

Niektóre czynniki żywieniowe wpływające na wykorzystanie mikroelementów przez zwierzęta monogastryczne

Sylwester Świątkiewicz, Jerzy Koreleski
Zakład Żywienia Zwierząt, Instytut Zootechniki w Krakowie
Brzezina, 32-080 Zabierzów

Słowa kluczowe: mikroelementy, kwas fitynowy, polisacharydy nieskrobiowe, nieorganiczne i organiczne formy pierwiastków śladowych, bioprzyswajalność

Wprowadzenie

Efektywność wykorzystania mikroelementów stanowi istotne zagadnienie w żywieniu zwierząt monogastrycznych. Wiąże się to ze stosunkowo niską przyswajalnością tradycyjnie stosowanych, nieorganicznych form pierwiastków śladowych, przy jednoczesnym wzroście zapotrzebowania organizmu na te składniki, wynikającym ze stałego postępu genetycznego, za którym idzie zwiększanie produktywności zwierząt gospodarskich. Powyższe fakty, jak również rozwój wiedzy o roli mikroelementów w procesach odpornościowych i reprodukcyjnych oraz duża zmienność ich zawartości w składnikach mieszanek pokarmowych, powodują, że pierwiastki śladowe są wprowadzane do paszy w dużych ilościach, często przekraczających zapotrzebowanie zwierząt. Następstwem tego może być wysoki poziom tych składników w odchodach i ich akumulacja w środowisku. Dla przykładu obserwowano, że około 94% Zn pobranego w paszy przez kurczęta brojlery jest wydalane [26]. Powoduje to, że nawożenie gleby pomiotem drobiowym w ilości spełniającej normy zapotrzebowania roślin na azot ($170 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$) wprowadza do gleby około $1,52 \text{ kg Zn} \cdot \text{ha}^{-1}$, tj. ilość przekraczającą o 660% zapotrzebowanie roślin na ten pierwiastek [27]. Normy zostają wyraźnie przekraczane również w wypadku Fe, Cu i Mn (tab. 1). Tak więc dokładne poznanie czynników decydujących o wykorzystaniu mikroelementów stanowi ważne zagadnienie także z punktu widzenia ekologii.

W niniejszym opracowaniu przedstawiono wpływ głównych czynników o charakterze żywieniowym, które wpływają na wykorzystanie pierwiastków śladowych u zwierząt monogastrycznych, tj. substancji antyżywniowych występujących w pa-

szy (sole kwasu fitynowego, polisacharydy nieskrobiowe) oraz rodzaju źródła mikroelementów (nieorganiczne vs organiczne).

Tabela 1. Porównanie zawartości składników mineralnych wprowadzanych w nawozie drobiowym zgodnie z potrzebami nawozowymi [27]

Składnik	Ilość wprowadzana w nawozie drobiowym* [kg · ha ⁻¹]	Potrzeby nawozowe [kg · ha ⁻¹]	Nadmiar [%]
Azot	170	170	0
Fosfor	75	35	115
Żelazo	6,41	1,5	330
Mangan	1,93	0,35	450
Cynk	1,52	0,2	660
Miedź	0,41	0,06	580

* Nawóz użyto zgodnie z potrzebami nawozowymi na azot, tj. 170 kg N · ha⁻¹ · rok⁻¹.

Sole kwasu fitynowego

Główną formą magazynowania fosforu w roślinach są fityniany — sole kwasu fitynowego (1, 2, 3, 4, 5, 6-heksa-dwuwodorofosforan-myo-inozytolu), które w przewodzie pokarmowym zwierząt są w większości rozpuszczalne, ale nie ulegają strawieniu. Szacuje się, że około 60–70% fosforu w ziarnie zbóż i sruinach poekstrakcyjnych występuje w formie fitynowej [38, 49]. Fosfor fitynowy jest w małym stopniu wykorzystywany przez zwierzęta monogastryczne z powodu niedostatecznej ilości w przewodzie pokarmowym fitazy — enzymu rozkładającego fityny do nieorganicznych fosforanów i inozytolu. Dla przykładu: u drobiu wykorzystanie P fitynowego waha się, w zależności od wieku i genotypu ptaków oraz składu mieszanki, od 0 do 50% [24, 29]. Wiąże się to z koniecznością uzupełniania dawek P nieorganicznym — co podnosi koszty pasz i może prowadzić do zwiększonej akumulacji fosforu w środowisku.

W warunkach obojętnego pH grupy fosforanowe związków fitynowych posiadają 1 lub 2 ujemnie naładowane aktywne atomy tlenu, dzięki czemu kwas fitynowy może tworzyć słabo rozpuszczalne sole z dwu- i trójwartościowymi kationami, takimi jak Ca, Co, Cu, Fe, Mn i Zn [23]. Tak powstałe, niedostępne dla enzymów trawiennych zwierząt monogastrycznych, połączenia wpływają na pogorszenie absorpcji pierwiastków śladowych i ich wykorzystania w organizmie [6] — podnosząc w ten sposób zapotrzebowanie na składniki mineralne.

