

Wpływ paszy nawadnianej odpadami przemysłu ziemniaczanego na stężenie miedzi i dialdehydu malonowego we krwi krów^{*)}

PRZEMYSŁAW DZIEKAN*, MIROSŁAW KLECZKOWSKI*, **, WŁODZIMIERZ KLUCIŃSKI*,
TADEUSZ JAKUBOWSKI*, KOUROU DEMBÈLÈ*, JACEK SIKORA*

*Katedra Nauk Klinicznych Wydziału Medycyny Weterynaryjnej SGGW, ul. Nowoursynowska 159C, 02 776 Warszawa

**Zakład Higieny Weterynaryjnej w Białymstoku Oddział w Łomży, ul. Nowogrodzka 160, 18-400 Łomża

Dziekan P., Kleczkowski M., Kluciński W., Jakubowski T., Dembèlè K., Sikora J.

Influence of fodder irrigated with utility refuses from potato industry on cooper and malondialdehyde concentration in the blood of cows

Summary

Prooxidant and antioxidant processes and diseases of cattle resulting from decreased bioavailability, or redundant copper in animal feed are often connected to biogeochemical and antropogenical factors. Therefore, it is very important to include biogeochemical and antropogenical zones in which animals were raised while analysing the bioavailability of trace elements in feeds and the disturbances in their metabolism. The goal of the study was to evaluate the nutrition of dairy cows with feeding matter originating from the region irrigated with utility refuses from the potato industry through prooxidant and antioxidant activity in blood of cows. The experiment comprised 120 cows of the Black-White breed, at 5 to 7-years-of-age. Cows were chosen from 3 districts. Cows from A and B, the experimental groups, inhabited areas irrigated with utility refuses from a potato processing company. The area inhabited with cows from A group was irrigated with utility refuses by using a flow method. The area inhabited with cows from B group was irrigated with utility refuses by using a sprinkle method. Cows from C group (control) inhabited an area where utility refuse irrigation was not used. Mineral analysis of utility refuses had been made before experiment started. The cow blood parameters determined were copper and malondialdehyde. The average value of particular parameters for cows from group A was, respectively: 10.33 and 1.82 $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$; for cows from group B it was, respectively: 8.88 and 2.47 $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$; and for cows from control group C it was, respectively: 11.41 and 1.49 $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$. The analysis of results showed that nutrition of dairy cows with fodder from the region irrigated with utility refuses from the potato industry produced an intensification of prooxidant process and decreased copper concentration in the blood of cows.

Keywords: cows, copper

Choroby niedoborowe występujące u krów mlecznych, będące skutkiem upośledzonej dostępności z paszy miedzi, stanowią na ogół rezultat zaburzeń w układzie troficznym gleba-roślina-zwierzę i są uzależnione zarówno od czynników biogeochemicznych, jak i antropogenicznych (13). Występowanie tego rodzaju chorób niedoborowych ma szczególne znaczenie w przypadku pasz wyprodukowanych lokalnie. Dzieje się tak dlatego, że rozmieszczenie miedzi w glebie jest na ogół nierównomierne i dodatkowo łatwo podlega zmianom pod wpływem np. różnego stopnia nawodnienia użytkownika glebę dokonywane między innymi przy pomocy odpadów przemysłu ziemniaczanego. W Polsce 13 zakładów przemysłu ziemniaczanego wytwarza rocznie ponad 4 mln m³ ścieków. Wykorzystywane są one do na-

wożenia użytków zielonych. Z tego względu przy analizie dostępności składników mineralnych w paszy, a następnie zaburzeń w ich przemianach w organizmie należy uwzględnić nawożenie odpadami przemysłu ziemniaczanego użytków zielonych, z których korzysta bydło (3, 13).

