

稻田综合种养模式的化肥减量效应分析

怀燕 王岳钧 陈叶平 秦叶波

(浙江省种植业管理局, 杭州 310020; 第一作者: 592778787@qq.com)

摘 要:现代农业生产中化肥的大量应用带来了资源破坏、环境恶化等系列问题。稻田综合种养模式利用生物的互惠功能, 大大减少了化肥等资源的使用。本文综述了我国主要稻田综合种养模式的化肥减量效应, 从增加稻田有效养分、促进水稻养分吸收、减少稻田养分损失、减少其他生物取食等方面分析了其作用机理, 并提出应加强对稻田综合种养碳氮循环、有机种植模式、稻米品质影响、专用品种筛选与培育等方面的研究, 促进稻田绿色高效技术模式的发展。

关键词:稻田综合种养模式; 化肥减量; 作用机理

中图分类号:S511.062 **文献标识码:**A **文章编号:**1006-8082(2018)05-0030-05

现代农业生产中化学肥料的利用大大提高了生产力, 随之而来也产生了资源过度使用、环境破坏等问题。水稻是我国主要的粮食作物, 目前我国水稻平均氮肥施用量为 180 kg/hm^2 , 比世界水稻氮肥平均施用量高出 75%^[1], 氮肥平均农学利用率(单位施氮量增加的产量)不足 12 kg/kg , 不到发达国家的一半^[2]。因此, 提高水稻生产的肥料利用率, 减少化学肥料的使用是当前农业生产中迫切需要解决的问题。在复合生态系统中, 生物之间存在相互作用, 当一种子系统的输出物刚好可以作为另一子系统的输入物时, 协同增效效应就会发生^[3], 化肥等资源的利用率也相应提高。稻田综合种养是一种传统的将植物种植和动物养殖相结合的复合系统。大量的试验研究表明, 稻田综合种养系统能优化养分的循环、吸收和利用, 大大减少水稻化肥的施用。本文综述了我国稻田综合种养模式的化肥减量效应及机理, 以期对稻田综合养种的进一步推广提供借鉴。

1 稻田综合养种的化肥减量效应

稻田综合种养可以减少化肥的应用, 提高土地生产力。浙江大学陈欣教授研究小组对“稻鱼共生系统”进行了长期试验研究, 发现稻鱼共生系统中水稻产量和水稻单作没有显著差异的情况下, 稻鱼共生系统对化肥需求减少了 24%^[4]。陈飞星等^[5]对稻田养蟹的环境效益分析表明, 稻蟹共生的水稻化肥施用量一般比单作稻田要少 63.75 kg/hm^2 (纯 N)。胡亮亮^[6]对分布于 13 个水稻主产省(市)的 5 种重要稻渔模式的研究表明, 稻渔模式在平均比水稻单作产量增加 2.98% 的情况

下, 肥料投入量平均减少 26.52%, 其中, 稻鱼模式减少 30.85%, 稻鳊模式减少 24.83%, 稻虾模式减少 23.22%, 稻蟹模式减少 23.93%, 稻鳖模式减少 32.27%。

由于稻田综合种养对化肥和农药的依赖度较低, 也常常作为有机生产模式。张苗苗等^[7]的研究表明, 有机稻田养鸭, 在水稻移栽前施用适量有机肥, 有机稻鸭共作稻田土壤有机质、碱解氮、速效磷和速效钾等养分指标在整个水稻生长期基本能维持一个相对稳定的状态, 可以满足水稻各个生育期的生长需要。在幼穗分化期速效钾含量高于常规稻田, 在成熟期碱解氮、速效磷和速效钾含量都远高于常规稻田。位于浙江德清的稻鳖共生实施区, 连续 5 年不施用化学肥料, 利用鳖池多年沉积的有机营养物质和当季成鳖排泄物及饲料残余, 基本能满足水稻一生的营养需要, 示范方水稻产量稳定在 $7\ 500 \sim 8\ 250 \text{ kg/hm}^2$ ^[8]。