Wykazano [22], że związki fitynowe tworzą najbardziej trwałe sole z cynkiem, a następnie kolejno z Cu, Ni, Co, Mn i Ca — tak więc Zn może być limitującym mikroelementem w dawkach zawierających znaczny poziom kwasu fitynowego. Uważa się

przy tym, że wskaźnikami, które w dokładny sposób określają możliwość wykorzystania Zn przez zwierzęta monogastryczne, są stosunki molowe: kwas fitynowy : cynk [17, 21] oraz kwas fitynowy \times Ca : cynk [10]. Wykazano, że wartości krytyczne dla tych wskaźników to odpowiednio 15–20 oraz 3,5. Po ich przekroczeniu zachodzi pogorszenie retencji Zn i może nastąpić negatywne oddziaływanie niedoboru tego mikroelementu na wzrost i procesy metaboliczne u zwierząt [10, 17].

Ujemny wpływ związków fitynowych na wykorzystanie składników pokarmowych można niwelować poprzez dodatek do paszy fitazy. Endogenna fitaza jest obecna w ziarnach większości zbóż, ale jej aktywność jest zróżnicowana w zależności od gatunku zboża. Jako dodatek paszowy stosuje się fitazę pochodzenia mikrobiologicznego, wytwarzaną przez niektóre bakterie i grzyby. Simons i in. [38] wykazali u kurcząt brojlerów, że powyższy enzym, rozkładając wiązania fitynowe, zwiększa dostępność P fitynowego do wartości ponad 60% i pozwala na obniżenie poziomu fosforu w odchodach o 50%. Liczne badania potwierdziły korzystny wpływ fitazy na wykorzystanie P fitynowego u kurcząt brojlerów [49, 50], kur nieśnych [15], indyków [34], świń [14] i szczurów [35].

Zastosowanie fitazy polepsza także wykorzystanie mikroelementów w organizmie zwierząt. Wykazano, że dodatek omawianego enzymu zwiększa istotnie retencję cynku [37, 49] oraz miedzi [37] u kurcząt brojlerów. Mohanna i Nys [28] obserwowali u tych samych zwierząt korzystny wpływ mikrobiologicznej i roślinnej fitazy na biodostępność Zn oraz Mn. Również w badaniach na trzodzie chlewnej odnotowano korzystne oddziaływanie dodatku fitazy na zwiększenie absorpcji pozornej Zn, Mg, Cu i Fe [33]. Podobnie w doświadczeniu na szczurach absorpcja Zn była wyższa po wprowadzeniu do paszy fitazy [35].

W badaniach własnych, wykonanych na kurczętach brojlerach (4–28 dzień życia), zastosowano podstawową mieszankę paszową (pszenno-sojową), do której dodawano premiks mineralno-witaminowy bez udziału Zn [42]. Użyta mieszanka zawierała standardowe poziomy składników pokarmowych (z wyjątkiem Zn), w tym — 0,92% Ca; 0,81% P ogólnego; 0,35% P fitynowego i 44 ppm Zn. Stosunek molowy kwasu fitynowego do Zn wynosił 27,8; a kwasu fitynowego \times Ca do Zn — 6,4. Obie te liczby wyraźnie przekraczały wartości krytyczne, powyżej których mogą występować objawy niedoboru cynku. Wprowadzenie do paszy fitazy mikrobiologicznej (750 j.a. \cdot kg⁻¹ mieszanki), poprzez rozłożenie kwasu fitynowego do nieorganicznych fosforanów i inozytolu, obniżało oba wyżej wymienione stosunki molowe. Uzyskano dzięki temu poprawę w przyrostach masy ciała i wykorzystaniu paszy oraz zwiększenie zawartości Zn i popiołu surowego w kościach piszczelowych kurcząt (tab. 2).

Innym, obok dodatku fitazy, sposobem zredukowania niekorzystnego wpływu związków fitynowych na dostępność mikroelementów jest stosowanie pierwiastków śladowych w formie kompleksów ze związkami mającymi własności chelatujące. Dzięki takim połączeniom kationy w przewodzie pokarmowym zwierząt gospodarskich są chronione przed łączeniem się w nieprzyswajalne kompleksy z kwasem fity-

Tabela 2. Wyniki produkcyjne oraz zawartość Zn i popiołu surowego w kościach piszczelowych kurcząt brojlerów (4–28 dzień życia) przy żywieniu niskocynkową mieszanką paszową bez dodatku i z dodatkiem fitazy [42]

Wyszczególnienie	Mieszanka paszowa bez dodatku fitazy	Mieszanka paszowa z dodatkiem fitazy	Różnica [%]
Przyrost masy ciała [kg]	702,8 A	768,6 B	9,4
Wykorzystanie paszy [kg]	1,940 A	1,838 B	5,3
Zawartość Zn w wysuszonych i odtłuszczonych kościach piszczelowych [ppm]	147,6 A	170,0 B	15,2
Zawartość popiołu surowego w wysuszonych i odtłuszczonych kościach piszczelowych [%]	38,70 aA	40,85 bA	5,5
Zawartość Zn w popiele kości piszczelowych [ppm]	381,0 A	416,2 B	9,2
Całkowita ilość Zn w kości piszczelowej [μg]	468,0 A	555,3 B	18,7

a, b — $p < 0,05$; A,B — $p < 0,01$.

