

ZNACZENIE ZDOLNOŚCI WIĄZANIA KWASÓW (ABC) W ŻYWIENIU PROSIĄT



Krzysztof Lipiński

Katedra Żywienia Zwierząt,
Pasznictwa i Hodowli Bydła
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski
w Olsztynie

W literaturze i w praktyce żywieniowej świń spotyka się dwa powiązane pojęcia: pojemność buforową (buffering capacity, BC) oraz zdolność wiązania kwasów (acid-binding capacity, ABC). Oba parametry opisują, jak pasze „zachowuje się” w kontakcie z kwasem lub zasadą, ale robią to w nieco inny sposób. BC (pojemność buforowa) mówi o „odporności” próbki na zmianę pH – czyli ile kwasu lub zasady trzeba dodać, aby pH zmieniło się o określoną wartość. ABC jest natomiast wskaźnikiem bardziej praktycznym w żywieniu prosiąt, ponieważ opisuje wprost, ile kwasu (najczęściej w przeliczeniu na HCl) potrzeba, aby doprowadzić 1 kg mieszanki paszowej lub surowca paszowego (materiały i dodatki paszowe) do zadanego punktu końcowego pH. W badaniach i kalkulatorach spotyka się głównie dwa punkty końcowe: ABC-3 (miareczkowanie do pH 3,0) oraz ABC-4 (miareczkowanie do pH 4,0). Kluczową zasadą jest, aby porównywać wyniki tylko w obrębie tego samego standardu (ABC-3 z ABC-3 lub ABC-4 z ABC-4), ponieważ wartości liczbowe zależą od przyjętego końcowego pH.

Zdolność wiązania kwasów (ABC) wyraża się jako ilość mEq roztworu do miareczkowania potrzebną do doprowadzenia 1 kg próbki do pH końcowego. W obliczeniach wykorzystuje się objętość zużytego roztworu V (w mL) oraz jego normalność N (w eq/L). W przypadku miareczkowania kwasem (HCl) wynik jest dodatni, a w przypadku miareczkowania zasadą (NaOH) – ujemny. Wybór punktu końcowego w oznaczaniu ABC ma znaczenie interpretacyjne. ABC-3 bywa uznawane za bardziej „fizjologiczne”, ponieważ bardzo kwaśne środowisko sprzyja aktywacji pepsynogenu i efektywnej wstępnej proteolizie białka (Lawlor i in., 2005). Zastosowanie wskaźnika ABC-3 wymaga użycia większej ilości kwasu oraz dłuższego czasu pomiaru. Stwierdzono ponadto, że końcowe pH w pomiarze ABC ma mniejsze znaczenie, ponieważ wartości ABC-3 i ABC-4 są ze sobą silnie skorelowane (Lawlor i in. 2005, Wang i in. 2023). Z tego względu ABC-4 jest powszechnie stosowany jako wskaźnik

do porównywania surowców i przewidywania wpływu diety na zdolność zakwaszania treści żołądkowej u odsadzonych prosiąt (Stas i in., 2022; KSU, 2024). Dodatkowo zastosowanie wskaźnika ABC-3 wymaga użycia większej ilości kwasu oraz dłuższego czasu pomiaru. W przeglądzie dotyczącym ABC w żywieniu świń podkreślono, że składniki o wysokim ABC sprzyjają podwyższaniu pH treści żołądka po odsadzeniu, co ma znaczenie dla trawienia białka i zdrowia przewodu pokarmowego, co dodatkowo uzasadnia praktyczne wykorzystanie ABC-4 w mieszankach paszowych prestarterowych i starterowych (Wang i in., 2023).

Pojemność buforowa (BC) opisuje natomiast, ile mEq roztworu do miareczkowania przypada na jednostkę zmiany pH w analizowanym zakresie. Ponieważ w praktyce w oznaczeniu ABC znamy zarówno pH końcowe (pH końcowe), jak i pH początkowe (pH₀), można obliczyć całkowitą zmianę pH, a następnie wyznaczyć pojemność buforową dzieląc ABC przez zmianę pH.

