.51%、38.85% 和 55.31%，其中灌浆期、完熟期的差异显著；混水处理在各个时期也有高于常规稻作的趋势，但差异未达显著水平。说明稻鸭共作有利于减缓水稻生育后期根系活跃吸收面积的下降速度。

表 2 不同处理对水稻根系总吸收面积的影响<sup>1)</sup>

Tab. 2 Effects of different treatments on total absorbing surface area of rice roots  $\text{m}^2 \cdot \text{丛}^{-1}$

处理 treatments	分蘖前期 ITS	分蘖盛期 FTS	孕穗期 BS	抽穗期 HS	灌浆期 FS	完熟期 RS
稻鸭共作 IRDFS	11.01 ± 2.88a	29.30 ± 1.28a	41.34 ± 1.56a	34.55 ± 3.33a	30.50 ± 2.03a	23.04 ± 1.59a
混水处理 TWS	10.16 ± 0.29a	27.44 ± 0.42a	38.22 ± 1.64a	30.05 ± 1.81ab	25.53 ± 0.73a	20.11 ± 0.95a
常规稻作 CRFS	10.03 ± 1.47a	26.04 ± 1.45a	37.87 ± 1.22a	26.16 ± 1.53b	25.30 ± 1.01a	19.14 ± 0.34a

1) 同列数字后字母相同者表示在 0.05 水平上差异不显著 (Duncan's 法)

表 3 不同处理对水稻根系活跃吸收面积的影响<sup>1)</sup>

Tab. 3 Effects of different treatments on active absorbing surface area of rice roots  $\text{m}^2 \cdot \text{丛}^{-1}$

处理 treatments	分蘖前期 ITS	分蘖盛期 FTS	孕穗期 BS	抽穗期 HS	灌浆期 FS	完熟期 RS
稻鸭共作 IRDFS	3.25 ± 1.10a	6.96 ± 0.73a	13.71 ± 0.90a	10.83 ± 1.23a	10.65 ± 1.12a	5.11 ± 0.30a
混水处理 TWS	3.29 ± 0.26a	7.22 ± 0.86a	11.99 ± 1.31a	10.15 ± 1.29a	8.94 ± 1.31ab	4.39 ± 0.34ab
常规稻作 CRFS	3.22 ± 0.60a	6.67 ± 1.09a	11.71 ± 1.26a	8.56 ± 0.30a	7.67 ± 0.83b	3.29 ± 0.60b

1) 同列数字后字母相同者表示在 0.05 水平上差异不显著 (Duncan's 法)

### 2.4 稻鸭共作对水稻根系体积的影响

由表 4 可以看出，水稻根系体积随生育进程的推进不断增加，孕穗期达到最大值，稻鸭共作、混水处理和常规稻作分别为 115.25、112.50 和 110.75  $\text{cm}^3 \cdot \text{丛}^{-1}$ ，孕穗期后由于部分根系衰老死亡，各处理的根系体积均有所下降，但稻鸭共作的降幅较缓，抽穗期、灌浆期和完熟期分别比常规稻作高

24.37%、21.37% 和 23.57%，其中抽穗期的差异显著。说明稻鸭共作的水稻根系在生育后期仍能保持较好的发育，不易早衰。

### 2.5 稻鸭共作对水稻根系比表面积的影响

根系吸收水分、养分的最活跃部位是根毛、细根和嫩根，因此，根系比表面积的增大有利于水稻吸收更多的营养物质。表 5 的结果显示，与常规稻作相比，

表 4 不同处理对水稻根系体积的影响<sup>1)</sup>

Tab. 4 Effects of different treatments on rice root volume  $\text{cm}^3 \cdot \text{丛}^{-1}$

处理 treatments	分蘖盛期 FTS	孕穗期 BS	抽穗期 HS	灌浆期 FS	完熟期 RS
稻鸭共作 IRDFS	80.25 ± 5.28a	115.25 ± 4.92a	112.25 ± 7.20a	108.33 ± 8.11a	81.25 ± 6.06a
混水处理 TWS	73.00 ± 2.08a	112.50 ± 4.86a	97.00 ± 6.75ab	92.25 ± 8.78a	67.33 ± 3.38a
常规稻作 CRFS	72.33 ± 5.21a	110.75 ± 4.39a	90.25 ± 5.28b	89.25 ± 7.40a	65.75 ± 3.68a

