

MARIOŁA FRIEDRICH, GRAŻYNA PODLASZEWSKA

## OCENA WPŁYWU UZUPEŁNIANIA PASZY WYBRANYMI SKŁADNIKAMI MINERALNYMI NA ICH METABOLIZM I DYSTRYBUCJĘ W ORGANIZMIE – BADANIA MODELOWE

### Streszczenie

Badania przeprowadzono na 3 grupach szczurów doświadczalnych ( $n = 13$ ) żywionych: grupa I – paszą standard (Labofeed B), zawierającą m.in. pełne ziarna pszenicy i kukurydzy; grupa II – paszą zmodyfikowaną, w której około 84 % pełnych ziaren pszenicy zastąpiono mąką pszenną typu 500, a 50 % obecnej w niej kukurydzy – sacharozą w stosunku do paszy standard; grupa III – paszą zmodyfikowaną, uzupełnianą Ca, Mg, Zn i Cr w ilościach wyrównujących powstałe po zamianie składników różnice. Udział pozostałych makroskładników w obu paszach był identyczny.

Stwierdzono, że uzupełnianie paszy powodowało mniejsze jej spożycie, a tym samym mniejsze spożycie składników mineralnych. Pomimo tego przyrosty masy ciała zwierząt tej grupy były większe, większe było też gromadzenie wisceralnej tkanki tłuszczowej. W grupie tej istotnie ( $p \leq 0,01$ ) wzrosła zawartość tłuszczu i istotnie ( $p \leq 0,01$ ) zmniejszyła się zawartość białka w tkance mięśniowej. Nie stwierdzono istotnego wpływu zastosowanego uzupełniania paszy na stężenie badanych składników mineralnych w surowicy krwi i ich zawartość w tkance mięśniowej.

**Słowa kluczowe:** szczury szczepu Wistar, uzupełnianie diety, składniki mineralne, dystrybucja składników w organizmie

### Wprowadzenie

Pomimo wzrostu świadomości żywieniowej społeczeństwa stwierdza się w całodziennych racjach pokarmowych niedobory takich składników, jak: witaminy z grupy B oraz E i K [3], a ze składników mineralnych przede wszystkim: wapń, magnez, żelazo, miedź, cynk i potas [1]. Sposobem na zbilansowanie diety jest stosowanie przez producentów żywności wzbogacania wybranych produktów w witaminy i/lub składniki

---

*Prof. dr hab. M. Friedrich, Zakład Fizjologii Żywienia Człowieka, Wydz. Nauk o Żywności i Rybactwa, Zachodnio-Pomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, ul. Papieża Pawła VI/3, 71-459 Szczecin, dr inż. G. Podlaszewska, Wyższa Szkoła Teologiczno-Humanistyczna w Podkowie Leśnej, ul. Jana Pawła II 39, 05-807 Podkowa Leśna, Oddział w Szczecinie. Kontakt: Mariola.Friedrich@zut.edu.pl*

mineralne, dopuszczone w rozporządzeniu Ministra Zdrowia z 16 września 2010 r., w sprawie substancji wzbogacających, dodawanych do żywności i warunków ich stosowania [14], rozszerzone przez rozporządzenie (WE) nr 1925/2006 Parlamentu Europejskiego i Rady z 20 grudnia 2006 r. [13] o witaminę K oraz składniki mineralne: Mg, Zn, Mn, Na, K, Se, Mo, F, Cl, P.

Na podstawie badań przeprowadzonych w Polsce stwierdzono sukcesywne zwiększanie na rynku liczby produktów wzbogaconych oraz suplementów diety, a także wzrastający odsetek osób spożywających produkty wzbogacone i/lub stosujących suplementację diety [6, 16]. Wskazuje to na celowość uwzględniania tego zjawiska w badaniach żywieniowych.

Celem pracy było określenie, na modelu zwierzęcym, wpływu uzupełniania diety, w której pełne ziarna pszenicy i kukurydzy zastąpiono mąką pszenną i sacharozą, wybranymi składnikami mineralnymi, w ilościach wyrównujących ich zawartość po zamianie składników paszy, na ich metabolizm i dystrybucję w organizmie.

### **Material i metody badań**

Po uzyskaniu zgody Lokalnej Komisji Etycznej (nr zezwolenia 7/2008) przeprowadzono doświadczenie na 39 samcach szczura laboratoryjnego szczepu Wistar, w wieku 5 - 6 miesięcy, umieszczonych w indywidualnych metalowych klatkach, w klimatyzowanym wiwarium, w temp.  $21 \pm 1^\circ\text{C}$ , w cyklu jasność/ciemność – 12 h/12 h.

