

李丹丹, 孟顺龙, 胡庚东, 等. 稻-蟹复合生态种养系统氮磷平衡及经济效益研究[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(18): 188-191.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.18.048

# 稻-蟹复合生态种养系统氮磷平衡及经济效益研究

李丹丹<sup>1</sup>, 孟顺龙<sup>1</sup>, 胡庚东<sup>1</sup>, 陈家长<sup>1,2</sup>, 邰旭文<sup>1,2</sup>

(1. 中国水产科学研究院淡水渔业研究中心, 江苏无锡 214081; 2. 南京农业大学无锡渔业学院, 江苏无锡 214081)

**摘要:**分析了不同密度中华绒螯蟹与水稻复合生态种养系统的利润与氮磷平衡情况, 结果显示: (1) 3 个试验田块的利润分别为 72 504.94、88 111.89、69 125.85 元/hm<sup>2</sup>, 其中放养河蟹密度最大的田块利润最高, 投放密度为 238.40 kg/hm<sup>2</sup>。表明在本试验密度的条件下可适当增加河蟹的放养量以提高利润。(2) 本研究中氮总输入量为 65.40 kg, 最主要的输入途径是肥料, 占氮总输入量的 50.14%, 磷总输入量为 28.51 kg, 主要的输入途径是肥料, 占总输入量的 78.92%。氮总输出量均值为 25.27 kg, 最主要的输出途径是稻谷的输出, 输出量为 16.46 kg, 占总输出量的 65.14%; 磷总输出量均值为 7.36 kg, 最主要的输出途径是稻谷的输出, 输出量为 6.17 kg, 占总输出量的 83.83%, 在生产过程中氮、磷元素的主要利用者是农作物。除了因收获农产品而输出的氮、磷外, 很大一部分氮磷元素盈余没有被当季农作物吸收利用, 盈余的氮为 40.14 kg, 占氮总输入量的 61.36%, 盈余的磷为 21.15 kg, 占磷总输入量的 74.19%, 大部分的氮磷都没有被农作物利用, 剩余的氮、磷都残留在土壤中, 应适当减少化肥的投入, 优化稻蟹复合生态种养系统, 提高氮磷利用率。

**关键词:** 稻蟹复合系统; 氮磷循环; 氮磷平衡; 经济效益

**中图分类号:** S96 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)18-0188-04

近年来, 在农业生产中, 土地和水资源利用率低, 农药的大量使用使水稻品质下降, 已不能满足市民对食品安全的需求<sup>[1]</sup>。以低污染、低能耗为基础的生态农业模式成为现代农业的发展趋势, 如稻蟹种养。稻蟹种养是根据稻养蟹、蟹养稻、稻蟹共生的理论, 在稻蟹种养的环境内, 蟹能以稻田中的杂草和害虫为食物, 吃掉杂草和害虫, 同时排泄物可以肥田, 促进水稻生长; 而水稻又为河蟹的生长提供丰富的天然饵料和良好的栖息条件, 互惠互利, 形成良性的生态循环<sup>[2-4]</sup>。研究稻蟹养殖过程中氮磷平衡及利用效率可以优化生产过程中

肥料和饲料的投入, 节约成本, 同时研究氮素平衡是评价系统中氮肥投入对环境影响的主要方法之一<sup>[5]</sup>。研究表明, 过量的氮素残留在土壤中, 一部分会通过淋洗渗透到地下水中, 一部分通过氨挥发和硝化反硝化进入大气中, 这些散失的氮素, 主要以活性氮形式存在环境中, 是导致温室气体排放量增加、地下水污染、水体富营养化和土壤酸化的原因之一<sup>[6-8]</sup>。因此, 为进一步了解并优化稻蟹共作系统, 设计了不同密度的蟹与水稻共作试验, 分析各共作系统中氮素平衡以及经济效益情况, 为该生产模式的推广应用提供理论和实践依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验设置