1) 同列数字后字母相同者表示在 0.05 水平上差异不显著 (Duncan's 法)

表 5 不同处理对水稻根系比表面积的影响<sup>1)</sup>

Tab. 5 Effects of different treatments on total absorbing surface area/volume ratio of rice roots  $\text{m}^2 \cdot \text{cm}^{-3}$

处理 treatments	分蘖盛期 FTS	孕穗期 BS	抽穗期 HS	灌浆期 FS	完熟期 RS
稻鸭共作 IRDFS	0.37 ± 0.01a	0.39 ± 0.01a	0.31 ± 0.02a	0.29 ± 0.02a	0.28 ± 0.01a
混水处理 TWS	0.39 ± 0.02a	0.40 ± 0.03a	0.31 ± 0.03a	0.28 ± 0.01a	0.27 ± 0.02a
常规稻作 CRFS	0.35 ± 0.02a	0.38 ± 0.01a	0.29 ± 0.01a	0.28 ± 0.01a	0.27 ± 0.01a

1) 同列数字后字母相同者表示在 0.05 水平上差异不显著 (Duncan's 法)

稻鸭共作的根系比表面积在各生育时期均呈现增加趋势,但差异未达到显著水平.说明放鸭能在一定程度上促进根毛、细根的发生,降低根系的相对直径,增强根系的吸收能力.

## 2.6 稻鸭共作对水稻根系干质量的影响

表6的结果显示,不同处理水稻根系干质量的变化均呈单峰曲线,其中孕穗期是转折点,生育前期不断上升,而生育后期则持续下降.除分蘖前期外,稻鸭共作的根系干质量均高于常规稻作,分蘖盛期、

孕穗期、抽穗期、灌浆期和完熟期的增幅分别达到14.65%、25.68%、23.08%、23.58%和29.41%,其中孕穗期、抽穗期和完熟期的差异显著.说明稻鸭共作可以促进水稻根系的发育,提高水稻地下部的生物量.而分蘖前期根系干质量的暂时下降可能与生育前期水稻根系分布较浅,鸭子的田间活动造成部分根系折断有关;也可能与常规稻作的施肥方式有关,肥料的一次性基施可对秧苗根系产生明显的增粗作用<sup>[23]</sup>.

表6 不同处理对水稻根系干质量的影响<sup>1)</sup>

Tab.6 Effects of different treatments on dry mass of rice roots

g·丛<sup>-1</sup>

处理 treatments	分蘖前期 ITS	分蘖盛期 FTS	孕穗期 BS	抽穗期 HS	灌浆期 FS	完熟期 RS
稻鸭共作 IRDFS	2.07 ± 0.29a	7.04 ± 0.61a	8.22 ± 0.68a	7.25 ± 0.26a	6.97 ± 0.69a	5.06 ± 0.25a
混水处理 TWS	2.00 ± 0.03a	6.78 ± 0.70a	6.88 ± 0.25b	6.19 ± 0.24b	5.79 ± 0.34a	4.20 ± 0.46b
常规稻作 CRFS	2.29 ± 0.17a	6.14 ± 0.29a	6.54 ± 0.16b	5.89 ± 0.19b	5.64 ± 0.20a	3.91 ± 0.11b

1) 同列数字后字母相同者表示在0.05水平上差异不显著(Duncan's法)

## 2.7 稻鸭共作对水稻根冠比的影响

在水稻的全生育期内,根冠比随着水稻的生长逐渐减小(表7).除分蘖前期显著低于常规稻作外,稻鸭共作在其余各个时期的根冠比均处于较高的水平,增幅高达7.40%~19.04%,其中完熟期的差异显著;混水处理的影响效应与稻鸭共作的类似,但分蘖盛期、完熟期均显著升高.说明稻鸭共作条件下水

稻根系相对发达,这可能与鸭子对水稻根系的生长有直接的刺激作用有关.而在分蘖前期,常规稻作的根冠比显著高于稻鸭共作,这可能与植株地上部、地下部的生长速率不同步有关.肥料基施首先促进根系的发育,再通过根系对营养物质的吸收促进地上部的生长,因此地上部的发育相对根系而言有一定的滞后性,从而导致根冠比在生长初期显著增加.

