



Fundusze Europejskie
dla Rybactwa



Rzeczpospolita
Polska

Dofinansowane przez
Unię Europejską



Bioaktywne komponenty diety ryb w akwakulturze zrównoważonej i zachowawczej

*dr hab. inż. Agata Anna Cejko prof. IRS-PIB
Zakład Hodowli Ryb Jesiotrowatych
a.cejko@infish.com.pl*

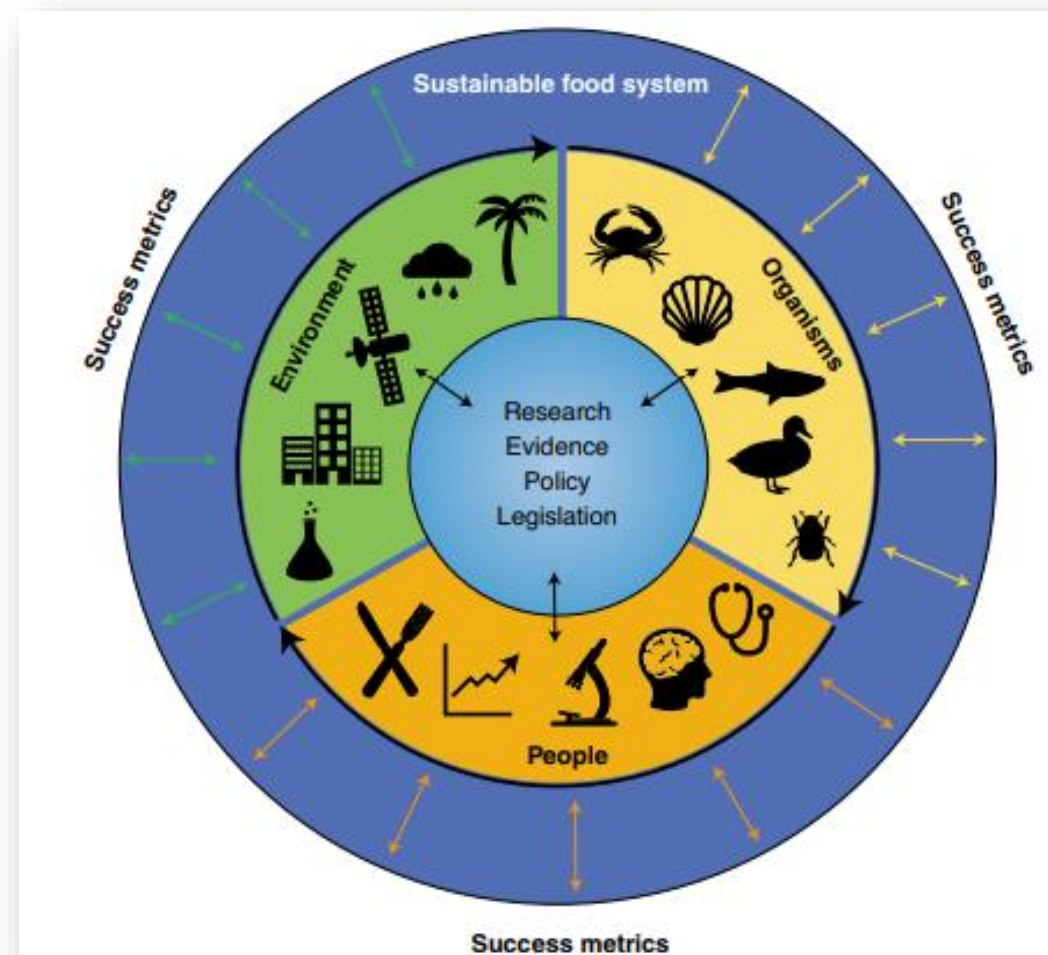


Akwakultura

- Zrównoważona
- Zachowawcza

WYDAJNOŚĆ → DOBROSTAN → OCHRONA ZASOBÓW

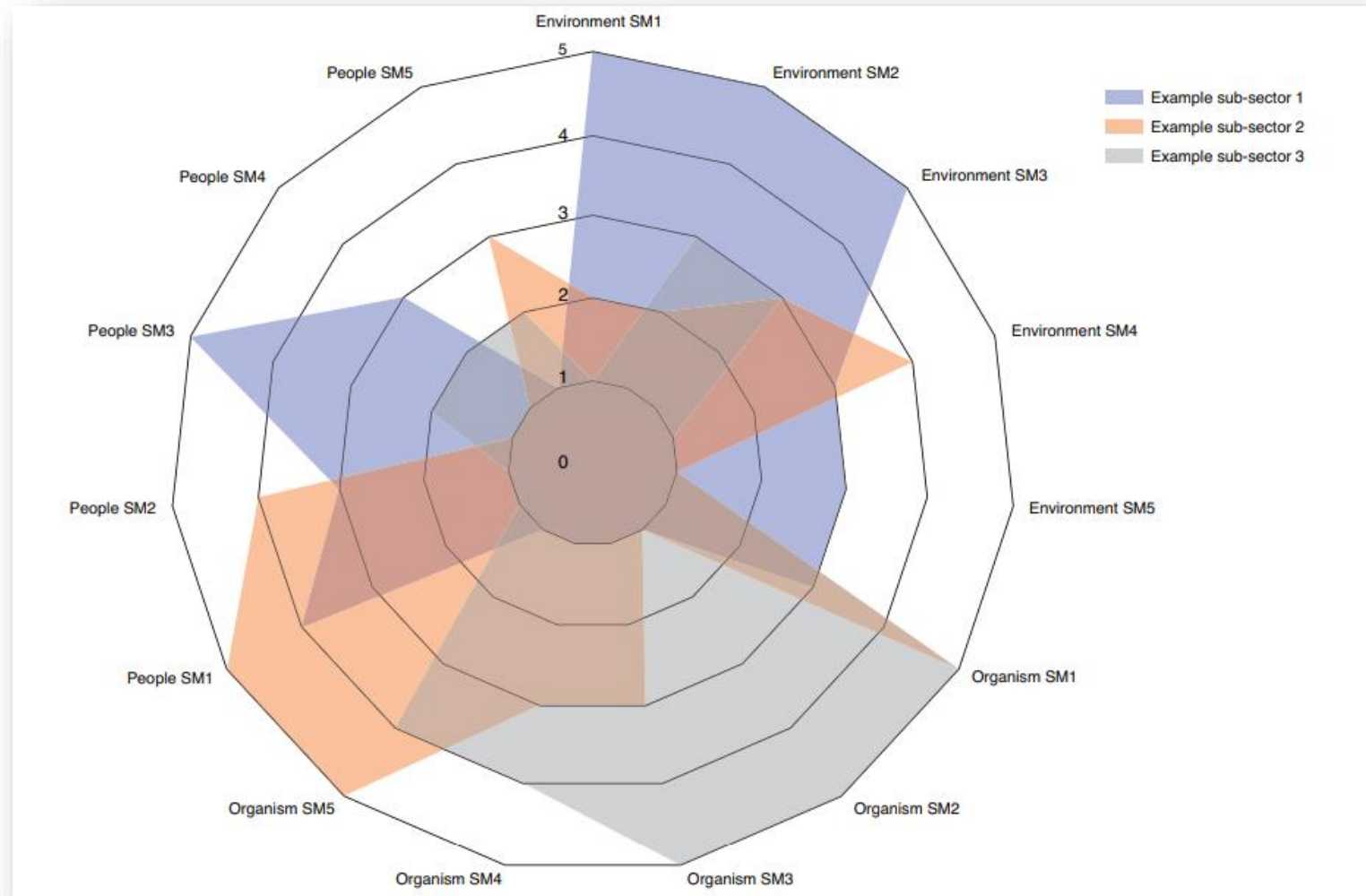
WSPARCIE DLA OCHRONY ZAGROŻONYCH GATUNKÓW/SIEDLISK



