

REAKCJA ZESPOŁÓW ZOOPLANKTONU NA PODWYŻSZONĄ TEMPERATURĘ WODY W JEZIORACH BĘDĄCYCH POD WPŁYWEM ZRZUTU WÓD Z ELEKTROWNI

Elżbieta Bogacka¹, Ewa Paturej²

¹ Instytut Rybactwa Śródlądowego w Olsztynie

² Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

Streszczenie. Na podstawie badań przeprowadzonych na Pojezierzu Gnieźnieńskim w sezonach letnich 2001 i 2002 dokonano analizy liczebności, bogactwa gatunkowego i różnorodności gatunkowej zooplanktonu występującego w litoralu dwóch jezior podgrzewanych przez wody zrzucane z elektrowni oraz określono relacje między termiką wód a zagęszczeniem i strukturą badanych taksocenoz. Wpływ temperatury wody na faunę planktonową oceniono, wykorzystując korelację rang Spearmana. W okresie badań stwierdzono duże bogactwo gatunkowe i wysoką różnorodność gatunkową (wyrażoną wskaźnikiem Pielou) zooplanktonu w obu zbiornikach, przy stosunkowo niewielkiej jego liczebności i biomasie. Nie odnotowano istotnego związku między temperaturą wody a całkowitą liczebnością i biomasą zooplanktonu oraz wartościami wskaźnika jego różnorodności, wystąpiły natomiast istotne relacje między temperaturą wody a liczebnością i biomasą poszczególnych grup taksonomicznych.

Słowa kluczowe: zooplankton, litoral, bogactwo gatunkowe, różnorodność gatunkowa, zmiany sezonowe, jezioro podgrzewane, Pojezierze Gnieźnieńskie

WSTĘP

Zmiany liczebności, biomasy i struktury zooplanktonu w środowisku wodnym są konsekwencją działania szeregu czynników abiotycznych. Spośród nich decydujące znaczenie ma temperatura i intensywność mieszania się wody oraz zawartość w niej tlenu [Burks i in. 2002, O'Brien i in. 2004]. Podwyższona temperatura wody powoduje znaczne ograniczenie rozwoju zooplanktonu, zwiększenie jego śmiertelności i zmianę struktury dominacji w zespole [LaBerge i Hann 1990, Moore i in. 1996]. Zjawisko to obserwuje się

Adres do korespondencji – Corresponding author: dr Elżbieta Bogacka, Zakład Ichtiologii, Instytut Rybactwa Śródlądowego, ul. Oczapowskiego 10, 10-719 Olsztyn,
e-mail: kasta@infish.com.pl

zwłaszcza w tzw. zbiornikach podgrzewanych, będących elementami systemu schładzania wód zrzucanych z elektrowni. Takimi zbiornikami są na przykład Jeziora Licheńskie i Gosławskie. Intensywne przekształcanie się ich strefy przybrzeżnej, m.in. zarastanie egzotyczną dla wód Polski rośliną *Vallisneria spiralis* w Jeziorze Licheńskim oraz antropogeniczne przekształcenia w Jeziorze Gosławskim będącym odbiornikiem oczyszczonych ścieków socjalno-bytowych, przemysłowych i deszczowych z elektrowni oraz poprodukcyjnych z gorzelni, prowadzi do zmian ekologicznych, a w efekcie do zmiany struktury zespołów zooplanktonu oraz zagęszczenia hydrobiontów w jeziorach.

Dotychczasowe zainteresowania badaczy fauny planktonowej jezior konińskich koncentrowały się wokół wpływu podwyższonej temperatury i zwiększonego przepływu wody na produkcję, skład taksonomiczny, obfitość, strukturę wielkościową oraz płodność zooplanktonu występującego w pelagialu jezior [Hillbricht-Ilkowska i in. 1976, 1988, Hillbricht-Ilkowska i Zdanowski 1978, Tunowski 1988, 1994]. Strefa litoralu jezior konińskich stanowiła przedmiot szczególnego zainteresowania ze strony badaczy zajmujących się młodocianymi stadiami ryb [Wilkońska 1988, Kapusta 2004], jednak zooplankton tej strefy jezior, tak istotny dla wzrostu i przeżywalności larw i narybku, nie był obiektem badań naukowych.