nowym [40, 47]. Przykładem związku, który rywalizuje z fitynianami w procesie kompleksowania kationów, jest EDTA (kwas etylenodwuaminoczteroowy). Kompleksy EDTA-mikroelement, w przeciwieństwie do fitynianów, mogą być wchłaniane w jelitach. Wykazano, że ze względu na swoje własności EDTA może zwiększać przyswajalność Zn z pasz o wysokiej zawartości kwasu fitynowego u kurcząt [31] i szczerów [32]. Obserwowano także, że autoklawowanie śruty sezamowej, poprzez rozkład fitynianów, zwiększało dostępność fosforu i cynku, a co za tym idzie pozwoliło na uzyskanie lepszej produkcyjności i zdrowotności oraz wyższego poziomu Zn w kościach piszczelowych kurcząt żywionych z udziałem tak spreparowanej śruty [19].

Polisacharydy nieskrobiowe

Surowce paszowe pochodzenia roślinnego, w tym ziarno krajowych gatunków zbóż — pszenicy, jęczmienia, żyta, pszenżyta i owsa, zawierają znaczny poziom polisacharydów nieskrobiowych (NSP): pentozanów (ksylany i arabiniany), β -glukanu oraz w mniejszych ilościach innych heksozanów — mannanów i galaktanów. Wymienione cukrowce charakteryzują się obecnością wiązań chemicznych, które nie są trawione przez zwierzęta monogastyczne z powodu braku w ich sokach trawiennych odpowiednich enzymów.

Wysoka zawartość NSP w mieszankach paszowych dla zwierząt monogastycznych może niekorzystnie wpływać na ich produkcyjność, zwłaszcza w wypadku zwierząt młodych i rosnących. Efekt ten, jak wynika z danych piśmiennictwa [16],

jest szczególnie widoczny w wypadku rozpuszczalnych w wodzie frakcji arabinoksy-
lanów i β -glukanu. Ich roztwory charakteryzują się podwyższoną lepkością i wo-
dochłonnością, co może wpływać na zwiększenie lepkości treści jelita cienkiego, po-
garszając w ten sposób trawienie i przyswajanie składników pokarmowych. Mecha-
nizm negatywnego oddziaływania wysokiej lepkości na procesy trawienne polega
prawdopodobnie na zwiększeniu szybkości przechodzenia treści pokarmowej przez
jelita, pogorszeniu mieszania się enzymów z zawartością jelit, jak również zmniejsze-
niu szybkości dyfuzji składników pokarmowych w kierunku błony śluzowej jelit [1].
Polisacharydy charakteryzujące się dużą lepkością mogą też tworzyć kompleksy z en-
zymami trawiennymi, obniżając w ten sposób ich aktywność [13]. Duża ilość nie-
strawnych polisacharydów dostarcza substratu dla bakterii, powodując tym samym
zwiększenie ilości mikroflory jelitowej i nasilenie procesów fermentacji [18]. Nad-
miernie namnożone mikroorganizmy mogą dodatkowo współzawodniczyć z organi-
zmem w wykorzystaniu składników pokarmowych.

Oddziaływanie polisacharydów nieskrobiowych na przyswajalność pierwiast-
ków mineralnych jest mniej dokładnie poznane niż wpływ kwasu fitynowego. Część z
dostępnych danych literaturowych wydaje się wskazywać na istnienie negatywnego
wpływu NSP w paszy na wykorzystanie mikroelementów przez zwierzęta monoga-
stryczne. Mechanizm takiego działania polisacharydów nieskrobiowych polega mię-
dzy innymi na kompleksowaniu pierwiastków śladowych przez poszczególne frakcje
włókna [36]. Harmuth-Hoene i Schelenze [11] negatywny wpływ NSP na absorpcję
pierwiastków mineralnych u szczurów tłumaczyli natomiast skróceniem czasu prze-
pływu treści pokarmowej przez jelita. Oprócz tego polisacharydy nieskrobiowe
wpływają na obniżenie wykorzystania pierwiastków mineralnych także poprzez pod-
wyższenie lepkości treści jelit [25, 46]. Wpływa to negatywnie na procesy aktywnego
i pasywnego transportu składników pokarmowych w przewodzie pokarmowym, po-
garszając procesy mieszania treści pokarmowej i powodując pogrubienie warstwy
wody otaczającej komórki nabłonka w jelitach cienkich [46].

Zastosowanie bogatego źródła włókna, jakim są otręby pszenne w mieszankach pa-
szowych dla kurcząt brojlerów, spowodowało obniżenie zatrzymania Zn, Fe i Mg w ko-
ściach piszczelowych [43]. Van der Aar i in. [44] wykazali, że włókno pochodzące ze
ścian komórkowych lucerny, z otrąb kukurydzianych, owsianych i pszennych obniżało
poziom Zn w surowicy krwi i kościach piszczelowych kurcząt, natomiast stosowanie
mieszaniny ksylozy z gumą arabską (50 : 50) nie wpływało na te parametry. Obserwo-
wano [46] pogorszenie absorpcji Na, K, Ca, P i Mg w jelicie cienkim brojlerów po wpro-
wadzeniu do mieszanki rozpuszczalnych w wodzie frakcji NSP — tłumacząc to wzro-
stem lepkości treści pokarmowej. Wykazano również [25], że pasze charakteryzujące
się wysoką lepkością (na skutek dodania do nich gumy guarowej) obniżają poziom Zn w
kościach piszczelowych i osoczu krwi. Dane te sugerują, że stosowanie w żywieniu
kurcząt rzeźnych znacznych ilości żyta, pszenżyta i jęczmienia może obniżać wykorzy-
stanie cynku i podnosić zawartość tego mikroelementu w odchodach.