One Health w akwakulturze

Wskaźniki sukcesu (SM)

- Organizmy hodowlane
- Środowisko
- Ludzie



NIE MOŻNA OSIĄGNAĆ TRWAŁEGO DOBROSTANU JEDNEGO Z TYCH ELEMENTÓW BEZ DBAŁOŚCI O POZOSTAŁE

Znaczenie biomolekuł

Optymalizacja składu pasz



Kierunek badań



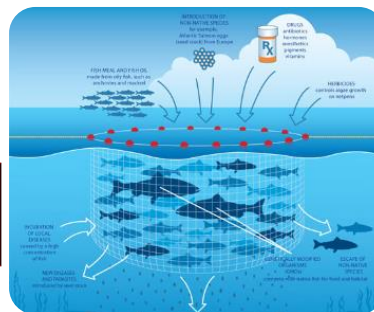
Akwakultura zrównoważona



Ochrona bioróżnorodności



Dobrostan ryb hodowlanych



Jakość produktu

Związki bioaktywne

Żywność funkcjonalna

Pasze funkcjonalne

- Związki
- bioaktywne
- Nie odżywcze składniki diety

polifenole
karotenoidy
inulina

antyoksydacja, homeostaza mikrobiomu

- 
- Związki
 - budulcowe/energetyczne
 - Białka
 - Węglowodany
 - Tłuszcze

KATALIZA, INHIBICJA, REGULACJA PROCESÓW FIZJOLOGICZNYCH I METABOLIZMU NA POZIOMIE KOMÓRKOWYM

50 000 ZWIĄZKÓW BIOAKTYWNYCH

METABOLITY POCHODZENIA ROŚLINNEGO

Struktura chemiczna (2017)

I. Związki fenolowe (fenolokwasy, flawonoidy in.)

II. Terpenoidy (karotenoidy, tokoferole, saponiny, monoterpeny i in.)

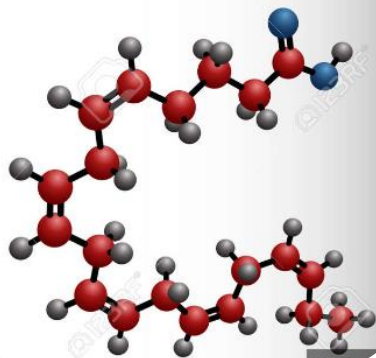
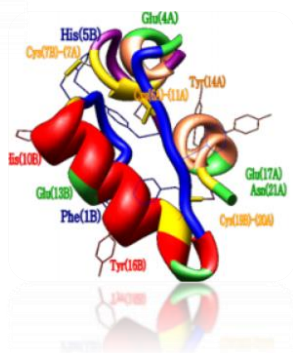
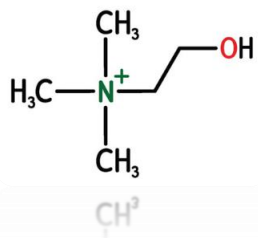
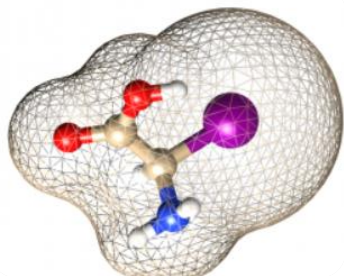
III. Niebiałkowe związki azotowe (alkaloidy, aminy, aminokwasy, glikozydy i in.)

ŹRÓDŁA ZWERZĘCE

Związki organiczne (kwasy tłuszczowe, peptydy), nieorganiczne (witaminy, minerały)

KATEGORIE SKŁADNIKÓW BIOAKTYWNYCH (12)

POLI – I MONOMERY



PASZE FUNKCJONALNE

- Suplementowana mikroorganizmami, algami, immunomodulatorami, ekstraktami, olejami, aminokwasami, peptydami funkcjonalnymi

Błonnik/Oligosacharydy/Alkohole cukrowe/Glukozydy/Białka, peptydy/ aminokwasy/Izopreny i witaminy/Bakterie kwasu mlekowego/Minerały/choliny/Nienasycone kwasy tłuszczowe/antyoksydanty

BEZPIECZEŃSTWO ŻYWNOŚCI (WYD. WIEDZA I PRAKTYKA) **„ZMIANOM W PRAWIE ŻYWNOŚCIOWYM” (2020)**

1. Aminokwasy, peptydy, białka
2. Wielonienasycone kwasy tłuszczowe
3. Witaminy (A, D, E, C, z grupy B)
4. Składniki mineralne (J, Ca, Mg, Fe, Zn, Se, Mn)

BIOAKTYWNE SKŁADNIKI

- | | | | |
|---------------|-----------------------------|----------------------|-----------------------|
| 5. Probiotyki | 8. Lecytyna | 11. Izoprenoidy | 14. Błonnik pokarmowy |
| 6. Prebiotyki | 9. Substancje fitochemiczne | 12. Glikozydy | |
| 7. Cholina | 10. Flawonoidy | 13. Sterole roślinne | |

SUBSTANCJE DODAWANE DO PASZ KOMPONOWANYCH W CELU POPRAWY DOBROSTANU RYB

BIOAKTYWNE SKŁADNIKI PASZ

IZOLATY

PRODUKTY POCHODZENIA
MORSKIEGO

PRODUKTY UBOCZNE PRZEMYSŁU
ROLNO-SPOŻYWCZEGO

BIOFUNKCYJNE
KOMPLEKSY

- Antyoksydacyjne
- Przeciwzapalne
- Stymulujące wzrost
- Immunomodulujące
- Stabilizujące mikrobiom
- Poprawa przyswajalności składników odżywczych (efektywność żywienia)