试验于 2016 年在江阴锦湖水产有限公司进行, 共设置 3 个处理, 选择中华绒螯蟹为养殖品种, 构建蟹-稻复合生态种养系统, 开展蟹-稻复合生态种养系统的基础设施改造。稻

收稿日期: 2017-03-07

基金项目: 中国水产科学研究院基本科研业务费(编号: 2016HY-ZD0701)。

作者简介: 李丹丹(1989—), 女, 河南南阳人, 硕士, 助理研究员, 研究方向为渔业环境监测与保护。E-mail: yunmoqianxi@163.com。

解冻方法进行优化。

## 参考文献:

- [1] 邹仕成, 李万, 周亚. 水生动物精子低温保存研究进展[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2014(12): 201-201.
- [2] Ohta H, Tsuji M. Ionic environment necessary for maintenance of potential motility in the common carp spermatozoa during *in vitro* storage[J]. Fisheries Science, 1998, 64: 547-552.
- [3] 采克俊, 曹访, 叶金云. 鱼类精子低温冷冻保存研究进展[J]. 海洋科学, 2007, 31(4): 1-4.
- [4] 陈光辉, 倪勇, 伍汉霖. 江苏省鳊鲃属(*Rhodeus*) 鱼类的研究[J]. 海洋渔业, 2005, 27(2): 89-97.
- [5] 王权, 李育培, 建国, 等. 中华鳊鲃两性形态特征和雌性成体生育力[J]. 江苏农业科学, 2013, 41(2): 200-203.

- [6] 陈松林. 鱼类精子和胚胎冷冻保存理论与技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 2007.
- [7] Ohta H, Kawamura K, Unuma T, et al. Cryopreservation of the sperm of the Japanese bitterling[J]. Journal of Fish Biology, 2001, 58(3): 670-681.
- [8] Crister J K, Huse H B, Aaker A, et al. Cryopreservation of human spermatozoa. III. The effect of cryoprotectants on motility[J]. Fertility and Sterility, 1988, 50: 314-320.
- [9] Fraga C G, Motchnik P A, Shigenaga M K, et al. Ascorbic acid protects against endogenous oxidative DNA damage in human sperm[J]. Fisheries Science, 1998, 64: 547-552.
- [10] Perez-Sanchez F, Cooper T G, Yeung C H, et al. Improvement in quality of cryopreserved human spermatozoa by swim-up before freezing[J]. Fisheries Science, 1998, 64: 547-552.

田平整与田埂加固:对水源充足、水质良好、黏质土壤的稻田进行平整,加高加固田埂,使稻田保持一定水位。蟹沟整挖与防逃围栏构筑<sup>[9]</sup>:田埂内侧挖蟹沟,稻田内的蟹沟相通,具体数据见表 1。

表 1 蟹-稻复合生态种养系统基本情况

统计项目	1 号田	2 号田	3 号田
总面积(m <sup>2</sup> )	3 038	3 146	3 226
稻田面积(m <sup>2</sup> )	1 676.5	1 822	1 677
蟹沟水深(m)	0.7	0.7	0.7
水体体积(m <sup>3</sup> )	953	926.8	1 084.3

3 个处理田块分别放养相同密度的沙塘鳢、不同密度的蟹苗,1 号田放养部分虾苗,2 号田和 3 号田放养等量的草鱼。选择同一批次稻苗种植且水稻种植密度相同。种养情况见表 2。

表 2 稻-蟹复合生态种养系统种养量 kg

种养种类	1 号田	2 号田	3 号田
沙塘鳢	0.32	0.32	0.32
草鱼	0.03	0.06	0.06
青虾	8	0	0
河蟹	54	75	63
水稻(干质量)	168.89	173.55	168.94

