

VII Summary

Laguna de Bay, the largest lake in the Philippines and located immediately southeast of the national capital Manila, has been fished extensively for centuries to provide food for the local population. The lake covers 911 square kilometres at an annual mean depth of only 2.8 metres and is mostly freshwater. Due to its close horizontal and vertical proximity to the sea, there is some intrusion of saltwater via the Pasig River, the only link with Manila Bay, when the lake level lowers sufficiently during the dry season (March-June). The water is normally turbid (Secchi depth <30 cm) but the inflowing saline water flocculates and settles the suspended clay particles, clearing the water (Secchi depth >100 cm) and causing blooms of nitrogen-fixing blue-green algae until the return of the rainy season and the monsoon winds around August.

The lake has also been used for aquaculture since the early 1970s when milkfish, *Chanos chanos* (Forsskål), started to be grown in large netpens (max. 2000 ha) and Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.) in smaller, closed-bottomed netcages (max. 200 m²). In the first years of the practice, it was possible to grow fish from fingerling (ca. 10 g) to marketable (ca. 200 g) size in as little as three months when algal blooms prevailed after saltwater intrusion, making two harvests a year without the use of supplemental feed feasible. By the early eighties, this was no longer possible and this was attributed to the excessive expansion of the netpen industry to over a third of the total lake area in 1984, as well as to high stocking rates, both of which were regarded to result in the overexploitation of the primary production of the lake. Tilapia producers circumvented the problem by giving supplemental feed at times of turbid water but due to the immense size of the netpens, leading to significant feed wastage, this option was not available to milkfish growers.

Since the mid-eighties, the total netpen coverage in the lake has fluctuated but has, at times, fallen to the generally recommended value of about 10 % of the lake area. In spite of this, it has not been possible to achieve two harvests a year of milkfish, still the main culture species, as was the case in the early 1970s. This study was therefore carried out to quantify the seasonal growth rates, feed intake and food spectrum of milkfish and tilapia in the lake in order to determine the factors limiting fish growth more precisely.

Between May 1995 and August 1997, milkfish were sampled on seven and tilapia on eight occasions in commercial aquaculture operations in the lake. On each occasions, up to ten fish were collected at 1-3 hour intervals over the daily cycle. The fish were sacrificed,

measured, weighed, gutted and both the fish and the intestinal tracts preserved until further analysis. The fish were freeze-dried, homogenized and investigated for dry matter, crude protein, lipid, and ash content, whereas the stomach contents were flushed into preweighed vials using 70 % ethanol and examined microscopically to determine the main components. Following this, they were dried and the dry weights obtained by difference between the full and empty vial weights. In the case of tilapia, a sample of supplemental feed, when this was given, also underwent proximate analysis with crude fibre also determined.

Since all milkfish in a given pen are stocked on a particular date and no fish are added or selectively removed until harvesting, it was possible to estimate the growth rates of this species at different times of the year from the average sizes of fish in a pen. The lengths and weights were also used to estimate fish condition. The stomach contents were analysed over the daily cycle with the feeding model MAXIMS and daily food consumption determined for the different sampling days. These parameters were also estimated for tilapia except fish growth which, because of the common practice of partial harvesting and adding smaller fish in a cage at intervals, could not be calculated reliably. Since tilapia were supplemented when growth would otherwise be slow, calculated growth rates would, in any case, have been meaningless.

Tilapia growth rates were instead determined by keeping fish in cages without feed from March to November 1997 and measuring and weighing at two-weekly intervals. At the same time, integrated water samples were collected weekly and analysed for particulate organic (POM) and inorganic (PIOM) matter, zooplankton biomass and chlorophyll-a (Chl-a). Before analysis, the samples were split into different size fractions (small: <15 μm ; medium: 15-50 μm ; large: >50 μm) by filtering through appropriately meshed nets. Secchi depth was also recorded on these occasions.