2 稻田综合种养模式化肥减量效应的作用机理

稻田综合种养模式在稻田中引进了新的物种, 稻田生态环境发生变化, 养分的循环也发生变化, 这使得稻田的化肥减量变得可能。关于稻田综合种养化肥减量的机理有以下几方面的解释: 稻田综合种养直接增加了稻田有效养分, 促进了水稻对养分的吸收、减少了稻田养分的损失、减少了其他生物的取食等, 在这几方

收稿日期: 2018-07-10

基金项目:浙江省“三农六方”科技协作项目(CTZB-F170623LWZ-SNY1-1)

面的综合作用下,稻田的化肥施用量大大减少。

2.1 增加稻田有效养分

在农田生态系统中,氮素的输入主要有大气氮沉降、肥料氮素、动植物残体、生物固氮等。稻田综合种养中养殖动物的日常活动与排泄等行为使系统更加复杂化,系统氮的投入与产出也发生改变。在稻田综合种养模式中,氮输入除靠化学肥料和灌溉水外,养殖动物以饲料、杂草等为食物,通过粪便排泄到稻田中,将环境中原本不易被水稻吸收利用的氮形式转变成易于被水稻吸收利用的有效氮形式,提高了氮素的利用效率。对稻鱼共生的研究表明,鱼饲料转化率(摄食/增重)介于1.48~2.59之间^[9-10],表明饲料被鱼吸收后,有相当大部分排泄到了环境中,鱼排泄物中的氮大部分以铵离子的形态存在,而铵离子是水稻的主要氮摄入形式^[11-13]。陈飞星等^[6]研究表明,养蟹需要人工投饵,河蟹摄食后把物质和能量利用起来,增加了土壤的养分含量,提高了土壤的肥力,稻田养蟹与水稻单作相比,土壤的养分含量均有不同程度的增加,其中,速效磷增加11.7%,全氮增加10.6%,有机质增加10.5%,全钾基本不变,而碱解氮、全磷和速效钾则分别增加3.3%、5.8%和3.5%。同样,对稻鸭共作系统的研究表明,在氮素输入方面,稻鸭共作系统以鸭粪的形式增加13.2 kg/hm²的氮素投入,田间施氮量比常规栽培减少12.8 kg/hm²^[4]。水稻能吸收利用系统中未被利用饲料中的氮和磷^[4,15]。谢坚^[16]的研究表明,稻鱼系统中水稻31.84%的氮素来自未被鱼利用的饲料,从而提高了饲料中氮素的利用效率。胡亮亮^[7]用¹⁵N同位素示踪结果显示,饲料中的氮素,被鱼、鳖和蟹利用的部分分别占18.33%、13.02%和35.13%,水稻的吸收利用使系统对饲料氮利用率分别增加了9.71%(稻鱼)、42.00%(稻鳖)和7.57%(稻蟹)。Zhang等^[17]试验也表明,在鳖单作系统中,鳖仅用掉了投喂饲料中20.4%的氮和22.8%的磷,饲料中大量的氮和磷被留在环境中,然而在稻鳖共生系统中,未被鳖利用的饲料中的氮和磷被水稻所吸收。

2.2 促进养分吸收

稻田水体和土壤理化性状影响水稻对养分的吸收和利用。稻田综合种养中,水体和土壤理化性状明显改善,从而促进了稻田养分的活化,促进了水稻对养分的吸收。养鱼稻田水中溶氧量明显高于一般水稻田,溶氧量增加,既有利于鱼的生长,又改善了田间土壤的通气状况,有利于水稻根系的生长发育,促进了养分吸收^[18];稻田养鱼可以改善稻田耕作层土壤理化性质,与对

照相比,养鱼田土壤容重减少15.15%,总孔隙度增加14.64%^[19]。长期稻虾共作模式提高了0~40 cm土层中>0.25 mm水稳性团聚体的数量、平均质量直径和几何平均直径,改善了土壤结构,促进了水稻对养分的吸收,提高了水稻产量以及经济效益^[20]。在稻鸭共生系统中,土壤的物理性状也得到一定程度的改善,土壤容重降低0.01 g/cm³,>0.25 mm团聚体增加2.65%~3.12%,土壤结构系数增加2.56%~6.63%。同时,稻田土壤氧化还原状况也得到了明显改善^[21]。由于土壤肥力的提高以及土壤通气状况的改善,稻鸭共作极显著提高了水稻的总吸氮量,比常规稻作高17.8%^[22]。

