

我国北方水田区稻－萍－蟹共生模式效益的研究

王 新，梁仁禄，李培军

(中国科学院陆地生态系统痕量物质生态过程开放研究实验室，辽宁 沈阳 110015)

摘 要: 在辽宁省盘山县太平农场开展了稻－萍－蟹无公害农业模式的研究。结果表明, 与对照相比, 稻－萍－蟹 2、3 处理水稻分别增产 5.79%、1.69%, 而稻－萍－蟹 1 处理与对照相比减产 2.03%, 稻－萍－蟹系统增收河蟹 103.95—170.85kg·hm⁻²; 稻－萍－蟹系统与对照相比土壤全氮含量增加了 12%—20%、全磷增加了 15.7%—30.3%、全钾增加了 40.9%—49.7%, 有机质增加了 20.4%—36.2%; 稻－萍－蟹 1、2、3 处理杂草量比对照分别下降了 25%、50%、15%; 稻－萍－蟹共生模式是北方水田区无公害农业最佳生态模式。

关键词: 稻－萍－蟹; 无公害农业; 共生模式

中图分类号: S181 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0267(2002)01-0041-04

Evaluation of Benefits Gained from Rice – Duckweed – Crab Symbiotic Model in Paddy Soil of North China

WANG Xin, LIANG Ren-lu, LI Pei-jun

(Laboratory of Ecological Process of Trace Substance in Terrestrial Ecosystem, Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110015, P. R. China)

Abstract: Field experiment studies in Panshan County Liaoning Province demonstrated that rice – duckweed – crab treatment 2, 3 increased rice production by 5.79%, 1.69%, respectively compared with control, while rice – duckweed – crab treatment 1 decreased 2.03% compared with control. Meanwhile, crab production reached 103.95—170.85kg·hm⁻² in rice – duckweed – crab system. Total N, P, K and soil organic matter contents of paddy field increased 12%—20%, 15.7%—30.3%, 40.9%—49.7%, 20.4%—36.2%, respectively. In addition, weed contents in the paddy field decreased by 15%—50% compared with the control. It may be concluded that symbiotic model of rice – duckweed – crab is the best ecological model of green agriculture in North paddy region.

Keywords: rice – duckweed – crab; green agriculture; symbiotic model

在全球绿色浪潮的冲击下,世界各国普遍高度重视环境问题,其中食品安全性问题倍受关注,而食品安全性需要有无公害农业的保障和支持。我国 1997 年粮食作物的化肥施用量为 29.1918×10⁶t,比 1978 年 6.6634×10⁶t 增加了 3.38 倍^[1]。农业生产中化肥的投入量逐年增加,而有机肥投入量逐年减少,土壤中各种有机和无机营养处于亏损状态,土壤肥力不断下降,致使农田养分循环失去平衡,影响了农作物的产量和品质。因此,应用生态系统中物种共生、物质循环再生原理,结构与功能协调原则,结合系统工程最

优化法,设计分层多级利用物质的生产工艺系统^[2],建立一个高产、优质、高效又保持土壤肥力的农业模式,无疑是无公害农业发展的关键所在。稻田养萍及稻田养蟹都是生态农业的主要种养模式^[3],将两种模式结合起来,形成稻－萍－蟹共生模式,可提高土壤肥力,增加土壤有机质含量,使农田养分循环保持平衡,即促进了水稻的生长,而且蟹具有良好的经济效益。因此,开展稻－萍－蟹立体生态农业模式的研究,对于促进稻田生产的经济效益及环境效益、发展无公害农业、保障农产品安全性及维护人类健康都具有重要的意义。

1 实验材料与方法

1.1 田间实验设计

实验地选址在辽宁省盘山县太平农场新村。实验

收稿日期:2000-12-30

基金项目:中国科学院资源与生态环境研究重点资助项目(KZ952-S1-228)