Promotor wzrostu

Efektywność wykorzystania
pasz i absorpcja
składników
odżywczych

Wzrost odporności

Fagocytoza
odpowiedź humoralna
Ekspresja genów

Bioaktywne komponenty

Osłabienie skutków stresu

Aktywacja enzymów
antyoksydacyjnych

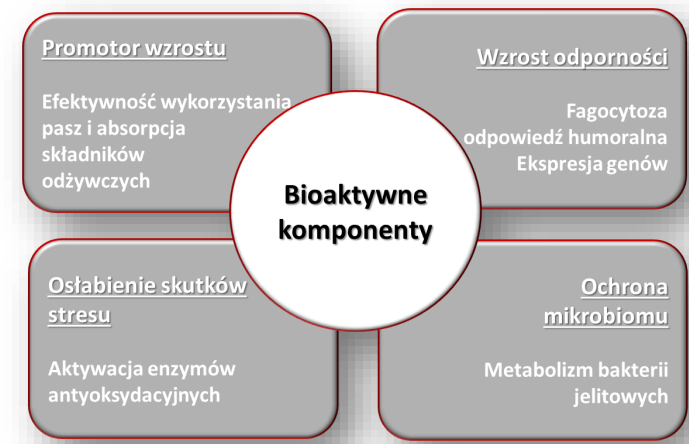
Ochrona mikrobiomu

Metabolizm bakterii
jelitowych

ZWIĄZKI BIOAKTYWNE W PASZACH

ŹRÓDŁA ZWIĄZKÓW BIOAKTYWNYCH W PASZACH KOMPONOWANYCH

Kategoria	Źródło	Związki bioaktywne
Lipidy	Oleje rybne i roślinne	EPA, DHA, ARA, ALA, LA
Białka	Hydrolizaty białek rybnych i roślinnych	Peptydy bioaktywne, aminokwasy EAA
Mikroorganizmy i metabolity	Lactobacillus sp., Bifidobacterium sp.	Probiotyki
Drożdże	Saccharomyces cerevisiae, ekstrakty	Prebiotyki, β-glukany, manooligosacharydy
Algi	Spirulina, Chlorella	Kwasy tłuszczowe, karotenoidy
Ekstrakty i zioła	Zielona herbata, winogrona, kurkuma	Polifenole, flawonoidy, witaminy, minerały,

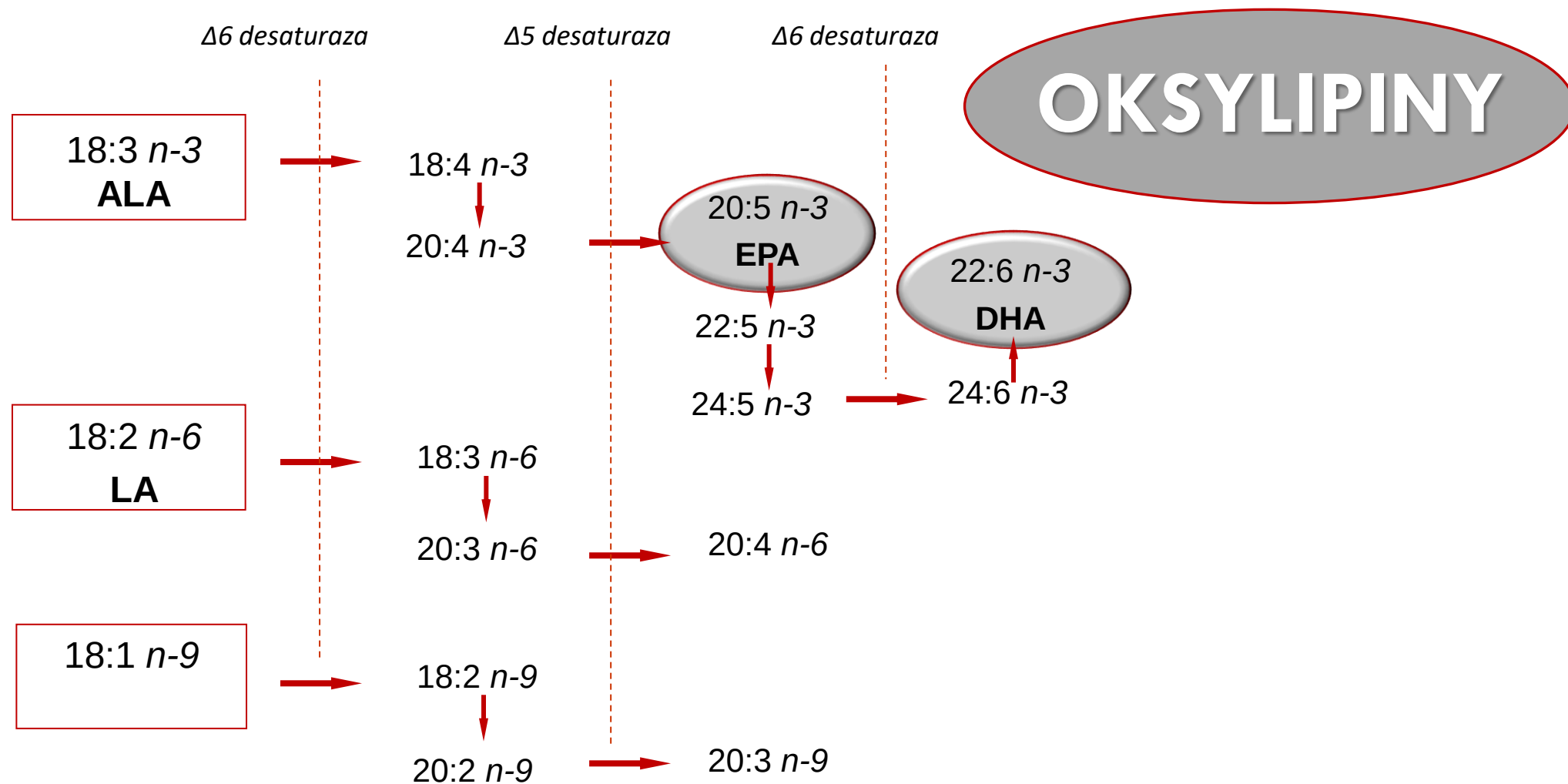


BIOAKTYWNE KOMPONENTY ROŚLINNE TESTOWANE W DIECIE RYB

Komponent	Nazwa biomolekuły	Wpływ na organizm ryby
Łuska kukurydzy	Steroidy, olejki eteryczne, polifenole, flawonoidy	Zahamowanie peroksydacji lipidów w wątrobie
Skórki owoców	Flawonoidy, alkaloidy, glikozydy, antocyjany, enzymy, polifenole	Stymulatory wzrostu (absorpcji w enterocytach), immunostymulatory,
Pestki winogron	Karotenoidy, fitosterole, kwasy fenolowe, tokoferole	Stymulator wzrostu i odporności
Aloes (A. vera)	70 biologicznie aktywnych substancji	j.w.