W Polsce gleby są na ogół ubogie w miedź. Także na świecie niedobór pierwiastka jest coraz bardziej powszechny w krajach o gospodarce intensywnej i ciągle pogłębia się z rozwojem przemysłu (12, 20). Miedź zaliczana jest do składników mineralnych najłatwiej uruchamianych w środowisku wodnym, co ma szczególne miejsce na użytkach zielonych nawadnianych ściekami przemysłu ziemniaczanego. Wówczas pierwiastek ten może dość długo pozostawać w postaci jonów Cu⁺⁺ w roztworach kwaśnych, jak również może być łatwo transportowany wraz z wodą w postaci zawiesiny koloidalnej różnych soli. Dlatego duże zainteresowanie wzbu-

^{*)} Praca wykonana w ramach projektu badawczego KBN nr 5 P06 K 003 08.

dzał od dawna sposób łączenia się miedzi z różnymi substancjami znajdującymi się w glebach torfowych, jak np.: kwasy huminowe i fulwowe. Kwasy te mogą zależnie od pH środowiska i stopnia wysycenia tworzyć kompleksy zarówno rozpuszczalne, jak i nierozpuszczalne. Od zawartości Cu w glebie zależy jej stężenie w roślinności pastwiskowej, jednak zależność ta może być modyfikowana między innymi przez molibden, jak również inne pierwiastki uczestniczące w interakcji.

W ostatnim dwudziestolecu, niezależnie od badań dotyczących stopnia zaopatrzenia mineralnego krów mlecznych w różnych warunkach środowiskowych, zwrócono uwagę na udział pierwiastków śladowych w procesach ochronnych przeciw utlenianiu biologicznemu (4, 5, 9, 10, 15). Stresowi oksydacyjnemu zapobiegają antyoksydacyjne mechanizmy ochronne, których aktywność zależy między innymi od takich mikroelementów, jak: miedź, molibden, cynk, żelazo i selen (1, 9, 10, 20). Badania nad wpływem pierwiastków śladowych na równowagę prooksydacyjno-antyoksydacyjną mają zatem charakter złożony i należy uwzględnić w nich interakcję zarówno synergistyczną, jak i antagonistyczną między pierwiastkami chemicznymi oraz wielokierunkowy udział w reakcjach biochemicznych (9, 16).

W ostatnich latach obserwuje się intensywne doskonalenie biomarkerów stresu oksydacyjnego u bydła szczególnie przyjmującego paszę pochodząca rejonów o wzmożonym nawożeniu ściekami różnego pochodzenia. Jednak metodę najstarszą i najczęściej stosowaną zarówno w badaniach naukowych, jak i monitoringowych stanowi oznaczenie stężenia dialdehydu malonowego (1). Dlatego celem pracy jest zbadanie wpływu paszy nawadnianej odpadami przemysłu ziemniaczanego na stężenie miedzi i dialdehydu malonowego we krwi krów.

Materiał i metody

Badania przeprowadzono na 120 krowach, rasy czarno-białej w wieku od 3 do 7 lat, o wydajności mlecznej od 4000 do 5400 kg. Krowy pochodziły z trzech rejonów wybranych w zależności od sposobu ich nawadniania. W każdym rejonie wyodrębniono liczącą po 40 sztuk grupę krów oznaczonych A, B i C. Grupy A i B (doświadczalne) przebywały na terenach, gdzie użytki zielone nawadniano ściekami pochodzącymi z zakładu przemysłu ziemniaczanego, przy czym na terenie, z którego pochodziły krowy z grupy A, odpady rozpraszano metodą zalewową, zaś krowy z grupy B przebywały na terenie nawadnianym metodą zraszania. Grupa krów C (pochodząca z rejonu, w którym nie stosowano nawadniania odpadami) stanowiła kontrolę. Zimą krowy przebywały na stanowiskach wiązanych i dostawały siano do woli, paszę treściwą i wysłodka buraczane, latem przebywały na pastwisku i dodatkowo otrzymywały zielonkę z traw i paszę treściwą. Niezależnie od pory roku pasza, którą dostawały krowy pochodziła zawsze z terenu, na którym przebywała badana grupa zwierząt. Dzienna dawka pokarmowa była zbilansowana pod względem białkowo-energetycznym, zgodnie z przyjętymi normami (6).