作者简介:王 新(1961—),女,中国科学院陆地生态系统痕量物质生态过程开放研究实验室副研究员。

设 4 种处理,对照、稻-萍-蟹 1(萍 3 kg·区⁻¹,蟹 70 只·区⁻¹)、稻-萍-蟹 2(萍 6 kg·区⁻¹,蟹 110 只·区⁻¹)、稻-萍-蟹 3(萍 9 kg·区⁻¹,蟹 150 只·区⁻¹),每一处理重复 3 次。实验小区面积为 26 m×8.5 m=221 m²,供试土壤为盘山县具有代表性的土壤——水稻土,土壤有机质含量为 1.96%、全氮 0.133%、全磷 0.089%、全钾 1.81%。每个小区设有防逃塑料布,避免蟹外逃。水稻品种为 454,插秧密度为 30 cm×20 cm。河蟹为中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis* H. Milne Edward),6 月 10 日投放蟹苗,7 月 15 日放细绿萍(*Azolla filiculoides* Lam),投放量根据设计要求投放。

1. 2 实验观测项目

1. 2. 1 土壤养分

水稻收割后,每个小区采集 0—15 cm 表层土壤,土壤样品风干,四分法取土,磨碎、过筛,备用。测定土壤中有有机质、土壤全氮、全磷、全钾及土壤速效氮、磷、钾的含量。

1. 2. 2 作物、河蟹生长期调查观测

在水稻、蟹生长期间,对水稻生长指标株高及蟹体重、体长进行观测调查。

1. 2. 3 杂草调查

水稻收割前调查杂草种类及数量。每个小区取 4 点,每点面积 2 m²,分别按杂草的种类风干,称重。

1. 3 土壤养分分析测定

将采回的土壤风干、粉碎、过筛,进行养分分析。土壤有机质用重铬酸钾容量法;全氮用半微量凯氏定氮法;全磷用三酸(HNO₃、HClO₄、HF)消煮,钼锑抗比色法;全钾用三酸(HNO₃、HClO₄、HF)消煮,火焰光度法;速效氮用碱解扩散法;速效磷用 0.5 mol·L⁻¹碳酸氢钠浸提,钼锑抗比色法;速效钾用中性 1 mol·L⁻¹醋酸铵,火焰光度法。

2 试验结果与讨论

2. 1 水稻、蟹生长状况分析

为了能真实反映水稻、蟹生长状况,在其生长期间分不同时段对水稻、蟹生长状况进行观测记录(参

表 1 蟹生长状况				
Table 1 The conditions of crab growth				
时间	生长指标	稻-萍-蟹 1	稻-萍-蟹 2	稻-萍-蟹 3
1998. 6	体长/cm·只 ⁻¹	2. 50	2. 43	2. 15
	体重/g·只 ⁻¹	8. 14	8. 27	8. 06
1998. 10	体长/cm·只 ⁻¹	4. 50	5. 00	4. 83
	体重/g·只 ⁻¹	55. 00	57. 50	57. 20

注:稻-萍-蟹 1 稻-萍(3 kg·区⁻¹)-蟹(70 只·区⁻¹);
稻-萍-蟹 2 稻-萍(6 kg·区⁻¹)-蟹(110 只·区⁻¹);
稻-萍-蟹 3 稻-萍(9 kg·区⁻¹)-蟹(150 只·区⁻¹)。

表 2 不同处理对水稻生长的影响				
Table 2 Effects of different treatments on rice growth				
项目	对照	稻-萍-蟹 1	稻-萍-蟹 2	稻-萍-蟹 3
株高/cm	82. 10	82. 83	82. 87	81. 40
穗长/cm	15. 50	15. 40	16. 07	15. 84
分蘖数/个	10. 00	11. 70	10. 30	9. 00
千粒重/g	25. 30	26. 13	25. 40	24. 90
粒重/kg·区 ⁻¹	158. 65	155. 43	167. 83	161. 33

