Kwasy organiczne w żywieniu prosiąt

ANNA WOŹNIAKOWSKA, WOJCIECH KOZERA, KRZYSZTOF KARPIESIUŁ

Katedra Hodowli Trzody Chlewnej, Wydział Bioinżynierii Zwierząt,
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, ul. Oczapowskiego 5, 10-719 Olsztyn

Otrzymano 31.05.2016

Zaakceptowano 03.10.2016

Woźniakowska A., Kozera W., Karpiesiuk K.

Organic acids in piglet nutrition – a review

Summary

The risk of developing cross-resistance of pathogens to antibiotics led to a ban on antibiotics as growth promoters in animal feed in the European Union since January 2006. In recent decades, acidifiers have been widely used as potential alternatives to antibiotics in the nursery pigs' diet to overcome weaning stresses, prevent intestinal disturbances with diarrhea and to improve growth performance. Organic acids can reduce the digesta pH value in the gastrointestinal tract (GIT), converting the inactive pepsinogen to active pepsin and increase the protein utilization. Acidifiers also promote beneficial microbial growth in the GIT and reduce infection from harmful microorganisms. Moreover, dietary inclusion of organic acids and their salts for weaning pigs can reduce intestinal epithelia damage, increase intestinal occludin expression and decrease small intestinal permeability, and improve immune indexes. In conclusion, dietary supplementation with acidifiers can decrease economic loss for pig producers.

Keywords: acidifiers, organic acids, piglets' performance, intestinal villus

Odchów prosiąt jest trudnym okresem w produkcji trzody chlewnej, mającym istotny wpływ na jej efektywność. Dobre wykorzystanie paszy oraz większa liczba potomstwa uzyskanego od maciory w ciągu roku gwarantują poprawę opłacalności produkcji, dlatego intensyfikacja produkcji trzody chlewnej doprowadziła do skrócenia okresu laktacji z 6 tygodni do 3-4 tygodni tak, aby zmaksymalizować liczbę urodzonych od lochy prosiąt w ciągu roku (33). Według przepisów Unii Europejskiej, nie należy odsadzać prosiąt przed 28. dniem życia, chyba że pozostawienie ich przy maciorze wpłynęłoby negatywnie na zdrowie i dobrostan miotu oraz matki (11). Polskie prawo dopuszcza odsadzanie w 21. dniu, jeżeli zapewni się prosiętom pomieszczenie oczyszczone, odkażone i odizolowane od loch (34), jednak 4-tygodniowe prosięta nie mają w pełni rozwiniętych funkcji trawiennych, dlatego zmiana żywienia i stres związany z oddzieleniem ich od maciory sprawia, że okres poodsadzeniowy niesie ze sobą duże ryzyko wystąpienia zaburzeń układu pokarmowego, a w konsekwencji niedostatecznego wykorzystania składników pokarmowych paszy, biegunek, słabych przyrostów i upadków (33). Poza pierwszymi dwoma dniami życia, na które przypada około 50% wszystkich padnięć prosiąt, okres odsadzenia jest kolejnym newralgicznym etapem w produkcji, niosącym ze sobą wiele strat ekonomicznych w produkcji trzody chlewnej.

Odłączenie od lochy, przegrupowanie miotów, zmiana warunków środowiska oraz nagłe przejście z mleka na paszę stałą wywołują u prosiąt silny stres poodsadze-

niowy. Przejawia się to bardzo niskim spożyciem paszy. Zaobserwowano, że około 50% prosiąt pobiera pierwszy raz paszę w ciągu 24 godzin od odsadzenia, a dla 10% okres głodowania przedłuża się nawet ponad 48 h. W tym czasie organizm zmuszony jest do korzystania z własnych rezerw. Niskie spożycie paszy skorelowane jest z atrofią kosmków jelitowych pokrywających jelito cienkie, co powoduje zmniejszenie powierzchni absorpcji składników pokarmowych.

U młodych prosiąt z uwagi na słabo rozwinięty układ pokarmowy w momencie odsadzenia przejście z mleka na paszę stałą oraz niska sekrecja HCl powodują nagłą alkalizację żołądka i jelit nawet do pH powyżej 5,0. Niskie pH 2,0-3,5 jest konieczne do przekształcenia pepsynogenu (proenzymu pepsyny) wydzielanego przez komórki gruczołów żołądkowych do pepsyny rozkładającej białka. Powyżej pH 6,0 proces ten jest zahamowany (19, 20). W takich warunkach prosię jest w stanie strawić jedynie 60% pobranej paszy i ten stan może utrzymać się nawet przez kilkanaście dni (33, 36). Niestrawione resztki pokarmowe zalegają w jelitach, gdzie ulegają fermentacji i stają się pożywką dla drobnoustrojów chorobotwórczych, tj. *E. coli*, *Salmonella*, *Clostridium*, *Lawsonia*, które najlepiej rozmnażają się w środowisku o podwyższonej kwasowości treści jelitowej przy pH 5,8-6,5 i są przyczyną biegunk u młodych prosiąt. Biegunka poodsadzeniowa jest związana głównie z obecnością w jelicie β -hemolitycznych szczepów bakterii *E. coli*, która rozmnaża się w jelicie po odsadzeniu. Ich zjadliwość opiera się na zdolnościach

przylegania tych bakterii do komórek nabłonka jelitowego dzięki obecności fimbrii (wici) oraz wytwarzaniu enterotoksyn ciepłochwiejnych LT i ciepłostałych ST (typu STa i STb), które zakłócają funkcje komórek, nie uszkadzając ich, w tym przypadku poprzez rozstrojenie pompy jonowej (sodowo-chlorkowej) w błonie komórek. Następstwem tego jest nadmierna sekrecja z komórki jonów Cl^- oraz wody, a także zablokowanie wchłaniania zwrotnego jonów Na^+ i wody, która gromadząc się w nadmiarze, wzmacnia perystaltykę jelit (ryc. 1). To prowadzi do biegunki, odwodnienia, niskiego spożycia paszy, zaburzeń trawienia, bardzo niskich przyrostów, padnięć, a w konsekwencji ogromnych strat ekonomicznych w produkcji trzody chlewnej.