Tak zdefiniowana BC mówi, jaka była średnia „odporność” próbki na zmianę pH w badanym zakresie (od pH₀ do pH końcowego). Trzeba jednak podkreślić, że krzywe miareczkowania pasz i surowców są zwykle nieliniowe, więc BC – jako wartość uśredniona – zależy od przyjętego zakresu pH. Z tego powodu w żywieniu świń, szczególnie w żywieniu prosiąt po odsadzeniu, częściej stosuje się ABC, ponieważ łatwiej ją interpretować i porównywać w kontekście obciążenia żołądka kwasem solnym. W praktyce wysokie wartości ABC oznaczają, że prosię musi „zużyć” więcej HCl, aby obniżyć pH treści żołądkowej do poziomu sprzyjającego aktywacji pepsyny i ograniczeniu przeżywalności drobnoustrojów. Z kolei niskie (a nawet ujemne) wartości ABC są charakterystyczne dla materiałów o wyraźnie kwaśnym charakterze (np. niektórych kwasów organicznych i nieorganicznych), które w warunkach oznaczenia nie wykazują zdolności wiązania kwasu, lecz wnoszą do układu netto kwasowość (ładunek protonów).

Podsumowując, ABC (np. ABC-3 lub ABC-4) jest miarą „ile kwasu potrzeba do obniżenia kwasowości do konkretnego pH”, a BC jest miarą „ile kwasu potrzeba na zmianę pH o 1 jednostkę” w określonym przedziale.

Zdolność wiązania kwasów przez mieszanki paszowe (ABC-4) jest kolejnym istotnym parametrem w bilansowaniu mieszanek paszowych dla prosiąt. Rezultaty badań wykazały poprawę wyników wzrostowych oraz zawartości suchej masy w kale, gdy mieszanki paszowe formułowano na poziomie 200 mEq/kg w okresie od 0. do 10. dnia po odsadzeniu, a następnie do 250 mEq/kg w okresie od 10. do 24. dnia po odsadzeniu (Stas i in., 2025). W mieszankach bez osłony w postaci farmakologicznych dawek ZnO poziom ABC-4 powinien być jeszcze mniejszy, tj. 140-200 meq (6-12 kg) i 200-250 meq/kg (12-27 kg masy ciała) (dane nie publikowane).

W recepturach prestarterów i starterów ostateczna wartość ABC jest determinowana przede wszystkim przez składniki mineralne oraz frakcję białkową, a dopiero w dalszej kolejności przez zboża. Najsilniej ABC podnoszą źródła wapnia i fosforu. Duże znaczenie mają także dodatki mineralne o wysokiej buforowości (w tym ZnO, jeżeli występuje), poziom i rodzaj komponentów wysokobiałkowych oraz obecność i forma kwasów organicznych (wolne kwasy vs. sole kwasów) i mieszanin handlowych na nośnikach. Z tego powodu obniżanie ABC rzadko polega na małych korektach w obrębie komponentów, a częściej na świadomych decyzjach dotyczących pasz wysokobiałkowych, mineralnych (Ca i P) oraz strategii zakwaszania.

Najważniejszą rolę odgrywa wapń – zarówno jego poziom, jak i przede wszystkim forma chemiczna, w jakiej jest wprowadzany do mieszanki. W praktyce podstawowym źródłem Ca jest węgiel wapnia (kreda, CaCO_3), który należy do najsilniej buforujących surowców stosowanych w żywieniu świń. Dane zestawiane w literaturze pokazują, że ABC-4 kredy może osiągać wartości rzędu kilkunastu tysięcy mEq/kg (12 932 mEq/kg – Lawlor i in. 2005), co sprawia, że nawet niewielkie zmiany udziału CaCO_3 w recepturze potrafią wyraźnie podnieść zdolność wiązania kwasów (ABC) całej mieszanki paszowej. W literaturze podkreśla się, że duża zmienność wartości ABC/BC w obrębie tej samej paszy mineralnej (w tym w kredzie pastewnej) może wynikać m.in. z właściwości próbki takich jak rozmiar cząstek i rozpuszczalność. Innymi słowy: nawet jeśli to „ta sama” kreda ma określone wartości tabelaryczne, jej realne zachowanie w miareczkowaniu i w żołądku może się różnić, ponieważ zależy od tego, jak szybko reaguje i się rozpuszcza.