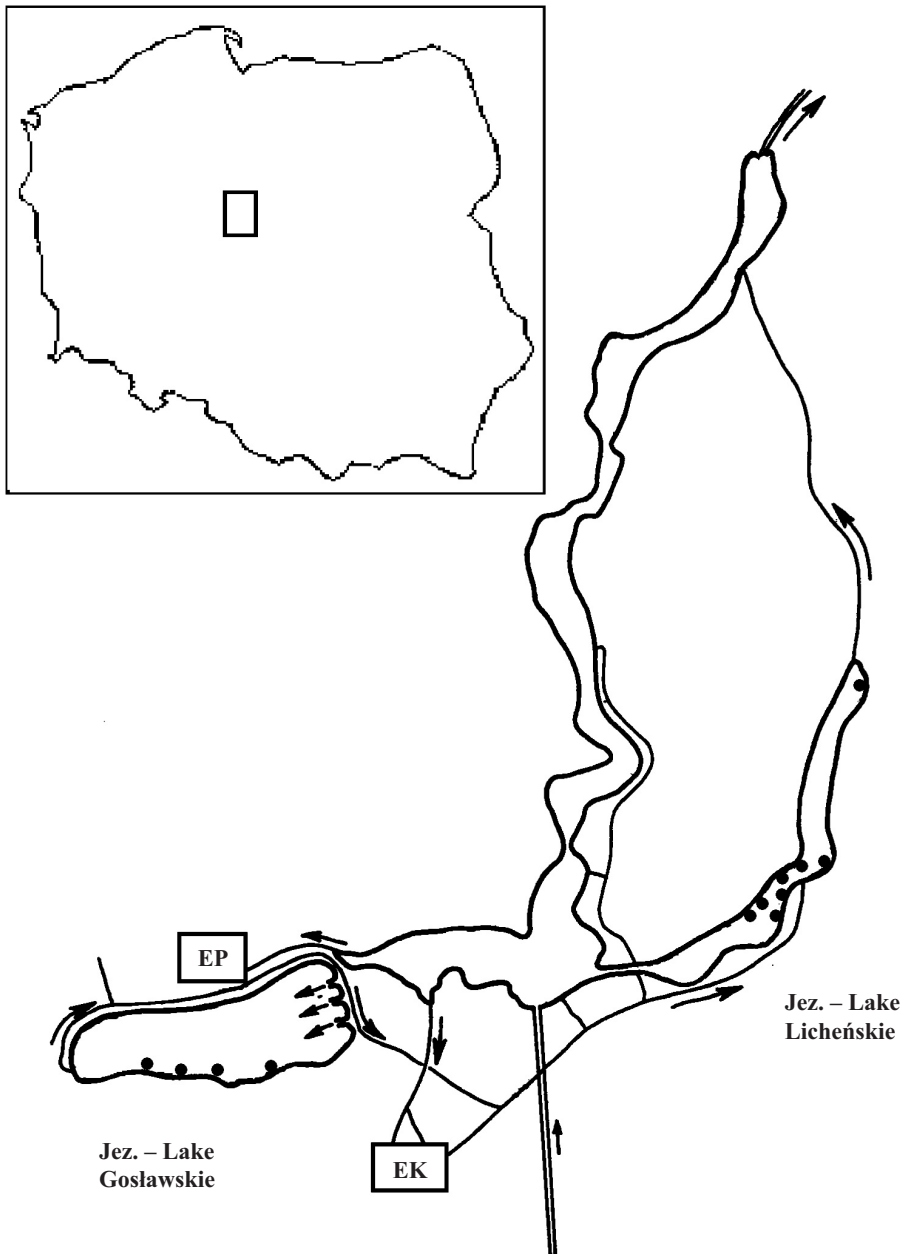
Niniejsza praca miała na celu analizę obfitości, bogactwa gatunkowego i różnorodności biologicznej zooplanktonu w litoralu podgrzewanych jezior oraz określenie relacji między termiką wód a zagęszczeniem i strukturą badanych taksocenoz.

MATERIAŁ I METODY

Badania przeprowadzono w latach 2001 i 2002 w litoralu dwóch jezior – Licheńskiego ($52^{\circ}18'N$, $18^{\circ}20'E$) i Gosławskiego ($52^{\circ}18'N$, $18^{\circ}14'E$), położonych na Pojezierzu Gnieźnieńskim [Kondracki 2001]. Są to płytkie zeutrofizowane zbiorniki naturalne, które pełnią funkcję rezerwuaru wody chłodzącej i odbiornika wód zrzutowych Elektrowni Pątnów i Elektrowni Konin (rys. 1). Pierwsze z tych jezior ma powierzchnię 147,6 ha i głębokość średnią 4,5 m, a drugie – powierzchnię 454,5 ha i średnią głębokość 3,0 m.