Zwierzęta podzielono na 3 grupy żywieniowe ( $n = 13$ ) o zbliżonej masie ciała. Grupę I żywiono paszą standard – Labofeed B, zawierającą m.in. pełne ziarna pszenicy i kukurydzy. Grupę II żywiono paszą zmodyfikowaną, w której około 84 % pełnych ziaren pszenicy zastąpiono mąką pszenną typu 500, a 50 % obecnej w niej kukurydzy – sacharozą. Grupie III podawano paszę zmodyfikowaną, uzupełnioną Ca, Mg, Zn i Cr. Udział pozostałych makroskładników w obu paszach był identyczny. Zastąpienie obecnych w diecie pełnych ziaren zbóż mąką pszenną i sacharozą mogła, do pewnego stopnia, imitować współczesny sposób odżywiania, a uzupełnianie diety składnikami mineralnymi, stosowane w technologii żywności – jej wzbogacanie. Natomiast dobór składników mineralnych wynikał z istotnej ich funkcji fizjologicznej, stwierdzanych niedoborów w diecie i w organizmie oraz z przynależności do grupy dopuszczonych do fortyfikacji bądź do produkcji suplementów diety [6].

W celu ustalenia rzeczywistego składu chemicznego pasz, przeprowadzono podstawowe analizy chemiczne. Z przygotowanych próbek, zgodnie z zaleceniami, pobierano naważki (po 4 z każdej), w których oznaczano zawartość: białka ogólnego, tłuszczu surowego, suchej masy i związków mineralnych w postaci popiołu ogólnego [5]. Obliczano zawartość energii brutto, stosując równoważniki fizyczne, wynoszące w przypadku węglowodanów – 4,15 kcal/g (17,4 kJ/g), białka – 5,65 kcal/g (23,6 kJ/g),

tłuszczu – 9,45 kcal/g (39,6 kJ/g) oraz obliczano zawartość energii metabolicznej przy użyciu równoważników Atwatera, które wynoszą dla węglowodanów – 4,0 kcal/g (16,7 kJ/g), dla białka – 4,0 kcal/g (16,7 kJ/g), dla tłuszczu – 9,0 kcal/g (37,6 kJ/g). Oznaczano również zawartość nierozpuszczalnych frakcji błonnika pokarmowego w aparacie ANKOM 220. Zawartość wapnia, magnezu, cynku i chromu w paszach oznaczano metodą emisyjnej spektroskopii atomowej, w aparacie ICP-AES Jobin Yvan JY-24. Wyniki przedstawiono w tab. 1.

Tabela 1. Skład chemiczny zastosowanych pasz  
Table 1. Chemical composition of fodders applied

Składnik Component	Pasza standard Standard fodder	Pasza zmodyfikowana Modified fodder
Białko ogólne / Total protein [%]	19,16	18,48
Tłuszcz surowy / Crude fat [%]	2,81	2,33
Węglowodany / Carbohydrates [%]	63,76	65,46
Sucha masa / Dry matter [%]	91,84	92,26
Popiół ogólny / Total ash [%]	6,09	5,98
Energia brutto Gross energy		
[kcal/g]	3,99	3,98
[kJ/g]	16,73	16,67
Energia metaboliczna Metabolic energy		
[kcal/g]	3,57	3,56
[kJ/g]	14,95	14,94
Celuloza [% s.m] Cellulose [% d.m.]	6,02	5,67
Hemiceluloza Hemicellulose	10,31	5,69
NDF [% s.m] / [% d.m.]	17,82	12,67
ADF [% s.m] / [% d.m.]	7,51	6,98
ADL [% s.m] / [% d.m.]	1,42	1,31
Wapń / Calcium [mg/kg].	12293	11406
Magnez / Magnesium [mg/kg]	1790	796
Cynk / Zinc [mg/kg].	120,0	105,7
Chrom / Chromium [mg/kg]	0,451	0,209

Objaśnienia: / Explanatory notes:

NDF – frakcja włókna obojętno-detergentowego / neutral-detergent fibre fraction; ADF – frakcja włókna kwaśno-detergentowego / acid-detergent fibre fraction; ADL – lignina / lignin.

Zwierzęta grupy I i II otrzymywały do picia czystą odstaną wodę wodociągową. Grupa III otrzymywała w porze wzmożonej aktywności 50 ml wodnego roztworu składników mineralnych, zawierającego: wapń – w postaci glukonianu, firmy Farmapol Sp. z o.o., magnez – w postaci zasadowego węgla, firmy Polfa Sp z o.o., cynk – w postaci glukonianu, firmy Walmark, chrom – chelatu aminokwasowego, firmy Naturrell AB. Ilość podawanych składników mineralnych, wyliczana w stosunku do ilości spożywanej codziennie przez zwierzęta paszy, uzupełniała różnicę w ilości tych składników pomiędzy paszą standardową a paszą zmodyfikowaną. Po wypiciu roztworu składników mineralnych zwierzęta dopajano czystą, odstaną wodą wodociągową.

W szóstym tygodniu doświadczenia zwierzęta umieszczano w klatkach metabolicznych, firmy Techniplast i po 48-godzinnym kondycjonowaniu, przez 24 h zbierano mocz, który przeznaczano do dalszych analiz.