Milkfish grew faster in June and July when the water was clear (Metabolic Growth Rate, MGR: 10.9-16.5 $\text{g kg}^{-0.8} \text{ day}^{-1}$) than at other times of the year (MGR: 0.6-1.1 $\text{g kg}^{-0.8} \text{ day}^{-1}$). Condition and body lipid levels were also highest in August towards the end of the season of clear water than on other sampling occasions. At the same time, the daily rations calculated by the MAXIMS model were no higher in June 1997 when the water was clear (1.46 % Body Mass Equivalent, %BME, [dry mass food]:[wet mass fish] basis) than at other sampling times (0.43-3.02 % BME). The main component found in the stomachs of this species was amorphous organic detritus with the remainder made up of algae, particularly at times of phytoplankton bloom.

Nile tilapia were also in better condition and had higher body lipid levels in August after saltwater intrusion than at other times despite receiving supplemental feed when the water was turbid. This was reflected in the fact that even when feed was given did natural food contribute substantially towards overall food consumption (35-75 %). At the same time, the highest daily rations were generally recorded when the fish were supplemented (1.9-4.5 %BME) and these were matched by unsupplemented fish only at times of algal bloom. As was the case for milkfish, the stomach contents generally contained large proportions of amorphous detritus; algae were found in large numbers only when they were in bloom and supplemental feed featured when this was given.

The water samples collected from March-November 1997 clearly reflected the annual water quality cycle. Secchi depth was low (10 cm) until mid-May, after which it rose to 90cm until August due to saltwater intrusion. The return of the monsoon thereafter lowered Secchi depth to moderate levels (40-60 cm). Throughout the study period, levels of total Chl-a fluctuated without showing a particular pattern but this was present only in the small size fraction in Phase 1, only in the middle size fraction in Phase 2 and in both these in Phase 3, but then mostly in the smaller fraction. After converting Chl-a to algal biomass, it was possible to estimate the suspended detritus mass. This material was found to be present at all times, mostly occurring in the small size fraction. The growth rates of tilapia followed the three-phase pattern closely in the first two phases: practically no growth was observed until mid-May and high growth rates (MGR: 8.8-21.4 g kg^{-0.8} day⁻¹) recorded thereafter until the start of August. In the third phase, however, despite moderate Secchi depths, growth rates declined to levels even lower than those recorded in the first phase and weight loss was even observed between some successive samplings.

The growth rates obtained here for milkfish and tilapia confirm that it is no longer possible achieve two harvests a year without supplementation. On the other hand, the discrepancies in food intake in unsupplemented fish between those times of the year when growth is rapid or slow hardly suffice to explain these differences in growth rate. If the pattern of fish growth cannot be explained by dietary quantity, it must be linked to dietary quality. This is supported by the fact that the stomach contents of milkfish or unsupplemented tilapia when the water is turbid consist mainly of detritus, which has frequently been found to be of poor nutritional quality. Phytoplankton is apparently ingested in significant quantities only at times of an algal bloom which takes place mainly, although not exclusively, after saltwater intrusion.

The water samples collected in 1997 demonstrate, however, that fish growth rates are controlled not only by total phytoplankton biomass but also by the size of the dominant algae. Rapid fish growth is linked to the occurrence of larger algae which dominate after the inflow of saline water. Since filter-feeding fish such as milkfish and tilapia are generally unable to discriminate between potential food items other than on the basis of size, the cultured fish can obviously selectively ingest larger algae when these are in bloom but cannot select smaller algae from the fine algal-detrital mixture of particulate matter when large phytoplankton is absent. The decline in cultured fish production since the mid-1970s is therefore linked at least partly to a shift in the relative proportions of small phytoplankton and detritus in favour of the latter. This helps to explain why it has not been possible to restore fish production rates by lowering stocking and netpen expansion rates, so far the main factors attributed with causing the slump in the aquaculture industry. An improvement in fish production can only be achieved through either raising the levels of blue-green algae by clearing the water, or by lowering the input of detrital material into the lake.