Powyższych obserwacji nie potwierdzono w doświadczeniu własnym [42], w którym badano wpływ poziomu polisacharydów nieskrobiowych w mieszance paszowej na wykorzystanie Zn przez kurczęta brojlery (4–29 dzień życia). Zastosowano dwa rodzaje mieszanek: I — kukurydziano-sojową (charakteryzującą się niższym poziomem NSP) oraz II — opartą na krajowych śrutach zbożowych — pszennej, pszenżytniej, jęczmiennej i żytniej (charakteryzującą się wyższym poziomem NSP). Mieszanka I i II zawierały w suchej masie odpowiednio 8,22 i 10,33% sumy NSP, w tym 2,03 i 2,45% arabinianów; 1,84 i 3,05% ksylanów; 1,22 i 1,33% β -glukanów; 0,36 i 0,47% mannanów; 2,28 i 2,06% galaktanów oraz 0,48 i 0,99% celulozy. Mieszanki były izobiałkowe i izoenergetyczne, a także zawierały zgodną z zapotrzebowaniem ilość wszystkich składników pokarmowych, z wyjątkiem cynku, którego do żadnej z nich nie dodawano (poziom Zn z surowców paszowych w obu mieszankach wynosił około 40 ppm). Zastosowanie paszy z podwyższoną zawartością NSP, pomimo bardzo znacznego zwiększenia lepkości treści pokarmowej jelita cienkiego, nie pogarszało wykorzystania Zn. Nie zaobserwowano istotnych różnic pomiędzy grupami doświadczalnymi w parametrach produkcyjnych i zawartości Zn w kościach piszczelowych kurcząt, z wyjątkiem całkowitej ilości Zn w kości piszczelowej (tab. 3).

Tabela 3. Wyniki produkcyjne oraz zawartość Zn i popiołu surowego w kościach piszczelowych kurcząt brojlerów (4–29 dzień życia) przy żywieniu niskocynkową mieszanką paszową z niższym i wyższym poziomem NSP [42]

Wyszczególnienie	Mieszanka paszowa z niższym poziomem NSP	Mieszanka paszowa z wyższym poziomem NSP	Różnica [%]
Przyrost masy ciała [kg]	932,0 a	915,6 a	1,8
Wykorzystanie paszy [kg]	1,701 a	1,724 a	1,3
Zawartość Zn w wysuszonych i odtłuszczonych kościach piszczelowych [ppm]	169,3 a	167,8 a	0,9
Zawartość popiołu surowego w wysuszonych i odtłuszczonych kościach piszczelowych [%]	44,34 a	44,43 a	0,2
Zawartość Zn w popiele kości piszczelowych [ppm]	382,0 a	377,8 a	1,1
Całkowita ilość Zn w prawej kości piszczelowej [μ g]	707,4 A	687,8 B	2,8

a, b — $p < 0,05$; A, B — $p < 0,01$

Rodzaj stosowanych połączeń mikroelementów (nieorganiczne vs organiczne)

W nauce i praktyce żywienia zwierząt gospodarskich odnotowuje się wzrastające zainteresowanie organicznymi związkami mikroelementów (biopleksy, biokompleksy), co jest wywołane doniesieniami o ich wysokiej przyswajalności oraz korzystnym wpływie na produktywność, odporność i rozrodczość.

Organiczne formy mikroelementów są kompleksami metali, składającymi się z atomu metalu (akceptor elektronów) połączonego z ligandem, który zawiera co najmniej jeden atom będący dawcą (donorem) pary elektronów [41]. Białka, węglowodany i ich pochodne, tłuszcze oraz niektóre organiczne połączenia syntetyczne — to związki mogące zawierać atomy O, N i S, które są potencjalnymi donorami elektronów. Łączenie ligandu z metalem zachodzi przez przyłączenie wolnej pary elektronów z atomu ligandu do kationu metalu, przez co tworzy się między obiema cząsteczkami wiązanie koordynacyjne [41].

Swoistym rodzajem kompleksów są chelaty. Związki te są formowane w cykliczne struktury pierścienia poprzez tworzenie kompleksowych połączeń pomiędzy atomem metalu a ligandem, zwanym w tym wypadku czynnikiem chelatującym. Aby dany związek mógł zostać sklasyfikowany jako czynnik chelatujący, musi zawierać minimum dwie ujemnie naładowane grupy funkcyjne (tlenowa, azotowa, aminowa, hydroksylowa), z których każda może udostępnić parę elektronów do stworzenia kowalencyjnego wiązania koordynacyjnego z kationem metalu [40]. Nazwa „chelate” pochodzi od greckiego słowa „chele”, które oznacza kleszcze [41], co obrazowo przedstawia sposób, w jaki atom metalu jest wiązany przez czynnik chelatujący. Chelaty są związkami powszechnie występującymi w organizmie i spełniającymi określone funkcje fizjologiczne.

