

Restoration of ecological quality in eutrophic peri-urban ponds through complete fish removal and water drawdown: biotic interactions, evaluation and implications for management

Sylvia De Backer

Samenvatting

Gedurende de voorbije decennia zijn vele ondiepe meren en vijvers in bepaalde mate onderhevig geweest aan eutrofiëring ten gevolge van menselijke activiteiten. Dit kan een overgang veroorzaken van een heldere naar een troebele, fytoplanktongedomineerde watertoestand, wat vaak resulteert in een ernstige bloei van potentieel toxische cyanobacteriën. Om de ecologische kwaliteit van ondiepe meren te herstellen, wordt, naast nutriëntenreductie, wat vaak inefficiënt en kostelijk is, ook biomanipulatie toegepast, via gedeeltelijke of volledige visverwijdering. Het is algemeen geweten dat vijvers verschillen van ondiepe meren, omwille van de lagere invloed van nutriënten op het fytoplankton en de beter omstandigheden voor macrofyten. Daarom zijn de factoren (en hun grenswaarden), die succes of mislukking van biomanipulatie in vijvers bepalen, potentieel verschillend van de factoren en hun grenswaarden die het slagen van biomanipulatie bepalen in ondiepe meren.

In deze thesis werd het potentieel onderzocht van biomanipulatie als methode om de ecologische kwaliteit te herstellen en cyanobacteriebloei te voorkomen en getest op 13 eutrofe, peri-urbane vijvers in Brussel. Specifiek werd onderzocht of een heldere watertoestand kon bereikt worden via biomanipulatie, ondanks de hoge nutriëntenconcentraties. Daarnaast werd de impact van herkoloniserende vissen onderzocht, en werden de factoren (en hun grenswaarden) die succes of mislukking van biomanipulatie bepalen op langere termijn geïdentificeerd.

In 12 van de 13 vijvers die volledig werden drooggelegd en waarin alle vis werd verwijderd, werd een afname van de fytoplanktonbiomassa geobserveerd in het 1^{ste} jaar na biomanipulatie. Tegelijkertijd met de verbeterde transparantie van het water werd ook een toename van de aantallen en de lengte van de grote cladoceren geobserveerd. Een submerse vegetatie herstelde zich in de meeste vijvers en bestond vaak uit meerdere soorten. Herstel van submerse vegetatie was echter geen voorwaarde voor het terugkeren van een heldere watertoestand, zolang begrazing van fytoplankton door zooplankton hoog genoeg was. De gemiddelde TP concentratie verminderde lichtjes maar bleef hoog ($> 0.1 \text{ mg P L}^{-1}$) in alle vijvers. Opgeloste nutriëntenconcentraties (SRP, DIN) namen over het algemeen toe, wat aantoont dat in de gebiomanipuleerde vijvers, de opname van nutriënten door fytoplankton de

invoer van nutriënten niet compenseert en dat andere factoren dan nutriënten fytoplankton controleren in deze vijvers. Dus, ondanks de eutrofe tot hypereutrofe condities, kan een vijver een heldere watertoestand na biomanipulatie onderhouden, voornamelijk door een verhoogde begrazing van het fytoplankton door grote cladoceren (top-down), eerder dan via interacties tussen vissen, nutriënten en fytoplankton (bottom-up).