VIII Zusammenfassung

Laguna de Bay, der größte philippinische See, der südwestlich an die Hauptstadt Manila angrenzt, wurde schon seit Jahrhunderten extensiv befischt, um den Nahrungsbedarf der lokalen Bevölkerung zu decken. Der See breitet sich über 911 km² bei einer mittleren Tiefe von nur 2,8m aus und ist hauptsächlich ein Süßwassersee. Aufgrund seiner Nähe zum Meer kommt es in der Trockenzeit (März-Juni) zum Eindringen salzhaltigen Wassers durch den Pasig River, normalerweise der einzige Abfluß, wenn der Wasserspiegel unter den des Meeres fällt. Das Wasser ist normalerweise sehr trüb (Secchitiefe <30 cm), aber durch das einfließende Salzwasser werden die suspendierten anorganischen Partikel flokkuliert, sodaß sie ausfallen und sich das Wasser klärt (Secchitiefe >100 cm), was bis zum Ende der Trockenzeit zur Bildung von Blüten stickstofffixierender Blaualgen führt.

Der See ist seit Anfang der Siebziger Jahre des letzten Jahrhunderts für die Kultur von Milchfischen, *Chanos chanos* (Forsskål) in großen Umzäunungen (max. 2000 ha) und Niltilapien, *Oreochromis niloticus* (L.) in kleineren Netzkäfigen (max. 200 m²) benutzt worden. In den frühen Jahren der Aquakultur war es nach dem Salzwassereindringen möglich, Fische ohne Zugabe von Supplementfutter in drei Monaten von der Besatzgröße (ca. 10 g) zur Marktreife (ca. 200 g) zu züchten, was zwei Ernten im Jahr möglich machte. Anfang der Achtziger war dies nicht mehr der Fall, was auf die übermäßige Ausbreitung der Aquakultur auf mehr als ein Drittel der Seefläche anno 1984, sowie den hohen Besatzdichten zurückgeführt wurde. Die Tilapienzüchter lösten das Problem durch den Einsatz von Supplementfutter bei trübem Wasser, aber dies war bei Milchfischen nicht praktikabel, da es aufgrund der immensen Größe der Umzäunungen zu erheblichen Futtermitteln geführt hätte.

Seit Mitte der Achtziger Jahre schwankte die Flächendeckung der Aquakultur und fiel zuweilen auf 10 % der Gesamtfläche des Sees, was allgemein als eine nachhaltige Ausdehnung akzeptiert wird. Dennoch war es seitdem nicht mehr möglich, wie in den frühen Jahren der Aquakultur zwei Ernten im Jahr zu erreichen. Diese Studie wurde daher ausgeführt, um das Wachstum, die Futteraufnahme und die Futterzusammensetzung der Milchfische und Tilapien in den unterschiedlichen Jahreszeiten, und daraus die Faktoren, die das Fischwachstum begrenzen, zu ermitteln.

Von Mai 1995 bis August 1997 wurden in kommerziellen Aquakulturunternehmen im See siebenmal Milchfischproben und achtmal Tilapienproben gezogen. Dabei wurden bis zu

zehn Fische in Abständen von 1-3 Stunden über einen 24-Stundenzyklus gefangen, geschlachtet, gemessen, gewogen, die Eingeweide entnommen und Fisch und Eingeweide separat konserviert. Die Fische wurden homogenisiert, gefriergetrocknet und auf ihren Gehalt an Trockensubstanz, Rohprotein, Rohfett, Asche analysiert. Die Mageninhalte wurden mit 70 % Alkohol in vortarierte Behälter gespült und die wesentlichen Bestandteile mikroskopisch bestimmt. Danach wurden sie getrocknet und ihr Gewicht als Unterschied des vollen und leeren Behältergewichtes ermittelt. Falls Tilapien Supplementfutter bekamen, so wurde davon eine Probe ebenfalls einer Schlachtkörperanalyse unterzogen, wobei hier auch die Rohfaser bestimmt wurde.