见表 1、2)。

由表 1、2 水稻、蟹生长状况监测结果可直观地表明,稻-萍-蟹 2 的处理效果较好,蟹体重比原来增加了 49. 23 g,体长增加了 2. 57 cm,而且增加的幅度要好于稻-萍-蟹 1、3。就水稻株高而言,稻-萍-蟹 1、2 的株高比对照和稻-萍-蟹 3 的株高要高。稻-萍-蟹 2、3 穗长要好于对照和稻-萍-蟹 1。而分蘖数和千粒重稻-萍-蟹 1、2 好于其它处理。稻-萍-蟹 2、3 的粒重比对照的重,而稻-萍-蟹 1 的粒重低于对照。总而言之,稻-萍-蟹处理后水稻株高、穗长、分蘖数、粒重基本都好于对照。因此,稻田中适量养蟹和放萍不仅可促进水稻的生长,同时增加了水稻的产量,改善了水稻的品质。

2. 2 稻-萍-蟹共生模式的效益分析

秋收时节收获水稻和蟹,并将水稻产量和河蟹产量及所对应的产值进行了计算,结果见表 3。

计算结果表明,稻-萍-蟹 1 的水稻产量与对照相比减产 2. 03%,稻-萍-蟹 2、3 水稻产量分别增产 5. 79%、1. 69%。就河蟹产量而言,稻-萍-蟹 2 产量最高,而稻-萍-蟹 3 尽管投放量大,但其产量并没

表 3 不同处理水稻、蟹产量及经济效益比较(kg·hm ⁻² 、元·hm ⁻²)							
Table 3 Yields of rice and crab and comparison of economic benefit							
处理	水稻产量	产值	河蟹产量	产值	总产值	成本	利润
水稻(对照)	7 179. 0	11 773. 6			11 773. 6	2 526. 6	9 247. 0
稻-萍-蟹 1	7 033. 5	11 534. 9	138. 6	5 544	17 078. 9	3 806. 1	13 272. 8
稻-萍-蟹 2	7 594. 5	12 454. 9	256. 2	10 248	22 702. 9	4 537. 4	18 165. 5
稻-萍-蟹 3	7 300. 5	11 972. 8	231. 7	9 268	21 240. 8	5 268. 5	15 972. 3

有超过稻-萍-蟹 2，主要是因为蟹投放量过大，生存环境空间有限所致。稻-萍-蟹不同处理之间稻萍蟹 2 产值最大，且所获利润最多，与单种稻相比每公顷可多获利 9 000 元，稻-萍-蟹系统具有良好的经济效益。

从生态效益来看，稻田养蟹及放萍是根据水稻、萍的生态特征、生物学特征及河蟹的生活习性形成的一种立体种养模式。通过生态系统中的物质循环和能量的转换形成共生互惠的关系，从而增加了稻田的生态承载力。稻-萍-蟹共生的条件在于：稻田水源充足，水质稳定，温度适宜，有利于蟹的生长，为河蟹生长提供部分饵料来源，同时稻田还可为河蟹生长提供依附物和栖息场所。萍的须根和萍体的腐烂使土壤表层疏松，改善土壤物理性质；萍可提供有机肥料来源，恢复和提高土壤肥力。蟹属杂食性动物，可摄食绿萍，因此萍的存在既有利于水稻生长又有利于蟹的生长。蟹可疏松土壤，消灭田间杂草，其粪便和剩余饵料可转化为肥料，促进水稻的生长。因此，稻-萍-蟹之间产生共生互惠的效力。

2.3 稻田杂草的变化

稻-萍-蟹立体农业模式是应用生物间相生相克、相辅相成的关系，利用河蟹捕食杂草和绿萍覆盖水面抑制杂草生长的特点(见图 1)。

图 1 不同处理田间杂草的变化

Figure 1 Variation of biomass of weeds in paddy soils from different treatments

由图 1 结果直观地反映出水稻(对照)杂草最多，为 186.0 kg·hm⁻²；其次是稻-萍-蟹 3、稻-萍-蟹 1，分别为 158.0 和 139.5 kg·hm⁻²，稻-萍-蟹 2 最

少，为 93.0 kg·hm⁻²。3 种稻-萍-蟹处理中，稻-萍-蟹 2 河蟹数量多，说明河蟹在其生长过程中对杂草有一定的捕食量，同时绿萍覆盖水面具有抑制杂草生长的作用。稻-萍-蟹系统减少水稻病虫害的发生和杂草的蔓延生长，进而减少了农药的用量和土壤环境的污染。