2.3 减少养分损失

农田生态系统中氮素损失途径主要有氨挥发、硝化-反硝化、淋洗和径流^[23]。稻田综合种养系统由于养殖动物的存在,改变了养分的循环,减少了养分的损失。

氨挥发是稻田氮肥损失的主要途径之一。水田施用尿素、碳酸氢铵等化肥,氨挥发的损失量通常占其施用量的9%~40%^[24-25]。氨挥发不仅造成氮肥利用率降低,而且,氨挥发至大气与酸性物质结合会导致酸雨、地下水富营养化等环境问题^[26]。稻田中氨的挥发与田面水的pH值相关,降低田面水中的pH值能减少氨的挥发损失^[23]。Frei等^[27]报道,由于鱼类食草等,导致稻田的光合作用下降,因此原本该类生物光合活动所需的CO₂被保留,鱼的存在导致平均pH值水平下降,从而使NH₃挥发降低。Yuan等^[28]研究表明,与水稻单作相比,稻鸭和稻鱼共作系统中通过NH₃挥发流失的氮显著减少,稻田中养鸭和养鱼可以减少氮的损失,提高氮肥利用率。杨亚男等^[29]研究指出,水稻立体种养模式(水稻、鱼、虾、蟹共作),氮肥(纯N)减少32%的情况下,稻田养殖和水稻常规种植氮累积挥发量分别为8.91 kg(N)/hm²和21.54 kg(N)/hm²,稻田养殖氨挥发速率为6.90%,比对照低8.50%,而水稻产量增加6.65%;稻田养殖的氮素利用率为64.30%,比对照高19.70%,既实现了水稻丰产,又减少了氮素流失。

稻田土壤中的硝化和反硝化作用,其中间产物可被水溶解,形成的N₂O等,自土壤内逸出,成为土壤氮素损失的基本途径之一。Datta等^[30]研究发现,与常规稻作相比,稻鱼系统N₂O排放量降低;虽然稻鸭系统的总氮流失量显著低于水稻单作,但N₂O排放量却有所增加。通常在淹水条件下,水稻通过自身植株通气组织从地上部运输到根部并释放到根系周围土壤中的O₂较

少,土壤硝化作用被强烈抑制,在稻鸭生态种养复合系统中,鸭子的活动使稻田土壤透气性增强,氧化还原电位升高,土壤硝化作用增强,硝态氮含量增加,在刺激了水稻对氮素的吸收与利用的同时也增加了土壤 N_2O 排放量^[31]。

氮素的淋洗损失是指土壤中的氮随水向下移动到根系活动层以下从而不能被作物根系吸收所造成的氮素损失。李成芳等^[32]研究表明,相对于常规稻作处理,稻鸭、稻鱼共作时田面水的 pH 值、 NH_4^+-N 含量和 TN (总氮)含量显著增加,渗漏水中的 NO_3^--N 和 TN 含量降低,而渗漏水 NH_4^+-N 无明显变化。稻鸭与稻鱼的肥料氮潜在淋失率分别为 2.72% 和 2.58%,比常规稻作处理低 2.99%,表明稻鸭、稻鱼共作可以减少施入氮肥潜在的下渗淋失,同时稻鱼共作减少氮肥淋失的效果好于稻鸭共作。余翔等^[14]研究认为,稻鸭共作生态系统在氮素输出方面,比常规栽培减少了 19.3 kg/hm^2 的氮素径流损失和 1.2 kg/hm^2 的氮素渗漏损失,增加了约 9.3 kg/hm^2 的水稻吸氮量。然而,杨亚男等^[29]研究却认为,鱼虾蟹的活动增强了土壤通气性能,有利于 NH_4^+-N 经硝化作用转化为 NO_3^--N ,使田面水 NO_3^--N 含量升高,侧渗到田埂的含量也相对较高。这可能与不同地域、气候、降雨、水稻种植模式以及田埂年限有关,还需进一步研究。