1.2 样品采集

稻苗移栽前,选择长势均匀的 10 株稻苗,清洗后装入信封袋并记录编号,在 105 ℃烘箱中青杀 30 min,后降至 80 ℃烘干称质量,之后整株粉碎用于测定氮磷含量;杂草、水草及青苔选择 1 m<sup>2</sup> 的采样框,随机取样 5 次取平均值,采集的样品与稻苗做同样的烘干处理;鱼、虾、蟹苗随机抽样 30 尾称质量,计算其平均质量;氮、磷含量采用标准方法实验室测定,包括蟹产出量、水稻产出量(干质量)、杂草产出量(干质量)、投入品饲料、肥料量<sup>[10-12]</sup>。

1.3 数据处理

稻-蟹复合生态种养系统中氮磷平衡情况,其中系统氮磷输入包括化肥、饲料、鱼蟹苗带入、水稻苗带入的氮磷,另外有来自大气沉降的氮。根据参考文献江苏地区大气氮沉降研究结果<sup>[13]</sup>,定义本试验中稻蟹种养期内氮沉降值为 30 kg/hm<sup>2</sup>。

氮(磷)盈余=氮(磷)总输入量-氮(磷)总输出量;  
化肥氮(磷)输入比=[化肥氮(磷)/氮(磷)总输入量]×100%;  
水稻氮(磷)输出比=水稻氮(磷)/氮(磷)总输出量]×100%。

稻蟹共作系统中氮磷循环如图 1 所示。

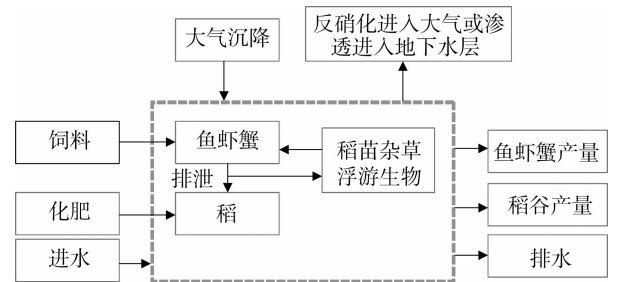


图1 蟹-稻复合生态系统物质循环路线

2 结果与分析

2.1 稻-蟹复合生态种养系统的产量及其效益

稻-蟹复合生态种养系统的产量如表 3 所示。结合表 1 中田块面积分析主要种养种类的产量,1 号田沙塘鳢产量为 290.32 kg/hm<sup>2</sup>,中华绒螯蟹产量为 350.82 kg/hm<sup>2</sup>,水稻产量为 3 416.72 kg/hm<sup>2</sup>;2 号田的沙塘鳢产量最高,而水稻产量最低,沙塘鳢产量为 666.88 kg/hm<sup>2</sup>,中华绒螯蟹产量为 350.83 kg/hm<sup>2</sup>,水稻产量为 3 152.21 kg/hm<sup>2</sup>;3 号田沙塘鳢产量为 586.48 kg/hm<sup>2</sup>,中华绒螯蟹产量为 350.84 kg/hm<sup>2</sup>,水稻产量为 3 273.40 kg/hm<sup>2</sup>。

表 3 稻-蟹复合生态种养系统总收获量 kg

种养种类	1 号田	2 号田	3 号田
沙塘鳢	88.2	209.8	189.2
草鱼	37.6	72	93
青虾	31	0	0
河蟹	106.58	110.37	113.18
水稻	1 038	992	1 056

稻-蟹复合生态种养系统的经济效益如表 4 所示。3 个试验田块的利润分别为 72 504.94、88 111.89、69 125.85 元/hm<sup>2</sup>。其中放养河蟹密度最大的田块(2 号田)利润最高,表明在本试验密度条件下可适当增加河蟹的放养量以提高利润。