Stanowiska badawcze, osiem w Jeziorze Licheńskim i cztery w Jeziorze Gosławskim, wybrano w taki sposób, aby obejmowały jak najbardziej różnorodne zbiorowiska litoralne wytypowane na podstawie przestrzennego zróżnicowania siedlisk i występujących hydrofitów. Materiał do badań ilościowych zooplanktonu pobierano czerpaczem Patalasa o pojemności 2,5 dm³, w okresie od kwietnia do września. Na każdym stanowisku mierzono temperaturę wody oraz pobierano 25 dm³ wody, którą następnie filtrowano przez siatkę planktonową o średnicy oczek 60 μm. Materiał biologiczny konserwowano płynem Lugola i 96-procentowym alkoholem etylowym. W okresie badawczym zebrano 56 prób zooplanktonu z Jeziora Gosławskiego i 90 prób zooplanktonu z Jeziora Licheńskiego.

Liczebność organizmów planktonowych określano za pomocą reguły Hensena [Starmach 1955], a biomasa według wskazań Hillbricht-Ilkowskiej i Patalasa [1967], Bottrella i innych [1976] oraz Ejsmont-Karabin [1998]. Określając strukturę i zróżnicowanie zespołów zooplanktonu w jeziorach, brano pod uwagę bogactwo gatunkowe zooplanktonu oraz jego różnorodność. Do ustalenia różnorodności biologicznej zooplanktonu wykorzystano wskaźnik równomierności Pielou [1975]. Wskaźnik ten



Rys. 1. Mapa systemu jezior konińskich ze stanowiskami poboru prób zooplanktonu (●) w Jeziorach Licheńskim i Gosławskim; EK – Elektrownia Konin, EP – Elektrownia Pątnów; strzałki wskazują kierunek przepływu wody w kanałach łączących jeziora

Fig. 1. Map of Konin lakes system showing location of zooplankton-sampling sites (●) in Lakes Licheńskie and Gosławskie; EK – Konin Power Station, EP – Pątnów Power Station; arrows indicate the direction of water flow in channels connecting the lakes

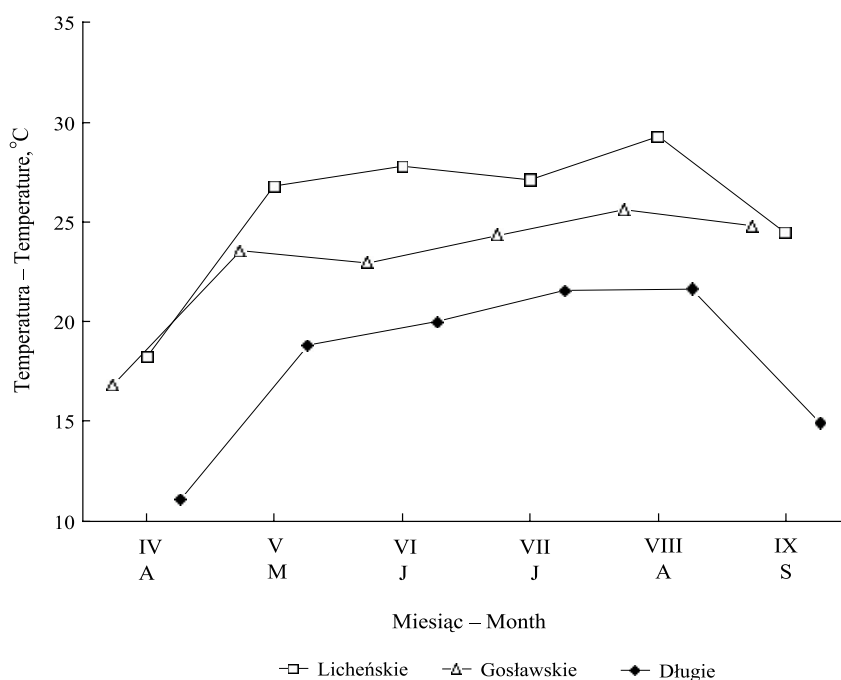
określa równomierność rozdziału osobników pomiędzy występujące gatunki i przyjmuje wartości od 0 do 1.

Hipotezę o istotności różnic między wartościami parametrów opisujących zespoły zooplanktonu w porównywanych zbiornikach i między wartościami tych parametrów w kolejnych miesiącach zweryfikowano, używając dwuczynnikowej analizy wariancji (ANOVA). Po uzyskaniu istotnej statystycznie wartości testu F wykonano analizy typu post hoc w celu stwierdzenia, które grupy różnią się od siebie. Wpływ temperatury wody na obfitość, różnorodność i bogactwo gatunkowe zooplanktonu oceniono, wykorzystując korelację rang Spearmana.