Przed przystąpieniem do badań używane do nawadniania odpady pochodzące z zakładu przemysłu ziemniaczanego poddano analizie w celu określenia stężenia: potasu, sodu, wapnia, magnezu, miedzi, molibdenu, cynku, ołowiu, chromu i kadmu. Wykonano także analizę mineralną pasz, uwzględniając

stężenie miedzi, cynku i molibdenu. Od krów z grup A, B i C pobierano krew celem oznaczenia stężenia miedzi i dialdehydu malonowego oraz poddano obserwacji klinicznej.

Krew pobierano z żyły szyjnej zewnętrznej. Próbkę krwi pobierano w trzech terminach: pierwszy raz w okresie zasuszenia (14 dni przed planowanym porodem) – oznaczono nr 1, drugi raz 2 dni po porodzie – oznaczono nr 2, trzeci raz pobranie przypadało na szczyt laktacji (42 dni po porodzie) – oznaczono nr 3. Krew pobierano od zwierząt zawsze rano przed pierwszym karmieniem do probówek bez antykoagulantów.

W próbkach surowicy krów oznaczono stężenie Cu i dialdehydu malonowego oraz w paszy oznaczono stężenia miedzi, cynku i molibdenu, natomiast w odpadach z przemysłu ziemniaczanego zawartość K, Na, Ca, Mg, Pb, Cr i Cd. Mineralizacja próbek paszy była przeprowadzona metodą moką przy zastosowaniu mieszaniny stężonego HNO_3 , HClO_3 i H_2SO_4 , przygotowanego w stosunku 20 : 4 : 1, a mineralizację próbek odpadów z przemysłu ziemniaczanego oraz surowicę metodą na sucho w piecu elektrycznym w temperaturze 450°C. Miedź oznaczano przy pomocy atomowej spektrofotometrii absorpcyjnej metodą płomieniową. Stężenie dialdehydu malonowego w surowicy badano metodą Satoh w modyfikacji Grysa (18).

Istotność różnic obliczano testem: Fischera-Snedecora, t-Studenta, Wilcoxon i Manna-Whitneya-Wilcoxon.

Wyniki i omówienie

Ścieki wykorzystywane do nawadniania użytków zielonych poddano analizie mineralnej, której wyniki przedstawiają się w sposób następujący: potas – 10,23 mmol/dm³, sód – 5,9 mmol/dm³, wapń – 2,5 mmol/dm³, magnez – 1,23 mmol/dm³, miedź – 0,63 μmol/dm³, molibden – 0,104 μmol/dm³, cynk – 10,71 mmol/dm³, ołów mniej niż 0,004 μmol/dm³, chrom – 2,5 μmol/dm³, kadm – 0,017 μmol/dm³. Z przeprowadzonych badań wynika, że stosunek miedzi do molibdenu w ściekach ziemniaczanych wynosił 1 : 6. Niemniej jednak wielkość emisji ścieków ma charakter bardzo zróżnicowany i cechuje się różną zawartością wody. Dlatego stosunek tych dwóch mikroelementów może charakteryzować się dużymi wahaniami. Również stężenie pozostałych pierwiastków w ściekach oraz w glebie może być bardzo zmienne z uwagi na zróżnicowaną zawartość wody.

Podstawowe minimalne zapotrzebowanie bydła na miedź wynosić powinno wynosić około 157 μmol/kg s.m. paszy (10 mg) (8). Z przeprowadzonych badań wynika, że stężenie miedzi w paszy krów szczególnie w z grupy doświadczalnej A i B w stosunku do grupy kontrolnej C było bardzo niskie i nie odpowiadało wymogom żywieniowym. Podobną tendencję stwierdzono również w przypadku stężenia w paszy cynku i molibdenu (tab. 1). Zaobserwowane zjawisko tłumaczyć można przede wszystkim dość łatwym wyplukiwaniem wodą pierwiastków śladowych ze środowiska glebowego, co potwierdza znacznie niższe ich stężenie w grupie B, gdzie użytki zielone nawadniano metodą intensywnego zraszania. Także nie należy wykluczyć interakcji synergistycznych i antagonistycznych między poszczególnymi pierwiastkami oraz obecnością śladowych ilości skrobi, mogącej wpływać na szybkość przenoszenia jonów metali w układzie troficznym gleba-roślina (14).