表 4 稻-蟹复合生态种养系统经济效益 元

项目	种养种类	1 号田	2 号田	3 号田
产值	沙塘鳢	12 348	25 672	19 488
	河蟹	9 687	9 898	9 953
	草鱼	376	720	929.5
	青虾	3 720	0	0
	稻米	20 241	19 344	20 592
总产值		46 372	55 634	50 962.5
利润		22 027	27 720	22 300
单位面积利润(元/hm <sup>2</sup> )		72 504.94	88 111.89	69 125.85

2.2 稻-蟹复合生态种养系统的氮平衡情况

2.2.1 稻-蟹复合生态种养系统的氮输入 由图 2 可知,1 号田氮总输入量为 65.36 kg,其中通过稻苗输入 4.81 kg,蟹苗输入 1.15 kg,肥料输入 32.79 kg,饲料输入 15.70 kg,大气沉降输入 9.11 kg,其他少部分通过螺蛳、鱼虾以及进水输入,输入量为 1.80 kg。2 号田氮总输入量为 66.06 kg,其中通过稻苗输入 5.23 kg,蟹苗输入 1.34 kg,肥料输入 32.79 kg,饲料输入 15.70 kg,大气沉降输入 9.44 kg,其他少部分通过螺蛳、鱼虾以及进水输入,输入量为 1.56 kg。3 号田氮总输入量为 64.79 kg,其中通过稻苗输入 4.81 kg,蟹苗输入 1.60 kg,肥料输入 32.79 kg,饲料输入 14.30 kg,大气沉降输入 9.68 kg,其他少部分通过螺蛳、鱼虾以及进水输入,输入量为 1.61 kg。

3 个田块的氮总输入量差异不大,氮平均总输入量为 65.40 kg,肥料和饲料是最主要的氮素输入来源,肥料输入氮素最多为 32.79 kg,占氮素总投入量的 50.14%,饲料输入氮素 15.23 kg,占氮素总投入量的 23.29%;大气沉降氮素为 9.41 kg,占氮素总投入量的 14.39%(图 3)。

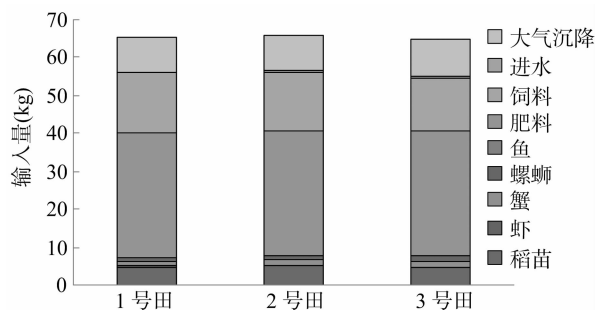


图2 稻-蟹复合生态种养系统中氮输入情况

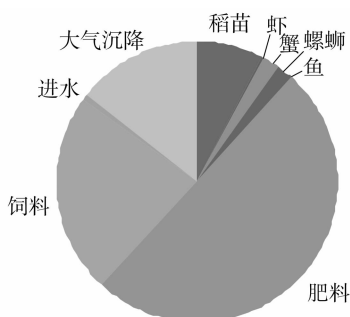


图3 稻-蟹复合生态种养系统中氮平均输入情况

2.2.2 稻-蟹复合生态种养系统的氮输出 由于采用秸秆还田的种植模式,所以氮输出的方式包括稻谷产量、鱼虾蟹产量以及池塘排水,其他氮大部分都盈余在土壤中。1号田氮总输出量为23.75 kg,其中通过稻谷产量输出16.60 kg,鱼虾蟹输出5.75 kg,排水输出1.4 kg;2号田氮总输出量为25.36 kg,其中通过稻谷产量输出15.87 kg,鱼虾蟹输出8.13 kg,排水输出1.36 kg;3号田氮总输出量为26.69 kg,其中通过稻谷产量输出16.90 kg,鱼虾蟹输出8.20 kg,排水输出1.59 kg。3个田块氮总输出量均值为25.27 kg,最主要的输出途径是稻谷的输出,输出量为16.46 kg,占总输出量的65.14%,通过鱼虾蟹收获输出7.36 kg,占总输出量的29.13%,通过排水输出1.45 kg,占总输出量的5.74% (图4)。

