

Institut für Tierproduktion in den Tropen und Subtropen
Fachgebiet Aquakultursysteme und Tierernährung
Universität Hohenheim
Prof. Dr. Klaus Becker (Betreuer)



**STUDIES ON PRODUCTIVITY AND ENVIRONMENTAL EFFECTS
OF THE INTEGRATION OF SEMI-INTENSIVE FISH CULTURE IN
RICE FIELD ECOSYSTEMS**

Dissertation
zur Erlangung des Grades eines Doktors
der Agrarwissenschaften

der Fakultät Agrarwissenschaften

von
Michael Frei
aus Isny im Allgäu

2007

Summary

Integrated rice-fish culture has a high potential for increasing agricultural productivity in rice-producing countries through complementary resource utilization. Traditionally, fish have always formed a part of the rice field ecosystem, and the catching of fish in rice fields has been reported as a traditional practice in many Asian countries. Due to the introduction of modern agricultural practices during the 1960s and 1970s, especially the use of agrochemicals, the abundance of fish in rice-fields has declined. In view of today's need to feed rapidly growing populations in developing countries, rice-fish culture can contribute substantially to the supply of protein, and is thus a promising approach for combating malnutrition.

This study was carried out to investigate productivity and the environmental effects of integrated rice-fish culture. A first objective was to improve the productivity of both rice and fish through optimized management. Two fish species of world-wide importance, i.e. common carp, *Cyprinus carpio* L., and Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.) were tested in single and mixed culture and with different inputs. Synergies in nutrient utilization between rice and fish were assessed by establishing nutrient budgets. A further aim was to assess the effect of rice-fish culture on the environment and on the rice field ecology. An important and novel aspect studied was the effect of fish on methane emissions from rice fields. The potential of fish as part of an integrated pest management strategy was explored by monitoring the rice field arthropod population, the benthic fauna, and the weed abundance. A two-stepped approach was adopted, including a greenhouse study in a controlled environment, followed by field experiments at the Bangladesh Agricultural University in Mymensingh (Bangladesh).

In the greenhouse study, the combination of *C. carpio* and *O. niloticus*, reared at 2 x maintenance feeding, was found to be more productive than fish single culture in terms of fish yield. *O. niloticus* exhibited better utilization of supplementary feeding and was superior in the interspecific competition with carp for fish feed. The effect of fish on rice growth and yield was controversial. From the nitrogen and phosphorus budget established, it was concluded that higher retention of feed nutrients by the fish lead to lower nutrient availability for the rice plants. These results were principally confirmed in the field experiments. In the first trial, *C. carpio* and *O. niloticus* were tested either in mixed culture or in single culture, the mixed culture showing the highest fish productivity. Mixed culture of the two fish species was therefore tested under different inputs in the second experiment, i.e. urea fertilization, or

two different feeding levels. The higher feeding level resulted in a fish yield of 935 kg ha⁻¹, which was unprecedented in rice-fish culture in Bangladesh. A detailed nitrogen budget of this second field experiment was established. Fish were found to improve the nitrogen uptake by rice plants in urea fertilized rice-fish culture, as compared to rice only with urea fertilization. This was reflected in a significantly higher amount of nitrogen recovered in the rice harvest fractions, especially in the straw. Comparing the two feeding levels, it was observed that a higher rate of feeding improved not only the fish yield, but also the amount of nitrogen taken up by the rice plants. The fact that rice plants took up excreted feed nutrients points to synergetic nutrient utilization in rice-fish culture with supplementary feeding.

The environmental studies revealed both negative and positive effects of fish. A boost of methane emissions due to the presence of fish was observed during the greenhouse trial. Average emission was 13.6 mg m⁻² h⁻¹ and 12.1 mg m⁻² h⁻¹ in the two rice-fish treatments, respectively, and 10.7 mg m⁻² h⁻¹ in rice only. The increase in methane emissions was explained by two mechanisms. First, the presence of fish led to a drop in the floodwater dissolved oxygen concentration, thus reducing the amount of oxygen available in the soil/water interface. By grazing on the aquatic flora and by increasing the water turbidity, fish limited the aquatic photosynthesis and thus oxygen release. In addition, fish consumed oxygen for their metabolism. Floodwater oxygen levels showed significant negative correlations with the level of methane emissions, indicating that this was an important cause of the increase in emissions observed. A second explanation was that fish released methane entrapped in the soil through bioturbation while searching for feed. These activities lead to dissipation of methane to the water column, as reflected in higher levels of dissolved methane. The field experiments confirmed the observations from the greenhouse. Both the tendency of fish to increase methane emissions, as well as the processes leading to this effect could be confirmed in a natural rice environment.