W trakcie 7-tygodniowego doświadczenia (po jednodobowym kondycjonowaniu) codziennie obliczano ilość pobranego roztworu składników mineralnych i ilość spożytej paszy, a raz w tygodniu, zawsze o tej samej porze, kontrolowano masę ciała zwierząt. Na 12 h przed zakończeniem doświadczenia zwierzętom odstawiano paszę, a następnie usypiano je anestetykiem Ketanest podanym domięśniowo i pobierano krew z serca.

W surowicy krwi oznaczano: stężenie wapnia całkowitego – metodą kolorymetryczną, z o-krezoloftaleiną, magnezu – metodą kolorymetryczną, z chlorofosfonazo III, fosforu nieorganicznego – metodą z fosforomolibdenianem i aktywność fosfatazy alkalicznej (ALP) – metodą kinetyczną, z p-nitrofenylofosforanem. Oznaczenia te wykonywano w tzw. systemie zamkniętym, przy użyciu odczynników firmy Roche Diagnostics w aparacie COBAS INTEGRA 400/700/800. Oznaczano również stężenie kalcytoniny metodą testu immunoenzymatycznego dwupunktowego, z zastosowaniem chemiluminescencji.

Do oznaczania stężeń wapnia i magnezu w moczu stosowano te same metody.

Do badań pobierano również tkankę mięśniową (*m. quadriceps femoris*, *m. semimembranosus*, *m. adduktor femoris*, *m. superficialis gluteus*), w której oznaczano zawartość: białka ogólnego metodą Kiejdahla, tłuszczu – metodą Soxhleta, suchej masy – metodą suszenia do stałej masy, związki mineralne w postaci popiołu – metodą prażenia w piecu muflowym do stałej masy oraz zawartość wapnia, magnezu, cynku i chromu – metodą spektrometrii emisyjnej, ze wzbudzeniem w indukcyjnie sprzężonej plazmie argonowej (ICP OES). Oznaczenia wykonano w trzech powtórzeniach.

Po uśpieniu zwierząt preparowano również tłuszcz okołonarządowy, który ważono z dokładnością do 0,001 g.

Uzyskane wyniki, po sprawdzeniu normalności rozkładu, poddano wieloczynnikowej analizie wariancji, przy użyciu komputerowego programu Statistica®, z zastosowaniem testu NIR, na poziomie istotności  $p \leq 0,05$  i  $0,01$ .

## Wyniki i dyskusja

Wykazano istotny wpływ zmiany składu diety i jej uzupełniania składnikami mineralnymi na wielkość spożycia, zarówno w wartościach bezwzględnych, jak i w przeliczeniu na jednostkę masy ciała. Istotnie mniej, zarówno w stosunku do grupy żywionej paszą standard, jak i do grupy żywionej paszą zmodyfikowaną, spożywały zwierzęta, których dieta była uzupełniana (tab. 2), co miało również odzwierciedlenie w sumarycznym spożyciu analizowanych składników mineralnych (tab. 3).

Pomimo różnic pod względem wielkości spożycia, nie stwierdzono zmian w przyrostach masy ciała badanych zwierząt. Należy jednak zauważyć, że przyrosty masy ciała zwierząt w grupie otrzymującej dodatkowo składniki mineralne były większe. U zwierząt tych wzrastała również ilość tłuszczu wisceralnego – w wartościach bezwzględnych, jak i w przeliczeniu na jednostkę spożytej paszy i jednostkę masy ciała (tab. 2) oraz zawartość tłuszczu w tkance mięśniowej (tab. 4).

Mechanizm tego zjawiska można tłumaczyć wzrostem stężenia kalcytriolu, w odpowiedzi na zmniejszoną zawartość wapnia w diecie. Działając na specyficzne receptory zlokalizowane w adipocytach, nasila on dokomórkowy napływ jonów wapnia stymulujących lipogenezę, a hamujących lipolizę [17, 18]. Dodatkowo kalcytriol, poprzez supresję ekspresji białka rozprzęgającego UCP2 (Uncoupling Protein 2), zmniejsza transport kwasów tłuszczowych do mitochondriów oraz tempo ich utleniania [18]. Uzyskane wyniki nie do końca potwierdzają tę teorię, ponieważ zawartość wapnia w tkance mięśniowej zwierząt na diecie uzupełnianej była mniejsza, chociaż różnice były nieistotne, od obserwowanej w tkance mięśniowej zwierząt pozostałych grup – tab. 5 i 6. Być może obserwowane zjawisko syntezy i gromadzenia tłuszczu związane było ze stymulacją tkanki tłuszczowej przy suplementacji jonami wapnia i wzrostu autokrynej produkcji przez adipocyty kortyzolu, którego wpływ w tym zakresie został już poznany [3]. Taki mechanizm zjawiska wydają się potwierdzać również Morris i wsp. [9] oraz Podlaszewska i wsp. [12].