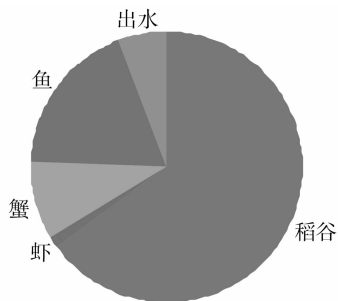


图4 稻-蟹复合生态种养系统中氮平均输出情况

### 2.3 稻-蟹复合生态种养系统的磷平衡情况

2.3.1 稻-蟹复合生态种养系统的磷输入 1号田磷总输入量为28.49 kg,其中通过稻苗输入0.62 kg,蟹苗输入0.09 kg,肥料输入22.50 kg,饲料输入5.10 kg,其他少部分通过螺蛳、鱼虾以及进水输入,输入量为0.18 kg。2号田磷总输入量为28.53 kg,其中通过稻苗输入0.67 kg,蟹苗输入0.11 kg,肥料输入22.50 kg,饲料输入5.10 kg,其他少部分通过螺蛳、鱼虾以及进水输入,输入量为0.15 kg。3号田磷总

输入量为28.51 kg,其中通过稻苗输入0.64 kg,蟹苗输入0.11 kg,肥料输入22.50 kg,饲料输入5.10 kg,其他少部分通过螺蛳、鱼虾以及进水输入,输入量为0.16 kg (图5)。

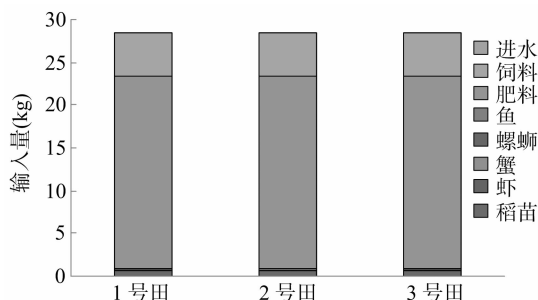


图5 稻-蟹复合生态种养系统中磷输入情况

3个田块的磷总输入量差异不大,平均总输入量为28.51 kg,肥料和饲料是最主要的磷素输入来源,肥料输入磷元素最多,为22.50 kg,占总投入量的78.92%,饲料输入磷元素5.10 kg,占总投入量的17.89%,通过蟹苗输入0.11 kg,占总投入的0.39%,通过稻苗输入0.64 kg,占总投入的2.24% (图6)。

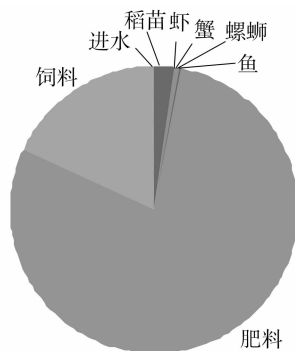


图6 稻-蟹复合生态种养系统中磷平均输入情况

2.3.2 稻-蟹复合生态种养系统的磷输出 1号田磷总输出量为7.12 kg,其中通过稻谷产量输出6.23 kg,鱼虾蟹输出0.74 kg,排水输出0.15 kg;2号田磷总输出量为7.27 kg,其中通过稻谷产量输出5.95 kg,鱼虾蟹输出1.18 kg,排水输出0.14 kg;3号田磷总输出量为7.69 kg,其中通过稻谷产量输出6.34 kg,鱼虾蟹输出1.18 kg,排水输出0.17 kg。3个田块磷总输出量均值为7.36 kg,最主要的输出途径是稻谷的输出,输出量为6.17 kg,占总输出量的83.83%,通过鱼虾蟹收获输出1.04 kg,占总输出量的14.13%,通过排水输出0.15 kg,占总输出量的2.04% (图7)。