W celu zredukowania problemów związanych z okresem odsadzenia przez wiele lat w produkcji zwierzęcej stosowano antybiotyki. Ich działanie opierało się głównie na stymulacji wzrostu oraz zmianie składu ilościowego i jakościowego mikroflory jelitowej. Stosowanie ASW (antybiotykowych stymulatorów wzrostu) poprawiało spożycie paszy nawet o 7%, co przekładało się na wyższe przyrosty dobowe. Niestety, zastosowanie antybiotykowych stymulatorów wzrostu skutkowało powstaniem szczepów bakterii niewrażliwych na jeden lub nawet kilka antybiotyków (oporność krzyżowa). Pochodzące od zwierząt lekooporne szczepy po wnikięciu do organizmu człowieka przekazują bytującym tam bakteriom geny kodujące ich oporność na antybiotyki (5). W związku z tym rozpoczęto poszukiwania preparatów niezbędnych w walce z negatywnymi skutkami okresu poodradzeniowego. W grupie tej znalazły się: kwasy organiczne i ich sole, kwasy nieorganiczne, probiotyki, prebiotyki, eubiotyki, synbiotyki, olejki eteryczne oraz związki cynku i miedzi. Te ostatnie pozytywnie wpływają na zdrowie prosiąt poprzez regulację mikroflory jelit i ograniczenie biegunek, ale ich nadmiar w paszy prowadzi do skażenia gleb (42).

Spośród powyższych najbardziej efektywną i wszechstronną alternatywą dla antybiotyków są kwasy organiczne i ich sole wapniowe i amonowe lub kwasy nieorganiczne. Kwasy te są substancjami aktywnymi w tzw. zakwaszacach, które są od dekad powszechnie stosowanymi dodatkami paszowymi w żywieniu trzody chlewnej, bydła, królików, drobiu i ryb (15, 30). W preparatach tych kwasy mogą być stosowane pojedynczo lub w mieszaninach, na nośniku stałym, który stanowi materiał paszowy organiczny (np. otręby) lub mineralny (np. bentonit, krzemionka). Mogą występować też w postaci płynnej, gdzie nośnikiem jest najczęściej gliceryna. Kwasy organiczne stosowane w preparatach zakwaszających, to kwasy karboksylowe zbudowane z łańcucha węglowodorowego i grupy karboksylowej o ogólnym wzorze R-COOH . Istotną rolę w żywieniu zwierząt odgrywają głównie krótkołańcuchowe kwasy posiadające w łańcuchu do 6 atomów węgla, takie jak: mrówkowy,

Ryc. 1. Schemat powstawania biegunki poodradzeniowej wywołanej przez enterotoksyczne *E. coli* (ETEC) (opracowanie własne)

octowy, propionowy, masłowy, mlekowy, jabłkowy, szczawiowy i cytrynowy, a także kwas fumarowy i sorbowy. Praktyczne zastosowanie w komponentach dla zwierząt znalazł także kwas benzoowy, który jest najprostszym aromatycznym kwasem karboksylowym. Coraz częściej stosowane są także średniołańcuchowe kwasy posiadające w swoim łańcuchu od 6 do 12 atomów węgla, a wśród nich m.in. kwas kaprylowy i kaprynowy (13).

Kwasy: octowy, masłowy i propionowy należą do krótkołańcuchowych kwasów tłuszczowych (SCFA – Short Chain Fatty Acids), które produkowane są w jelicie grubym ssaków przez bakterie z rodzaju *Clostridium*, *Eubacterium*, *Fusobacterium* i in., na drodze fermentacji niestrawionych węglowodanów. Kwas masłowy jest głównym źródłem energii dla kolonocytów, gdzie jest zużywany w 90%. Jego obecność wpływa pozytywnie na rozwój nabłonka jelitowego. Natomiast kwas octowy transportowany jest z okrzynicy wraz z krwią do wątroby, gdzie zużywany jest w 70%. Jest nie tylko źródłem energii dla hepatocytów, ale m.in. substratem do syntezy cholesterolu i długołańcuchowych kwasów tłuszczowych. Pozostała część kwasu octowego metabolizowana jest w komórkach mięśniowych, serca i nerek. Z kolei kwas propionowy jest głównym prekursorem glukogenezu w wątrobie (2, 4, 16). Zwierzęta przyswajają kwasy tłuszczowe w postaci mniejszych cząsteczek, czyli triacylogliceroli MCT (Medium-Chain Triglyceride), których proces hydrolizy nie wymaga udziału wszystkich enzymów biorących udział w metabolizmie tłuszczów, m.in. lipazy trzustkowej. W wyniku hydrolizy powstają średniołańcuchowe kwasy tłuszczowe, które po pretransportowaniu do wątroby ulegają w hepatocytach β -oksydacji. Uzyskana w trakcie tego procesu energia wykorzystywana jest w różnych procesach metabolicznych, dlatego triacyloglicerole są źródłem łatwo przyswajalnej energii (7, 37, 49).