Przydatność żywieniową różnego rodzaju mineralnych i organicznych połączeń mikroelementów najczęściej bada się i wyraża w wartościach względnych jako bioprzyswajalność (biodostępność) w porównaniu ze standardowym związkiem nieorganicznym, którego bioprzyswajalność przyjęto za 100%. Termin bioprzyswajalność można zdefiniować jako wydajność, z jaką pobrany pierwiastek śladowy jest przyswajany i zatrzymywany w organizmie, transportowany do odpowiednich narządów i tkanek, a następnie przekształcany do formy fizjologicznie czynnej i wykorzystywany w procesach metabolicznych [30]. W praktyce biodostępność mikroelementu określa się najczęściej na podstawie parametrów produkcyjnych oraz akumulacji pierwiastka w określonych tkankach organizmu przy różnych poziomach jego dodatku do dawki paszowej. Uzyskane dane analizuje się statystycznie, wyliczając równania wielokrotnej regresji liniowej. Poprzez porównanie współczynnika regresji uzyskanego dla badanego połączenia pierwiastka z odpowiednim współczynnikiem dla standardowego związku chemicznego (przyjętym jako 100%), otrzymuje się

Tabela 4. Względna bioprzyswajalność mikroelementów z form organicznych w porównaniu ze standardowymi formami nieorganicznymi

Mikro-element	Badane źródło	Gatunek zwierząt	Standard (100%)	Badany parametr	Względna bioprzyswajalność [%]	Literatura
Cynk	Zn-metionina	kurczęta brojlery	ZnSO ₄	odłożenie Zn w kości piszczelowej	206 (dawka kukurydziano-sojowa 177 (dawka oparta na izolacie sojowym) 117 (dawka oparta na krystalicznych aminokwasach)	[47]
Cynk	Zn-metionina	kurczęta brojlery	ZnSO ₄	przyrost masy ciała	124 (dawka oparta na izolacie sojowym)	[47]
Cynk	Zn-lizyna	kurczęta brojlery	ZnSO ₄	odłożenie Zn w kości piszczelowej	111	[2]
Cynk	Zn-AA (kompleks z aminokwasami)	kurczęta brojlery	ZnSO ₄	odłożenie Zn w kości piszczelowej	116 (mieszanka pszenno-sojowa bez fitazy) 109 (mieszanka pszenno-sojowa z dodatkiem fitazy)	[42]
Cynk	Zn-AA (kompleks z aminokwasami)	kurczęta brojlery	ZnSO ₄	odłożenie Zn w kości piszczelowej	121 (mieszanka pszenno-sojowa bez fitazy) 103 (mieszanka pszenno-sojowa z dodatkiem fitazy)	[42]
Cynk	Zn-metionina	trzoda chlewna	ZnSO ₄	poziom Zn w osoczu krwi	95	[48]
Miedź	Cu-metionina	kurczęta brojlery	CuSO ₄	odłożenie Cu w wątrobie	88	[3]
Miedź	Cu-metionina	kurczęta brojlery	CuSO ₄	zawartość Cu w żółci	96	[3]
Miedź	Cu-lizyna	kurczęta brojlery	CuSO ₄	odłożenie Cu w wątrobie	155	[5]
Miedź	Cu-lizyna	kurczęta brojlery	CuSO ₄	zawartość Cu w żółci	120	[5]
Mangan	Mn-metionina	kurczęta brojlery	MnSO ₄	odłożenie Mn w kościach	108	[12]
Mangan	Mn-metionina	kurczęta brojlery	MnSO ₄	odłożenie Mn w nerkach	132	[12]
Mangan	Mn-metionina	kurczęta brojlery	MnO	odłożenie Mn w kościach	174	[9]
Mangan	Mn-białczan	kurczęta brojlery	MnSO ₄	odłożenie Mn w kościach piszczelowych	120 (21 dzień życia) 125 (49 dzień życia)	[39]
Mangan	Mn-białczan	kurczęta brojlery	MnSO ₄	odłożenie Mn w kościach piszczelowych brojlerów utrzymywanych w podwyższonej temperaturze	145	[39]
Mangan	Mn-metionina	indyki	MnO	odłożenie Mn w nerkach	111	[8]
Żelazo	Fe-metionina	kurczęta brojlery	FeSO ₄	odłożenie Fe w wątrobie	88	[7]
Żelazo	Fe-białczan	trzoda chlewna	FeSO ₄	poziom hemoglobiny we krwi	103 92 (w zależności od źródła proteinianów)	[20]

względna bioprzyswajalność mikroelementu z badanego źródła. W zależności od funkcji metabolicznych pierwiastków śladowych w organizmie — ich odłożenie w poszczególnych tkankach nie jest jednakowe. Na przykład, dla określenia względnej bioprzyswajalności cynku dla kurcząt brojlerów najodpowiedniejszymi parametrami są przyrost masy ciała i całkowita zawartość Zn w kości piszczelowej [47], w wypadku miedzi poziom Cu w wątrobie i żółci [2, 3, 5], a manganu — zawartość Mn w kościach i nerkach [12, 39]. Większość dostępnych danych literaturowych wskazuje, że organiczne związki mikroelementów mają wyższą bioprzyswajalność niż ich połączenia nieorganiczne (tab. 4), co może świadczyć o większej przydatności biokompleksów jako źródła pierwiastków śladowych dla zwierząt.