Stwierdzony wzrost ilości tłuszczu wisceralnego i przyrost zawartości tłuszczu w tkance mięśniowej mógł również hamować zwrotnie aktywność ośrodka głodu i zmniejszać wielkość pobrania paszy, poprzez zwiększenie uwalniania leptyny z adipocytów. Wskazują na to również Zimmet i wsp. [20], którzy wykazali, że wydzielana leptyna zwiększa sekrecję lipotropycznej insuliny, a ta stymuluje ekspresję leptyny hamującej ośrodek głodu. Zwiększone gromadzenie tkanki tłuszczowej u samców, których dieta była wzbogacana, mogło być również pośrednio związane ze zmniejszonym spożyciem paszy i wynikającym z tego zmniejszonym spożyciem naturalnie występujących w pełnych ziarnach pszenicy i kukurydzy antyoksydantów, w tym m.in. selenu wchodzącego w skład selenoproteiny wykazującej m.in. właściwości redukcjonowania nadtlenków [15] oraz polifenoli obecnych w pełnych ziarnach zbóż [19]. Zmniejszone

Tabela 2. Spożycie paszy, przyrosty masy ciała oraz gromadzenie okołonarządowej tkanki tłuszczowej przez szczury doświadczalne, warunkowane składem paszy i jej uzupełnianiem  
 Table 2. Fodder consumption, increases in body weight, and accumulation of perivisceral fat tissue in laboratory rats depending on the composition of fodders and supplementation thereof

Badany parametr Analyzed parameter	Pasza standard Standard fodder (a)	Pasza zmodyfikowana Modified fodder (b)	Pasza zmodyfikowana + uzupełnianie Modified fodder + supplementation (c)	Istotność różnic Significance of differences
Spożycie paszy [g] Fodder consumption [g]	832 ± 34,2	810 ± 48,7	776 ± 46,2	a - c**
Spożycie paszy [g/100 g masy ciała] Fodder consumption [g/100 of body weight]	159 ± 3,7	156 ± 6,4	151 ± 5,9	a - c**
Przyrost masy ciała [g] Body weight gain [g]	26,8 ± 9,8	25,5 ± 9,5	32,0 ± 11,0	-
Przyrost masy ciała [g/100 g spożytej paszy] Body weight gain [g/ 100 g of consumed fodder]	3,23 ± 1,21	3,12 ± 1,39	4,11 ± 1,39	-
Ilość tłuszczu okołosercowego [g] Peri-cardial fat [g]	0,120 ± 0,05	0,083 ± 0,03	0,094 ± 0,03	a - b*
Ilość tłuszczu okołosercowego [g/100 g spożytej paszy] Peri-cardial fat [g/100 g of consumed fodder]	0,015 ± 0,006	0,010 ± 0,004	0,012 ± 0,003	a - b*
Ilość tłuszczu okołosercowego [g/100 g masy ciała] Peri-cardial fat [g/100 g of body weight]	0,023 ± 0,009	0,016 ± 0,006	0,018 ± 0,005	a - b*
Ilość tłuszczu wisceralnego [g] Perivisceral fat [g]	3,41 ± 1,56	4,15 ± 0,91	4,60 ± 0,86	a - c**
Ilość tłuszczu wisceralnego [g/100 g spożytej paszy] Perivisceral fat [g/100 g of consumed fodder]	0,412 ± 0,190	0,512 ± 0,113	0,592 ± 0,099	a - c**
Ilość tłuszczu wisceralnego [g/100 g masy ciała] Perivisceral fat [g/100 g of body weight]	0,654 ± 0,301	0,803 ± 0,188	0,897 ± 0,151	a - c**

Objaśnienia: / Explanatory notes:

W tabeli przedstawiono wartości średnie ± odchylenia standardowe / Table shows mean values and standard deviations; n = 13 w grupie / n = 13 in group;

\*, \*\* – różnice statystycznie istotne: \*p ≤ 0,05, \*\*p ≤ 0,01 / statistically significant differences: \*p ≤ 0.05, \*\*p ≤ 0.01.

Tabela 3. Przybliżone spożycie wybranych składników mineralnych przez szczury doświadczalne, wynikające z różnicy w składzie paszy, jej uzupełniania oraz z wielkości spożycia paszy, w przeliczeniu na 100 g masy ciała

Table 3. Approximate consumption of selected minerals, resulting from differences in feed composition, feed fortification, and food dose, as converted to 100 g body weight

Badany parametr Analyzed parameter	Pasza standard Standard fodder (a)	Pasza zmodyfikowana Modified fodder (b)	Pasza zmodyfikowana + uzupełnianie Modified fodder + supplementation (c)
Wapń / Calcium [mg]	1955 ± 45	1779 ± 73	1856 ± 73
Magnez / Magnesium [mg]	284,6 ± 6,6	124,2 ± 5,1	270,3 ± 10,7
Cynk / Zinc [mg]	19,08 ± 0,46	16,49 ± 0,69	18,12 ± 0,72
Chrom / Chromium [mg]	0,0717 ± 0,0018	0,0326 ± 0,0013	0,0681 ± 0,0027

Objaśnienia: / Explanatory notes: W tabeli przedstawiono wartości średnie ± odchylenia standardowe / Table shows mean values and standard deviations; n = 13 w grupie / n = 13 in group.