表7 不同处理对水稻根冠比的影响<sup>1)</sup>

Tab.7 Effects of different treatments on rice root/shoot ratio

处理 treatments	分蘖前期 ITS	分蘖盛期 FTS	孕穗期 BS	抽穗期 HS	灌浆期 FS	完熟期 RS
稻鸭共作 IRDFS	0.37 ± 0.04b	0.29 ± 0.02ab	0.25 ± 0.01a	0.16 ± 0.01a	0.12 ± 0.01a	0.09 ± 0.01a
混水处理 TWS	0.38 ± 0.03b	0.33 ± 0.01a	0.24 ± 0.02a	0.15 ± 0.01a	0.11 ± 0.01a	0.09 ± 0.01a
常规稻作 CRFS	0.48 ± 0.01a	0.27 ± 0.01b	0.21 ± 0.01a	0.14 ± 0.01a	0.11 ± 0.01a	0.08 ± 0.01b

1) 同列数字后字母相同者表示在0.05水平上差异不显著(Duncan's法)

## 3 讨论与结论

水稻根系的生长既受到品种本身遗传背景的影响,也受到环境条件和栽培措施的调控<sup>[24]</sup>.良好的栽培环境将有利于根系的生长发育和生理机能的充分发挥<sup>[19]</sup>.一般而言,根系作为水稻的主要吸收器官,其对营养物质的吸收主要依靠根毛、细根和嫩根来实现,因此其生长能力高低和功能强弱集中体现在根尖的生长势和根毛的萌发力上.通常用根系活力、根系吸收面积和根系生物量等指标来描述根系的生长性状,其中根系活力主要反映根尖的生长、合成能力,根系的总吸收面积和活跃吸收面积是衡量根群大小以及吸收活性高低的重要参数,而根系生物量则体现了根部进行有机物质积累的能力高低<sup>[21-22]</sup>.研究结果表明,稻鸭共作能够提高水稻的根系活力、根系总吸收面积和活跃吸收面积,明显减

缓水稻的根系衰老,使根系在水稻生长后期仍能保持较强的生理活性;稻鸭共作也能提高水稻的根系体积、根系干质量和比表面积,并增加水稻生长中后期的根冠比,促进水稻根系吸收、运输和合成功能的增强.这与章家恩等<sup>[20]</sup>、刘小燕等<sup>[21]</sup>的研究报道一致,但总体而言,稻鸭共作对水稻根系的影响作用主要在生长的中后期较为显著.究其原因,可能包括如下几方面:一是鸭子在稻丛间频繁活动,能疏松表土,促进土壤气体交换,降低土壤容重,提高土壤的通透性和氧化还原电位,并且鸭子对水稻根系有直接的刺激作用,从而促进水稻根系的生长<sup>[3-4,13,25-26]</sup>.二是鸭子在稻田共作期间不断排泄粪便,对土壤肥力有一定的调控、缓冲和促进作用,土壤有机质含量和肥力水平均有不同程度的增加<sup>[4]</sup>.据测定,1只鸭子在稻田里排泄的粪便约10 kg,相当于氮47 g、磷70 g、钾31 g,能为水稻根系的良好生长提供更多的

营养物质<sup>[27-28]</sup>。三是鸭子旺盛的杂食性,可以吃掉稻田杂草、枯黄叶、无效分蘖和部分害虫,有效的控制了病虫害的发生与发展,并可抑制无效分蘖的产生,明显改善田间通风透光条件和小气候环境,更好地促进地上部的光合作用,从而有利于根系的发展壮大<sup>[3,21,29-30]</sup>。

综上所述,稻鸭共作能从不同途径影响水稻的根系发育,稻鸭共作区内的水稻植株在生长后期仍能保持较好的根系状态,根系不易早衰,根量大。而生育后期既是水稻功能叶和根系生理功能由旺盛转向衰退的时期,也是水稻籽粒充实和产量形成的关键时期<sup>[18]</sup>。根系活力的上升,对促进营养物质的吸收和转运、增强叶片的光合生理、提高水稻籽粒的充实度和增加植株的抗倒伏能力均有着重要的作用<sup>[3,31]</sup>,从而为水稻的高产稳产提供了坚实的物质基础。