Kwasy organiczne mają właściwości zakwaszające, a miarą ich mocy jest zdolność danego kwasu do dysocjacji, czyli oddawania jonów wodorowych H^+ w roztworze. Wskaźnikiem określającym moc kwasu jest ujemny logarytm dziesiętny ze stałej dysocjacji kwasu (pK_a), który wynosi dla poszczególnych kwasów: mrówkowego – 3,75; octowego – 4,76; propionowego – 4,88; masłowego – 4,82; mlekowego – 3,83; fumarowego – 3,02; cytrynowego – 3,13; benzoowego – 4,19. Im niższa

jego wartość, tym silniejsze właściwości zakwaszające posiada dany kwas i więcej jonów wodoru znajdzie się w roztworze. Uwalnianie na drodze dysocjacji jony wodoru obniżają pH treści układu pokarmowego, co niweluje skutki buforowania paszy w żołądku i stwarza niekorzystne warunki dla rozmnażania mikroflory chorobotwórczej. Z kolei niskie pH jest korzystne dla pożytecznej mikroflory jelitowej, która rozwija się w kwaśnym środowisku. Zakwaszenie treści jelitowej do pH 4,0 wzmacnia sekrecję enzymów trawiennych, pozwala na przekształcenie pepsynogenu w pepsynę, która jest enzymem trawiącym białka. Dodatkowo kwas solny wydzielany w żołądku i sok trzustkowy degradują bakterie oraz alergeny (46).

Z kolei niezdysonocjonowane całkowicie aniony kwasów przenikają przez błony komórek bakterii do ich wnętrza, którego pH wynosi 7. Tam dysocjują, a uwolnione jony wodorowe zakwaszają wnętrze komórki bakteryjnej (ryc. 2). Ich usunięcie wymaga od mikroorganizmu dużych nakładów energii, której niedobór zatrzymuje główne procesy życiowe, m.in. przebieg replikacji DNA niezbędnej do namnażania się bakterii (20). Stężenie kwasu, w którym zahamowany jest wzrost i rozwój bakterii, to tzw. minimalne stężenie hamujące (MIC – Minimum Inhibitory Concentration), zależne od pH otoczenia i będące indywidualną wartością dla danego kwasu. Na przykład minimalne stężenie hamujące w warunkach pH 4,5 dla *E. coli* wynosi 0,15% dla kwasu mrówkowego, 0,20% dla kwasu propionowego i 0,40% dla kwasu mlekowego. Należy mieć to na uwadze podczas uzupełniania mieszanek paszowych zakwaszaczami (37). Dzięki powyższym właściwościom preparaty te stosowane są do sanitizacji wody, konserwowania żywności i pasz. Kontrolują rozwój patogennej mikroflory (bakterii, grzybów i pleśni), a także zapobiegają wtórnym zakażeniom karmy i wody. Zastosowanie kwasu mrówkowego lub mrówczanu sodowego pozwala na ochronę paszy nawet przed bakteriami z rodzaju *Salmonella*, które są odporne na środowisko kwaśne i wysoką temperaturę, przez co wpływają na polepszenie spożycia paszy i zapobiegają zaburzeniom pokarmowym u prosiąt (22, 43).

Kwasy organiczne wpływają także na wrażenia czuciowe i smakowe świń. Jony pochodzące od zdysocjowanych kwasów pobudzają w jamie ustnej kanały błonowe związane z receptorami przejściowego potencjału TRPA1, odpowiedzialne m.in. za odczuwanie pieczenia i bólu, a te z kolei przekazują sygnały sensoryczne do mózgu za pomocą nerwu trójdzielnego. Kwaśny smak związany z obecnością kwasów wykrywany jest przez komórki czuciowe rozsiane w kubkach smakowych języka, z których bodziec smakowy przekazywany jest do mózgu za pośrednictwem nerwów czaszkowych odpowiedzialnych za unerwienie języka. Badania dowodzą, że atrakcyjny dla świń kwaśny smak pobudzany jest przez zastosowanie kwasu cytrynowego lub winnego. Kwasy te są delikatne i nie wywołują uczucia pieczenia. Natomiast kwasy: octowy, mrówkowy i propionowy w nieodpowiednich stężeniach mogą wywołać bóle somatyczne i zmniejszyć spożycie paszy (44). Z badań

Ryc. 2. Mechanizm działania kwasu organicznego na komórkę bakterii (opracowanie własne)

Rudbäck (35) wynika, że zastosowanie w paszy kwasu octowego w ilościach nie przekraczających 150 mmol/kg bądź do 200 mmol/kg paszy kwasu mlekowego nie wpływa negatywnie na jej smakowitość i spożycie. Stosowanie tych preparatów w odpowiednich dawkach znacząco poprawia walory smakowe i zapachowe paszy oraz wody, co zwiększa ich pobranie przez prosięta.