Związki bioaktywne - synteza i kumulacja w tkankach

HALVER I HARDY 2001. FISH NUTRITION



WPŁYW LC-PUFA (WU I IN. 2024)

jesiotr z rzeki Jangcy

0,5-2,4% LC-PUFA, 5 m-cy karmienia

- Metabolizm gatunku
- Środowisko podchowu
- Preferencje żywieniowe



Związki bioaktywne w ciele ryb

- Oksylipiny (bioaktywne przekazniki lipidowe)

PGA (pochodna ARA)

produkty utleniania EPA i DHA



Zależne od ilości prekursora



**TG, cholesterol, ALP, Ig
dysmutaza ponadtlenkowa,
peroksydaza glutationowa**

- **14 OKSYLIPIN W SUROWICY JESIOTRA**

WYKORZYSTANIE WZBOGACONEGO POKARMU ŻYWEGO W PODCHOWIE LARW JESIOTRÓW (IRS-PIB)

jesiotr rosyjski, jesiotra ostronosy, sterlet

POKARM WZBOGACANO KOMPONENTAMI

BOGATYMI W DHA, LC-PUFA

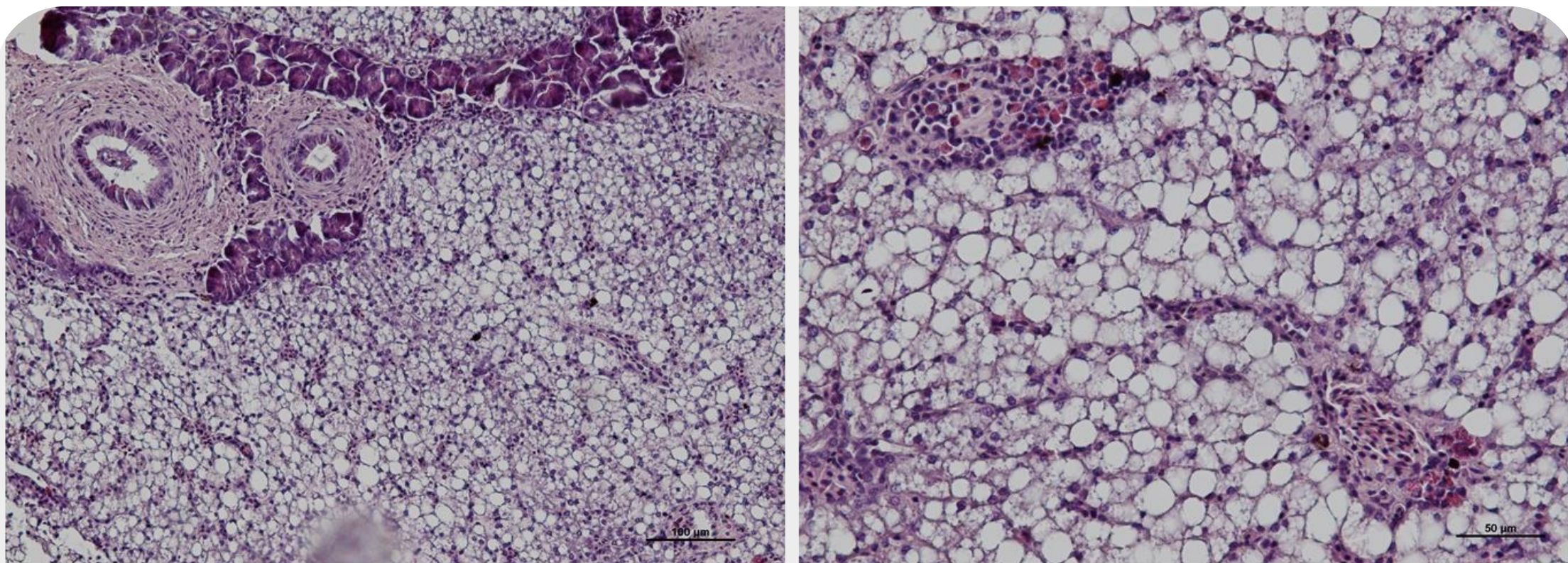
- przeżywalność
- wzrost
- zwiększoną aktywność enzymów trawiennych
- zwiększenie odporności na stres



WYKORZYSTANIE OLEJÓW W PODCHOWIE RYB JESIOTROWATYCH

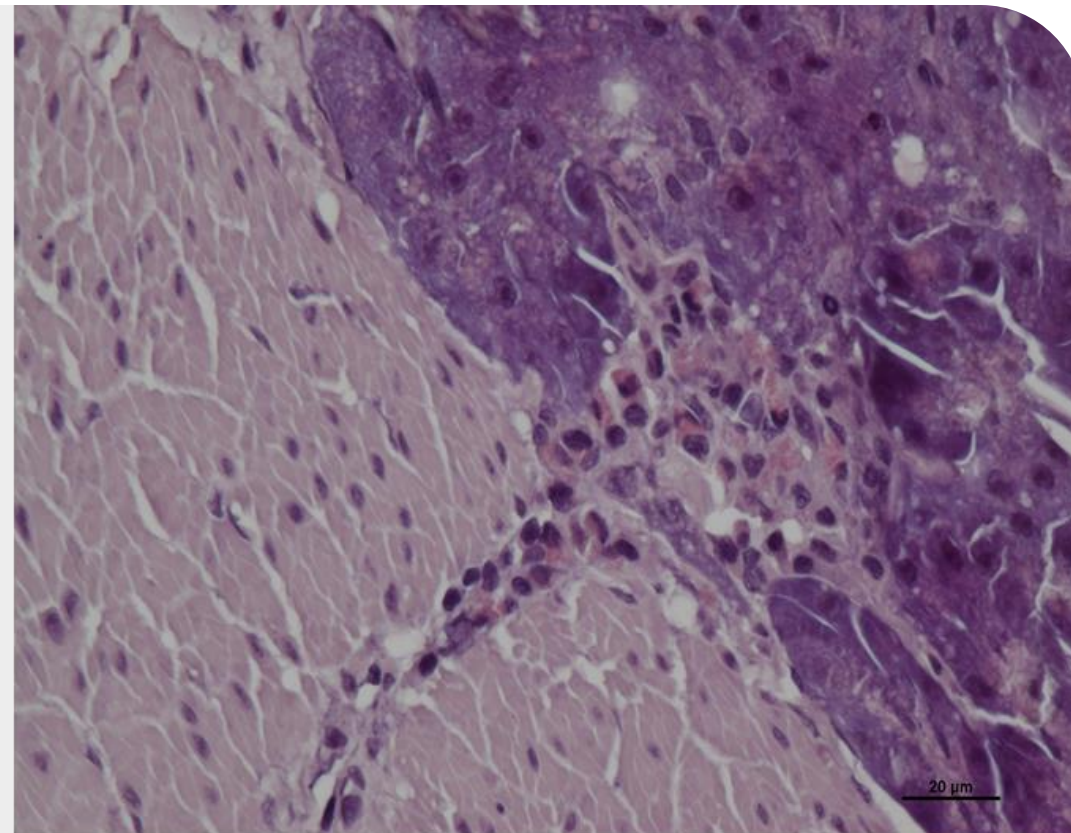
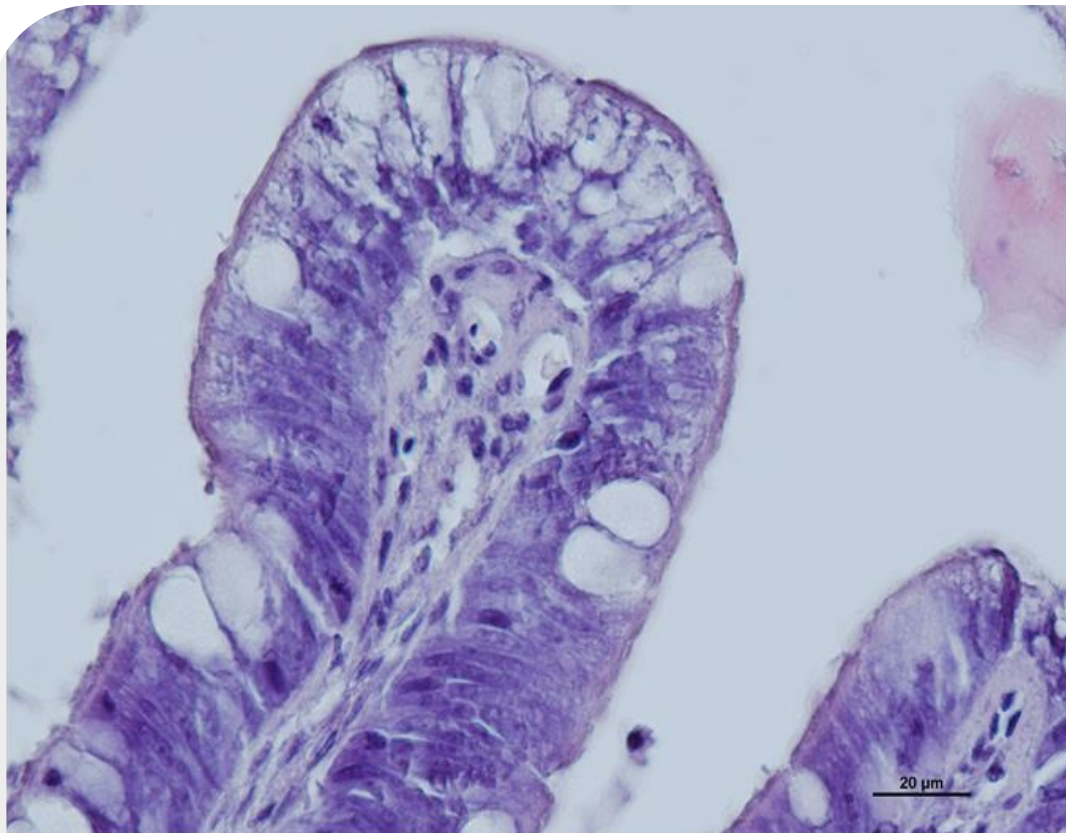
- mikroalgi (*Schizochytrium* sp.), Inianka, szarłat
- dodatek 2%
- czas trwania doświadczenia 8 tygodni
- dodatek oleju z mikroalg podnosi odporność u poszczególnych gatunków ryb jesiotrowatych.