W praktyce żywienia prosiąt często to jedno z najskuteczniejszych narzędzi obniżania ABC, o ile równolegle dopilnuje się bilansu Ca:P i biodostępności. Mrówczan wapnia. To najczęściej opisywana alternatywa w kontekście obniżania ABC. Źródła branżowe i praktyczne zalecenia wskazują na częściową lub całkowitą zamianę kredy pastewnej (CaCO_3) na mrówczan wapnia jako źródło Ca w mieszankach dla prosiąt odsadzonych – właśnie po to, by obniżyć buforowość/ABC. W cytowanym materiale podano przykładowo, że „wartość bezwzględna” dla kredy to ok. 13000 mEq/kg, a dla mrówczanu wapnia ok. 4000 mEq/kg,

czyli wyraźnie mniej (Lawlor i in. 2005, He i in. 2022). Może być również stosowany cytrynian i siarczan wapnia, aczkolwiek mniej jest informacji naukowych na ten temat.

Dodatkowym, bardzo praktycznym kierunkiem obniżania ABC w mieszankach prosięcych jest precyzyjne bilansowanie wapnia – nie tylko wybór jego źródła, ale także unikanie nadmiaru Ca „na zapas”. W ostatnich latach w żywieniu świń coraz mocniej podkreśla się, że nadmierny poziom wapnia może działać niekorzystnie (m.in. przez podwyższenie buforowości treści pokarmowej, zaburzenie relacji Ca:P i ograniczenie efektywności wykorzystania fosforu oraz działania fitazy, dlatego zalecenia formułacyjne odchodzą od wysokich poziomów całkowitego Ca na rzecz bardziej „precyzyjnego” dopasowania do potrzeb i bilansowania w oparciu o strawność/standaryzowaną strawność w przewodzie pokarmowym (STTD) Ca i P oraz właściwe relacje Ca:P (Stein, 2016; Stein, 2024; Lee i in., 2023). W praktyce oznacza to, że obecnie częściej stosuje się niższe poziomy Ca w mieszankach dla prosiąt niż dawniej, zwłaszcza w pierwszych fazach po odsadzeniu, ponieważ to właśnie wtedy wysoka zdolność wiązania kwasów najsilniej utrudnia obniżenie pH w żołądku, a prosię ma ograniczoną zdolność wydzielania HCl. Kierunek ten jest spójny z danymi doświadczalnymi pokazującymi, że mieszanki paszowe o wyższym poziomie Ca i P mogą pogarszać wyniki i parametry zdrowotne prosiąt w porównaniu do mieszanek paszowych o poziomach umiarkowanych/niższych (Gerlinger i in., 2019).

W tym miejscu kluczowe znaczenie ma fitaza i jej matryce żywieniowe, ponieważ stosowanie fitazy zwiększa wykorzystanie fosforu z fitynianów, ale też poprawia wykorzystanie części innych związanych składników pokarmowych, co pozwala bezpiecznie obniżyć dodatek fosforanów mineralnych, a w konsekwencji także utrzymywać niższy poziom Ca (mniej kredy/węglanu), przy zachowaniu wymaganego bilansu Ca:P oraz pokrycia potrzeb zwierząt (Stein, 2016;). W praktyce żywieniowej matryce fitaz często zakładają określony „wzrost” przyswajalności składników (np. równoważnik uwalnianego P i Ca przy danej dawce FTU), co daje możliwość obniżenia poziomu pasz mineralnych o wysokim ABC i tym samym zmniejszenia buforowości mieszanki; przykładowo w materiałach branżowych spotyka się matryce rzędu ok. 0,15% P dostępnego i ~0,165% Ca przy dawce 500 FTU (Benison Media, 2021).