Warunki środowiskowe panujące w ekosystemie, który wybrano za miejsce pochodzenia krów z grupy kon-

trolnej C były zdominowane przez oddziaływanie geochemiczne. Natomiast ekosystem, w którym przebywało bydło z grup A i B w sposób bardzo istotny ukształtowany został przez człowieka. Porównując uzyskane wyniki badań krwi krów z wartościami uznawanymi za prawidłowe (10,2-17,3 $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$) można stwierdzić, że stężenie miedzi w surowicy krów z grup A i B mieściło się poniżej dolnych wartości referencyjnych, natomiast w grupie kontrolnej C nieznacznie przekraczało wartości najniższe uznawane za prawidłowe (tab. 3) (17, 20). Z przedstawionych wyników badań widać, że najniższe stężenie miedzi wystąpiło w surowicy krów z grupy B, przyjmujących paszę pochodzącą z użytków zielonych o wzmożonej emisji odpadów z zakładu przetwórstwa ziemniaczanego rozprowadzanych metodą zraszania, nieco wyższe u krów z grupy A żywionych paszą z terenów, na których uwodnione odpady rozprowadzano metodą zalewową i najwyższe u krów z grupy C. Na wchłanianie miedzi u bydła oprócz molibdenu ma wpływ również zawartość cynku i siarki. Stężenie molibdenu w paszy powyżej 104 $\mu\text{mol}/\text{kg}$ s.m. doprowadza do wtórnego niedoboru miedzi nawet przy jej dostatecznej podaży. Jednak w niniejszych badaniach stężenie molibdenu w paszy było dość niskie (tab. 1). W diecie przeżuwaczy za prawidłowy przyjmuje się stosunek wagowy Mo : Cu jak 1 : 6-10. Miedź i molibden są mikroelementami we wzajemnym układzie antagonistycznym. Antagonizm ten wynika z elektronowej konfiguracji atomów tych pierwiastków w formie jonowej. Powodem, dla którego mikroelementy te rozpatruje się łącznie, mogą być skutki metaboliczne wywołane suplementacją Cu i Mo. Analizując gospodarkę miedzią i molibdenem u bydła nie sposób pominąć ważnego ogniwa, jakie stanowią mikroorganizmy żwacza. W przypadku miedzi ich zapotrzebowanie jest niższe niż organizmu gospodarza i wynosi około 1,57 $\mu\text{mol}/\text{kg}$ s.m. paszy, zaś w przypadku molibdenu znacznie wyższe niż przeżuwaczy, wynoszące od 104,2 $\mu\text{mol}/\text{kg}$ do 2,85 mmol/kg s.m. paszy (7). Stężenie Cu w surowicy krów w różnych stanach fizjologicznych, podobnie jak w przypadku wielu innych składników metabolicznych było najwyższe w okresie poporodowym, niższe w szczytzie laktacji i najniższe w okresie zasuszenia. Potwierdza to teorię o przesunięciu się ogólnej puli Cu ogólnoustrojowej matki na rzecz intensywnie rozwijającego się płodu w końcowym okresie ciąży i zwiększenia sprawności enzymatycznych mechanizmów ochronnych przed reaktywnymi formami tlenu.