## 3 讨论与结论

### 3.1 稻-蟹复合生态种养系统经济效益

3个试验田块的利润分别为72 504.94、88 111.89、69 125.85元/hm<sup>2</sup>。其中,放养河蟹密度最大的田块(2号田)利润最高,投放密度为238.40 kg/hm<sup>2</sup>,表明在本试验密度的条件下可适当增加河蟹的放养量以提高利润。但在实际生产中,应该从环境效益和经济效益2个方面对蟹-稻复合生态种养要素进行优化,研究确定蟹-稻复合生态种养系统中适宜的蟹-稻比例。本研究并没有对环境效益进行评估,

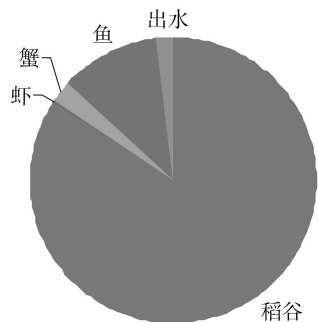


图7 稻-蟹复合生态种养系统中磷平均输出情况

因此在以后的工作中应该进行环境要素的研究,结合经济效益确定合适的稻蟹比例,为合理管理和生产,推广稻-蟹复合生态种养提供理论依据。

### 3.2 稻-蟹复合生态种养系统氮磷平衡

在农业现代化的进程中,随着农药、化肥的广泛使用,农产品质量下降、有机肥资源浪费以及环境污染等问题日益严重,对发展生态农业的需求日益强烈<sup>[14]</sup>。近年来,以低污染、低能耗为基础的稻蟹复合生态种养模式成为重要的养殖模式之一,相关研究主要集中在产量与经济效益等方面,而有关该系统的环境效益与优化生态种养密度方面的研究极少<sup>[15-16]</sup>。本研究设置不同密度的蟹与稻复合种养,分析该共作系统中氮磷平衡与经济效益情况,为进一步优化该生产模式提供了相应理论和实践依据。

本研究中氮总输出量均值为 25.27 kg,最主要的输出途径是稻谷的输出,输出量为 16.46 kg,占总输出量的 65.14%,磷总输出量均值为 7.36 kg,最主要的输出途径是稻谷的输出,输出量为 6.17 kg,占总输出量的 83.83%,表明在生产过程中氮、磷元素的主要利用者是农作物。除了收获农产品输出氮、磷外,很大一部分氮磷元素盈余没有被当季农作物吸收利用,盈余的氮为 40.14 kg,占氮总输入量的 61.36%,盈余的磷为 21.15 kg,占磷总输入量的 74.19%,大部分的氮磷都没有被农作物利用,剩余的氮、磷都残留在土壤中。过量的氮素残留在土壤中,或者通过淋洗渗透进入地下水,或者通过氨挥发和硝化反硝化进入到大气中,这些散失的氮素主要以活性氮形式存在环境中,是导致温室气体排放增加、地下水污染、水体富营养化和土壤酸化的原因之一<sup>[17-19]</sup>。中华绒螯蟹能对水稻生长期间的虫害和杂草发生进行有效控制,鱼虾蟹排泄物进入土壤中,为水稻生长提供营养,有利于氮磷吸收利用。为了进一步了解稻蟹养殖的环境效益,下一步应设置单养蟹和单种水稻的对照试验,分析稻蟹复合生态种养系统的环境效益<sup>[20-22]</sup>。本研究初步研究了该系统的氮磷平衡情况,应进一步研究氮磷循环的规律,从生态系统食物链及食物网水平研究物质的循环和能量流动规律,为优化生态种养系统提供理论依据,构建合理的投饵量、施肥量,减少资源浪费,减少温室气体排放,在产生经济效益的同时产生环境效益,形成产业的可持续发展<sup>[23-24]</sup>。