Kwasy organiczne dzięki swym bakteriobójczym i bakteriostatycznym właściwościom hamują namnażanie patogennej mikroflory w przewodzie pokarmowym prosiąt. Dodatek 0,5% kwasu cytrynowego znacząco redukuje w kale prosiąt liczbę bakterii *Salmonella* Typhimurium, które wywołują zapalenie jelita cienkiego i grubego, a także *E. coli* o serotypie KCTC 2571. Po zastosowaniu tego kwasu zaobserwowano wyższy poziom immunoglobulin IgG, co powoduje wzrost odporności humoralnej (1). Także dodatek kwasu mrówkowego do paszy dla odsadzonych prosiąt przyczynił się do obniżenia populacji *E. coli*, co w niektórych doświadczeniach wpłynęło na zwiększenie masy ciała prosiąt o 10,5%, a także na zwiększenie ilości spożywanej paszy (21). W badaniach Zentek i wsp. (49) po dodaniu do paszy kwasu mrówkowego i mlekowego zaobserwowano w okężnicy redukcję komórek zawierających enetrotoksynę STb (ciepłostalą) wytwarzaną przez bakterię *E. coli*. Duże właściwości bakteriobójcze posiada także mrówczan potasu, który jest solą kwasu mrówkowego. Z badań wynika, że po aplikacji 2 kg/t mrówczanu potasu w mieszance dla loch na 5 dni przed oproszeniem zwiększyła się liczba prosiąt żywo urodzonych, a stosowanie tej samej dawki mrówczanu sodu w diecie macior przez okres 25 dni po oproszeniu wielokrotnie zwiększyło liczbę prosiąt odsadzonych od lochy oraz zwiększyło ich masę ciała (26, 27). Wykorzystanie tego komponentu w diecie prosiąt odsadzonych daje również pozytywne efekty. Aplikacja 0,9% mrówczanu sodu znacząco obniża pH treści pokarmowej w dwunastnicy, a dodatek

1,8% tego preparatu zwiększa spożycie i wykorzystanie paszy oraz podnosi przyrosty masy ciała prosiąt o 14%. Pomimo silnego działania zakwaszającego preparat ten nie powoduje korozji dozowników, jest bezwonny i nie wydziela ostrych oparów, co ma znaczenie także dla obsługi chlewni podczas zadawania go do pasz (6). Ponadto, zakwaszacze obniżając pH żołądka i jelit, poza eliminacją bakterii patogennych przyczyniają się do wzrostu populacji mikroorganizmów symbiotycznych. W badaniach Upadhaya i wsp. (40) zastosowanie w paszy dla świń 0,2% zakwaszacza chronionego, który stanowił mieszaninę kwasów organicznych i średniołańcuchowych kwasów tłuszczowych, spowodowało wzrost pożytecznych bakterii *Lactobacillus*. Bakterie te na drodze fermentacji produkują kwas mlekowy, przez co przyczyniają się do obniżenia pH żołądka, które blokuje rozwój patogennych bakterii preferujących wyższe pH środowiska ich bytowania. Zastosowanie chronionego zakwaszacza polepszyło spożycie paszy oraz przyrostyienne świń. Zmiany w populacji flory jelitowej zauważono także w trakcie badań, w których dodano do paszy dla 24-dniowych prosiąt 5000 mg/kg kwasu benzoowego. Kwas ten po 14 dniach stosowania przyczynił się do obniżenia pH okrężnicy, a po 42 dniach w jelicie krętym i ślepym, w porównaniu do grupy kontrolnej. Wzrosła także populacja bakterii fermentacji mlekowej rodzaju *Bifidobacterium* oraz symbiotycznych bakterii rodzaju *Bacillus*, natomiast uległa redukcji liczba bakterii *E. coli* i enterokoków, a koncentracja amoniaku w jelicie ślepym spadła. Zaobserwowano także pozytywny wpływ suplementacji diety tym kwasem na rozwój kosmków jelitowych, których wysokość po 14 dniach od momentu zastosowania zakwaszacza wzrosła średnio o 20%, natomiast głębokość krypt zmniejszyła się o 5-10% (9).

Wiele wskazuje na to, że zaburzenia w rozwoju kosmków jelitowych spowodowane są kolonizacją patogennych bakterii w przewodzie pokarmowym, które mają duży wkład w apoptozę i złuszczenie enterocytów. Obecność lipopolisacharydów, czyli endoksyn wchodzących w skład osłony komórkowej bakterii Gram-ujemnych, poza atrofią kosmków jelitowych może doprowadzić do stanów zapalnych, obrzęku podśluzówkowego, martwicy oraz krwotoków u prosiąt. W nabłonku jelit rozsiane są komórki wchodzące w skład bariery jelitowej, która zapobiega przenikaniu bakterii i patogenów przez nabłonek jelitowy. Są to: komórki kubkowe wydzielające śluz stanowiący fizyczną barierę dla bakterii, komórki Panetha zawierające lizozym, immunoglobulinę IgA i związki związane z defensynami, biorące udział w fagocytozie mikroorganizmów oraz komórki M, przechwytyjące antygeny bakteryjne, które potem prezentowane są limfocytom T, dlatego przewlekłe stany zapalne mogą mieć szkodliwy wpływ na prawidłowe funkcjonowanie bariery jelitowej. Wszystko wskazuje, że zastosowanie kwasów organicznych w mieszankach dla prosiąt pozytywnie wpływa na rozwój układu pokarmowego (24).

Pozytywny wpływ na rozwój kosmków jelitowych zaobserwowano także po zastosowaniu w diecie prosiąt

triacylogliceroli (MCT), będących tłuszczami, w których skład wchodzi średniołańcuchowe kwasy tłuszczowe. W badaniach Chwen i wsp. (7) na nowo narodzonych prosiątach dodatek do mleka mieszaniny trójglicerydów, które są źródłem łatwo przyswajalnej energii, spowodował wydłużenie się kosmków jelitowych dwunastnicy o ok. 480 μm po 6 godzinach od zastosowania preparatu, w porównaniu do prosiąt z grupy kontrolnej, które były żywione samym mlekiem. Natomiast głębokość krypt zmniejszyła się istotnie dopiero po 6 dniach o ok. 30 μm , a po 8 dniach o ok. 100 μm w stosunku do grupy kontrolnej. To spowodowało zwiększenie powierzchni wchłaniania substancji pokarmowych i zwiększenie masy ciała po 6 i 8 dniach. Udowodniono także, że dodatek MCT w diecie dla prosiąt polepszył wykorzystanie składników pokarmowych oraz zwiększył przyrost masy ciała (17, 23). W badaniach Hanczakowskiej i wsp. (14) zastosowanie w diecie kwasu kaprynowego, należącego do grupy średniołańcuchowych kwasów tłuszczowych (MCFA – Medium-chain fatty acids), polepszyło strawność suchej masy oraz białek. Badania dowiodły również, że mieszanina kwasu kaprynowego, mrówkowego i propionowego znacząco wpłynęła na rozwój kosmków jelitowych.