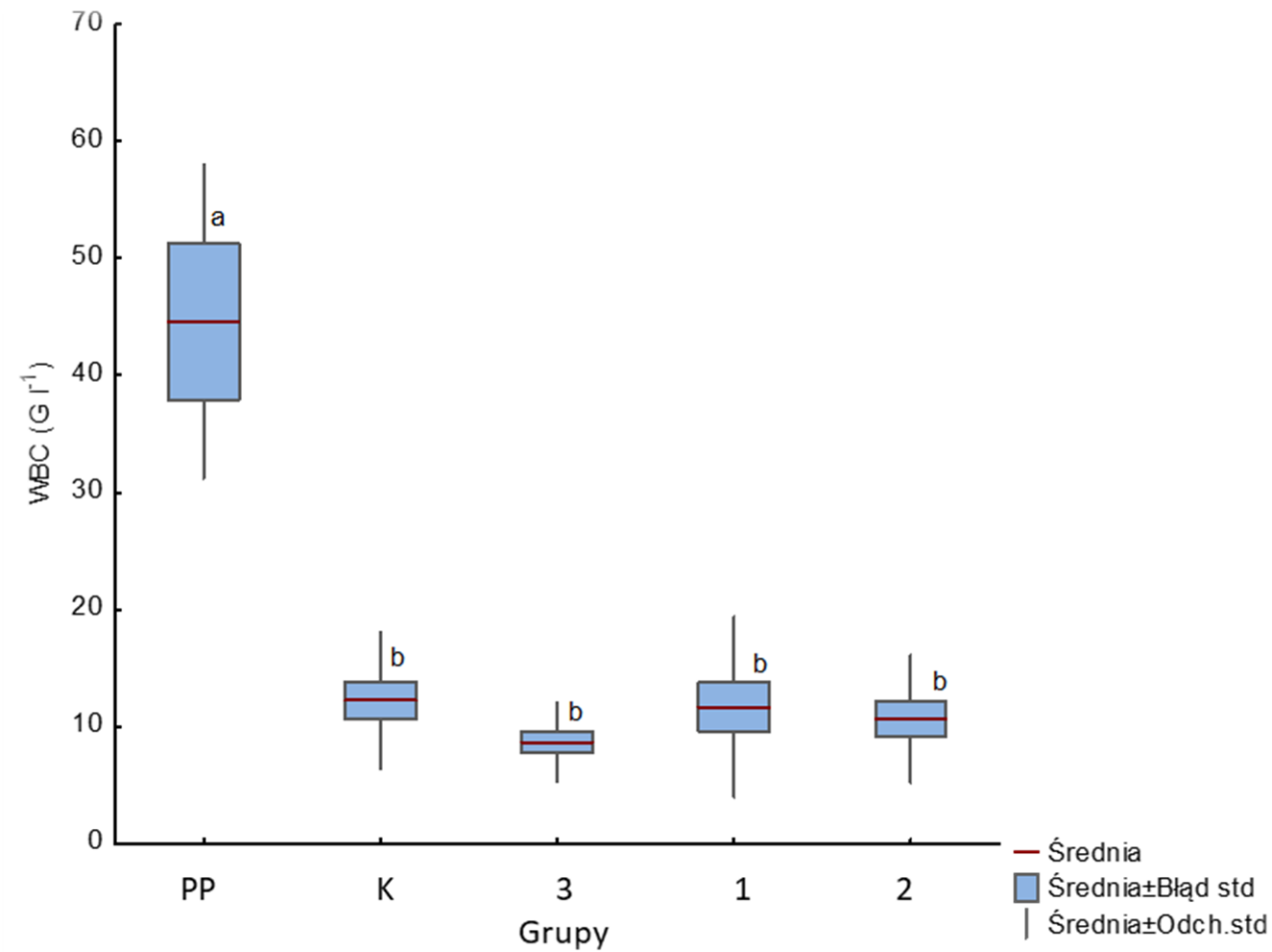
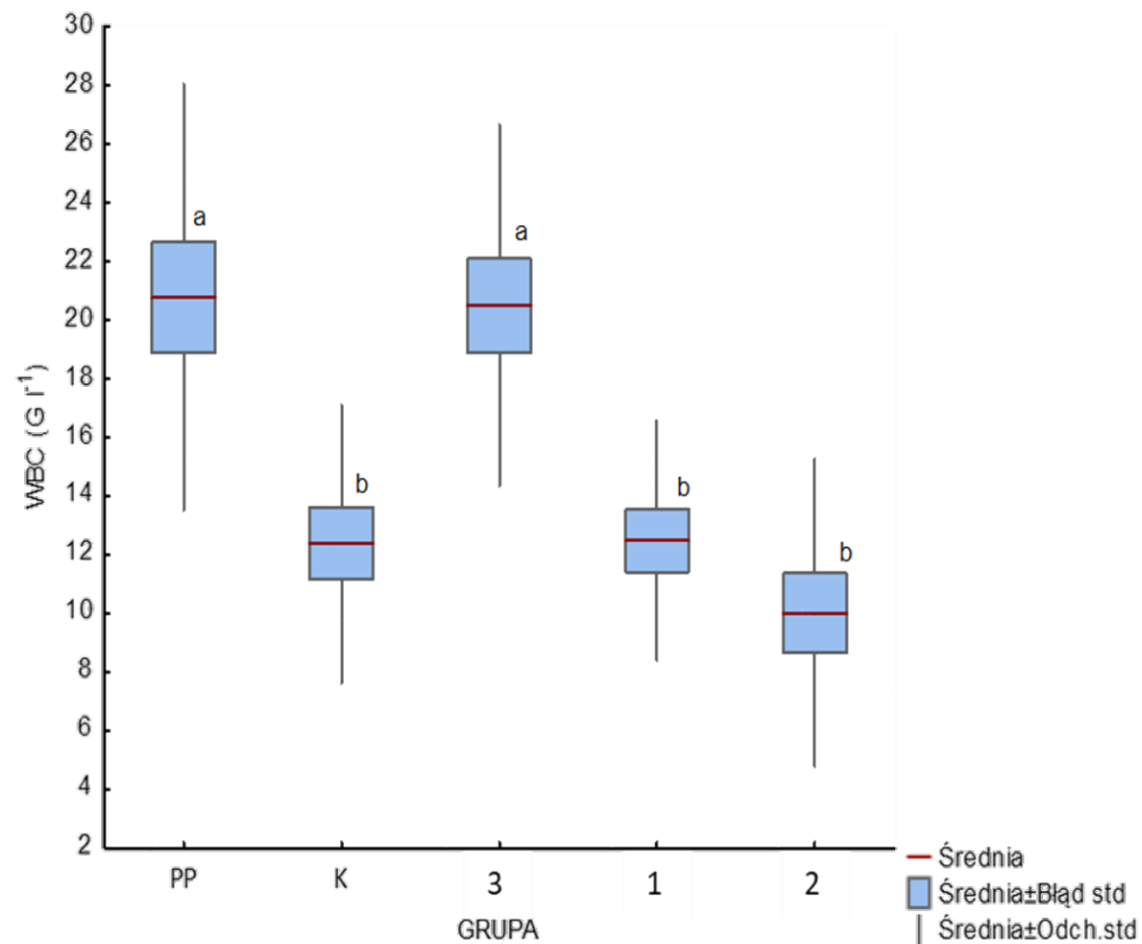
Fot. 5. Obraz histologiczny jesiota ostronosego żywionego paszą suplementowaną związkiem bioaktywnym (grupa 2). Widoczny przewód żółciowy w obecności rozbudowanej tkanki trzustki i pojedyncze ogniska leukocytów; hepatocyty wyraźnie zwakuolizowane z jedną dużą kroplą tłuszczu i miejscowo kilkoma kroplami lipidowymi.