Tabela 4. Skład tkanki mięśniowej szczurów doświadczalnych, warunkowany składem paszy i jej uzupełnianiem

Table 4. Composition of muscle tissue in laboratory rats depending on fodder composition and supplementation

Badany parametr Analyzed parameter [%]	Pasza standard Standard fodder (a)	Pasza zmodyfikowana Modified fodder (b)	Pasza zmodyfikowana + uzupełnianie Modified fodder + supplementation (c)	Istotność różnic Significance of differences
Białko / Protein	22,6 ± 0,36	23,1 ± 0,62	22,6 ± 0,38	a - b*, b - c*,
Tłuszcz / Fat	2,73 ± 0,34	2,56 ± 0,19	3,23 ± 0,15	a - c**, b - c**
Sucha masa / Dry matter	28,2 ± 0,39	28,5 ± 0,49	29,2 ± 0,53	a - c**, b - c**
Popiół / Ash	1,42 ± 0,11	1,47 ± 0,07	1,47 ± 0,28	-

Objaśnienia jak pod tab. 2. / Explanatory notes as in Tab. 2.

spożycie antyoksydantów sprzyja wzrostowi oksydacji kwasów tłuszczowych i obniża wrażliwość receptorów błonowych komórek wątroby na insulinę, stymuluje glukoneogenezę i biosyntezę triacylogliceroli [11]. Wpływ niedoboru selenu w diecie zmodyfikowanej na zawartość wisceralnej i śródmięśniowej tkanki tłuszczowej samców szczura obserwowali również Friedrich i wsp. [4]. Po analizie obserwowanego gromadzenia się wisceralnej i śródmięśniowej tkanki tłuszczowej w organizmach szczurów, które



były suplementowane chromem, trudno zgodzić się również z poglądem, że pierwiastek ten podawany w suplemencie zmniejsza zawartość tkanki tłuszczowej w organizmie. Na podstawie uzyskanych wyników można sądzić że korzystniejszy był brak uzupełniania diety wybranymi składnikami mineralnymi niż jej wzbogacanie. Tym bardziej, że w grupie żywionej paszą zmodyfikowaną nieuzupełnianą ilości tłuszczu nasierdziowego odpowiedzialnego, jak wykazują najnowsze wyniki badań [2], za powstawanie niedokrwiennej choroby serca była mniejsza.

Na podstawie analizy uzyskanych wyników wykazano również wpływ zastosowanego uzupełniania diety na skład tkanki mięśniowej badanych zwierząt (tab. 4). Stwierdzono, że uzupełnianie diety wybranymi składnikami mineralnymi spowodowało istotny wzrost zawartości suchej masy w mięśniach tej grupy badanych samców, co wynikało z istotnego, wcześniej już wspomnianego, wzrostu zawartości tłuszczu w mięśniach i to wzrostu na tyle istotnego, że nie tylko równoważył, ale przewyższał istotne zmniejszenie zawartości białka w analizowanej tkance. Zmniejszenie to można wiązać ze zmniejszonym spożyciem przez zwierzęta paszy i tym samym zawartego w niej białka. Natomiast wzrost zawartości tłuszczu zwraca uwagę na wyniki badań podających w wątpliwość pozytywną rolę wapnia i chromu w postaci suplementów w procesach lipogenezy i lipolizy [7], w nurt których wpisuje się również niniejsza praca. Oznaczona większa zawartość suchej masy w tkance mięśniowej mogła wynikać też ze zmniejszonej ilości wody w badanej tkance. Jedną z przyczyn tego zjawiska mogła być zmiana funkcjonowania układu renina-angiotensyna-aldosteron, zachodząca pod wpływem zmian składu i ilości kwasów tłuszczowych wisceralnej tkanki tłuszczowej, obserwowanych przy uzupełnianiu diety wybranymi składnikami mineralnymi. Münchow [10] stwierdziła, że pod wpływem dodawania do diety wapnia, magnezu, cynku i chromu istotnie wzrasta zawartość wisceralnej tkanki tłuszczowej badanych zwierząt, a w niej istotnie zawartość kwasów oleinowego i arachidonowego, specyficznych inhibitorów receptora angiotensynowego AT1, co powoduje wzrost filtracji kłębuszkowej, obniżenie zwrotnego wchłaniania sodu i spadek retencji wody. Na uwagę zasługuje również brak zmian ilości popiołu uzyskanego ze spopielenia mięśni zwierząt, których dieta była uzupełniana składnikami mineralnymi (tab. 4). Wskazuje to na brak ich inkorporacji w tkankę mięśniową, co potwierdza analiza zawartości wapnia, magnezu i cynku w tkance mięśniowej, w wartościach bezwzględnych (tab. 5), jak i w przeliczeniu na jednostkę suchej masy tkanki (tab. 6).