Kwas masłowy, a także jego sole są głównym źródłem energii dla kolonocytów. Związki te odgrywają kluczową rolę w procesach przebudowy i rozwoju nabłonka jelitowego (39). Maślan sodu, będący solą kwasu masłowego, w praktyce jest częściej stosowany, ponieważ posiada mniej intensywny zapach zjełczałego masła. Dodatek do kilograma paszy 1000 mg lub 500 mg maślanu sodu poprawia wskaźniki wzrostu, a także powoduje znaczne wydłużenie kosmków jelitowych ($p < 0,05$) w stosunku do grupy kontrolnej (50). Suplementacja diety maślanem sodu zwiększa ekspresję okludyny, czyli białka modelującego przepuszczalność jelitową. To powoduje wzmocnienie integralności nabłonka jelit i przyspiesza proces gojenia się ran (18, 28). Zastosowanie maślanu sodu wpływa na zmniejszenie udziału związanego z procesem zapalnym czynnika martwicy nowotworu TNF- α o 69%. Zauważono także spadek populacji bakterii z rodzaju *Clostridium* w okrężnicy, co ograniczyło częstotliwość występowania biegunk u odsadzonych prosiąt (tab. 1) (18). Ponadto, maślan sodu indukuje ekspresję niektórych peptydów przeciwbakteryjnych (HDP – Host Defence Peptides) w komórkach nabłonkowych jelit. Należą do nich peptydy przerywające błony komórkowe bakterii, takie jak protegryny oraz β -defensyny pBD-2, pBD-3 oraz pEP2C. Zastosowanie maślanu sodu zwiększa odporność wrodzoną i może być strategią w zwalczaniu infekcji wywołanych przez bakterie odporne na antybiotyki (45, 47). Inne badania dowiodły, że maślan sodu manipulując ekspresją endogennych peptydów obronnych (przeciwdrobnoustrojowych), przyczynia się do eliminacji *E. coli* o sterotypie O157:H7 wywołującej zespół hemolityczno-mocznicowy. Dodatek 2 g maślanu sodu na 1 kg paszy dla zainfekowanych tą bakterią prosiąt, zredukował liczbę tych patogenów w kale. To złagodziło objawy kliniczne zespołu hemolityczno-mocznicowego, a także skutki zapalenia jelit (45, 47).

Tab. 1. Funkcje kwasu masłowego i jego pochodnych w żywieniu prosiąt

Funkcje	Forma kwasu w dawce pokarmowej
Zmiany w mikroflorze jelitowej prosiąt	Hamowanie rozwoju bakterii <i>Salmonella</i> (3)
	Maślan sodu (25)
Wpływ na rozwój i funkcje układu pokarmowego	Utrzymanie integralności błony śluzowej jelit (12, 18)
	Maślan sodu (12), gliceryd kwasu masłowego (18)
	Zwiększenie ekspresji okludyny w śluzówce jelit (18)
	Gliceryd kwasu masłowego (18)
	Obniżenie poziomu dialdehydu malonowego w błonie śluzowej jelit, zmniejszenie stresu oksydacyjnego śluzówki jelit (18)
	Maślan sodu (18)
Działanie prozdrowotne i wpływ na funkcje immunologiczne	Wzmoczenie aktywności enzymów trawiennych w jelitach ($p < 0,05$) (10)
	Gliceryd kwasu masłowego (10)
	Znaczący wpływ na rozwój jelita cienkiego (10)
	Gliceryd kwasu masłowego (10)
	Polepszenie morfologii kosmków jelitowych, zwiększenie powierzchni kosmków jelitowych (10, 18, 25, 29)
	Maślan sodu (18, 25, 29), gliceryd kwasu masłowego (10)
Działanie prozdrowotne i wpływ na funkcje immunologiczne	Istotne zmniejszenie częstości występowania biegunek u odsadzonych prosiąt (12, 18)
	Maślan sodu (12, 18)
	Znaczący wpływ na rozwój śledziony (10)
	Gliceryd kwasu masłowego (10)
Działanie prozdrowotne i wpływ na funkcje immunologiczne	Polepszenie funkcji immunologicznych przez podwyższenie poziomu immunoglobulin IgA w błonie śluzowej jelit (10, 12) oraz zwiększenie poziomu IgG w surowicy krwi (12)
	Maślan sodu (12), gliceryd kwasu masłowego (10)
	Obniżenie poziomu czynnika martwicy nowotworu TNF- α w śluzówce jelit (18)
	Maślan sodu (18)
Wpływ na wskaźniki odchowu	Istotnie wyższe średnie przyrosty dzienne prosiąt, lepsze pobranie paszy oraz znaczna poprawa współczynnika konwersji paszy (18, 29)
	Maślan sodu (18, 29)