zwakuolizowane z jedną dużą kroplą tłuszczu i miejscowo kilkoma kroplami lipidowymi;
rozbudowanej tkanki trzustki i pojedyncze ogniska leukocytów



Fot. 7b. Obraz histologiczny jelita jesiota ostronosego żywionego paszą suplementowaną związkiem bioaktywnym (grupa 3). Widoczne liczne komórki kubkowe i wyraźny rząbek szczoteczkowy enterocytów z oznakami absorpcji oraz nieliczne, drobne leukocyty globularne.

PARAMETRY HEMATOLOGICZNE



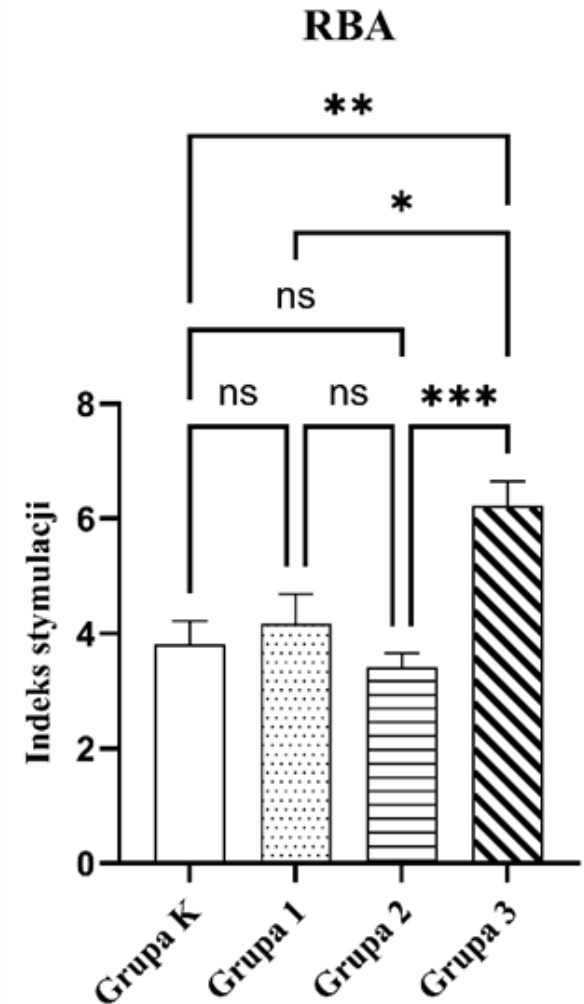
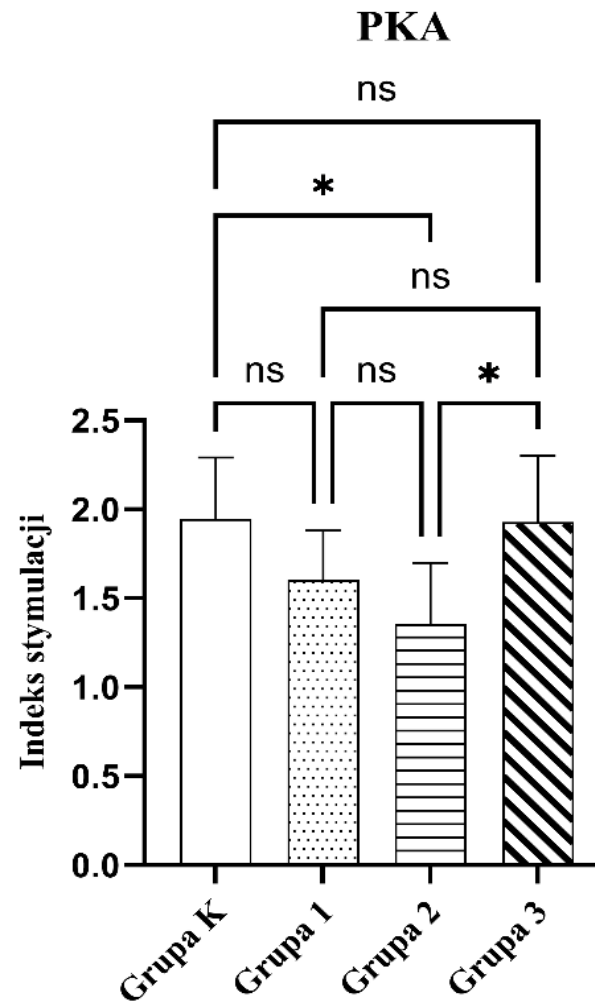
LICZEBNOŚĆ KRWINEK BIAŁYCH WE KRWI OBWODOWEJ JESIOTRA OSTRONOSEGO I SYBERYJSKIEGO