WYNIKI

Temperatura wody

W okresie badań temperatura wody w Jeziorze Licheńskim była istotnie statystycznie wyższa niż w Jeziorze Gosławskim (ANOVA, $F = 57,9103$, $p < 0,0001$). Przebieg zmian termiki wody w obu zbiornikach był podobny, z najniższą temperaturą wody w kwietniu, a najwyższą w sierpniu (rys. 2).



Rys. 2. Temperatura wody w litoralu Jezior Licheńskiego i Gosławskiego oraz w Jeziorze Długim w Olsztynie w okresie badań

Fig. 2. Temperature of water in littoral zone of Lakes Licheńskie and Gosławskie, and in Lake Długie in Olsztyn during study period

Bogactwo gatunkowe

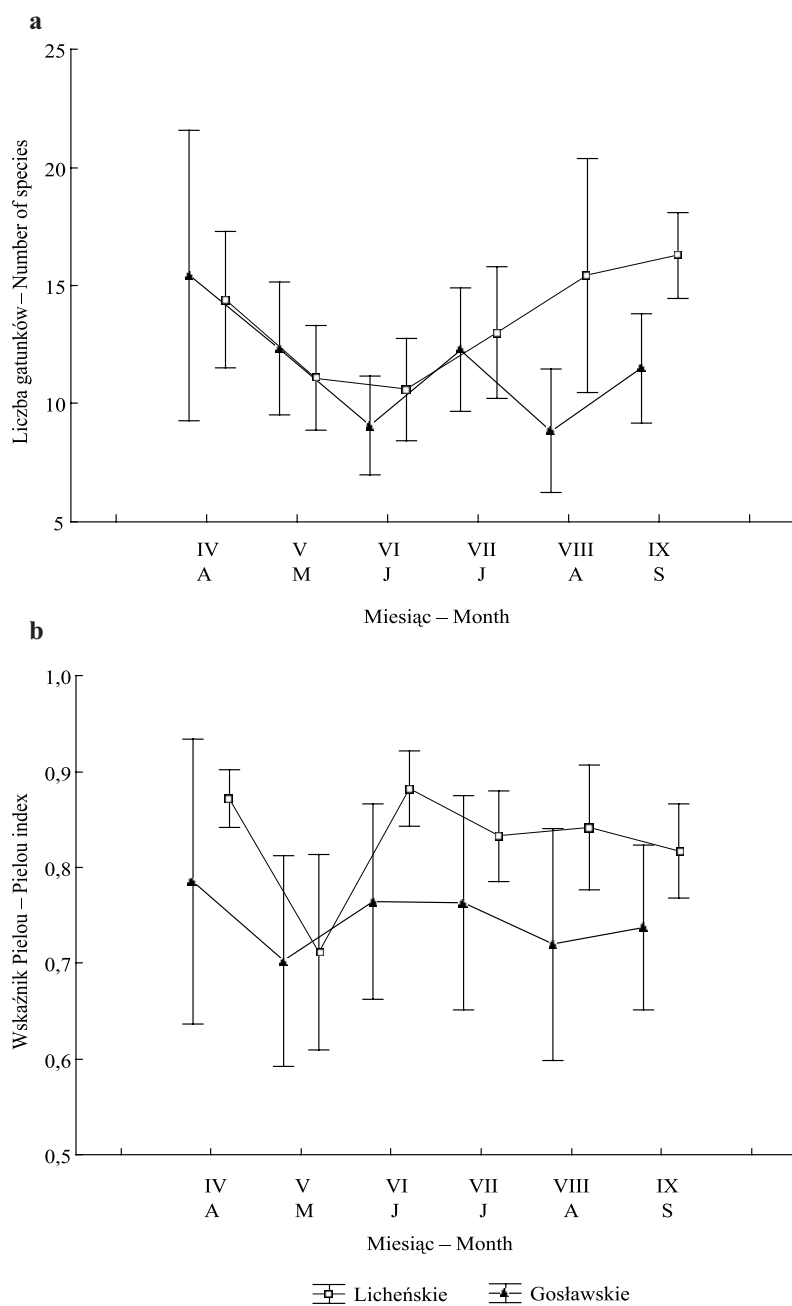
Zooplankton jeziorny charakteryzował się bogatym i zróżnicowanym składem gatunkowym. W obu zbiornikach najliczniej reprezentowane były wrotki (*Rotifera*) – od 35 do 42 gatunków. W Jeziorze Licheńskim najmniej gatunków należało do wioślarek (*Cladocera*) – 14, a w Jeziorze Gosławskim do widłonogów (*Copepoda*) – 7. Zmiany bogactwa gatunkowego zooplanktonu w jeziorach miały podobny przebieg (ANOVA, $F = 2,0069$, $p = 0,0818$; rys. 3a). Średnie wskaźniki bogactwa gatunkowego w kolejnych miesiącach różniły się istotnie (ANOVA, $F = 3,4504$, $p = 0,0058$), a najwyższe były wiosną (kwiecień). W Jeziorze Licheńskim wystąpił ponadto wzrost liczby gatunków we wrześniu. Nie stwierdzono istotnej statystycznie relacji między bogactwem gatunkowym zooplanktonu a temperaturą wody w jeziorach w okresie badań (korelacja rang Spearmana, $p < 0,05$).