2.4 减少其他生物对养分的吸收

在稻鱼、稻鳖、稻虾、稻鸭等共作系统中,纹枯病、稻瘟病、稻曲病等病害的发生均较水稻单作轻^[4,33-36],稻飞虱、稻纵卷叶螟等危害也减轻^[37-39],养殖动物减轻了病菌、病虫对水稻的侵害,挽回了水稻的养分和产量损失;同时,养殖动物直接取食杂草、水生生物及水藻等,并游动引起水浑浊,从而抑制了杂草等的生长^[40-42],减少了杂草和其他生物对土壤和水体养分的吸收,使更多的养分流向目标生物^[43-44]。

3 展望

现代农业往往依赖化肥等资源的高投入来获得高产,然而,当前我国农业生产的主要矛盾已从供应总量不足转变为供求不平衡、优质农产品缺乏的矛盾。尤其在水稻生产中,如何转变生产方式,加快资源节约型绿色生产技术的推广,推进绿色优质稻米的供给是当务之急。2015 年,农业部制定了《到 2020 年化肥使用量零增长行动方案》,提出要大力推进化肥减量提效,积极探索产出高效、产品安全、资源节约、环境友好的

现代农业发展之路。稻田综合种养是一条实现水稻化肥减量、农产品优质生产的较好技术途径,它是一种传统的农业生产方式,在我国有着悠久的历史,虽然这种模式早就被农民应用,但种养技术及其机理一直没有进行深入研究。最近十几年,在水稻生产面临转型升级的新形势下,稻田综合种养开始向专业化、规模化发展,相关的研究也开始兴起。传统的农业模式只有与现代农业技术相结合,才能焕发新的生命力。当前,要利用稻田综合种养模式推进化肥减量,实现绿色高效生产,还有很多方面值得探讨。

3.1 稻田综合种养系统碳氮循环研究

碳氮循环是农田生态系统最基本的生态过程,稻田综合种养系统由于养殖动物在时间和空间上生态位的增加,使稻作系统碳氮循环更加优化、更具可控性。目前,对于稻田综合种养系统氮素平衡、氮素利用等方面都有开展研究,但对于各种稻田综合种养模式碳氮循环的系统研究还有所欠缺。碳氮循环的研究将有助于更好地理解稻田综合种养模式化肥减量的机理,更科学地解决稻田氮素投入量大而利用效率低的问题。同时,依据稻田碳氮循环的研究,开展生物肥料、缓效肥料和有机肥料等的应用技术,来减少稻田生态系统对化学氮的过度依赖、维持稻作系统的生态健康,构建高效的农田物质循环途径,才能充分发挥生态农业技术在现代农业发展过程中的功能效应。

3.2 稻田综合种养有机生产模式研究

有机农业是一种完全或基本不用人工合成的化肥、农药、生长调节剂和牲畜饲料添加剂的生产制度。有不少地区农户利用稻田综合种养模式进行有机农业生产,解决稻米污染、品质下降等问题,同时降低了农业生产对生态环境的影响。然而,在稻田综合种养系统中是否可以长期不施用化学肥料,仅依靠养殖动物排泄物等来维持水稻营养生长所需?浙江德清稻鳖共生系统,稻田连续 5 年不施用肥料后,部分稻麦二熟种植后的田块出现了落黄现象,影响了水稻产量^[9]。因此,如何在不施用化学肥料的情况下,长期维持稻田土壤肥力,实现可持续的农业有机生产,还需开展进一步研究。

3.3 稻田综合种养模式对稻米品质影响的研究

稻米品质主要受水稻品种基因型、稻田生态环境和田间管理技术或模式等的影响。以稻田生态环境为例,温度会影响稻米品质的形成,灌浆结实期高温会导致稻米品质下降;就水稻田间管理而言,增加氮肥用量