Ze względu na to, że poszczególne kwasy spełniają w diecie prosiąt różne funkcje, najlepsze efekty uzyskuje się przez zastosowanie odpowiednio zrównoważonych mieszanin kwasów organicznych i nieorganicznych. Zostało potwierdzone w badaniach, że najkorzystniejszy wpływ na zmiany w florze bakteryjnej jelit miało zastosowanie w diecie prosiąt mieszanki zakwaszającej zawierającej krótkołańcuchowe kwasy organiczne oraz średniołańcuchowe kwasy tłuszczowe (48, 49). Wieloskładnikowe zakwaszacze bilansowane są tak, aby wyzwolić synergiczny efekt ich działania, dzięki czemu taka mieszanina jest bardziej efektywna niż jej poszczególne komponenty z osobna i może działać aktywnie na całej długości układu pokarmowego. Poprzez odpowiednio zbilansowane mieszanki można także ograniczyć lub usunąć niepożądane cechy kwasów, takie jak nieprzyjemny zapach, niestabilność lub korozyjność (31). Przez to, że kwasy łatwo dysocjują już w żołądku, a ich działanie zakwaszające pożądanym jest także w jelitach, zastosowano nowe rozwiązania w produkcji zakwaszaczy polegające na ich buforowaniu lub otoczkowaniu, imikrokapsułowaniu. Buforowanie kwasów, np. przy użyciu amoniaku, pozwala na uzyskanie pro-

duktów o obniżonej agresywności w stosunku do układu pokarmowego i urządzeń do zadawania paszy, bezpiecznych w dozowaniu. Proces ten nie wpływa negatywnie na ich moc i skuteczność działania w różnych odcinkach przewodu pokarmowego prosiąt. Z kolei otoczkowanie i kapsułowanie polega na umieszczeniu kwasu na matrycy tłuszczowej, odpornej na zmiany pH, która jest rozkładana dopiero przez lipazy jelitowe. Dzięki temu kwasy uwalniane są dopiero w jelitach, gdzie skutecznie redukują patogenne bakterie. Wyniki badań wskazują również, że zastosowanie kwasów chronionych poprawiło znacznie wskaźniki wzrostu, strawność substancji odżywczych oraz ograniczyło powstawanie amin biogennych w jelicie grubym, a także uwalnianie amoniaku i siarkowodoru z kału (8, 41).

Z ekonomicznego punktu widzenia zakwaszacze są niezbędne w żywieniu prosiąt. Zastosowanie tych preparatów pozwala na uniknięcie głównych problemów związanych z okresem odsadzenia, który jest jednym najbardziej krytycznych momentów w produkcji trzody chlewnej. Zakwaszenie treści przewodu pokarmowego wzmacnia sekrecję enzymów trawiennych i aktywację proenzymów, co usprawnia trawienie białek i innych składników odżywczych. Zapobiega to zaleganiu

niestrawionej paszy w jelitach i namnażaniu patogennej mikroflory. Ponadto, dysocjacja kwasów w komórkach bakterii uniemożliwia namnażanie szczególnie tych z rodzaju *E. coli* i *Salmonella*, które są głównymi przyczynami biegunek i upadków prosiąt. Kwasy i ich sole mogą indukować ekspresję niektórych peptydów przeciwbakteryjnych w komórkach nabłonkowych jelit, przez co wspomagają zwalczanie infekcji. Maślan sodu zwiększając ekspresję okludyny, białka modelującego przepuszczalność jelitową, przyczynia się do wzmocnienia integralności nabłonka jelit oraz wzmacnia proces gojenia się ran. To wszystko wspomaga prawidłowe działanie bariery jelitowej. Kwasy są także źródłem niezbędnej energii dla kolonocytów. Dzięki powyższym właściwościom zakwaszacze mają istotny wpływ na strukturę nabłonka jelit, którego niezaburzony rozwój warunkuje prawidłowe wchłanianie substancji odżywczych. Efekt działania tych dodatków paszowych w przewodzie pokarmowym prosiąt można polepszyć przez zastosowanie zakwaszaczy otoczkowanych bądź mieszanin kwasów, których wspólne działanie jest silniejsze. Pozwala to maksymalnie poprawić spożycie paszy i zwiększyć przyrosty masy ciała prosiąt.