Fosfor jest równie istotny, a zwłaszcza forma fosforanów stosowanych w paszy. Pod względem ABC różnice między fosforanami mogą być bardzo duże: w klasycznych pomiarach Lawlora i in. (2005) fosforan 2 Ca (DCP) miał wysokie ABC-4 średnio 3098 ± 1028 mEq/kg, natomiast fosforan mono-dwuwapniowy (MDCP) miał wielokrotnie mniejsze wartości – średnio 291 ± 160 mEq/kg (Lawlor i in., 2005). W przypadku fosforanu 1 Ca (MCP) wartość ABC-4, to tylko 73 mEq/kg (Stas i in. 2022). Oznacza to, że wybór MCP zamiast DCP bywa jedną z najbardziej „wydajnych” strategii obniżania ABC mieszanek paszowych – oczywiście pod warunkiem utrzymania prawidłowego bilansu Ca:P oraz uwzględnienia dostępności fosforu. W praktyce to właśnie układ: źródło Ca + źródło P decyduje o tym, czy mieszanka będzie „łatwa do zakwaszenia”, czy też będzie wymagała dużej pracy żołądka i/lub wysokich dawek zakwaszacza.

W tym miejscu kluczowa jest rola fitazy, ponieważ pozwala ona zmniejszyć udział fosforanów mineralnych (a więc także częściowo obniżyć ładunek buforowy z frakcji mineralnej) przy zachowaniu pokrycia potrzeb na fosfor strawny. Fitaza hydrolizuje fityniany, zwiększając strawność i retencję fosforu, a jednocześnie ogranicza antyżywniowe działanie fitynianu (wiązanie składników mineralnych, białek), co pośrednio poprawia wykorzystanie składników pokarmowych i stabilizuje środowisko jelit (porównania poziomów i dawek fitazy pokazują systematyczny wzrost strawności P wraz z dodatkiem enzymu) (Akinmusire i Adeola, 2009). Z punktu widzenia strategii „niskie-ABC” ważne jest to, że efektywna fitaza daje realną przestrzeń do zmniejszenia dodatku fosforanów oraz do precyzyjniejszego bilansowania Ca:P, co zmniejsza presję na zakwaszacze i ułatwia utrzymanie niższego pH treści żołądka prosiąt.

Coraz częściej dyskutuje się też o tzw. superdosingu fitazy, czyli stosowaniu dawek wielokrotnie wyższych od „standardowych” (praktycznie często rzędu 2000–3000 FTU/FYT/kg), aby dążyć do możliwie pełnej hydrolizy fitynianu już w górnym odcinku przewodu pokarmowego. W praktyce formulacyjnej najlepszy efekt (zarówno dla ABC, jak i dla wykorzystania składników mineralnych daje podejście łączone: (1) wybór fosforanu o niższym ABC, (2) redukcja dodatku fosforanów dzięki fitazie, oraz (3) utrzymywanie właściwego stosunku Ca:P, ponieważ nadmiar Ca może ograniczać efektywność fitazy i zwiększać buforowość mieszanek. To właśnie w takim układzie źródło P staje się elementem sterującym zakwaszaniem treści żołądkowej i stabilnością jelit u prosiąt po odsadzeniu.

Na pojemność buforową wpływa również sód, ale jego wpływ w postaci NaCl jest mały (ABC-4, 83 meq/kg).

Osobną kategorią o bardzo wysokiej zdolności wiązania kwasów jest tlenek cynku (ZnO). Historycznie był on stosowany w żywieniu prosiąt w dawkach farmakologicznych, a jednocześnie wносił bardzo wysoki wkład do ABC mieszanki paszowej (16321-21638 meq/kg). Dane literaturowe pokazują, że ZnO należy do najwyższych buforujących składników, a jego obecność może istotnie podnosić ABC-4 mieszanek mimo relatywnie niewielkiego udziału procentowego. Z punktu widzenia praktyki oznacza to, że przy formulacjach zawierających duże dawki tlenku cynku kontrola ABC staje się szczególnie trudna, a przy ograniczeniu ZnO – jednocześnie bardziej potrzebna (ponieważ znika element „ochronny”) i łatwiejsza (znika jeden z najwyższych w zakresie ABC komponentów) (Lowlor i in. 2005, KSU, 2024).