会增加垩白粒率和垩白度,当氮肥用量过大或者氮肥追肥比例增大,不利于稻米品质的改善,尤其会降低食味品质^[45]。有研究表明,各生态种养模式均能显著降低稻米垩白粒率、垩白度,降低直链淀粉含量和蛋白质含量,同时提高碱消值,生态种养模式能改善稻米品质^[46]。然而,在稻田生态环境中,由养殖动物带来的肥料、温度、水分等各个因子的变化对稻米品质形成的影响还需要深入研究,以便改进田间管理,优化种养模式,为水稻的优质生产提供更好的技术途径。

3.4 稻田综合种养模式专用品种筛选和培育

目前,稻田综合种养模式中的水稻品种往往是当地常规稻作应用品种。但在稻田综合种养模式中,水稻的所处环境条件和常规稻作有所不同,如大部分种养模式中水稻在深淹水的状态下更多,根系扎得不深,需要耐淹水、抗倒伏品种。此外,由于养殖生物需要空间,紧凑株型的水稻更为适宜;由于肥料、农药等的使用量大大减少,需肥量适当、抗性强的品种更适宜。因此,在以后的研究中,应专门针对养殖稻田的生态特征,筛选和培育专用水稻品种,以促进稻田综合种养系统稳步发展。

参考文献

- [1] 彭少兵,黄见良,钟旭华,等. 提高中国稻田氮肥利用率的研究策略[J]. 中国农业科学, 2002, 35(9): 1 095-1 103.
- [2] 李俊峰,杨建昌. 水分与氮素及其互作对水稻产量和水肥利用效率的影响研究进展[J]. 中国水稻科学, 2017, 31(3): 327-334.
- [3] Edwards P. A systems approach for the promotion of integrated aquaculture[J]. *Aquacult Econo Manag*, 1998(2): 1-12.
- [4] Xie J, Hu L L, Tang J J, et al. Ecological mechanisms underlying the sustainability of the agricultural heritage rice-fish co-culture system [J]. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2011, 108(50): 1 381-1 387.
- [5] 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.
- [6] 胡亮亮. 农业生物种间互惠的生态系统功能 [D]. 杭州: 浙江大学, 2014: 22-24.
- [7] 张苗苗,宗良纲,谢桐洲,等. 有机稻鸭共作对土壤养分动态变化和经济效益的影响 [J]. 中国生态农业学报, 2010, 18 (2): 256-260.
- [8] 蔡炳祥,王根连,任洁,等. 稻蟹共生单季晚稻主要病虫害发生特点及绿色防控关键技术[J]. 中国稻米, 2016, 22(4): 75-76.
- [9] Wang J Q, Lui H L, Po H R, et al. Influence of salinity on food consumption, growth and energy conversion efficiency of common carp (*Cyprinus carpio*) fingerlings [J]. *Aquaculture*, 1997, 148 (2-3): 115-124.
- [10] Jabeen S, Salim M, Akhtar P. Feed conversion ratio of major carp *Cirrhinus Mrigala* fingerlings fed on cotton seed meal, fish meal and barley[J]. *Pakistan Vet J*, 2004, 24(1): 42-45.
- [11] Chakraborty S C, Chakraborty S. Effect of dietary protein level on excretion of ammonia in Indian major carp, *Labeo rohita*, fingerlings [J]. *Aquacult Nutr*, 1998, 4(1): 47-51.
- [12] Kyaw K M, Toyota K, Okazaki M, et al. Nitrogen balance in a paddy field planted with whole crop rice (*Oryza sativa* cv. Kusahonami) during two rice-growing seasons [J]. *Biol Fertil Soil*, 2005, 42(1): 72-82.
- [13] Lazzari R, Baldissarroto B. Nitrogen and phosphorus waste in fish farming[J]. *Bol Inst Pesca Sao Paulo*, 2008, 34(4): 591-600.
- [14] 余翔,王强盛,王夏雯,等. 机插稻鸭共作系统氮素基肥用量对水稻群体质量与氮素利用的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15(3): 529-536.
- [15] Hu, L L, Ren W Z, Tang J J, et al. The productivity of traditional rice - fish co-culture can be increased without increasing nitrogen loss to the environment[J]. *Agri Ecosyst Environ*, 2013, 177: 28-34.
- [16] 谢坚. 农田物种间相互作用的生态系统功能-以全球重要农业文化遗产“稻鱼系统”为研究范例[D]. 杭州: 浙江大学, 2011.
- [17] Zhang J, Hu L L, Ren W Z, et al. Rice-soft shell turtle co-culture effects on yield and its environment [J]. *Agri Ecosyst Environ*, 2016 (224): 116-122.
- [18] 曹志强,梁知洁,赵艺欣,等. 北方稻田养鱼的共生效应研究[J]. 应用生态学报, 2001, 12(3): 405-408.
- [19] 杨勇,张洪程,胡小军,等. 稻渔共作水稻生育特点及产量形成研究[J]. 中国农业科学, 2004, 37(10): 1451-1457.
- [20] 倡国涵,彭成林,徐祥玉,等. 稻虾共作模式对渍稻土壤理化性状的影响[J]. 中国生态农业学报, 2017, 25(1): 61-68.
- [21] 杨志辉,黄璜,王华,等. 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.
- [22] 李成芳,曹贵贵,展茗,等. 稻鸭共作对稻田氮素变化及土壤微生物的影响[J]. 生态学报, 2008, 28(5): 2 115-2 122.
- [23] 朱兆良. 农田中氮肥的损失与对策 [J]. 土壤与环境, 2000, 9(1): 1-6.
- [24] 宋勇生, 范晓晖. 稻田氨挥发研究进展 [J]. 生态环境, 2003, 12 (2): 240-244.
- [25] 蔡贵信, 朱兆良. 稻田中化肥氮的气态损失 [J]. 土壤学报, 1995, 32(S): 128-135.
- [26] Trenkel M E. Slow-and control-release and stabilized fertilizers: an option for enhancing nutrient use efficiency in agriculture[M]. Paris: International Fertilizer Industry Association (IFA), 2010: 56.
- [27] Frei M, Becker K. Integrated rice-fish production and methane emission under greenhouse conditions[J]. *Agri Ecosyst Environ*, 2005, 107(1): 51-56.
- [28] Weiling Yuan, Cougui Cao, Danying Xing, et al. Economic valuation associated with nitrogen losses from wetland rice-duck and rice-fish ecological system [J]. *J Food Agri Environ*, 2012, 10 (3): 1 271 - 1 278.
- [29] 杨亚男,张晓惠,陈红,等. 我国北方立体种养稻田氮素利用率研究[J]. 中国生态农业学报, 2015, 23(7): 812-822.