Różnorodność gatunkowa

Różnorodność gatunkowa zooplanktonu w litoralu jezior w okresie badań była wysoka, przy czym istotnie statystycznie wyższa w przypadku Jeziora Licheńskiego (ANOVA, $F = 9,415$, $p = 0,0026$; rys. 3b). Współczynnik zróżnicowania gatunkowego zooplanktonu w Jeziorze Licheńskim przyjmował wartości od 0,74 do 0,93, a w Jeziorze Gosławskim od 0,59 do 0,83. Najmniejszą różnorodnością zespoły zooplanktonu w zbiornikach charakteryzowały się maju (mimo wysokiej liczebności i biomasy ogólnej). Przyczynę takiego stanu rzeczy stanowiła znaczna dominacja w faunie planktonowej gatunku *Bosmina coregoni*, co znajdowało odzwierciedlenie w nierównomiernym rozkładzie liczbowym osobników między pozostałe gatunki. Największą różnorodność zooplanktonu w obu zbiornikach zanotowano w czerwcu, mimo stwierdzonego w tym miesiącu najmniejszego bogactwa gatunkowego. Różnorodność zespołów zooplanktonu w badanych jeziorach zmniejszała się wraz ze wzrostem temperatury wody (Jez. Licheńskie: $r = -0,113$, Jez. Gosławskie: $r = -0,216$), jednak relacje te nie były istotne statystycznie ($p > 0,05$).

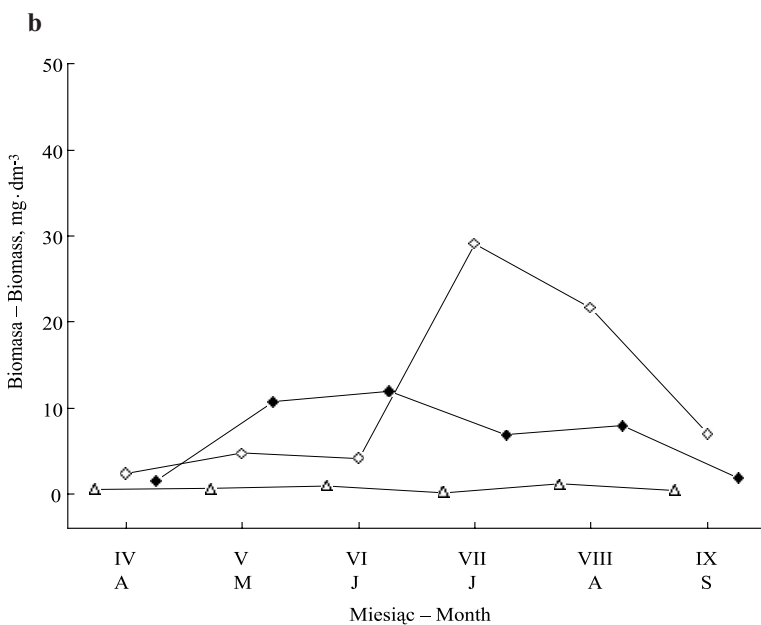
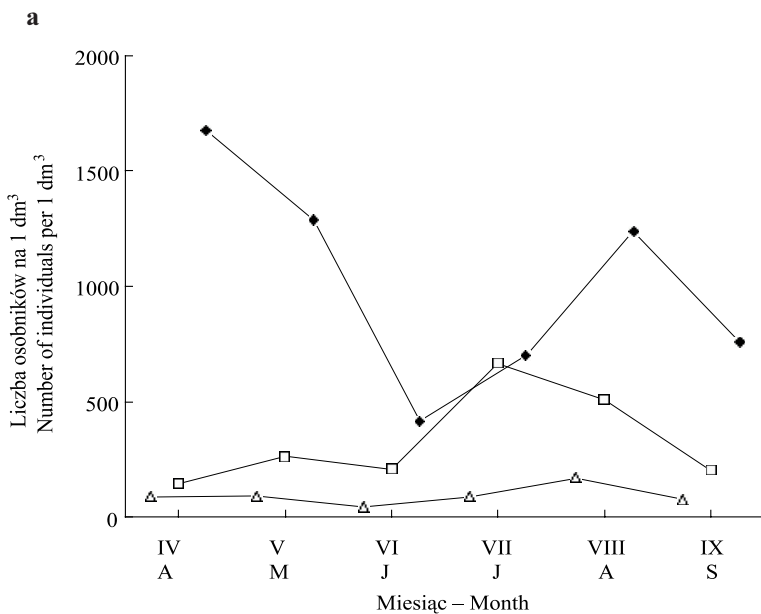
Obfitość zooplanktonu