UKŁAD ODPORNOŚCIOWY

C18 – 11,3-11,6%

EPA – 0,5-0,6%

DHA – 0,2-2,8%



AKTYWNOŚĆ BÓJCZA I WYBUCH TLENOWY FAGOCYTÓW JESIOTRA SYBERYJSKIEGO I OSTRONOSEGO (* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$)

TRANSFER BIOMOLEKUŁ Z PASZY DO KAWIORU

(Wu i in. 2021, DePeters i in. 2023)

jesiotr chiński
0-2% ARA w paszy
*ilość witelogeniny w wątrobie,
hormony steroidowe w osoczu
metabolity ARA (PG)
ARA: 6-13% vs. 2% w gonadach*

↓

Cykl reprodukcyjny

jesiotr biały (3 i 6 m-cy karmienia, pasza z dodatkiem i bez OR

Kwasy tłuszczowe	Jesiotr dziki	Jesiotr hodowlanyOR/T	Jesiotr hodowlanyOS/T	Jesiotr hodowlanyOK
LA	0,6	6,2	6,8	5,4
ALA	0,1	0,6	0,8	0,7
ARA	3,4	3,2	2,0	1,9
EPA	4,5	5,6	5,8	5,6
DHA	14,1	12,5	16,5	16,7

Kawior z akwakultury zrównoważonej (tu: korzystającej z różnych źródeł lipidów w paszy) zachowuje wysoką wartość odżywczą

WPŁYW LECYTyny

(Jafari in. 2021, Amer i in. 2023, Yu i in. 2024)

0-10% lecytyny

1% (SGR, FE, zawartość lipidów i białka w ciele)

LC-PUFA 3,37% vs. 1,23% w ciele ryby

2,5% (EPA, DHA)

Ekspresja genu wątrobowej lipazy lipoproteinowej

- Aktywność enzymów/strawność
- Absorpcja nutrientów
- Akumulacja w tkankach



Suplementacja paszy bioaktywnym fosfolipidem

- Spadek otłuszczenia wątroby

jesiotr syberyjski

- Wzrost wykorzystania paszy

absorpcja nutrientów

wskaźniki antyoksydacyjne



Zawartość lipidów w tuszy



Amylazy, lipazy, peptydazy,
katalaza,
dysmutaza ponadtlenkowa,
peroksydaza glutationowa

- Wielkość i rozgałęzienie krypt w jelicie

RHODO-, CHLORO-, PHAEOPHYTA - MAKROALGI

(Marthy i in. 2017, Ismail 2019, Rana i in. 2024)

EAA i LC-PUFA
polisacharydy
witaminy i minerały
antyoksydanty i immunostymulanty
substancje przeciwwirusowe i antybakteryjne

Tolerancja na stres
wzrost, przeżywalność
wykorzystanie paszy



Karp (m.c. 10g, czas 60 dni; (0,5 i 1% karagenu)

Strawność/absorpcja/wykorzystanie białka

- **Agar**

- **Kwas alginowy/alginiany**

- **Karagen**

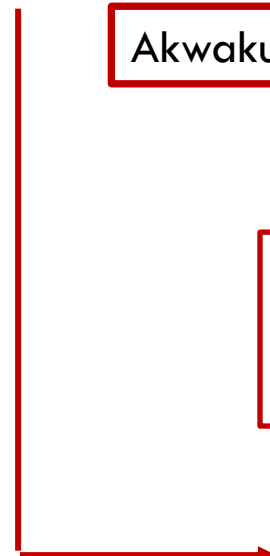
Akwakultura ryb roślino- i wszystkożernych



SGR, biochemia krwi,
immunostymulacja,
odporność na zakażenia



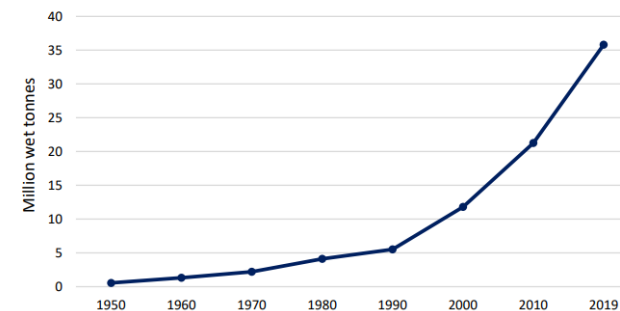
Ekspresja genów



MIKROALGI

(Idenyi i n. 2022, Engineering Microbiology 2 (4): 100049)

Figure 17: Global algae production, 1950 - 2019



Source: [FAO](#)

Węglowodany

*Glukany,
monosacharydy,
skrobia,
algaenan*

LC-PUFA

*ARA, ALA
GLA,
DHA
EPA*

Pigmenty

*Karotenoidy,
astaksantyna,
fikoerytryna,
fikocyjanina*

Wit. /minerały

*Witamina A, B1, B2,
C, Kwas foliowy,
biotyna, niacyna,
potas, żelazo*

Białka

*EAA
(Lys, Met,
Phe, Tyr)*

**pstrąg (< 10%), karpie (7,5%), łosoś (>10%), tilapie (0,5-2%),
dorsz (15%), labraks (36%), jesiotr (>6%)**

WZROST, FCR, IMMUNOSTYMULACJA, WZMOCNIENIE BARWY CIAŁA, WZROST ODPORNOŚCI NA CHOROBY, PRZEŻYWALNOŚĆ

WYKORZYSTANIE MĄCZKI Z MIKROALG W PODCHOWIE JESIOTRA OSTRONOSEGO (IRS-PIB)