Stężenie wapnia, a w mniejszym stopniu fosforu i magnezu, w surowicy krwi są bardzo precyzyjnie regulowane przez trzy narządy: nerki, kości i jelito cienkie oraz trzy hormony: parathormon, kalcytoninę i  $1,25(\text{OH})_2\text{D}_3$ , które wpływają na te narządy. Brak zmian stężeń analizowanych pierwiastków w surowicy krwi wskazuje, że ani zmieniony skład diety ani jej uzupełnianie nie miały wpływu na homeostazę ich stężeń, a obserwowane zmiany aktywności ALP i stężenia kalcytoniny, odpowiadających za



utrzymanie tej równowagi, nie były statystycznie istotne (tab. 7), co mogło wynikać z bardzo indywidualnej reakcji zwierząt na zastosowane czynniki, przekładającej się na wielkość odchylenia standardowego.

Tabela 5. Stężenie wybranych składników mineralnych w surowicy krwi i w moczu oraz ich zawartość w tkance mięśniowej szczurów doświadczalnych, warunkowane składem paszy i jej uzupełnieniem

Table 5. Concentration of selected mineral components in blood serum and urine as well as their content in muscle tissue in laboratory rats depending on fodder composition and supplementation

Badany parametr Examined parameter	Pasza standard Basic fodder (a)	Pasza zmodyfikowana Modified fodder (b)	Pasza zmodyfikowana + uzupełnianie Modified fodder + fortification (c)	Istotność różnic Significance of differences
Surowica krwi / Blood serum				
Wapń [mmol/l] Calcium [mmol/l]	3,01 ± 0,13	3,07 ± 0,12	3,02 ± 0,06	-
Magnez [mmol/l] Magnesium [mmol/l]	1,08 ± 1,36	1,10 ± 0,10	1,06 ± 0,07	-
Fosfor [mg/dl] Phosphorum mmol/l]	5,80 ± 0,87	5,66 ± 1,35	5,04 ± 1,20	-
Mocz / Urine				
Wapń [mmol/24 h] Calcium [mmol/24 h]	0,037 ± 0,018	0,045 ± 0,022	0,061 ± 0,020	a - c*
Magnez [mmol/24 h] Magnesium [mmol/24 h]	0,072 ± 0,036	0,098 ± 0,048	0,117 ± 0,087	-
Tkanka mięśniowa / Muscular tissue				
Wapń [µg/g] Calcium [µg/g]	48,0 ± 10,2	50,4 ± 20,5	47,3 ± 7,6	-
Magnez [µg/g] Magnesium [µg/g]	250,2 ± 8,1	243,7 ± 7,9	247,3 ± 7,7	-
Cynk [µg/g] Zinc [µg/g]	13,0 ± 2,6	13,9 ± 2,4	13,7 ± 2,3	-
Chrom [µg/g] Chromium [µg/g]	0,032 ± 0,006	0,031 ± 0,006	0,037 ± 0,012	-

Objaśnienia jak pod tab. 2. / Explanatory notes as in Tab. 2.

Obniżenie aktywności fosfatazy alkalicznej i wzrost stężenia kalcytoniny w organizmach suplementowanych samców mogłyby dowodzić, że zastosowane uzupełnianie diety do pewnego stopnia sprzyjało mineralizacji tkanki kostnej. Równocześnie stwierdzono brak zmian stężenia jonów wapnia w surowicy krwi badanych samców. Jony te

są podstawowym aktywatorem uwalniania kalcytoniny. Obserwowany efekt może wskazywać na pewne rozregulowanie tego precyzyjnego mechanizmu pod wpływem zastosowanego uzupełniania diety. Taką sugestią potwierdzałyby również wielkości wydalania składników mineralnych z moczem. Ilość wydalanego z moczem wapnia w tej grupie żywieniowej była największa i statystycznie istotnie większa ( $p \leq 0,05$ ) w porównaniu z wydalaniem przez zwierzęta żywione paszą standard (tab. 5).

Tabela 6. Zawartość wybranych składników mineralnych w tkance mięśniowej szczurów doświadczalnych, warunkowana składem paszy i jej uzupełnieniem [ $\mu\text{g}/100 \text{ g s.m.}$ ]

Table 6. Content of selected mineral components in muscle tissue in laboratory rats depending on fodder composition and supplementation [ $\mu\text{g}/100 \text{ g d.m.}$ ]

Badany parametr Analyzed parameter	Pasza standard Standard fodder (a)	Pasza zmodyfikowana Modified fodder (b)	Pasza zmodyfikowana + uzupełnianie Modified fodder + supplementation (c)	Istotność różnic Significance of differences
Wapń / Calcium	172,3 ± 34,8	176,8 ± 72,3	161,9 ± 25,4	-
Magnez / Magnesium	896,7 ± 27,6	855,1 ± 25,9	846,9 ± 32,1	a-b,c*
Cynk / Zinc	46,6 ± 9,4	48,77 ± 8,7	46,9 ± 8,9	-
Chrom / Chromium	0,1146 ± 0,0028	0,1088 ± 0,0022	0,1167 ± 0,0038	-

Objaśnienia jak pod tab. 2. / Explanatory notes as in Tab. 2.