Przez cały okres badań liczebność i biomasa zooplanktonu w Jeziorze Gosławskim utrzymywała się na niższym poziomie niż w Jeziorze Licheńskim (biomasa: ANOVA, $F = 34,6018$, $p < 0,0001$; liczebność: ANOVA, $F = 16,1875$, $p < 0,0001$). Zmiany zagęszczenia i biomasy zooplanktonu w obu jeziorach wykazywały podobne tendencje (rys. 4). Najmniejsze wartości tych parametrów odnotowano w czerwcu, a największe w sierpniu. W przypadku Jeziora Licheńskiego stwierdzono istotne statystycznie relacje między temperaturą wody a liczebnością i biomasa wioślarek i wrotków. Przy wyższej temperaturze wody większa była liczebność wioślarek (korelacja Spearmana, $r = 0,317$, $p < 0,05$) i ich biomasa ($r = 0,335$, $p < 0,05$), mniejsza natomiast liczebność wrotków ($r = -0,213$, $p < 0,05$). W przypadku Jeziora Gosławskiego wraz ze wzrostem temperatury wody zwiększała się liczebność ($r = 0,312$, $p < 0,05$) i biomasa ($r = 0,278$, $p < 0,05$) widłonogów.



Rys. 3. Bogactwo gatunkowe (a) i różnorodność gatunkowa (b) zooplanktonu (średnia \pm 95% przedział ufności) w litoralu Jezior Licheńskiego i Gosławskiego w okresie badań

Fig. 3. Species richness (a) and species diversity (b) of zooplankton (average \pm 95% confidence interval) in littoral zone of Lakes Licheńskie and Gosławskie during study period



□ Licheńskie △ Gosławskie ◆ Długie

Rys. 4. Średnia liczebność (a) i biomasa (b) zooplanktonu w litoralu Jezior Licheńskiego i Gosławskiego oraz w Jeziorze Długim w Olsztynie w okresie badań

Fig. 4. Average density (a) and biomass (b) of zooplankton in littoral zone of Lakes Licheńskie and Gosławskie, and in Lake Długie in Olsztyn during study period

DYSKUSJA

Zespoły zooplanktonu w jeziorach konińskich są kształtowane przez czynniki hydrologiczne, termiczne i troficzne. Prace badawcze prowadzone przez różnych autorów w pelagialu tych zbiorników wykazały istotny wpływ temperatury wody na strukturę, skład taksonomiczny i zagęszczenie zooplanktonu [Hillbricht-Ilkowska i in. 1988, Tunowski 1994, Socha i Zdanowski 2001]. Autorzy ci stwierdzili, że w najslabiej i okresowo podgrzewanym Jeziorze Ślesińskim fauna planktonowa jest najbardziej zbliżona do biocenoz naturalnych, natomiast w najsilniej przekształconych Jeziorach Licheńskim i Gosławskim zespoły zooplanktonu charakteryzują się niewielkim bogactwem gatunkowym i małym zagęszczeniem.

Prezentowane badania dowiodły, że fauna planktonowa w litoralu Jezior Licheńskiego i Gosławskiego cechuje się stosunkowo dużym bogactwem gatunkowym. Najwięcej reprezentantów w obu zbiornikach mają wrotki (*Rotifera*), ale ich udział w zagęszczeniu planktonu jest najczęściej niewielki. Znaczna heterogeniczność tej strefy jezior stwarza dogodne warunki dla rozwoju bogatej fauny. Kuczyńska-Kippen i Nagengast [2003] wiążą obecność zróżnicowanych zespołów zooplanktonu z występowaniem różnorodnych siedlisk litoralowych.