Da alle Milchfische einer Umzäunung am gleichen Tag eingesetzt werden und bis zur Ernte keine weiteren Fische hinzukommen oder Fische selektiv entfernt werden, war es möglich für diese Art aus den mittleren Fischgewichten die Wachstumsraten in einer Umzäunung zu unterschiedlichen Jahreszeiten zu bestimmen. Die Fischkondition wurde ebenfalls aus den Fischlängen und -gewichten geschätzt. Die Mageninhalte wurden über den Tagesverlauf mit dem Freßmodell MAXIMS analysiert und die Tagesration für die verschiedenen Probennahmen ermittelt. Außer der Wachstumsrate wurden diese Parameter auch für Tilapien bestimmt, da diese durch die geläufige Praxis der selektiven Ernte von größeren und Besatz von kleineren Fische in Netzkäfigen nicht zuverlässig bestimmt werden konnte. Da die Tilapien Supplementfutter bekamen, wenn andernfalls geringe Wachstumsraten zu erwarten waren, wäre eine solche Schätzung ohnehin bedeutungslos.

Das Wachstum der Tilapien wurde statt dessen anhand eigens gehaltenen Fischen ermittelt, die von März bis November 1997 ohne Supplementierung in Käfigen gezogen und in Abständen von zwei Wochen gemessen und gewogen wurden. Gleichzeitig wurden wöchentlich integrierte Wasserproben gezogen und auf suspendierte organische (POM) und anorganische (PIOM) Partikel, Zooplanktonbiomasse und Chlorophyll-a (Chl-a) Gehalt untersucht. Vor der Analyse wurden die Proben mit Hilfe entsprechender Planktonnetze in drei Größenfraktionen (klein: <15 µm; mittel: 15-50 µm; groß: >50 µm) geteilt. Die Secchitiefe wurde während dieser Probennahmen ebenfalls gemessen.

Milchfische wuchsen im Juni und Juli zur Zeit des klaren Wassers schneller (Metabolische Wachstumsrate, MGR: 10,9-16,5 g kg^{-0.8} d⁻¹) als zu anderen Jahreszeiten (MGR: 0,6-1,1 g kg^{-0.8} d⁻¹). Kondition und Körperfettgehalt waren ebenfalls im August gegen Ende der Trockenzeit am höchsten. Andererseits waren die Tagesrationen, die mit dem MAXIMS-Modell für Juni, die Zeit klaren Wassers, errechnet wurden, nicht höher (1,46 %

Körpermassenäquivalent, % BME, Futtertrockenmasse:Fischfeuchtmasse) als die für andere Jahreszeiten (0,43-3,02 %BME). Die Nahrung dieser Tiere bestand hauptsächlich aus amorphen, organischen Detritus, der Rest setzte sich, besonders zu Zeiten einer Phytoplanktonblüte, aus Algen zusammen.

Niltilapien waren ebenfalls im August nach einem Salzwassereinfluß in besserer Kondition und hatten einen höheren Körperfettgehalt, obwohl sie zu Zeiten trüben Wassers Supplementfutter bekamen. Dies spiegelte sich darin wieder, daß die Nahrung selbst bei Zugabe von Supplementfutter zu 35-75% aus Naturnahrung bestand. Dennoch wurden die höchsten Tagesrationen an gefütterten Fischen gemessen (1,9-4,5 %BME), was von ungefütterten Fischen nur zu Zeiten von Algenblüten erreicht wurden. Wie bei Milchfischen bestanden die Mageninhalte hauptsächlich aus Detritus; größere Mengen von Algen wurden nur bei Phytoplanktonblüten, sowie Supplementfutter bei der Zufütterung gefunden.