Piśmiennictwo

- Ahmed S. T., J. A., Hoon J., Mun H. S., Yang C. J.: Comparison of Single and Blend Acidifiers as Alternative to Antibiotics on Growth Performance, Fecal Microflora, and Humoral Immunity in Weaned Piglets. *Asian-Australas J. Anim. Sci.* 2014, 27, 93-100.
- Besten G. den, Eunen K. van, Groen A. K., Venema K., Reijnoud D. J., Bakker B. M.: The role of short-chain fatty acids in the interplay between diet, gut microbiota, and host energy metabolism. *J. Lipid. Res.* 2013, 54, 2325-2340.
- Boyen F., Haesebrouck F., Vanparys A., Volf J., Mahu M., Immerseel Van F., Rychlik I., Devulf J., Ducatelle R., Pasmans F.: Coated fatty acids alter virulence properties of *Salmonella* Typhimurium and decrease intestinal colonization of pigs. *Vet. Microbiol.* 2008, 132, 319-327.
- Canfora E. E., Jocken J. W., Blaak E. E.: Short-chain fatty acids in control of body weight and insulin sensitivity. *Nat. Rev. Endocrinol.* 2015, 11, 577-591.
- Chattopadhyay M. K.: Use of antibiotics as feed additives: a burning question. *Front. Microbiol.* 2014, 5, 334, 1-3.
- Chowdhury R., Haque M. N., Islam K. M. S., Khan Bang M. J. J.: Potassium diformate: a new alternative to antibiotic growth promoters. *Bang. J. Anim. Sci.* 2008, 37, 99-105.
- Chwen L. T., Foo H. L., Thanh N. T., Choe D. W.: Growth Performance, Plasma Fatty Acids, Villous Height and Crypt Depth of Preweaning Piglets Fed with Medium Chain Triacylglycerol. *Asian-Australas J. Anim. Sci.* 2013, 26, 700-704.
- Devi S. M., Lee K. Y., Kim I. H.: Analysis of the effect of dietary protected organic acid blend on lactating sows and their piglets. *R. Bras. Zootec.* 2016, 45, 85-92.
- Diao H., Zheng P., Yu B., He J., Mao X. B., Yu J., Chen D. W.: Effects of dietary supplementation with benzoic acid on intestinal morphological structure and microflora in weaned piglets. *Livest. Sci.* 2014, 167, 249-256.
- Dong L., Zhong X., He J., Zhang L., Bai K., Xu W., Wang T., Huang X.: Supplementation of tributyrin improves the growth and intestinal digestive and barrier functions in intrauterine growth-restricted piglets. *Clin. Nutr.* 2016, 35, 399-407.
- Dyrektorywa Komisji 2001/93/WE z dn. 9 listopada 2001 r. zmieniająca dyrektywę 91/630/EWG ustanawiającą minimalne normy ochrony świń.
- Fang C. L., Sun H., Wu J., Niu H. H., Feng J.: Effects of sodium butyrate on growth performance, haematological and immunological characteristics of weanling piglets. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 2014, 98, 680-685.
- Hanczakowska E., Szewczyk A.: Krótko- i średniołańcuchowe kwasy tłuszczowe w żywieniu prosiąt. *Rocz. Nauk. Zoot.* 2011, 38, 3-10.
- Hanczakowska E., Szewczyk A., Swiatkiewicz M., Okoń K.: Short- and medium-chain fatty acids as a feed supplement for weaning and nursery pigs. *Pol. J. Vet. Sci.* 2013, 16, 647-654.
- Hassaan M. S., Wafa M. A., Soltan M. A., Goda A. S., Mogheth N. M. A.: Effect of Dietary Organic Salts on Growth, Nutrient Digestibility, Mineral Absorption and Some Biochemical Indices of Nile Tilapia; *Oreochromis niloticus* L. Fingerlings. *World Appl. Sci. J.* 2014, 29, 47-55.
- Hijova E., Chmelarova A.: Short chain fatty acids and colonic health. *Bratisl. Lek. Listy* 2007, 108, 354-358.
- Hong S. M., Hwang J. H., Kim I. H.: Effect of Medium-chain Triglyceride (MCT) on Growth Performance, Nutrient Digestibility, Blood Characteristics in Weanling Pigs. *Asian-Australas. J. Anim. Sci.* 2012, 25, 1003-1008.
- Huang C., Song P., Fan P., Hou C., Thacker P., Ma X.: Dietary Sodium Butyrate Decreases Postweaning Diarrhea by Modulating Intestinal Permeability and Changing the Bacterial Communities in Weaned Piglets. *J. Nutr.* 2015, 145, 2774-2780.
- Kil D. Y., Kwon W. B., Kim B. G.: Dietary acidifiers in weanling pig diet: a review. *Rev. Colombiana de Ciencias Pecuarias* 2011, 24, 231-247.
- Kim Y. Y., Kil D. Y., Oh H. K., Han I. K.: Acidifier as an alternative material to antibiotics in animal feed. *Asian-Australas J. Anim. Sci.* 2005, 18, 1048-1060.
- Kirsch K.: The effect of organic acids used as feed additives on the nutrient conversion and bacteria population in the intestinal tract of weaning pigs. *Praca dokt.*: Department of Veterinary Medicine, Freie Universität Berlin 2011.
- Koyuncu S., Andersson M. G., Löfström C., Skandamis P. N., Gounadaki A., Zentek J., Häggblom P.: Organic acids for control of *Salmonella* in different feed materials. *BMC Vet. Res.* 2013, 9, 81.
- Li Y., Zhang H., Yang L., Zhang L., Wang T.: Effect of medium-chain triglycerides on growth performance, nutrient digestibility, plasma metabolites and antioxidant capacity in weanling pigs. *Anim. Nutrition J.* 2015, 195, 12-18.
- Liu Y.: Fatty acids, inflammation and intestinal health in pigs. *J. Anim. Sci. Biotechnol.* 2015, 6, 41-50.
- Lu J. J., Zou X. T., Wang Y. M.: Effects of sodium butyrate on the growth performance, intestinal microflora and morphology of weanling pigs. *J. Anim. Feed Sci.* 2008, 17, 568-578.
- Lückstädt C., Kühlmann K. J.: Dietary Potassium Diformate in Sows during Pre-Farrowing Till Weaning: Effects on Piglet Performance in Thailand. *Conference on International Research on Food Security, Natural Resource Management and Rural Development. Tropentag, Stuttgart* 2013, 1-4.