Ważną rolę w kształtowaniu się zespołów zooplanktonu w płytkich jeziorach odgrywa roślinność wodna [Basu i in. 2000, Balayla i Moss 2003]. Sezonowość występowania i rozwoju większości hydrofitów w jeziorach strefy umiarkowanej jest skorelowana z termiką wody, dlatego czynniki ograniczające działanie temperatury (np. powstawanie nowych siedlisk) często maskują jej wpływ na strukturę i obfitość zespołów zooplanktonu. Jednocześnie wiele czynników, od których zależy występowanie organizmów, np. zawartość tlenu w wodzie, jest z temperaturą skorelowanych, co bywa mylnie interpretowane jako zależność występowania organizmów od temperatury [Lampert i Sommer 2001].

W pracy przedstawiono zmiany liczebności, biomasy oraz zróżnicowania zespołów zooplanktonu w okresie silnego oddziaływania wysokich temperatur wody (kwiecień–wrzesień). Aby w pełni naświetlić rolę termiki wody, przedstawiono również zagęszczenie zooplanktonu w jeziorze o termice naturalnej, tj. w Jeziorze Długim w Olsztynie (E. Paturej, dane niepublikowane; rys. 2 i 4). Liczebność zespołów zooplanktonu w obu podgrzewanych jeziorach była niższa niż w Jeziorze Długim, mimo znacznie mniejszego bogactwa gatunkowego w tym ostatnim (22 gatunków *Rotifera* i 11 gatunków *Crustacea*). Może to wynikać stąd, że stopniowy wzrost temperatury niezbyt nagrzanego wody w sezonie letnim (do ok. 21°C) wpływa dodatnio na rozwój i wzrost zwierząt planktonowych, co udowodnili Vijverberg [1980] i Szlauer [1996] w badaniach nad fauną bezkręgową, natomiast wzrost temperatury wody powyżej optimum rozwojowego dla poszczególnych gatunków jest czynnikiem hamującym rozwój fauny planktonowej [Paturej 2005].

Struktura ekologiczna podgrzewanych jezior kształtuje się pod wpływem nieustannie oddziałujących czynników termicznych, hydrologicznych i troficznych. Zespoły zooplanktonu strefy litoralu obu badanych jezior charakteryzują się większym bogactwem gatunkowym i wyższą różnorodnością gatunkową niż zespoły strefy pelagialu [Hillbricht-Ilkowska i in. 1988, Tunowski 1994]. Niewielkie zagęszczenie zooplanktonu jest prawdopodobnie związane ze znacznym przepływem wody, który utrudnia rozwój stabilnych struktur fauny planktonowej. Reakcja poszczególnych grup taksonomicznych zooplanktonu na podgrzewanie wody była odmienna. Wraz ze wzrostem tempera-

tury wody zwiększało się zagęszczenie widłonogów (Jez. Gosławskie) i wioślarek (Jez. Licheńskie), obniżało się natomiast zagęszczenie wrotków (Jez. Licheńskie).