Fish were found to have some potential as biological control agents. However, most rice insect pests do not have any aquatic phase during their life cycle, and are thus difficult to control by fish. A significant effect was detected only on species of the order *Diptera*, which are mostly considered as indifferents in rice production. Significant effects of fish were found on the benthic fauna, i.e. molluscs, oligochaete worms, and chironomid larvae. The abundance of aquatic weeds was controlled very efficiently by fish.

In conclusion, the production of *O niloticus* and *C. carpio* in rice fields can contribute substantially to the supply of high quality protein in developing countries. Rice-fish culture

has the major benefit of using scarce resources such as land, water, and nutrients, in a complementary way. The environmental drawback of a moderate increase in methane emissions might be compensated by economic and ecological benefits for the farmers.

Zusammenfassung

Integrierte Reis-Fisch Kultur kann durch komplementäre Ressourcennutzung erheblich zur Steigerung der landwirtschaftlichen Produktivität in Reis produzierenden Ländern beitragen. Traditionell stellten Fische immer eine Komponente des Reisökosystems dar, und Fischfang in Reisfeldern wird aus zahlreichen asiatischen Ländern berichtet. Durch die Einführung moderner landwirtschaftlicher Praktiken während der 1960er und 70er Jahre, insbesondere durch die Anwendung chemischer Inputs, wurde der Fischbesatz in Reisfeldern zurückgedrängt. Angesichts der heute dringend erforderlichen Steigerung der Nahrungsmittelproduktion in Entwicklungsländern kann Reis-Fisch Kultur jedoch erheblich zur Proteinversorgung beitragen und stellt somit einen viel versprechenden Ansatz zur Bekämpfung von Mangelernährung dar.

Ziel der vorliegenden Arbeit was es, Produktivitäts- und Umwelteffekte der integrierten Reis-Fisch-Produktion zu untersuchen. Einerseits sollte die Produktivität sowohl von Reis als auch von Fisch durch optimiertes Management verbessert werden. Zwei Fischarten von weltweiter Bedeutung in der Aquakultur - Tilapia (*Oreochromis niloticus* (L.) und Karpfen (*Cyprinus carpio* L.) - wurden in Einzel- und Mischkultur und mit verschiedenen Inputs getestet. Synergien der Nährstoffnutzung wurden durch Erstellen von Nährstoffbilanzen untersucht. Ein weiteres Ziel war es, Auswirkungen von Fischen auf die Umwelt und auf das Reisökosystem abzuschätzen. Ein wichtiger und neuartiger Aspekt war hierbei der Zusammenhang zwischen Fischaktivität und Methanemissionen. Das Potenzial von Fischen für den integrierten Pflanzenschutz wurde durch Erfassungen der Arthropodenpopulation, sowie der benthischen Fauna und Unkrautmenge bewertet. Diese Zielsetzungen wurden in zwei Projektphasen verfolgt. Zunächst wurden in einem kontrollierten Gewächshausversuch grundlegende Mechanismen geklärt, welche dann in Feldversuchen an der Bangladesh Agricultural University in Mymensingh (Bangladesch) verifiziert wurden.

Im Gewächshausversuch stellte sich die Kombination von *C. carpio* und *O. niloticus* bei doppelter Erhaltungsfütterung im Bezug auf den Fischertrag als vorteilhaft heraus gegenüber einer Einzelkultur von *C. carpio*. *O. niloticus* nutzte Supplementfutter effizienter und erwies sich in der Mischkultur als überlegen bei der interspezifischen Konkurrenz mit *C. carpio* um Futter. Kontroverse Ergebnisse ergaben sich hinsichtlich des Effektes von Fischen auf Reiswachstum und Ertrag. Aus der ermittelten Stickstoff- und Phosphorbilanz wurde die Schlussfolgerung abgeleitet, dass höhere Nährstoffretention durch die Fische zu niedrigerer Nährstoffverfügbarkeit für Reis führt. Diese Ergebnisse wurden in den Feldversuchen