W recepturach dla prosiąt często nie docenia się wpływu mikroelementów i premiksów na końcową zdolność wiązania kwasów (ABC), ponieważ ich udział w mieszance jest niewielki - premiksy, ale czasami duży (MPU-tzw. „premiksy farmerskie”). Tymczasem literatura wskazuje, że właśnie ta grupa dodatków może mieć bardzo wysokie wartości ABC-4 i jednocześnie dużą zmienność, co sprawia, że potrafi zwiększyć ABC całej mieszanki paszowej bardziej, niż wynikałoby to z samego udziału w recepturze. W badaniach, gdzie porównywano kategorie dodatków (mikroelementy) należały one do grup o najwyższych

wartościach ABC, a szczególnie wysokie wartości notowano dla tlenku cynku (ZnO). Dla praktyki żywienia prosiąt jest to kluczowe, ponieważ nawet gdy ZnO nie jest dodawany w dawkach farmakologicznych, pewien poziom cynku i innych mikroelementów i tak pochodzi z premiksu mineralnego, a same premiksy mogą mieć istotne ABC-4: w jednym z zestawień wartości ABC-4 dla premiksu witaminowego wynosiły ok. 10 767 meq/kg, a dla premiksu mineralnego ok. 7 867 meq/kg (Stas i in. 2022). To oznacza, że premiks – mimo niskiego udziału w recepturze – wnosí pewien „ładunek buforowy”, a przy precyzyjnym bilansowaniu ABC w mieszankach paszowych prestarter/starter nie powinien być pomijany.

Istotnym problemem jest również duża zmienność pH początkowego i wartości ABC w obrębie tej samej kategorii dodatków mineralnych. Przeglądy danych wskazują, że pH związków mineralnych może się znacząco różnić między źródłami, a nawet premiksy witaminowe i mineralne w jednych badaniach miały pH bardzo niskie, a w innych wysokie, co pokazuje, że ich wpływ na ABC zależy nie tylko od rodzaju, ale też od składu, nośnika i partii surowca. Na przykład zeolit charakteryzuje się wartością ABC-4 na poziomie 5820 meq/kg, nośnik organiczny (z kolb kukurydzy) tylko 100 meq/kg. Z punktu widzenia formulacji oznacza to, że jeżeli celem jest kontrola ABC (np. utrzymanie niskiego ABC-3/ABC-4 w mieszankach paszowych), to wartości tabelaryczne dla premiksów i mikroelementów mogą nie wystarczyć – lepszym rozwiązaniem jest posługiwanie się wartościami ABC dla konkretnych premiksów stosowanych w danej wytwórni lub przynajmniej uwzględnianie przedziałów zmienności. Dodatkowo należy pamiętać, że nie wszystkie sole mineralne zachowują się „buforująco”, a część związków mineralnych może mieć bardzo niskie lub nawet ujemne ABC-4 (np. formy siarczanów), co potwierdza, że o wpływie dodatku nie decyduje sam składnik mineralny, lecz forma chemiczna (tlenek vs. sól). W praktyce oznacza to, że przy projektowaniu pasz prosięcych, gdzie liczy się szybkie obniżenie pH treści żołądkowej, kontrola ABC powinna obejmować nie tylko główne surowce, ale również mikroelementy i premiksy, zwłaszcza gdy równolegle stosuje się zakwaszacze – ponieważ wysoki „ładunek buforowy” z dodatków mineralnych może częściowo ograniczać efekt zakwaszania.

Drugim dużym blokiem czynników wpływających na ABC mieszanki paszowej jest białko – zarówno jego ilość, jak i rodzaj/jakość. Surowce białkowe (mączki, koncentraty, białka mleczne i roślinne) w większości zestawień mają wyższą pojemność buforową niż zboża, choć niższą niż część pasz mineralnych. Wpływ białka na ABC jest jednak złożony. Po pierwsze, same związki białkowe mają zdolność buforowania w zakresie fizjologicznych pH, a więc im większy udział frakcji białkowej, tym większa zdolność wiązania kwasów. Po drugie, część komponentów białkowych wnosí istotną ilość składników mineralnych (popiół surowy, wapń), co dodatkowo podnosi ABC. W badaniach dotyczących mieszanek prosięcych obserwowano, że wzrost udziału poekstrakcyjnej śrutki sojowej może zwiększać ABC-4 mieszanek paszowych, a różne technologie przygotowania białka (np. wysoka temperatura, enzymy, fermentacja) mogą zmieniać wartości ABC