Tabela 7. Aktywność ALP i stężenie kalcytoniny w surowicy krwi szczurów doświadczalnych, warunkowane składem paszy i jej uzupełnieniem

Table 7. ALP activity and concentration of calcitonin in blood serum in laboratory rats depending on fodder composition and supplementation

Badany parametr Analyzed parameter	Pasza standard Standard fodder (a)	Pasza zmodyfikowana Modified fodder (b)	Pasza zmodyfikowana + uzupełnianie Modified fodder + supplementation (c)	Istotność różnic Significance of differences
ALP [U/l]	75,0 ± 14,1	80,7 ± 15,1	71,7 ± 9,8	-
Kalcytonina [IU/ml] Calcitonin [IU/ml]	17,6 ± 11,1	10,9 ± 6,2	17,7 ± 7,8	-

ALP - fosfataza alkaliczna / alkaline phosphatase

Pozostałe objaśnienia jak pod tab. 2. / Other explanatory notes as in Tab. 2.

Z uwagi na spożycie wapnia przez suplementowane samce, zbliżone do spożycia zwierząt żywionych paszą standard, zawartość tego pierwiastka w ich tkance mięśniowej, aktywność fosfatazy alkalicznej i stężenie kalcytoniny w surowicy krwi można stwierdzić, że ten rodzaj uzupełniania diety badanych zwierząt miał się z celem. Przy zmniejszającym się spożyciu paszy zwiększały się przyrosty masy ciała na jej jednostkę, ilość wisceralnej tkanki tłuszczowej i zawartość tłuszczu w mięśniach oraz dodatkowo zwiększało się wydalanie wapnia z moczem. Ten ostatni efekt nie mógł być związany z równoczesnym dodawaniem do diety magnezu, który mając te same obszary resorpcji co wapń, działa konkurencyjnie w stosunku do niego [8]. Stwierdzenie to wynika z obserwacji, że przy porównywalnym w obu grupach spożyciu magnezu, jego zawartość w tkance mięśniowej była mniejsza, a wydalanie z moczem również było większe (o ponad 60 %). Jedynym wytłumaczeniem tego zjawiska, czyli wzrostu wydalania wapnia z moczem, może być zwiększenie jego uwalniania z kości.

W przeprowadzonym doświadczeniu nie stwierdzono wpływu samej zmiany składu diety ani na stężenie wapnia we krwi, ani na jego zawartość w mięśniach lub wielkość wydalania z moczem, co potwierdza wcześniejsze sugestie, że przy odpowiedniej wielkości spożycia takiej paszy, organizm w zakresie składników mineralnych utrzymuje homeostazę.

### **Wnioski**

1. Uzupełnianie paszy (składnikami mineralnymi) wpływało na zmniejszenie ilości jej pobierania przez szczury doświadczalne i równocześnie na zmniejszenie spożycia analizowanych składników mineralnych, przez co nie było realizowane zakładane ich spożycie.
2. Na podstawie analizy składu badanych tkanek, stężenia kalcytoniny i aktywności fosfatazy alkalicznej w surowicy krwi nie stwierdzono wpływu zastosowanego uzupełniania na zawartość wybranych składników mineralnych w ustroju.
3. Zwiększone wydalanie wapnia i magnezu z moczem, gromadzenie wisceralnej, nasierdziowej i śródmięśniowej tkanki tłuszczowej oraz zwiększone przyrosty masy ciała na jednostkę spożytej paszy mogły być związane ze zmianami wzajemnych proporcji dodawanych składników mineralnych, ich synergizmem i antagonizmem, i w związku z tym możliwością zaburzenia homeostazy ustroju.
4. Przy zmniejszonej zawartości naturalnych składników mineralnych w paszy, ale z zachowaniem odpowiedniej wielkości jej spożycia, organizm badanych zwierząt utrzymywał homeostazę ich stężeń.