Mechanizm działania biokompleksów w organizmie nie jest do końca wyjaśniony. Przypuszcza się jednak, że korzyści obserwowane po zastosowaniu organicznych form mikroelementów w żywieniu zwierząt gospodarskich wiążą się z ich podobieństwem do form, w jakich pierwiastki śladowe występują w naturalnych warunkach w organizmach roślinnych i zwierzęcych [40]. Występując w formie związków organicznych, mikroelementy nie są podatne na tworzenie nieprzyswajalnych połączeń z takimi substancjami antyżywniowymi, jak kwas fitynowy i polisacharydy nieskrobiowe. Z przeglądu piśmiennictwa [42] wynika, że biokompleksy są prawdopodobnie wchłaniane przez śluzówkę jelita w niezmienionej formie w sposób charakterystyczny dla dipeptydów i aminokwasów. Pozwala to na uniknięcie konkurencji pomiędzy poszczególnymi mikroelementami o te same miejsca wchłaniania. Także po wchłonięciu pierwiastki śladowe z połączeń organicznych są prawdopodobnie wykorzystywane na innej drodze niż ze związków nieorganicznych. Istnieją przesłanki świadczące o tym, że mogą być one transportowane — w zależności od aminokwasów, z którymi są związane — do określonych tkanek organizmu, gdzie są bezpośrednio wykorzystywane w procesach fizjologicznych [45], podczas gdy w wypadku soli nieorganicznych mikroelementy po wchłonięciu muszą wcześniej ulec przemianie do formy biologicznie aktywnej. Istotne znaczenie ma również fakt, że pierwiastki śladowe ze źródeł organicznych charakteryzują się niższą reaktywnością niż z połączeń nieorganicznych, dzięki czemu zwiększa się trwałość witamin w premiksach. W porównaniu z solami mineralnymi toksyczność biokompleksów w wypadku przedawkowania jest niższa, a także są one w mniejszym stopniu zanieczyszczone szkodliwymi metalami ciężkimi, dając dzięki temu mniejsze skażenie mieszanki paszowej [4]. W większości wypadków biokompleksy mają podwójną wartość żywieniową np. mikroelementu i aminokwasu [4] — tak więc po odszczepieniu pierwiastka śladowego pozostały składnik organiczny połączenia (dipeptyd, aminokwas) często może być jeszcze wykorzystany przez organizm.

Rozwój wiedzy na temat czynników decydujących o wykorzystaniu pierwiastków śladowych przez organizm powinien umożliwić jak najdokładniejsze bilansowanie tych składników, tak aby następowało pełne pokrycie zapotrzebowania zwierząt gospodarskich na mikroelementy, przy jednoczesnym zminimalizowaniu ich wydalania do środowiska.