2.4 稻-萍-蟹共生模式对土壤肥力的影响

在稻-萍-蟹系统中，河蟹在稻田觅食、爬行，翻动了土壤，改善了土壤通透性，提高了土壤肥力。同时，养蟹投入的残余饵料、河蟹排泄的粪便及腐烂的萍体增加了稻田有机质和养分含量，因此，对单种稻及稻-萍-蟹不同处理分别测定了土壤养分含量，其结果见表 4。

由表 4 分析测试结果表明，随着萍、蟹投加量的增加，土壤养分含量也相应随之增加。稻田套养萍，不仅不与水稻争夺养分，反而有增加土壤中养分的作用。据资料记载^[4]，萍在其生长过程中，每生产 500 kg 绿萍可向水中释放相当于 1—1.5 kg 的硫酸。同时萍体根系约有总根量的 30% 脱落于水中，且萍体会逐渐腐烂，提高了土壤肥力。蟹在其生长过程中，新陈代谢产生的粪便及剩余饵料，可转化为肥料。因此，在稻-萍-蟹系统中由于萍和蟹的共同存在和作用使系统中养分含量增加，稻-萍-蟹系统有机质、氮含量均高于全国耕层土壤含量的平均值 1.98% 和 0.105%^[5]，该系统磷含量比辽宁水稻土磷含量 0.042%^[5]要高。稻-萍-蟹与水稻(对照)相比，有机质增加了 20.4%—36.2%，全氮增加了 12%—20%、全磷增加了 15.7%—30.3%、全钾增加了 40.9%—49.7%，速效氮增加了 9—13.6 mg·kg⁻¹、速效磷增加了 1.52—2.46 mg·kg⁻¹、稻-萍-蟹 1、3 速效钾略低于水稻(对照)，稻-萍-蟹 2 速效钾比对照增加了 14.5 mg·kg⁻¹，在一定投放量范围内，随着萍、蟹投放量的增加，土壤养分及有效养分含量也随之相应增加。在该模式系统中反映土壤肥力水平的有机质、土壤养分限制因子 N、P 含量均有所增加，它们的增加是提高作物产量及促进无公害农业生产的主要途

表 4 不同处理土壤养分含量比较

处理	有机质 /%	全氮 /%	全磷 /%	全钾 /%	碱解氮 /mg·kg ⁻¹	速效磷 /mg·kg ⁻¹	速效钾 /mg·kg ⁻¹
水稻(对照)	1.96	0.133	0.089	1.81	88.00	5.37	173.50
稻萍蟹 1	2.36	0.149	0.103	2.71	97.00	6.89	188.80
稻萍蟹 2	2.42	0.160	0.109	2.55	97.00	6.89	188.30
稻萍蟹 3	2.67	0.149	0.116	2.68	101.60	7.83	171.10

表 5 不同处理养分收支平衡状况(kg·hm⁻²)
Table 5 Balance of nutritional input and output

	水稻(对照)	处理 1	处理 2	处理 3
输入 N	73.02	74.51	75.52	79.42
P	57.40	57.32	57.34	58.13
K	11.70	11.85	13.16	16.30
输出 N	118.36	94.23	75.72	98.14
P	29.67	26.02	25.72	27.10
K	93.36	51.76	54.39	72.40
盈亏 N	-45.34	-19.42	-0.200	-18.72
P	+27.73	+31.30	+31.62	+31.03
K	-81.66	-39.91	-41.23	-56.10