### Literatura

- [1] Bolesławska I., Maruszewska M., Przysławski J.: Ocena poziomu spożycia wybranych mikropierwiastków występujących w całodziennych racjach pokarmowych mieszkańców Wielkopolski. *Now. Lek.*, 2005, **4 (74)**, 366-368.
- [2] Ding J., Hsu F.C., Harris T.B., Liu Y., Kritchevsky S.B.: The association of pericardial fat with incident coronary heart disease: the Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis (MESA). *Am. J. Clin. Nutr.*, 2009, **3 (90)**, 499-504.
- [3] Friedrich M.: Effects of health-promoting nutritional education and change in dietary habits on visceral fatty tissue contents and on concentrations of insulin and cortisol in menopausal women, *Pol. J. Food. Nutr. Sci.*, 2005, **1 (55)**, 91-96.
- [4] Friedrich M., Goluch-Koniuszy Z., Dolot A., Pilarczyk B.: Ocena zmian stężenia selenu w krwi i tkankach samców szczura pod wpływem zmiany składu diety i jej suplementacji wybranymi witaminami z grupy B. *Roczn. PZH*, 2011, **62**, 41-46.
- [5] Gawęcki J. Jeszka J. *Żywnienie człowieka. Ćwiczenia*. PWN, Warszawa 1995.
- [6] Kunachowicz H., Troszczyńska A.: Żywność wzbogacana i suplementy witaminowo-mineralne a ich rola w prawidłowej diecie człowieka. *Now. Lek.*, 2005, **4 (74)**, 533-538.
- [7] Lorenzen J., Mølgaard C., Michelsen K.F., Astrup A.: Calcium supplementation for 1 y does not reduce weight or fat mass in young girls. *Am. J. Clin. Nutr.*, 2006, **1 (83)**, 18-23.
- [8] Massry S.G., Seelig M.S.: Hypomagnesemia and hypermagnesemia. *Clin Nephrol.*, 1997, **4 (7)**, 147-153.
- [9] Morris K.L., Miller S.L., Zemel M.B.: Calcitriol regulation of 11- $\beta$ -hydroxysteroid dehydrogenase 1 (11- $\beta$ -HSD1) and angiotensin II receptor 1 (AT1) expression in human adipocytes (abstract). *FASEB J.*, 2005, **18 (585)**, 11.
- [10] Münchow J.: Wpływ składu diety i rodzaju jej suplementacji składnikami mineralnymi na przemiany węglowodanowo-lipidowe u szczura. Rozprawa doktorska. Akademia Rolnicza, Szczecin 2003.
- [11] Olusi S.: Obesity is an independent risk factor plasma lipid peroxidation and depletion of erythrocyte cytoprotective enzymes in humans. *Int. J. Obes. Relat. Metab. Disord.*, 2002, **9 (26)**, 1159-1164.
- [12] Podlaszewska G., Friedrich M., Sadowska J.: Ocena wpływu składu diety i jej uzupełniania wybranymi składnikami mineralnymi na stężenie kortykosteronu i bilans wodny u samców szczura. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2009, **4 (65)**, 345-351.
- [13] Rozporządzenie (WE) nr 1925/2006 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 20 grudnia 2006 r. w sprawie dodawania do żywności witamin i składników mineralnych oraz niektórych innych substancji.
- [14] Rozporządzenie Ministra Zdrowia z 16 września 2010 r. w sprawie substancji wzbogacających, dodawanych do żywności i warunków ich stosowania. *Dz. U.* 2010. Nr 136, poz. 914.
- [15] Steinbrenner H., Bilgic E., Alili L., Sies H.: Selenoprotein P protects endothelial cells from oxidative damage by stimulation of glutathione peroxidase expression and activity. *Free Radical Research*, 2006, **9 (90)**, 936-943.
- [16] Szponar L., Stoś K., Ołtarzewski M.: Suplementy diety – możliwości ich wykorzystania w prewencji wybranych niedoborów żywieniowych. *Żyw. Człow. Metab.*, 2004, **31 (supl. 1)**, 441-446.
- [17] Zemel M.B.: Role of dietary calcium and dairy products in modulating adiposity. *Lipids*, 2003, **2 (38)**, 139-146.
- [18] Zemel M.B.: Role of calcium and dairy products in energy partitioning and weight management. *Am. J. Clin. Nutr.*, 2004, **5 (79)**, 907S-912S.
- [19] Zieliński H., Achremowicz B., Przygodzka M.: Przeciwtleniacze ziarniaków zbóż. *Żywność. Nauka, Technologia, Jakość*, 2012, **1 (80)**, 5-26.

- [20] Zimmet P., Hodge A., Nicolson M., Staten M., de Courten M., Moore J., Morawiecki A., Lubina J., Collier G., Alberti G., Dowse G.: Serum leptin concentration obesity and insulin resistance in Western Samoans: cross sectional study. *B.M.J.*, 1996, **313 (7063)**, 965-969.

**ASSESSING EFFECTS OF SUPPLEMENTING FODDER WITH SELECTED MINERAL COMPONENTS ON THEIR METABOLISM AND DISTRIBUTION IN BODY - MODEL RESEARCH**

S u m m a r y

The research study comprised 3 groups of laboratory rats ( $n = 13$ ) fed as follows: group I: standard fodder (Labofeed B) containing i.a. whole grains of wheat and corn; group II: modified fodder where, compared to the standard fodder, about 84 % of whole wheat grains were replaced with wheat flour type 500, and 50 % of corn grains present therein with sucrose; group III: modified fodder supplemented with Ca, Mg, Zn, and Cr the quantities of which made up differences after the components were interchanged. Percent content of other macro-components in both fodder types were identical.

It was found that supplementing the fodders caused the consumption thereof to decrease and ipso facto the intake of mineral components to decrease, too. However, the increases in body weights of animals in that group were higher as was the accumulation level of visceral fat tissue. In that group, the content of fat increased significantly ( $p \leq 0.01$ ) and the content of protein in muscle tissue decreased significantly ( $p \leq 0.01$ ). No significant effects of the fodder supplementation applied was reported on the concentration of analyzed mineral components in blood serum and on their content in muscle tissue.

**Key words:** Wistar tribe rats, supplementation of diet, mineral components, distribution of components in body ☒