i zachowanie mieszanki paszowej w żołądku. Z żywieniowego punktu widzenia praktycznym kierunkiem jest więc strategia obniżania poziomu białka ogólnego przy zachowaniu właściwego profilu aminokwasów strawnych (SID) oraz dobór białek o wysokiej strawności i niższej wartości ABC, co jednocześnie wspiera ograniczanie fermentacji w jelitach.

Jeśli uporządkujemy surowce białkowe według pochodzenia, to w grupie surowców roślinnych jako punkt odniesienia najczęściej znajduje się poekstrakcyjna śruta sojowa (PŚS). W zestawieniach surowców wartości ABC-4 dla tej paszy wynoszą około 613 mEq/kg (średnio) (KSU, 2024). W praktyce oznacza to, że wzrost udziału PŚS w recepturze – przy niezmienionym układzie mineralnym – powoduje tendencję do podnoszenia ABC-4 całej mieszanki paszowej, co jest obserwowane w pracach omawiających wpływ składników i strategii „low ABC-4” na żywienie prosiąt (Stas i in. 2022). Inne klasyczne pasze wysokobiałkowe pochodzenia roślinnego zwykle charakteryzują się nieco mniejszymi wartościami, m.in. poekstrakcyjna rzepakowa ok. 498 mEq/kg, słonecznikowa ok. 482 mEq/kg, pełnotłusta soja ok. 480 mEq/kg, łubiny ok. 337 mEq/kg oraz gluten kukurydziany ok. 114 mEq/kg, co pokazuje, że „surowce roślinne” nie zawsze automatycznie charakteryzuje „wysokie ABC”, a o wyniku w dużym stopniu decyduje skład mineralny i charakter frakcji białkowych (Lawlor i in., 2005). Niskie wartości ABC są również charakterystyczne dla drożdży (150 mEq/kg) i białka bakteryjnego (196 mEq/kg) (badania własne).

Największy rozrzut wartości występuje jednak w obrębie specjalistycznych produktów sojowych, gdzie technologia potrafi zmienić ABC-4 o setki mEq/kg. W zestawieniu Kansas State University dla surowców paszowych stosowanych w mieszankach paszowych dla prosiąt typowa PŚS charakteryzowała się wartością ABC-4 na poziomie ok. 615 mEq/kg, natomiast niektóre produkty sojowe przetwarzane odznaczały się większymi wartościami (np. Soytide: ok. 853 mEq/kg), a równolegle pojawiały się produkty o bardzo małej wartości ABC-4 (np. MEPro: ok. 87 mEq/kg-fermentowana śruta sojowa). Przeglądy i analizy dotyczące ABC-4 materiałów paszowych stosowanych w mieszankach paszowych dla prosiąt wskazują, że fermentowane produkty sojowe mogą mieć niższe ABC-4 niż klasyczna poekstrakcyjna śruta sojowa i uszlachetnione białka sojowe (fermentowana PŚS – 87-207 mEq/kg), a w skrajnych przypadkach – gdy proces obejmuje dodatkowe zabiegi zakwaszające – notowano nawet wartości ujemne ABC-4 (fermentowane izolaty soi: -13 mEq/kg) (Stas i in. 2022, KSU, 2024). Z żywieniowego punktu widzenia produkty fermentowane dobrze wpisują się w strategię kontroli białka ogólnego i ograniczania nadmiaru substratu do niepożądanego fermentacji białkowej w jelitach, a także o niższej wartości ABC-4 (Stas i in. 2022). To ma bardzo praktyczną konsekwencję: uszlachetnione produkty sojowe nie zawsze oznaczają się niższą wartością ABC-4 – czasem technologia poprawiająca strawność i redukująca czynniki antyżywniowe nie idzie w parze z niższą wartością ABC, a więc przy strategii obniżania ABC-4 potrzebna jest matryca ABC-4 dla konkretnych produktów (KSU, 2024).