weitestgehend bestätigt. Im ersten Feldversuch wurden *C. carpio* und *O. niloticus* in Mischkultur und in Einzelkultur getestet, wobei die Mischkultur wie im Gewächshausversuch durch die höchste Fischproduktivität gekennzeichnet war. Aus diesem Grund wurde die Mischkultur im zweiten Feldversuch mit unterschiedlichen Inputs getestet, und zwar Harnstoffdüngung und zwei unterschiedlichen Fütterungsintensitäten. Die höhere Fütterungsstufe ergab einen für Bangladesch außergewöhnlich hohen Fischertrage von 935 kg ha⁻¹. Für diesen Versuch wurde eine detaillierte Stickstoffbilanz erstellt. Dabei wurde festgestellt, dass Fische die Stickstoffaufnahme von Reis in der harnstoffgedüngten Reis-Fisch-Variante in Vergleich zur harnstoffgedüngten Reismonokultur erhöhten. Dies spiegelte sich in höheren absoluten Stickstoffgehalten in den Reiserntefraktionen, insbesondere im Stroh, wieder. Im Vergleich der beiden Fütterungsintensitäten war zu beobachten, dass die höhere Fütterungsstufe nicht nur die Fischerträge erhöhte, sondern auch die Stickstoffaufnahme durch die Reispflanzen. Da Reis offensichtlich überschüssige Futternährstoffe aufnimmt, kann somit von synergetischer Nährstoffnutzung bei Supplementfütterung ausgegangen werden.

Die ökologischen Untersuchungen deuteten auf positive wie auch negative Umwelteffekte der integrierten Reis-Fisch-Kultur. Während des Gewächshausversuchs wurde ein Anstieg des Methanausstoßes in den Reis-Fisch-Behandlungen verzeichnet. Die mittlere Emission belief sich auf 13.6 mg m⁻² h⁻¹ und 12.1 mg m⁻² h⁻¹ in den beiden Reis-Fisch-Behandlungen und auf 10.7 mg m⁻² h⁻¹ in der Reismonokultur. Der Anstieg des Emissionsniveaus wurde durch zwei Mechanismen erklärt. Erstens führte die Gegenwart von Fischen zu einem Abfall der Sauerstoffsättigung in der Wassersäule, was die Verfügbarkeit von Sauerstoff in der oberen Sedimentschicht verringerte. Dieser Abfall rührte vermutlich daher, dass Fische durch das Abweiden der aquatischen Flora und die Eintrübung der Wassersäule die aquatische Photosynthese und damit die Sauerstofffreisetzung limitierten. Darüber hinaus verbrauchten Fische Sauerstoff für den Energiemetabolismus. Eine weitere Erklärung für den Anstieg von Methanemissionen wurde aus der erhöhten Konzentration von in der Wassersäule gelöstem Methan abgeleitet. Offensichtlich setzten Fische, insbesondere Karpfen, durch Gründeln im Sediment Methan aus dem Boden frei, das entweder durch Bläschen ausgasete oder durch die Wassersäule diffundierte. Sowohl die Tendenz, dass Fische den Methanausstoß erhöhen, als auch die Wirkungsmechanismen konnten in den Feldversuchen bestätigt werden.

Bezüglich der Kontrolle von Schadinsekten konnte nur geringes Potenzial der verwendeten Fischarten festgestellt werden, da die meisten in der Versuchsregion vorkommenden Schädlinge keine aquatische Phase ihrem Lebenszyklus durchlaufen. Lediglich Arten der

Ordnung Diptera wurden durch Fische signifikant dezimiert. Diese gelten jedoch gemeinhin nicht als Schädlinge im Reisanbau. Signifikante Effekte wurden hingegen hinsichtlich der benthischen Fauna, insbesondere Mollusken, Oligochaeta und Chironomidenlarven, festgestellt. Darüber hinaus wurde der Unkrautwuchs äußerst effizient durch Fische begrenzt.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Produktion von *O. niloticus* und *C. carpio* in Reisfeldern in beträchtlichem Maße zur Versorgung von Entwicklungsländern mit qualitativ hochwertigem Protein beitragen kann, und dabei Ressourcen, insbesondere Land, Wasser und Nährstoffe, effizient und komplementär nutzt. Der ökologische Nachteil eines erhöhten Methanausstoßes wird von ökonomischen und ökologischen Vorteilen für die Bauern kompensiert.