### 参考文献:

[1] 王 昂,王 武,马旭洲. 稻蟹共作模式的发展历程和前景展望

- [J]. 吉林农业科学,2013,38(3):89-92.
- [2] 吕东锋,王 武,马旭洲,等. 稻田生态养蟹的水质变化与水稻生长关系的研究[J]. 江苏农业科学,2010(4):233-235.
- [3] 杜 伟,遆超普,姜小三,等. 长三角地区典型稻作农业小流域氮素平衡及其污染潜势[J]. 生态与农村环境学报,2010,26(1):9-14.
- [4] 吕东锋,王 武,马旭洲,等. 稻蟹共生系统河蟹放养密度对水稻和河蟹的影响[J]. 湖北农业科学,2010,49(7):1677-1680.
- [5] 刘学军,赵紫娟,巨晓棠,等. 基施氮肥对冬小麦产量、氮肥利用率及氮平衡的影响[J]. 生态学报,2002,22(7):1122-1128.
- [6] Reay D S, Davidson E A, Smith K A, et al. Global agriculture and nitrous oxide emissions[J]. Nature Climate Change, 2012, 2(6):410-416.
- [7] 安 辉,刘鸣达,王厚鑫,等. 不同稻蟹生产模式对稻蟹产量和稻米品质的影响[J]. 核农学报,2012,26(3):581-586.
- [8] 张家宏,王桂良,王守红,等. 茭白-鸭共作系统中氮平衡及经济效益分析[J]. 农业资源与环境学报,2015,32(5):498-505.
- [9] 李长娥. 稻蟹综合种养实用技术[J]. 天津农林科技,2016(2):39-40.
- [10] 施永海,张根玉,张海明,等. 河川沙塘鳢肌肉营养成分的分析和评价[J]. 食品科学,2015,36(4):147-151.
- [11] 马宗琪,衣 宁,杨发斌,等. 植物中氮磷钾元素含量的快速测定方法[J]. 现代农业科技,2014(1):140,142.
- [12] 国家环境保护总局《水和废水监测分析方法》编委会. 水和废水监测分析方法(第四版)[M]. 北京:中国环境科学出版社,2002.
- [13] 郑丹楠,王雪松,谢绍东,等. 2010 年中国大气氮沉降特征分析[J]. 中国环境科学,2014,34(5):1089-1097.
- [14] 巩前文,严 耕. 中国生态农业发展的进展、问题与展望[J]. 现代经济探讨,2015(9):63-67.
- [15] 余 灿,刘永超,尚 源,等. 稻蟹共生经济效益分析[J]. 农家科技(下旬刊),2014(1):302.
- [16] 王德生. 稻田养蟹技术与效益[J]. 中国农村科技,2003(6):38.
- [17] Zhu Z L, Chen D L. Nitrogen fertilizer use in China—Contributions to food production, impacts on the environment and best management strategies[J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2002, 63(2/3):117-127.
- [18] 贺纪正,张丽梅. 氨氧化微生物生态学与氮循环研究进展[J]. 生态学报,2009,29(1):406-415.
- [19] 许中坚,刘广深,俞佳栋. 氮循环的人为干扰与土壤酸化[J]. 地球与环境,2002,30(2):74-78.
- [20] 袁金球. 稻田育蟹种效益与生态共赢[J]. 当代水产,2004,29(2):8-9.
- [21] 吕东锋. 稻蟹共生对水稻和杂草影响的初步研究[D]. 上海:上海海洋大学,2010.
- [22] 陈飞星,张增杰. 稻田养蟹模式的生态经济分析[J]. 应用生态学报,2002,13(3):323-326.
- [23] 李嘉亮,常 东,李柏年,等. 不同稻田综合种养模式的成本效益分析[J]. 水产学报,2014,38(9):1431-1438.
- [24] 李 岩,王 武,马旭洲,等. 稻蟹共作对稻田水体底栖动物多样性的影响[J]. 中国生态农业学报,2013,21(7):838-843.