-
- [1] Annison G., Choct M. 1991. Anti-nutritive activities of cereal non-starch polysaccharides in broiler diets and strategies minimizing their effects. *World's Poult. Sci. J.* 47: 232–242.
- [2] Aoyagi S., Baker D.H. 1993. Nutritional evaluation of copper-lysine and zinc-lysine complexes for chicks. *Poult. Sci.* 72: 165–171.
- [3] Aoyagi S., Baker D.H. 1993. Nutritional evaluation of copper-methionine complex for chicks. *Poult. Sci.* 72: 2309–2315.
- [4] Ashmead H.D., Jeppsen R.B. 1993. Mineral amino acid chelates in nutrition. 8th International Symposium: „Trace Elements in Man and Animals”. Abstracts Book: 55.
- [5] Baker D.H., Odle J., Funk M.A., Wieland T.M. 1991. Bioavailability of copper in cupric oxide, cuprous oxide and in copper-lysine complex. *Poult. Sci.* 70: 177–179.
- [6] Brink E.J., Dekker P.R., van Beresteijn E.C.H., Beynen A.C. 1991. Inhibitory effect of dietary soybean vs. casein on magnesium absorption in rats. *J. Nutr.* 121: 1374–1381.
- [7] Cao J., Luo X.G., Henry P.R., Ammermen C.B., Littell R.C., Miles R.D. 1996. Effect of dietary iron concentration, age, and length of iron feeding on feed intake and tissue iron concentration of broiler chicks for use as a bioassay of supplemental iron sources. *Poult. Sci.* 75: 495–504.
- [8] Ferket P.R., Roberson K.D., Nicholson L. 1991. Effect of calcium:phosphorus ratios and manganese source on the performance and leg weakness of market toms. *Poult. Sci.* 70: 41–48.
- [9] Fly A.D., Izquierdo O.A., Lowry K.R., Baker D.H. 1989. Manganese bioavailability in Mn-methionine chelate. *Nutr. Res.* 9: 901–910.
- [10] Fordyce E.J., Forbes R.M., Robbins K.R., Erman J.W. Jr. 1987. Phytate x calcium rate/zinc molar ratios: Are they predictive of zinc bioavailability? *J. Food Sci.* 52: 440–444.
- [11] Harmuth-Hoene A.E., Schelenze R. 1980. Effect of dietary fibers on mineral absorption in growing rats. *J. Nutr.* 110: 1774–1884.
- [12] Henry P.R., Ammerman C.B., Miles R.D. 1989. Relative bioavailability of manganese in manganese-methionine complex for broiler chicks. *Poult. Sci.* 68: 107–112.
- [13] Ikeda K., Kusano K. 1983. In vitro inhibition of digestive enzymes by indigestible polysaccharides. *Cereal Chem.* 60: 260–263.
- [14] Jongbloed A.W., Mroz M., Kemme P.A. 1992. The effect of supplementary *Aspergillus niger* phytase in diets for pigs on concentration and apparent digestibility of dry matter, total phosphorus, and phytic acid in different section of the alimentary tract. *J. Anim. Sci.* 70: 1159–1168.
- [15] Kamińska B.Z., Skraba B., Koreleski J. 1995. The effect of supplementation diets with phytase on laying performance, egg-shell quality and phosphorus excretion by hens. 10-th Europ. Symp. on Poultry Nutrition, WPSA. Antalya: 344–345.
- [16] Koreleski J., Jamroz D. 1997. Enzymy paszowe w żywieniu drobiu, moda czy potrzeba praktyki. *Polskie Drobniarstwo* 3: 9–13.
- [17] Kumor V., Kapoor A.C. 1983. Availability of zinc as affected by phytate. *Nutr. Rep. Int.* 28: 103–111.
- [18] Langhout D.J. 1999. The role of the intestinal flora as affected by NSP in broilers. Proceedings, 12th European Symposium on Poultry Nutrition. Veldhoven, The Netherlands: 203–212.

- [19] Lease J.G. 1966. The effect of autoclaving sesame meal on its phytic acid content and on the availability of its zinc to the chick. *Poult. Sci.* 45: 237–241.
- [20] Lewis A.J., Miller P.S., Chen H.Y. 1999. Bioavailability of iron in iron proteinates. Nebraska Swine Report: 18–20.
- [21] Lo G.S., Settle S.L., Steinke F.H. 1981. Effect of phytate:zinc molar ratio and isolated soybean protein on zinc bioavailability. *J. Nutr.* 111: 2223–2235.
- [22] Maddaiah V.T., Kumick A.A., Hulett B.J., Reid B.L. 1964. Nature of intestinal phytase activity. *Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine* 115: 1054–1057.
- [23] Maenz D.D., Engele-Schaan C.M., Newkirk R.W., Classen H.L. 1999. The effect of minerals and mineral chelators on the formation of phytase-resistant and phytase-susceptible forms of phytic acid in solution and in slurry of canola meal. *Anim. Feed Sci. Technol.* 81: 177–192.
- [24] Mohammed A., Gibney M.J., Taylor T.G. 1991. The effect of dietary levels of inorganic phosphorus, calcium and cholecalciferol on the digestibility of phytate-P by the chick. *Br. J. Nutr.* 66: 251–259.
- [25] Mohanna C., Carre B., Nys Y. 1999. Incidence of dietary viscosity on growth performance and zinc and manganese bioavailability in broilers. *Anim. Feed Sci. Technol.* 77: 255–266.
- [26] Mohanna C., Nys Y. 1997. Excess zinc in manure of broiler chicks: decrease in zinc supplementation and use of phytase improve its retention in the carcass. Proceedings of the 11th European Symposium on Poultry Nutrition, Faaborg: 459–461.
- [27] Mohanna C., Nys Y. 1998. Influence of age, sex and cross on body concentrations of trace elements (zinc, iron copper and manganese) in chickens. *Br. Poult. Sci.* 39: 536–543.
- [28] Mohanna C., Nys Y. 1999. Changes in zinc and manganese availability in broiler chicks induced by vegetal and microbial phytases. *Anim. Feed Sci. Technol.* 77: 241–253.
- [29] Nelson T.S. 1976. The hydrolysis of phytate phosphorus by chicks and laying hens. *Poult. Sci.* 55: 2262–2264.
- [30] O'Dell B.L. 1984. Bioavailability of trace elements. *Nutr. Rev.* 42: 301–307.
- [31] O'Dell B.L., Yohe J.M., Savege J.E. 1964. Zinc availability in the chick as affected by phytate, calcium and ethylenediamine-tetraacetate. *Poult. Sci.* 43: 415–419.
- [32] Oestreicher P., Cousins R.J. 1982. Influence of intraluminal constituents on zinc absorption by isolated, vascularly perfused rat intestine. *J. Nutr.* 112: 1978–1982.
- [33] Pallauf V.J., Höhler D., Rimbach G. 1992. Effekt einer zuzage an mikrobieller phytase zu einer mais-soja-diät auf die scheinbare absorption von Mg, Fe, Cu, Mn und Zn sowie auf parameter des zinkstatus beim ferkel. *J. Anim. Physiol. and Anim. Nutr.* 68: 1–9.
- [34] Qian H., Kornegay E.T., Denbow D.M. 1996. Phosphorus equivalence of microbial phytase in turkey diets as influenced by calcium to phosphorus ratios and phosphorus levels. *Poult. Sci.* 75: 69–81.
- [35] Rimbach G., Walter A., Most E., Pallauf J. 1997. Effect of supplementary microbial phytase to a maize soya diet on the availability of calcium, phosphorus, magnesium and zinc: in vitro dialysability in comparison with apparent absorption in growing rats. *J. Anim. Physiol. and Anim. Nutr.* 77: 198–206.
- [36] Seal C.J., Mathers J.C. 1989. Intestinal zinc transfer by everted gut sacs from rats given diets containing different amounts and types of dietary fibre. *Br. J. Nutr.* 62: 151–163.