W grupie pasz pochodzenia zwierzęcego wpływ na ABC-4 bywa jeszcze mniej korzystny, ponieważ surowce te często mają większą zawartość składników mineralnych (popiół surowy) i wnoszą więcej kationów. Mączka rybna może mieć bardzo wysokie ABC-4 i jednocześnie dużą zmienność między partiami (w zestawieniu KSU średnio ok. 1189 mEq/kg z wysokim odchyleniem), a mączka drobiowa ok. 1007 mEq/kg; podobnie plazma wołowa suszona rozpyłowo ok. 856 mEq/kg (KSU, 2024). W segmencie pasz mlecznych wartości są zróżnicowane: suszona serwatka i permeat serwatkowy w tym samym zestawieniu charakteryzowały się ABC-4 na poziomie odpowiednio ok. 450 oraz ok. 507 mEq/kg, natomiast laktoza krystaliczna ok. 32 mEq/kg. To wyjaśnia, dlaczego nawet niewielkie dodatki surowców zwierzęcych o wysokiej wartości ABC-4 mogą zauważalnie zmienić ABC-4 całej mieszanki paszowej (KSU, 2024).

Obniżanie poziomu białka ogólnego w mieszankach paszowych dla prosiąt bardzo często oznacza większe stosowanie aminokwasów czystych (krystalicznych), co pozwala obniżyć białko ogólne bez pogorszenia pokrycia potrzeb na aminokwasy strawne (SID) (NRC, 2012). Z punktu widzenia ABC-4 jest to zwykle korzystne, ponieważ redukcja udziału surowców białkowych (np. poekstrakcyjna śruta sojowa) ogranicza frakcję wiążącą kwasy i jednocześnie zmniejsza dopływ składników mineralnych (popiołu surowego i kationów) z komponentów białkowych, co ułatwia utrzymanie niższej wartości ABC-4 całej mieszanki paszowej (Lawlor et al., 2005). Dodatkową korzyścią żywieniową obniżania BO przy wsparciu aminokwasami krystalicznymi jest mniejsza ilość niestrawionego białka trafiającego do jelita grubego, a więc potencjalnie mniejsza fermentacja i niższe ryzyko zaburzeń jelitowych po odsadzeniu (Stas i in. 2022).

W mieszankach paszowych dla prosiąt najczęściej wykorzystuje się L-lizynę (HCl lub siarczan), DL-metioninę lub analogi metioniny, L-treoninę, L-tryptofan, L-walinę i L-izoleucynę. Trzeba jednak pamiętać, że forma chemiczna ma znaczenie technologiczne: np. lizyna w formie HCl wnosi chlorki i ma kwaśny charakter, co może nieznacznie wspierać zakwaszanie, natomiast inne sole aminokwasów mogą zachowywać się inaczej; dlatego przy uwzględnianiu w bilansowaniu ABC-4 warto w matrycy uwzględnić nie tylko dawkę aminokwasu, ale też jego nośnik/jon towarzyszący (np. HCl vs siarczan).

Sumarycznie, odpowiednie użycie aminokwasów krystalicznych jest jednym z najskuteczniejszych narzędzi, by jednocześnie (1) utrzymać wysoką strawność i precyzję żywienia, (2) ograniczyć BO i skutki fermentacji, oraz (3) ułatwić obniżenie ABC-4 mieszanek paszowych bez nadmiernego użycia zakwaszaczy (Stas i in., 2022; KSU 2024). Wartości ABC-4 dla aminokwasów kształtują się na następującym poziomie: L-lizyna - 83-120 mEq/kg, DL-metionina - 137/kg, hydroksyanalog metioniny - minus 4 193 mEq/kg, L-treonina - 160-218 mEq/kg, L-tryptofan - 120-160-180 mEq/kg, L-walina - 193-200 mEq/kg, L-izoleucyna - 200-207 mEq/kg (Lawlor i in. 2005; Stas i in., 2022; KSU 2024).