- [30] Datta D R, Nayak D P, Sinhababu T K, et al. Methane and nitrous oxide emissions from an integrated rainfed rice-fish farming system of Eastern India[J]. *Agri Ecosyst Environ*, 2009, 129(1):228-237.
- [31] 沈建凯, 黄璜, 傅志强, 等. 稻鸭生态种养系统直播水稻根表和根际土壤营养特性研究 [J]. 中国生态农业学报, 2010, 18(6):151-156.
- [32] 李成芳, 曹凑贵, 汪金平, 等. 稻鸭、稻鱼共作生态系统中稻田田面水的氮素动态变化及淋溶损失 [J]. 环境科学学报, 2008, 28(10):2125-2132.
- [33] 曹志强, 梁知洁, 赵艺欣, 等. 北方稻田养鱼的共生效应研究[J]. 应用生态学报, 2001, 12(3):405-408.
- [34] 邵益栋. 养蟹稻田植保无害化技术研究 [D]. 扬州: 扬州大学, 2003:1-2.
- [35] 甄若宏, 王强盛, 张卫建, 等. 稻鸭共作对稻田主要病、虫、草的生态控制效应[J]. 南京农业大学学报, 2007, 30(2):60-64.
- [36] 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.
- [37] 肖筱成, 湛学琼, 刘永华, 等. 稻田主养彭泽鲫防治水稻病虫害的效果观测[J]. 江西农业科技, 2001(4):45-46.
- [38] 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.
- [39] 吴敏芳, 郭梁, 张剑, 等. 稻鱼共作对稻纵卷叶螟和水稻生长的影响[J]. 浙江农业科学, 2016, 57(3):446-449.
- [40] Rothuis A J, Vromant N, Xuan V T, et al. The effect of rice seeding rate on rice and fish production, and weed abundance in direct-seeded rice-fish culture [J]. *Aquaculture*, 1999, 172 (3-4): 255-274.
- [41] 吕东锋, 王武, 马旭洲, 等. 稻蟹共生对稻田杂草的生态防控试验研究[J]. 湖北农业科学, 2011, 50(8):1574-1578.
- [42] 徐大兵, 贾平安, 彭成林, 等. 稻虾共作模式下稻田杂草生长和群落多样性的调查[J]. 湖北农业科学, 2015, 54(22):5599-5602.
- [43] Oehme M, Frei M, Razzak M A, et al. Studies on nitrogen cycling under different nitrogen inputs in integrated rice-fish culture in Bangladesh[J]. *Nutr Cycl Agroecosys*, 2007, 79: 181-191.
- [44] Tsuruta T, Yamaguchi M, Abe S, et al. Effect of fish in rice-fish culture on the rice yield[J]. *Fish Sci*, 2011, 77(1): 95-106.
- [45] 贺帆, 黄见良, 崔克辉, 等. 实时实地氮肥管理对水稻产量和稻米品质的影响[J]. 中国农业科学, 2007, 40(1):123-132.
- [46] 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.