径。

2.5 不同处理养分平衡特征

稻-萍-蟹系统是一种人工的农业生态系统,其效应是使系统内养分得到多级利用,从而提高了系统的生产力。不同处理养分输入输出状况见表 5。

根据表 5 计算结果,从系统整体养分输入输出比较而言,水稻对照每年亏缺 N 45.34 kg·hm⁻²、K 81.66 kg·hm⁻²,P 盈余 27.73 kg·hm⁻²,水稻对照比稻-萍-蟹系统 N 亏缺 25.92—45.14 kg·hm⁻²、K 亏缺 25.56—41.75 kg·hm⁻²,说明稻-萍-蟹系统在作物生长过程中提供的养分要比水稻(对照)提供的养分充足,不仅有利于作物生长,而且提高了土壤肥力。就稻-萍-蟹 3 种处理比较而言,稻-萍-蟹 2 的 N 亏缺最少,基本保持 N 输入输出的平衡状态,稻-萍-蟹 3 的 N、K 亏缺较多,总的来说稻-萍-蟹 2 的养分平衡状况要好于其它处理。N、P 含量是粮食品质的主要成分,土壤养分含量状况良好,不但可增加作物产量,同时可提高粮食的品质。因此,在稻-萍-蟹投放量最适时(萍 6 kg·区⁻¹,蟹 110 只·区⁻¹,

也就是萍 270 kg·hm⁻²,蟹 4 950 只·hm⁻²),不但可提高经济效益,还可改善水稻的品质,增加土壤肥力,使稻田处于良好的生态平衡状态。

3 结论

- (1) 稻-萍-蟹系统的经济效益要好于单种稻(对照)的效益。稻-萍-蟹 3 种处理中稻-萍-蟹 2 处理经济效益最好,比单种稻每公顷多获利 9 000 元。
- (2) 稻-萍-蟹系统共生模式提高了土壤养分含量,使土壤有机质、全氮、全磷、全钾分别增加了 20.4%—36.2%、12%—20%、15.7%—30.3%、40.9%—49.7%。
- (3) 稻-萍-蟹系统由于萍和蟹的存在,降低了系统中的杂草含量,与单种稻相比杂草含量下降 15%—50%。
- (4) 稻-萍-蟹共生模式是一种经济、生态和社会效益较高的稻田综合利用的一种组合,是我国北方水田区无公害农业的一种优化模式。

参考文献:

[1] 彭琳. 中国化肥施用与粮食生产的进程、前景与布局[J]. 农业现代化研究,2000,21(1):14-18.

[2] 马世俊. 现代生态学透视[M]. 北京:科学出版社,1990. 135-141.

[3] 孙鸿良. 我国生态农业主要种植模式及其持续发展的生态学原理[J]. 生态农业研究,1996,14(1):15-22.

[4] 任玉民,等. 辽河三角洲稻田养萍技术及其改土培肥的效果[J]. 盐碱地利用,1992,4:5-8.

[5] 沈善敏. 中国土壤肥力[M]. 北京:中国农业出版社,1998. 115-269.

《农业环境与发展》2002 年征订启事

《农业环境与发展》是由农业部环境保护科研监测所和全国农业环境保护科技信息网联合主办的国家级综合指导类科技期刊。该刊积极宣传我国农业生态环境保护有关政策,及时报道生态农业建设与无公害农产品生产的发展,在农业生态环境保护工作中发挥宣传指导作用。该刊主要刊登我国农业生态环境保护的方针政策、管理经验,监测与评价方法,生态农业建设理论与实践以及无公害农产品生产技术,农业环境信息、动态等。同时,《农业环境与发展》将在重要版面上宣传各地农业环境保护成就并承办各类相关广告业务。

《农业环境与发展》2002 年起改为双月刊,48 页,大 16 开,逢双月 25 日出版,刊号 ISSN 1005-4944, CN12-1233/S, 全国发行,各地邮电局(所)均可订阅,邮发代号 6-40,每本定价 6.00 元,全年 36.00 元。有漏订者可直接与编辑部联系订阅。本刊现有 1999—2000 年度合订本,定价 60.00 元/册(含邮资),2001 年合订本每册 50 元(含邮资)需订购者请直接从邮局汇款至编辑部订阅(务请在汇款单上注明订户详细地址及需订内容)。

编辑部地址:天津市南开区复康路 31 号 邮政编码:300191 电 话:022-23674336

传 真:022-23367139 E-mail: caed@public.tpt.tj.cn