Op langere termijn, was succesvolle biomanipulatie hoofdzakelijk afhankelijk van de TP concentratie, van de lengte van de grote cladoceren (eerder dan hun densiteit) en van de bedekkingsgraad van de submerse vegetatie. Via 'classification trees' werd een TP concentratie van $0.300 \text{ mg P L}^{-1}$ vastgelegd als grenswaarde waaronder de heldere watertoestand over het algemeen werd behouden na biomanipulatie. Wanneer de gemiddelde TP concentratie $> 0.300 \text{ mg P L}^{-1}$, hing de stabiliteit van de helder watertoestand voornamelijk af van de aanwezigheid van grote cladoceren van voldoende lengte ($> 0.87 \text{ mm}$) of in enkele gevallen van een zeer hoge bedekking van submerse vegetatie ($> 82\%$). Indien zulke vijvers echter door vissen geherkoloniseerd worden, kunnen de grote cladoceren snel verdwijnen en kan een overgang naar de troebele toestand zich voordoen. Hoewel er vaak gesuggereerd wordt dat submerse vegetatie een schuilplaats kan bieden aan grote cladoceren, werd in deze studie geobserveerd dat de herkolonisering van vissen de lengte van de grote cladoceren reduceerde, ongeacht de mate van bedekking van de submerse vegetatie, en onmiddellijk resulteerde in een overgang naar een troebele watertoestand in vijvers waar de bedekkingsgraad van submerse vegetatie minder was dan 30% . In vijvers met $> 30\%$ bedekking van submerse vegetatie, verhoogde het fytoplanktonbiovolume niet significant zolang de vegetatie aanwezig bleef. Eerder dan door het voorzien van een schuilplaats voor grote cladoceren, wordt door de resultaten van deze studie N-limitatie gesuggereerd als mechanisme waarmee submerse macrofyten het fytoplankton controleren in deze vijvers. De toevoeging van snoeken bleek geen effect te hebben op de herkoloniserende vissen, of toch niet in zulke mate dat een effect kon worden geobserveerd op het zooplankton, aangezien de lengte en densiteiten van de grote cladoceren laag bleven in alle vijvers waar herkolonisatie door vissen plaatsvond. In niet-gebiomanipuleerde vijvers werd de TP grenswaarde van 0.300 mg L^{-1} bevestigd, aangezien de heldere watertoestand enkel voorkwam wanneer de TP concentratie minder was dan $0.309 \text{ mg P L}^{-1}$. Dit is opmerkelijk hoger dan de grenswaarde van 0.1 mg L^{-1} die vooropgesteld werd als grenswaarde voor succesvolle biomanipulatie in ondiepe meren op langere termijn. Er werd aangetoond dat de Chl *a* – TP relaties in gebiomanipuleerde en niet-gebiomanipuleerde vijvers, beïnvloed kunnen worden door

biotische factoren zoals zooplankton begrazing en aanwezigheid van submerse vegetatie. Dit is mogelijk de reden voor de (over het algemeen) lagere Chl *a*-waarden voor een gegeven TP concentratie in vijvers, in vergelijking met ondiepe meren.

Op basis van de gegevens die verzameld werden in het kader van deze thesis, werd het ECOFRAME, een systeem ontwikkeld om de ecologische status van ondiepe vijvers te evalueren, getest voor gebruik op eutrofe vijvers. Gebaseerd op specifieke eigenschappen van vijvers, werden kleine veranderingen gemaakt aan de grenswaarden van de klassen voor drie variabelen gebruikt in het systeem: TP, 'plant diversity' en 'plant community'. Dit leidde tot een meer gedifferentieerde classificatie en een meer realistische schatting van de ecologische status voor eutrofe vijvers in Brussel.

Restoration of ecological quality in eutrophic peri-urban ponds through complete fish removal and water drawdown: biotic interactions, evaluation and implications for management

Sylvia De Backer

Summary

During the past decades, ecological quality in shallow lakes and ponds has been degraded by eutrophication as a result of human activities, causing a transition to a turbid, phytoplankton-dominated state, often associated with severe blooms of potentially toxic cyanobacteria. Next to nutrient reduction measures, biomanipulation, through complete or partial fish removal, is often performed to improve ecological quality of shallow lakes, as nutrient reduction alone is often insufficient and expensive. It is generally recognized that ponds differ from shallow lakes, because of the lesser impact of nutrient levels on phytoplankton and more favourable conditions for macrophytes. Therefore, factors promoting biomanipulation success or failure, and their thresholds, are potentially different from similar factors and thresholds determined for biomanipulation in shallow lakes.