- Lückstädt C., Mellor S.: The use of organic acids in animal nutrition, with special focus on dietary potassium under European and Austral-Asian conditions. *Recent Adv. Anim. Nutrition, Australia* 2011, 18, 123-130.
- Ma X., Fan P. X., Li L. S., Qiao S. Y., Zhang G. L., Li D. F.: Butyrate promotes the recovering of intestinal wound healing through its positive effect on the tight junctions. *J. Anim. Sci.* 2015, 90, 266-268.
- Mazzoni M., Le Gall M., De Filippi S., Minieri L., Trevisi P., Wolinski J., Lalatta-Costerbosa G., Lalles J. P., Guilloyeau P., Bosi P.: Supplemental Sodium Butyrate Stimulates Different Gastric Cells in Weaned Pigs. *J. Nutr.* 2008, 138, 1426-1431.
- Papatsiros V. G., Christodoulouopoulos G., Filippopoulos L. C.: The use of organic acids in monogastric animals (swine and rabbits). *J. Cell Anim. Biol.* 2012, 6, 154-159.
- Piva A., Pizzamiglio V., Morlacchini M., Tedeschi M., Piva G.: Lipid microencapsulation allows slow release of organic acids and natural identical flavors along the swine intestine. *J. Anim. Sci.* 2007, 85, 486-493.
- Pluske J. R., Williams I. H., Aherne H. X.: Villous height and crypt depth in piglets in response to increases in the intake of cows' milk after weaning. *Anim. Sci.* 1996, 62, 145-158.
- Rajchert M., Gajewczyk P., Plazak E.: Wpływ zastosowania płynnego zakwaszacza z mieszaną typy prestarter na wyniki odchowu prosiąt. *Rocz. Nauk. Zoot.* 2011, 38, 73-85.
- Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 15 lutego 2010 r. w sprawie wymagań i sposobu postępowania przy utrzymywaniu gatunków zwierząt gospodarskich, dla których normy ochrony zostały określone w przepisach Unii Europejskiej. *Dz. U.* 2010 nr 56, poz. 344.
- Rudbäck L.: Organic acids in liquid feed for pigs -palatability and feed intake. *Rozp. Dokt.*, Department of Animal Nutrition and Management, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala 2013.
- Suiryanrayna M., Ramana J. V.: A review of the effects of dietary organic acids fed to swine. *J. Anim. Sci. Biotechnol.* 2015, 6, 45, 1-11.
- Strauss G., Hayler R.: Effects of organic acids on microorganisms. *Kraftfutter* 2001, 4, 1-4.
- Szewczyk A., Hanczakowska E.: Właściwości i zastosowanie średniołańcuchowych kwasów tłuszczowych (MCFA) i ich monoacylgliceroli (MCM). *Wiad. Zootech.* 2010, 48, 21-26.
- Tonel I., Pinho M., Lordelo M. M., Cunha L. F., Garres P., Freire J. P. B.: Effect of butyrate on gut development and intestinal mucosa morphology of piglets. *Livest. Sci.* 2010, 133, 222-224.
- Upadhaya S. D., Lee K. Y., Kim I. H.: Effect of protected organic acid blends on growth performance, nutrient digestibility and faecal microflora in growing pigs. *J. Appl. Anim. Res.* 2016, 44, 238-242.
- Upadhaya S. D., Lee K. Y., Kim I. H.: Influence of protected organic acid blends and diets with different nutrient densities on growth performance, nutrient digestibility and faecal noxious gas emission in growing pigs. *Vet. Med-Czech.* 2014, 59, 491-497.
- Vondruskova H., Slamova R., Trekova M., Zraly Z., Pavlik I.: Alternatives to antibiotic growth promoters in prevention of diarrhoea in weaned piglets: a review. *Vet. Med-Czech.* 2010, 55, 199-224.
- Wales A. D., Allen V. M., Davies R. H.: Chemical Treatment of Animal Feed and Water for the Control of *Salmonella* Foodborne Pathog. *Dis.* 2010, 7, 3-15.
- Wang Y. Y., Chang R. B., Allgood S. D., Silver W. L., Liman E. R.: A TRPA1-dependent mechanism for the pungent sensation of weak acids. *J. Gen. Physiol.* 2011, 137, 493-505.
- Xiong H., Guo B., Wang Y.: Butyrate enhances disease resistance of piglets through up-regulated gene expression of endogenous host defense peptides. *Prac. Animal Health: Swine Health&Transition Cows. Orlando, Florida* 2015, 272.
- Yang F., Hou C., Zeng X., Qiao S.: The Use of Lactic Acid Bacteria as a Probiotic in Swine Diets. *Pathogens* 2015, 4, 34-45.
- Zeng X., Sunkara L. T., Jiang W., Bible M., Carter S., Ma X., Qiao S., Zhang G.: Induction of Porcine Host Defense Peptide Gene Expression by Short-Chain Fatty Acids and Their Analogs. *PLoS One.* 2013, 8(8): e72922. doi:10.1371/journal.pone.0072922
- Zentek J., Buchheit-Renko S., Ferrara F., Vahjen W., Kessel A. G. van, Pieper R.: Nutritional and physiological role of medium-chain triglycerides and medium-chain fatty acids in piglets. *Anim. Health Res. Rev.* 2011, 12, 83-93.
- Zentek J., Ferrara F., Pieper R., Tedin L., Meyer W., Vahjen W.: Effects of dietary combinations of organic acids and medium chain fatty acids on the gastrointestinal microbial ecology and bacterial metabolites in the digestive tract of weaning piglets. *J. Anim. Sci.* 2013, 91, 3200-3210.
- Zheng-Shun Wen, Jian-Jun Lu, Xiao-Ting Zou.: Effects of Sodium Butyrate on the Intestinal Morphology and DNA-binding Activity of Intestinal Nuclear Factor-κB in Weanling Pigs. *J. Anim. Vet. Adv.* 2012, 11, 814-821.

Adres autora: mgr inż. Anna Woźniakowska, ul. Oczapowskiego 5/355, 10-719 Olsztyn; e-mail: anna.wozniakowska@uwm.edu.pl