Uzyskane wyniki badań wskazują na korzystniejsze stężenie miedzi, molibdenu i cynku w paszy oraz miedzi i dialdehydu malonowego w surowicy krów z grupy kontrolnej C niż grupach doświadczalnych A i B (tab. 1 i tab. 3). Niezależnie od metody nawadniania

Tab. 1. Średnie stężenie składników mineralnych w paszy podawanej krowom z poszczególnych grup

Składnik mineralny	Grupa					
	A		B		C	
	zima	lato	zima	lato	zima	lato
Cu ($\mu\text{mol}/\text{kg}$ s.m.)	54,917	66,404	39,024	49,724	128,245	157,513
Zn ($\mu\text{mol}/\text{kg}$ s.m.)	0,362	0,366	0,296	0,362	1,096	1,357
Mo ($\mu\text{mol}/\text{kg}$ s.m.)	3,752	4,377	2,814	3,231	13,758	16,364

(zalewowa, zraszania) zwiększona podaż ścieków na użytki zielone mogła powodować wypłukanie miedzi, cynku i molibdenu z gleby, a następnie obniżenie stężenia tych pierwiastków w roślinności pastwiskowej i łąkowej, stanowiącej zasadnicze źródło paszy dla krów. Troficzny układ zależności: gleba, roślina, zwierzę został zakłócony intensywnym nawadnianiem gleby, co doprowadzić mogło do obniżonej podaży nie tylko miedzi, lecz także cynku i molibdenu (9). Również dodatkowa podaż wyżej wymienionych makro- i mikroelementów wraz ze ściekami mogła przyczynić się do modyfikacji wzajemnego układu zależności i ostatecznie do pogłębienia niedoborów miedzi oraz pozostałych pierwiastków uczestniczących interakcji.

Tab. 2. Choroby i objawy kliniczne obserwowane u krów z grup A i B – liczba przypadków (%)

Objawy kliniczne lub schorzenia	Grupa	
	A	B
Obrzęk okolicy śródstopia	0	2,5
Obrzęk stawu skokowego	5	10
Zmiana pigmentacji włosa z czarnego na rudy w okolicy szyi	5	7,5
Zmiana pigmentacji włosa z czarnego na rudy w okolicy klatki piersiowej	7,5	10
Biegunka	5	10
Nieżytowe zapalenie oskrzeli	7,5	12,5
Parakeratoza	5	10
Razem	35	62,5

Tab. 3. Średnie stężenie miedzi i dialdehydu malonowego w surowicy krów

Rodzaj wskaźnika	Termin pobierania próbek	Grupa					
		A		B		C	
		\bar{x}	SD	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD
Cu ($\mu\text{mol}/\text{dm}^3$)	1	9,86	2,22	8,23*	1,93	10,57	2,31
	2	10,84	2,32	9,47*	1,73	12,15	2,59
	3	10,31	2,02	8,93*	1,73	11,52	2,11
Dialdehyd malonowy ($\mu\text{mol}/\text{dm}^3$)	1	1,84	0,35	2,39*	0,23	1,59	0,42
	2	1,76	0,36	2,54*	0,50	1,40	0,47
	3	1,87	0,37	2,47*	0,39	1,49	0,47

Objaśnienia: \bar{x} – średnia arytmetyczna; SD – odchylenie standardowe; * – różnica statystycznie istotna ($p \leq 0,05$) między grupą A i C oraz B i C.

Bydło żyjące w zróżnicowanych antropogenicznie ekosystemach narażone jest na powolne, lecz stałe oddziaływanie środowiskowe, co wywołuje zmiany w stężeniu mikroelementów zarówno w płynach ustrojowych, jak i tkankach. Skutki metaboliczne przyczyniają się do powstawania zmniejszenia wydajności mlecznej oraz powstawania objawów klinicznych charakterystycznych dla chorób środowiskowych. Z obserwacji terenowych wynika, że zaburzenia metaboliczne często są wynikiem stosowania w żywieniu zielonek uprawianych na polach intensywnie nawożonych. Zgodnie z uzyskaną informacją, stan zdrowia krów grup doświadczalnych i kontrolnej różnił się (tab. 2). Obserwowane schorzenia i objawy kliniczne mogą stanowić skutek przede wszystkim niedoboru miedzi.