In this thesis, the potential of biomanipulation as a method to restore ecological quality and to reduce the occurrence of cyanobacterial blooms in highly eutrophic ponds was tested on 13 eutrophic, peri-urban ponds in Brussels. Within this scope, it was investigated whether a clear-water state could be achieved through biomanipulation. Additionally, the impact of recolonizing fish was studied, and the factors that determine success or induce failure of biomanipulation on the longer-term were identified, including their thresholds for biomanipulation success or failure.

Fish removal and water drawdown had a distinct, positive effect on the ecological quality of ponds during the first year after biomanipulation. In 12 out of 13 ponds in which a complete fish removal and water drawdown was applied, a decrease in phytoplankton biomass was observed during the 1st year after biomanipulation, which generally coincided with an increase in size and density of large cladocerans. Submerged vegetation was restored in most ponds and often consisted of dense macrophyte beds containing several species. Its return was however not indispensable to obtain a clear-water state, as long as zooplankton grazing was sufficiently high. Average TP concentrations decreased slightly but remained high ($> 0.1 \text{ mg P L}^{-1}$) in all ponds. Soluble nutrient concentrations (SRP, DIN) generally increased after biomanipulation, indicating that in biomanipulated ponds, phytoplankton uptake does not compensate nutrient input and that factors other than nutrients control phytoplankton biomass

in these ponds. Thus, despite its eutrophic to hypereutrophic conditions, a pond can maintain a clear-water state after biomanipulation, mainly through increased grazing by large Cladocera (top-down) rather than by fish-nutrient-phytoplankton (bottom-up) interactions.

On the longer term, the outcome of biomanipulation mainly depended on TP concentration, large Cladocera size (rather than their density) and submerged vegetation cover. Using classification trees, a TP concentration of $0.300 \text{ mg P L}^{-1}$ was determined as a threshold below which a clear-water state was generally maintained after biomanipulation. When the average TP concentration was $> 0.300 \text{ mg P L}^{-1}$, the stability of the clear-water state largely depended on presence of sufficiently large-sized Cladocera ($> 0.87 \text{ mm}$) or of a very high cover of submerged vegetation ($> 82\%$ present at some point during the year). If however, fish recolonize such ponds, large Cladocera might quickly be preyed down and a shift back to the turbid state could occur. Although it is often suggested that submerged macrophytes can provide a refuge for large Cladocera, recolonization of fish was found to reduce size of large cladocerans, independent of the extent of the submerged vegetation cover and resulted in an immediate shift to a turbid state in ponds with $< 30\%$ submerged vegetation cover. In ponds with $> 30\%$ of submerged vegetation cover, phytoplankton biovolume did not increase significantly, as long as macrophytes persisted. Rather than providing a refuge for zooplankton from predation, N-limitation was suggested as a mechanism by which submerged macrophytes inhibit phytoplankton growth. The addition of pike on two different occasions in 2008 and 2010 did not seem to affect recolonizing fish, at least not to such an extent that it affected zooplankton, as size and density of large cladocerans remained low in all ponds where fish recolonized. In non-biomanipulated ponds, the TP threshold of 0.300 mg L^{-1} was confirmed, as a clear-water state only occurred when the TP concentration was below $0.309 \text{ mg P L}^{-1}$. This is considerably higher than the threshold of 0.1 mg L^{-1} which is generally suggested as necessary for longer-term success of biomanipulation in shallow lakes. The Chl *a* – TP relationship determined for biomanipulated and non-biomanipulated ponds indicated that biotic factors, such as zooplankton grazing and submerged vegetation presence, can have a considerable impact on the Chl *a* – TP relationship and could be an important cause for the generally lower yield of Chl *a* for a given TP concentration in ponds compared to shallow lakes.

Based on the data acquired in the frame of this thesis, the ECOFRAME, a system developed to evaluate ecological status in shallow lakes, was tested for use on eutrophic ponds. Based on pond specific characteristics, slight modifications were made to the thresholds for the classes

of three variables: TP, 'plant diversity' and 'plant community'. This led to a more differentiated classification and a more realistic estimation of ecological status for eutrophic ponds in Brussels.