- [37] Sebastian S., Touchburn S.P., Chavez E.R., Lague P.C. 1996. The effect of supplemental microbial phytase on the performance and utilization of dietary calcium, phosphorus, copper and zinc in broiler chickens fed a corn soybean diets. *Poult. Sci.* 75: 729–736.
- [38] Simons P.C.M., Versteegh H.A.J., Jongbloed A.W., Kemme P.A., Stump P., Bos K.D., Wolters M.G.E., Beudeker R.F., Verschoor G.J. (1990). Improvement of phosphorus availability by microbial phytase in broilers and pigs. *Br. J. Nutr.* 64: 525–540.
- [39] Smith M.O., Sherman I.L., Miller L.C., Robbins K.R., Halley J.T. 1995. Relative biological availability of manganese from manganese proteinate, manganese sulfate, and manganese monoxide in broilers reared at elevated temperatures. *Poult. Sci.* 74: 702–707.
- [40] Spears J.W., Kegley E.B., Ward J.D. 1991. Bioavailability of organic, inorganic trace minerals explored. *Feedstuffs*, November, 4: 12–15.
- [41] Swinkels J.W.G.M., Kornegay E.T., Verstegen M.W.A. 1994. Biology of zinc and biological value of dietary zinc complexes and chelates. *Nutr. Res. Rev.* 7: 129–149.
- [42] Świątkiewicz S. 2000. Wpływ różnych źródeł cynku i substancji antyżywnieniowych w paszy na bioprzyswajalność Zn u kurcząt brojlerów. Rozprawa doktorska wykonana w Instytucie Zootechniki w Krakowie.
- [43] Thompson S.A., Weber C.E. 1981. Effect of dietary fiber sources on tissue mineral levels in chicks. *Poult. Sci.* 60: 850–855.
- [44] Van der Aar P.J., Fahey G.C. Jr., Ricke S.C., Allen S.E., Berger L.L. 1983. Effects of dietary fibers on mineral status of chicks. *J. Nutr.* 113: 653–661.
- [45] Vanderbrift B. 1996. The theory and practise of mineral proteinates in the animal feed industry. Alltech 6th European Lecture Tour: 99–111.
- [46] Van der Klis J.D., Verstegen M.W.A., Van Vorst A. 1993. Effect of a soluble polysaccharide (carboxy methyl cellulose) on the absorption of minerals from the gastrointestinal tract of broilers. *Br. Poult. Sci.* 34: 985–997.
- [47] Wedekind K.J., Hortin A.E., Baker D.H. 1992. Methodology for assessing zinc bioavailability efficacy estimates for zinc-methionine, zinc sulfate and zinc oxide. *J. Anim. Sci.* 70: 178–187.
- [48] Wedekind K.J., Lewis A.J., Giesemann M.A., Miller P.S. 1994. Bioavailability of zinc from inorganic and organic sources for pigs fed corn-soybean meal diets. *J. Anim. Sci.* 72: 2681–2689.
- [49] Zanini S.F., Sazzad M.H. 1999. Effects of microbial phytase on growth and mineral utilization in broilers fed on maize soyabean-based diets. *Br. Poult. Sci.* 40: 348–352.
- [50] Żyła K., Koreleski J., Świątkiewicz S., Wikiera A., Kujawski M., Piironen J., Ledoux D.R. 2000. Effects of phosphorolytic and cell wall-degrading enzymes on the performance of growing broilers fed wheat-based diets containing different calcium levels. *Poult. Sci.* 79: 66–76.

Some nutritive factors influencing the utilization of microelements by monogastric animals

Key words: microelements, phytic acid, non-starch polysaccharides, inorganic and organic forms of trace elements, bioavailability

Summary

Effect of antinutritive factors in the feed (phytic acid, nonstarch polysaccharides) and kind of trace element forms (inorganic vs organic) was presented on the basis of literature review.

Phytic acid, through formation of indigestible complexes with microelements, significantly decreases its utilization by the organism. Also non-starch polysaccharides showed often similar influence. Organic forms of trace elements generally are characterized by higher bioavailability than their inorganic forms.