Stężenie dialdehydu malonowego w surowicy krów z podgrup doświadczalnych A i B było wyższe niż w grupie kontrolnej C. Porównując obydwie grupy doświadczalne, niższe wartości obserwowano w grupie A niż w B. Stężenie MDA w surowicy krów wskazuje na niższą aktywność prooksydacyjną w grupie C o wyższym stężeniu Zn, Cu i Mo w paszy niż w grupach zwierząt żywionych paszą z terenów narażonych na wpływ ścieków z zakładu przemysłu ziemniaczanego (tab. 3).

Analizując poszczególne cykle produkcyjne krów obserwowano na ogół największe ryzyko narażenia organizmu na procesy prooksydacyjne w okresie zasuszenia – 1 i w szczycie laktacji – 3, zaś najniższe w okresie poporodowym – 2 (tab. 3). Wiązać się to może ze zwiększonym wysiłkiem organizmu z powodu zaawansowanej ciąży oraz zwiększenia wydajności mlecznej. Natomiast poród prawdopodobnie nie stanowi wysokiego ryzyka narażenia organizmu na procesy prooksydacyjne. Istotną rolę w kształtowaniu stopnia zagrożenia procesami wolnorodnikowymi pełnią mikroelementy, takie jak Cu, Mo i Zn. Obserwacje takie zostały potwierdzone także przez innych badaczy (19, 20).

Przedstawione w niniejszej pracy wyniki badań potwierdzają niezwykle istotną rolę czynników środowiskowych pochodzenia antropogenicznego (odpady przemysłu ziemniaczanego) na przemiany pośrednie zachodzące u krów mlecznych. Szczególna wrażliwość bydła na czynniki zewnętrzne, w tym żywienie, przyczynia się do powstawania istotnej odpowiedzi metabolicznej wyrażonej niekiedy zachwianiem równowagi prooksydacyjno-antyoksydacyjnej, warunkującej właściwe zdrowie i produktywność (2). Wskaźniki zarówno prooksydacyjne, jak i antyoksydacyjne charakteryzować się mogą zróżnicowanym stężeniem. Badania wskazują na potrzebę uwzględnienia zarówno metody użytkowania użytków zielonych, z których korzysta bydło mleczne, jak i właściwego opracowania i stosowania receptur dodatków mineralnych, które przyczyniać się będą do utrwalenia łatwej do zaburzenia, równowagi prooksydacyjno-antyoksydacyjnej u krów mlecznych (2, 7, 13).

Podsumowanie

Żywienie krów paszą pochodzącą z rejonów, gdzie użytki zielone są nawadniane odpadami przemysłu ziemniaczanego wywołuje obniżenie stężenia zarówno mie-

dzi, jak i molibdenu i cynku oraz dialdehydu malonowego w krwi krów, co może powodować nasilenie procesów prooksydacyjnych. Różnice w stężeniu miedzi oraz dialdehydu malonowego krwi krów pochodzących z rejonów nawadnianych metodą zraszania i zalewową, przy lokalnej produkcji paszy dla krów, wskazują na konieczność uwzględnienia sposobu użytkowania terenu, z którego pozyskiwana jest roślinność. Dlatego użytkowanie użytków zielonych odpadami przemysłu ziemniaczanego powinno uwzględniać wzbogacanie diety krów dodatkami szczególnie miedzi oraz cynku i molibdenu. Przede wszystkim miedź jest niezwykle ważna w utrzymaniu równowagi prooksydacyjno-antyoksydacyjnej. Jednak potencjały redoks jonów miedzi zależą bardzo silnie zarówno od charakteru, jak i struktury przestrzennej wiążących je ligandów. Dlatego stanowią bardzo wygodne narzędzie metaboliczne procesów utleniania lub redukcji. Suplementacja powinna jednak być poprzedzona monitoringiem uwzględniającym aktualny stan równowagi prooksydacyjno-antyoksydacyjnej w krwi krów w różnych okresach fizjologicznych, a szczególnie w okresie zasuszenia i w szczycie laktacji.