PIŚMIENNICTWO

- Balayla D.J., Moss B., 2003. Spatial patterns and population dynamics of plant-associated microcrustacea (Cladocera) in an English shallow lake (Little Mere, Cheshire). *Aquat. Ecol.* 37, 417–435.
- Basu B.K., Kalff J., Pinel-Allou B., 2000. The influence of macrophyte beds on plankton communities and their export from fluvial lakes in the St Lawrence river. *Freshwat. Biol.* 45, 373–382.
- Bottrell H.H., Duncan A., Gliwicz Z.M., Grygierek E., Herzing A., Hillbricht-Ilkowska A., Kurasawa H., Larsson P., Węgleńska T., 1976. A review of some problems in zooplankton production studies. *Norw. J. Zool.* 24, 419–456.
- Burks R.L., Lodge D.M., Jeppesen E., Lauridsen T.L., 2002. Diel horizontal migration of zooplankton: costs and benefits of inhabiting the littoral. *Freshwat. Biol.* 47, 343–365.
- Ejsmont-Karabin J., 1998. Empirical equations for biomass calculation of planktonic rotifers. *Pol. Arch. Hydrobiol.* 45, 513–522.
- Hillbricht-Ilkowska A., Ejsmont-Karabin J., Węgleńska T., 1988. Long-term changes in the composition, productivity and trophic efficiency in the zooplankton community of heated lakes near Konin (Poland). *Ekol. Pol.* 36, 115–144.
- Hillbricht-Ilkowska A., Patalas K., 1967. Metody oceny produkcji i biomasy oraz niektóre problemy metodyki ilościowej zooplanktonu. *Ekol. Pol.* 13, 139–172.
- Hillbricht-Ilkowska A., Zdanowski B., 1978. Effect of thermal effluents and retention time on lake functioning and ecological efficiencies in plankton communities. *Int. Rev. ges. Hydrobiol.* 63, 609–617.
- Hillbricht-Ilkowska A., Zdanowski B., Ejsmont-Karabin J., Karabin A., Węgleńska T., 1976. Produkcja pierwotna i wtórna planktonu jezior podgrzanych. *Rocz. Nauk Rol.* H-97, 69–88.
- Kapusta A., 2004. Relationship between the abundance of larvae and juvenile stage assemblages and the occurrence of macrophytes in the shallow littoral of Lake Licheńskie. *Arch. Pol. Fish.* 12, 163–176.
- Kondracki J., 2001. *Geografia regionalna Polski*. Wyd. Nauk. PWN Warszawa.
- Kuczyńska-Kippen N., Nagengast B., 2003. The impact of the spatial structure of hydromacrophytes on the similarity of rotifera communities (Budzyńskie Lake, Poland). *Hydrobiologia* 506–509, 333–338.
- LaBerge S., Hann B.J., 1990. Acute temperature and oxygen stress among genotypes of *Daphnia pulex* and *Simocephalus vetulus* (Cladocera: Daphniidae) in relation to environmental conditions. *Can. J. Zool.* 68, 2257–2263.
- Lampert W., Sommer U., 2001. *Ekologia wód śródlądowych*. Wyd. Nauk. PWN Warszawa.
- Moore M.V., Folt C.L., Stemberger R.S., 1996. Consequences of elevated temperatures for zooplankton assemblages in temperate lakes. *Arch. Hydrobiol.* 135, 289–319.
- O'Brien W.J., Barfield M., Bettez N.D., Gettel G.M., Hershey A.E., McDonald M.E., Miller M.C., Mooers H., Pastor J., Richards C., Schuldt J., 2004. Physical, chemical, and biotic effects on arctic zooplankton communities and diversity. *Limnol. Oceanogr.* 49, 1250–1261.
- Patulej E., 2005. Zooplankton przybrzeżnych jezior Półwyspu Bałtyckiego. Wyd. UWM Olsztyn, Rozprawy i Monografie 110, 1–129.
- Pielou E.C., 1975. *Ecological diversity*. Wiley New York.
- Socha D., Zdanowski B., 2001. Ekosystemy wodne okolic Konina. *Bibl. Monit. Środ., WIOŚ* Poznań.
- Starmach K., 1955. *Metody badań planktonu*. PWRiL Warszawa.

- Szlauer B., 1996. Zooplankton Jeziora Głębokiego w Szczecinie jako wskaźnik trofii tego zbiornika. Zesz. Nauk. AR Szczec., Ryb. Mor. 171, 19–34.
- Tunowski J., 1988. Zooplankton losses during the passing through the cooling system of a power station. Ekol. Pol. 36, 231–243.
- Tunowski J., 1994. The effect of heating and water exchange on the zooplankton composition in heated Konin lakes. Arch. Pol. Fish. 2, 235–255.
- Vijverberg J., 1980. Effect of temperature in laboratory studies on development and growth of Cladocera and Copepoda from Tjeukemeer, The Netherlands. Freshwater Biol. 10, 317–340.
- Wilkońska H., 1988. The effect of heated-water discharge in the Konin lakes (Poland) on their ichthyofauna. Ekol. Pol. 36, 145–163.

RESPONSES OF ZOOPLANKTON COMMUNITIES TO ELEVATED WATER TEMPERATURE IN LAKES AFFECTED BY WATER DISCHARGE FROM POWER STATIONS

Abstract. The studies conducted in the Gnieźnieńskie Lakeland in the summer seasons of 2001 and 2002 provided the basis for determining the abundance and species richness and diversity of zooplankton in the littoral zone of two lakes heated by waters discharged from power stations, and for describing the relationships between water thermal conditions and the density and structure of taxocoenoses. The effect of water temperature on the zooplankton was estimated using the Spearman rank correlation. Over the whole study period, the zooplankton in both water bodies exhibited a high species richness and a wide species diversity (expressed as the Pielou index) but a relatively low abundance and biomass. No significant relation was found between water temperature and the total abundance, biomass and diversity indices of zooplankton. On the other hand, there were significant relations between water temperature and the abundance and biomass of individual taxonomic groups.

Key words: zooplankton, littoral, species richness, species diversity, seasonal changes, heated lake, Gnieźnieńskie Lakeland

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 28.09.2006