Die von März bis November 1997 gezogenen Wasserproben reflektierten den jährlichen Wasserqualitätszyklus. Bis Mitte Mai war die Secchitiefe gering (ca. 10 cm), stieg aber danach bis August aufgrund einfließendem Salzwasser auf 90 cm an. Die darauffolgenden Monsunwinde trübten das Wasser bis zu moderaten Secchitiefen (40-60 cm). Der Gesamtgehalt an Chl-a im Wasser schwankte während der Studie ohne ein erkennbares Muster aufzuweisen, aber bis Mitte Mai (Phase 1) wurde alles Chl-a in der kleinen, Mitte Mai bis Anfang August (Phase 2) in der mittleren und ab August (Phase 3) in der kleinen und mittleren, aber dann hauptsächlich der kleinen Größenfraktion, gefunden. Nachdem die Chl-a-konzentration in Algenbiomasse umgewandelt worden war, war es möglich die Detrituskonzentration im Wasser zu schätzen. Dieses Material war in allen drei Phasen vorhanden und wurde hauptsächlich in der kleinen Fraktion gefunden. Das Wachstum der Tilapien reflektierte dieses Schema nur in den ersten zwei Phasen: bis Mitte Mai war fast kein Wachstum zu verzeichnen während danach bis Anfang August die Wachstumsraten auf bis zu $21,4 \text{ g kg}^{-0,8} \text{ Tag}^{-1}$ (metabolische Basis) anstiegen. In der dritten Phase gingen die Wachstumsraten trotz der mittelmäßigen Secchitiefe auf ein Niveau unter dem der ersten Phase zurück und zeitweilig wurden sogar Gewichtsverluste beobachtet.

Die hier an Milchfischen und Niltilapien gemessenen Wachstumsraten bezeugen, daß es nicht mehr möglich ist, ohne Supplementfutterzugabe zwei Fischernten im Jahr zu erreichen. Andererseits reichen die Unterschiede in der Futtermenge von unsupplementierten Fischen zu Zeiten schnellen und langsamen Wachstums nicht aus, um diese Unterschiede in der Wachstumsrate zu erklären. Dies deutet darauf hin, daß das Fischwachstum eher durch

die Futterqualität limitiert wird, was auch dadurch unterstützt wird, daß der Mageninhalt dieser Fische bei trübem Wasser hauptsächlich aus Detritus, einer nachweislich minderwertigen Futterkomponente, besteht. Größere Mengen Phytoplankton werden nur zu Zeiten von Algenblüten, die hauptsächlich aber nicht ausschließlich nach dem Eindringen salzhaltigen Wassers auftreten, gefressen.

Die 1997 gezogenen Wasserproben zeigten jedoch, daß das Fischwachstum nicht nur von der Gesamtbioasse der Algen abhängig ist, sondern auch vom Größenspektrum der dominierenden Algenarten. Ein schnelles Wachstum hängt mit dem Auftreten größerer Blaualgen zusammen, die nach dem Einfluß salzigem Wassers dominieren. Da Fische, die ihre Nahrung aus dem Wasser filtrieren, ihr Futter nur auf der Basis seiner Größe selektieren können, ist es den hier gezüchteten Fischen nur möglich, größere Algen aber nicht die kleineren Algenarten aus dem Gemisch von Phytoplankton und feinkörnigen Detritus herauszuselektieren. Der Rückgang im Fischwachstum seit den siebziger Jahren des vorigen Jahrhunderts hängt daher zumindestens teilweise mit einer Verschiebung der relativen Proportionen der kleinen Algen und des Detritus zugunsten des letzteren zusammen. Dies erklärt auch, warum es bisher nicht möglich war, die Fishproduktion wieder durch eine Verringerung von Besatzdichte sowie Ausdehnung der Aquakultur zu steigern, obwohl die Steigerung dieser beiden Faktoren bisher als die Hauptgründe für den Rückgang der Industrie angesehen wurden. Eine Steigerung der Produktion würde voraussetzen, daß das Wachstum der größeren Blaualgenarten durch verminderte Wassertrübung gefördert oder die Zugabe von Detritus verringert wird.