Piśmiennictwo

1. *Bartosz G.*: Druga twarz tlenu. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa 1995, s. 143.
2. *Benov L.*: How superoxide radical damages the cell. *Protoplasma* 2001, 217, 33-36.
3. *Bis-Wencel H.*: Rozpoznawanie i zapobieganie niedoborom mineralnym u przeżuwaczy w regionie południowo-wschodniej Polski. Praca hab. Wydz. Medycyny Weterynaryjnej AR, Lublin 2001.
4. *Boonstra J., Post J. A.*: Molecular events associated with reactive oxygen species and cell cycle progression in mammalian cells. *Gene* 2004, 337, 1-13.
5. *Dedon P. C., Tannenbaum S. R.*: Reactive nitrogen species in the chemical biology of inflammation. *Arch. Biochem. Biophys.* 2004, 423, 12-22.
6. *Dobrowolska D.*: Normy żywienia bydła i owiec. Instytut Zootechniki, Balice 2001, s. 21.
7. *Droge W.*: Free radicals in the physiological control of cell function. *Physiol. Rev.* 2002, 82, 47-95.
8. *Jarrige R.*: Ruminant nutrition. INRA John Libbey Eurotext, London Paris 1989, s. 49.
9. *Johnson M. A., Fischer J. G.*: Role of minerals in protection against free radicals. *Food Technol.* 1994, 35, 112-119.
10. *Kleczkowski M., Kluciński W., Sikora J., Kasztelan R.*: Rola wybranych składników mineralnych w procesach oksydacyjnych organizmu. *Medycyna Wet.* 2004, 60, 242-245.
11. *Kleczkowski M., Kluciński W., Sikora J., Zdanowicz M.*: Role of antioxidants in the protection against oxidative stress in cattle-trace elements and enzymatic mechanisms. *Pol. J. Vet. Sci.* 2005, 7, 233-240.
12. *Kleczkowski M., Kluciński W., Sitarz E., Sikora J.*: Stres oksydacyjny a wybrane wskaźniki stanu antyoksydacyjnego zwierząt. *Medycyna Wet.* 1998, 54, 166-171.
13. *Kleczkowski M., Kluciński W., Strzaliński M., Dziekan P., Sikora J.*: Ekologia biogeochemiczna a choroby zwierząt. *Medycyna Wet.* 1995, 52, 443-445.
14. *Krzyżaniak W., Olesienkiewicz A., Białas W., Słomińska L., Jankowski T., Grajek W.*: Charakterystyka chemiczna maltodekstryn o małym równoważniku glukozowym otrzymywanych przez hydrolizę skrobi ziemniaczanej za pomocą alfa-amylaz. *Acta Techn. Alim.* 2003, 32, 5-15.
15. *Mary J., Vouquier S., Picot C. R., Perichon M., Petropoulos I., Friguet B.*: Enzymatic reactions involved in the repair of oxidized proteins. *Exp. Gerontol.* 2004, 39, 1117-1123.
16. *Puig S., Thiele D. J.*: Molecular mechanisms of copper uptake and distribution. *Curr. Opin. Chem. Biol.* 2002, 6, 171-180.
17. *Radoszitis O. M., Blood D. C., Gay C. C.*: Veterinary Medicine. A textbook of the diseases of cattle, sheep, pigs, goats and horses. Baillière Tindall, London Paris Toronto 1994, s. 1289.
18. *Satoch K.*: Serum lipid peroxide in cerebrovascular disorders determined by a new colorimetric method. *Clin. Chim. Acta* 1978, 90, 37.
19. *Semman S.*: Dietary versus cellular zinc. The antioxidant paradox. *Free Radic. Biol. Med.* 1993, 14, 95-97.
20. *Underwood E. J., Suttle N. F.*: Mineral Nutrition of Livestock. CABI Publishing, Wallingford 1999, s. 296.

Adres autora: prof. dr hab. Miroslaw Kleczkowski, ul Nowoursynowska 159 C, 02-776 Warszawa; e-mail: zhwomza@op.pl