Zboża stanowią surowiec energetyczną mieszanek paszowych dla prosiąt i – w porównaniu z paszami wysokobiałkowymi oraz paszami mineralnymi – są zwykle

grupą o relatywnie niskiej zdolności wiązania kwasów (ABC-4), dlatego ich udział ma korzystny wpływ na ABC-4. W praktycznych zestawieniach pasz stosowanych w prestarterach średnie wartości ABC-4 dla zbóż mieszczą się najczęściej w przedziale kilkudziesięciu do ok. 120 mEq/kg, czyli wyraźnie mniej niż typowe surowce wysokobiałkowe (np. PŚS ~600+) i zdecydowanie niżej niż kreda czy część fosforanów (KSU, 2024). Dla porównania: kukurydza charakteryzuje się przeciętnie ok. 92–93 mEq/kg, jęczmień ok. 77 mEq/kg, pszenica ma najniższy wskaźnik (w zależności od typu ok. 43 - 60 mEq/kg), aczkolwiek w innych źródłach wartości ABC-4 dla pszenicy kształtują się na poziomie kukurydzy. Sorgo i owies należą do zbóż o większych parametrach ABC-4 (odpowiednio ok. 110 mEq/kg i ok. 104–109 mEq/kg) (Lawlor i in. 2005; KSU, 2024).

Istotne znaczenie w strategii utrzymania niskiej zdolności wiązania kwasów (ABC-4) ma stosowanie kwasów organicznych. Zakwaszacze w żywieniu prosiąt stosuje się przede wszystkim po to, aby ułatwić obniżenie pH treści żołądka po odsadzeniu, poprawić warunki dla aktywacji pepsyny i trawienia białka oraz ograniczyć namnażanie bakterii. W kontekście pojemności buforowej/zdolności wiązania kwasów kluczowe jest jednak zrozumienie, że „zakwaszacz” nie zawsze oznacza niskie ABC. Wynika to z samej metody oznaczania: ABC wyznacza się miareczkowaniem (najczęściej 0,1 N HCl) do zadanego pH końcowego (np. pH 4 lub pH 3) i wyraża jako ilość kwasu (mEq HCl/kg) potrzebną do osiągnięcia tego pH. Jeżeli próbka jest już „z natury” kwaśna i jej pH początkowe leży poniżej pH docelowego, wówczas do podniesienia pH do 4 lub 3 stosuje się miareczkowanie NaOH, a wynik ABC zapisuje się ze znakiem ujemnym. Z tego powodu wolne kwasy organiczne i nieorganiczne bardzo często mają ABC ujemne, czyli „wnoszą kwasowość” i obniżają zdolność wiązania kwasów mieszanki paszowej, co sprzyja zakwaszaniu treści żołądkowej. Inaczej może być w przypadku soli kwasów oraz mieszanin handlowych: sól kwasu wnosi jednocześnie kation (np. Ca^{2+} , Na^+ , K^+), który w ujęciu ABC działa alkalizująco/buforująco, a dodatkowo produkty rynkowe często zawierają nośniki lub antyzbrylacze (czasem mineralne), które potrafią podnieść ABC i zniwelować część efektu zakwaszającego. Dlatego zakwaszacz może działać korzystnie biologicznie (antybakteryjnie), technologicznie czy organoleptycznie, ale jego realny wpływ na ABC mieszanki trzeba oceniać na podstawie matrycy ABC surowców albo wprost w analizie laboratoryjnej. W podejściu praktycznym ABC mieszanki można w przybliżeniu policzyć addytywnie jako sumę wkładów poszczególnych składników (udział składnika \times ABC składnika), co w badaniach pokazywano jako sensowną metodę przewidywania ABC mieszanek paszowych na podstawie danych dla surowców (Lawlor i in., 2005) - tab. 1.

Tabela 1. Przykładowe wartości ABC-4 dla kwasów i soli

SUBSTANCJA	ABC-4 (mEq/kg)
Kwas ortofosforowy	-8858
Kwas fumarowy	-10862
Kwas mrówkowy	-13550
Kwas cytrynowy	-5605
Kwas mlekowy	-5079
Kwas octowy	-2283
Kwas propionowy	-1358
Mrówczan wapnia	3983
Cytrynian potasu	5703
Cytrynian sodu	6334