Chemical Fertilizer Reduction Analysis of Rice-based Co-culture System

HUAI Yan, WANG Yuejun, CHEN Yeping, QIN Yebo

(Zhejiang Planting Management Bureau, Hangzhou 310020, China; 1st author: 592778787@qq.com)

Abstract: The continuous and heavy application of chemical fertilizers in modern agriculture has brought about a series of problems, such as resource destruction, environmental deterioration and so on. The rice-based co-culture system is a successful case in utilizing facilitation between co-cultured species to reduce chemical fertilizers. This paper reviewed the fertilizer reduction effects on representative rice-based co-culture system in China, analyzed the mechanisms from the aspects of increasing the available nutrients in rice field, promoting the nutrient absorption of rice, reducing the nutrient loss in rice field and reducing the feeding of other organisms. It is suggested that further studies should be strengthened on carbon and nitrogen cycle, organic planting pattern, rice quality, special variety selection and cultivation to promote the development of green and efficient technology model.

Key words: rice-based co-culture system; fertilizer reduction; mechanism

·····
(上接第 29 页)

Effects of Different Drying Method on Drying Rate and Seed Quality of Rice

WANG Yaliang^{1,3}, CHENG Huizhe¹, ZHANG Yuping¹, XIANG Jing¹, ZHANG Yikai¹, Kawano Motonobu², ZHU Defeng^{1*}

(¹ China National Rice Research Institute, Hangzhou 310006, China; ² Satake Corporation, Tokyo 101-0021, Japan; ³ Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China; *Corresponding author: cnrice@qq.com)

Abstract: In this experiment, the effects of drying method on seed quality and drying rate were studied, using rice seed of Yongyou 538 as material. The results showed that drying temperature determined drying duration, 50°C constant temperature drying method significantly shortened the drying time compared to bag drying and air-blowing, the water content declined fastest in rice stack of bag drying at the beginning 8 h of the drying duration. Raising temperature drying improved seed vigor index, 50°C constant temperature method increased seed vigor index by 26.3%, 22.7% and 14.2% respectively, compared to air-blowing, bag ordinary drying and bag heated drying method, bag heated drying slightly increased seed vigor compared to air-blowing and bag ordinary drying. The research indicated that the bag drying method with air blowing and heating effectively shortened the drying duration time, which can provided a reference for small-scale seed drying in Southern rice area.

Key words: rice; drying method; bag drying method; seed quality