#### 参考文献:

- [1] 全国明,章家恩,黄兆祥,等. 稻鸭共作系统的生态学效应研究进展[J]. 中国农学通报,2005,21(5): 630-635.
- [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] 禹盛苗,欧阳由男,张秋英,等. 稻鸭共育复合生态系统对水稻生长与产量的影响[J]. 应用生态学报,2005,16(7):1252-1256.
- [4] 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.
- [5] 黄璜,杨志辉,王华,等. 湿地稻-鸭复合系统的CH<sub>4</sub>排放规律[J]. 生态学报,2003,23(5): 929-934.
- [6] 向平安,黄璜,黄梅,等. 稻-鸭生态种养技术减排甲烷的研究及经济评价[J]. 中国农业科学,2006,39(5): 968-975.
- [7] 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.
- [8] 魏守辉,强胜,马波,等. 稻鸭共作及其它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.
- [9] 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.
- [10] 甄若宏,王强盛,张卫建,等. 稻鸭共作对水稻条纹叶枯病发生规律的影响[J]. 生态学报,2006,26(9): 3060-3065.
- [11] 汪金平,曹凑贵,金晖,等. 稻鸭共生对稻田水生生物群落的影响[J]. 中国农业科学,2006,39(10): 2001-2008.
- [12] 曹凑贵,汪金平,金晖,等. 稻鸭共育对稻田水体藻类群落的影响[J]. 水生生物学报,2007,31(1): 146-148.
- [13] 章家恩,陆敬雄,张光辉,等. 鸭稻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.
- [14] 席运官,钦佩. 稻鸭共作有机农业模式的能值评估[J]. 应用生态学报,2006,17(2): 237-242.
- [15] 王余龙,蔡建中,何杰升,等. 水稻颖花根活量与籽粒灌浆结实的关系[J]. 作物学报,1992,18(2): 81-89.
- [16] 蔡昆争,骆世明,段舜山. 水稻根系在根袋处理条件下对氮养分的反应[J]. 生态学报,2003,23(6): 1109-1116.
- [17] 李合松,黄见良,邹应斌,等. 双季稻超高产栽培条件下根系特性的研究[J]. 激光生物学报,1999,8(3): 194-200.
- [18] 沈波,王熹. 两个亚种间杂交稻组合的根系生理活性[J]. 中国水稻科学,2002,16(2): 146-150.
- [19] 何春林,郭荣发,陈彪. 沟灌渗透对直播水稻根系形态及功能的影响[J]. 农业现代化研究,2003,24(6): 452-455.
- [20] 章家恩,赵美玉,陈进,等. 鸭稻共作方式对水稻生长的影响[J]. 生态科学,2005,24(2): 117-119.
- [21] 刘小燕,刘大志,陈艳芬,等. 稻-鸭-鱼共栖生态系统中水稻根系特性及经济效益[J]. 湖南农业大学学报:自然科学版,2005,31(3): 314-316.
- [22] 邹琦. 植物生理生化实验指导[M]. 北京:中国农业出版社,1995: 30-39.
- [23] 王余龙,姚庆礼,刘宝玉,等. 不同生育时期氮素供应水平对杂交水稻根系生长及其生活力的影响[J]. 作物学报,1997,23(6): 699-705.
- [24] 董桂春,王余龙,吴华,等. 水稻主要根系性状对施氮时期反应的品种间差异[J]. 作物学报,2003,29(6): 871-877.
- [25] 朱德峰,林贤青,曹卫星. 水稻根系生长及其对土壤紧密度的反应[J]. 应用生态学报,2002,13(1): 60-62.
- [26] 张玉屏,朱德峰,林贤表,等. 田间条件下水稻根系分布及其与土壤容重的关系[J]. 中国水稻科学,2003,17(2): 141-144.
- [27] 杨长明,杨林章,欧阳竹. 不同养分与水分管理对水稻植株根系形态及其活力的影响[J]. 中国生态农业学报,2004,12(4): 82-85.
- [28] 沈晓昆. 稻鸭共作——无公害有机稻米生产新技术[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2003: 35-36.
- [29] 朱凤姑,丰庆生,诸葛梓. 稻鸭生态结构对稻田有害生物群落的控制作用[J]. 浙江农业学报,2004,16(1): 37-41.
- [30] 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): 292-294.
- [31] 黄农荣,张旭,黄秋妹,等. 籼稻根系活力与地上部分的关系[J]. 热带亚热带植物学报,1999,增刊(II): 37-43.

【责任编辑 周志红】