Mączka ze spiruliny (*Arthrospira platensis*) 0% - 2% - 4% - 6%

	D0	D2	D4	D6	p	
LT	7,03 ^a ± 0,31	6,73 ^a ± 0,26	6,70 ^a ± 0,26	6,67 ^a ± 0,78	> 0,05	TT
W	1,77 ^a ± 0,20	1,58 ^a ± 0,09	1,43 ^a ± 0,15	1,49 ^a ± 0,52	> 0,05	TT
P	93,33 ^a ± 1,44	94,17 ^a ± 1,18	95,00 ^a ± 2,50	96,67 ^a ± 2,89	> 0,05	TT
K	0,43 ^a ± 0,01	0,42 ^a ± 0,01	0,42 ^a ± 0,02	0,42 ^a ± 0,02	> 0,05	TT
CV	74,63 ^a ± 4,10	70,47 ^a ± 11,72	69,40 ^a ± 18,60	79,60 ^a ± 5,79	> 0,05	KT
SGR	4,63 ^a ± 0,42	4,04 ^a ± 0,29	3,88 ^a ± 0,36	3,88 ^a ± 1,35	> 0,05	TT
DGR	0,05 ^a ± 0,01	0,03 ^a ± 0,01	0,03 ^a ± 0,01	0,04 ^a ± 0,02	> 0,05	TT
PER	0,61 ^a ± 0,33	0,62 ^a ± 0,05	0,58 ^a ± 0,09	0,60 ^a ± 0,24	> 0,05	TT

INNE

(ESHI I IN. 2020, TEJPAL I IN. 2022, RANA I IIN. 2024)

- **Chityna/chitozan** (max 0,5% w paszy, czas żywienia 21 dni)

FCR, EF, K, SGR,

odporność na choroby

pstrąg, dorada, węgorz japoński

- **Metabiotyki i fitobiotyki**

związki hormonopodobne,

tj. o funkcji cząsteczek sygnalizacyjnych

Wpływ bezpośredni i długotrwały

ABSORPCJA NUTRIENTÓW

IMMUNOSTYMULACJA

MIKROBIOM JELITOWY

MIKRO- I MAKROELEMENTY

(Gholizadeh i in. 2019, Chu i in. 2024)

jesiotr syberyjski, hybryda *A. baerii* × *A. schrenckii*

- **Selen (0-1,5% w paszy)**

FCR, K, SGR,

parametry hematologiczne (RBC, LBC, Hb, hematokryt)

parametry immunologiczne (lizozym, Ig, limfocyty)

- **Fosfor (0,4-1,5% w paszy)**

tempo wzrostu, FE

metabolizm lipidów

różnorodność szczepów mikrobiomu

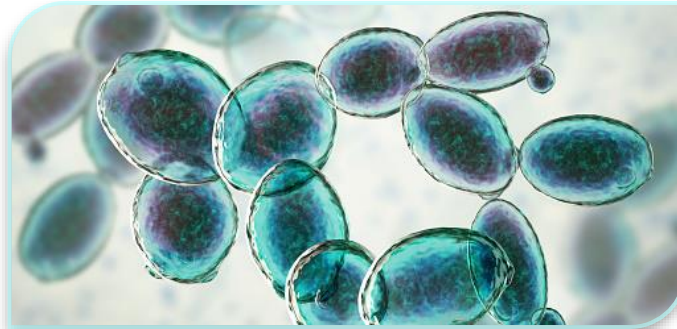
ROLA W METABOLIZMIE,
ODPORNOŚCI
I WYKORZYSTANIU
SKŁADNIKÓW ODŻYWCZYCH

MIKROBIOTA (PROCARYOTA)



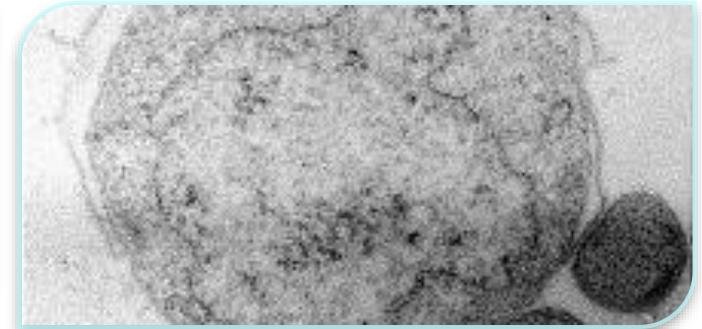
BAKTERIE

Lactobacillus sp.



DROŹDŹE

Saccharomyces sp.



ARCHEOWCE

Nanoarchaeum sp.+ *Ignococcus* sp.

MIKROBIOM (IRS-PIB)

***Lactobacillus* sp. i *Leuconostac* sp.,
Glukany, *Saccharomyces cerevisiae***

- Przeżywalność
- Względny przyrost masy ciała SGR
- Współczynnik pokarmowy paszy FCR
- Współczynnik wykorzystania białka PER
- Odpowiedź komórkowa i humoralna
- Aktywność enzymów trawiennych
(amylazy, lipazy, peptydazy)

- pre- i probiotyki (0,1-2%)



UKŁAD POKARMOWY KARPIA

Cetobacterium sp.

Dominujące komensalne bakterie u karpia

↓
ukł odpornościowy/metabolizm

Produkt fermentacji Cetobacterium somerae

+

Pasza z białkiem roślinnym

Ekspresja genów związanych ze stanem zapalnym wątroby i jelit

Poziom ALT, AST

Ilość kropli lipidów w wątrobie

Ekspresja genów lipogenezy

dodatek paszowy niwelujący niekorzystny efekt
zastępowania mączki rybnej białkami roślinnymi



INTERACJE MIKROBIOTYCZNE

- Czynniki biotyczne

Wskaźniki odporności		Kontrola	EM pasza 1%	EM woda 10 PPM	EM woda 100 PPM
Aktywność bójcza fagocytów	RBA	3,88 (±0,76)	5,795* (±1,02)	4,22 (±0,75)	2,03 (0,57)
	PKA	1,73 (±0,22)	3,03* (±0,70)	2,15 (±0,62)	1,89 (±0,26)
Aktywność proliferacyjna limfocytów	ConA	1,19 (±0,62)	1,49* (±0,15)	1,31 (±0,12)	1,29 (±0,10)
	LPS	1,46 (±0,18)	1,63 (±0,24)	1,31 (±0,09)	1,29 (±0,06)

Metabolity mikrobiomu

Białka mikrobioty

HOLOBIOM

Przyszłość akwakultury

- Wzmacnianie odporności
- Redukcja antybiotyków
- Poprawa wykorzystania paszy
- Jakość produktu końcowego

AKWAKULTURA
ZRÓWNOWAŻONA

AKWAKULTURA
ZACHOWAWCZA

- Wspieranie przeżywalności w programach restytucji
- Ochrona ekosystemów
- Utrzymanie mikrobioty środowiska

ZWIĄZKI BIOAKTYWNE

- Integracja zdrowia ludzi, zwierząt i ekosystemów
- bezpieczeństwo żywnościowe i ekologiczne
- akwakultura - integralna część rozwiązań

One
Health

??? standaryzacja związków
??? ocena długoterminowego wpływu



Ministerstwo Rolnictwa
i Rozwoju Wsi



INSTYTUT RYBACTWA
ŚRÓDLĄDOWEGO
IM. STANISŁAWA SAKOWICZA
PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY

Dziękuję za uwagę

dr hab. inż. Agata Cejko prof. IRS-PIB
a.cejko@infish.com.pl

