

WPLYW BIOWĘGLA W DIECIE ŚWIŃ NA JAKOŚĆ SUROWCA MIĘSNEGO I KIERUNKI JEGO WYKORZYSTANIA

Mariusz Florek¹, Łukasz Wlazło², Piotr Domaradzki¹, Mateusz Ossowski^{2*},
Bożena Nowakowicz-Dębek², Katarzyna Karpińska², Anna Czech³^{id}

¹Katedra Oceny Jakości i Przetwórstwa Produktów Zwierzęcych

²Katedra Higieny Zwierząt i Zagrożeń Środowiska

³Katedra Biochemii i Toksykologii

Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, ul. Akademicka 13, 20-950 Lublin

*Email: mateusz.ossowski@up.lublin.pl

Źródło finansowania: Badania sfinansowano ze środków PROW na lata 2014–2020 w ramach projektu „Nowe praktyki chowu zwierząt inwentarskich we współpracy Uniwersytetem Przyrodniczym Lublina”. Numer projektu: 00049.DDD.6509.00046.2019.05.

Abstrakt

Z uwagi na szczątkowe informacje na temat wykorzystania biowęgla jako dodatku paszowego w diecie świń podjęto badania, w których oceniono jego wpływ na jakość dwóch mięśni szkieletowych tuczników mieszańców. Wyróżniono grupę kontrolną (K), która otrzymywała wyłącznie paszę standardową oraz trzy grupy doświadczalne, które otrzymywały paszę standardową wraz ze zwiększającym się udziałem sorbentu, odpowiednio: D1 0,25%, D2 0,5% i D3 0,75%. W tkance mięśniowej tuczników oznaczono podstawowy skład chemiczny, profil kwasów tłuszczowych, tłuszczu śródmięśniowego oraz fizykochemiczne parametry technologiczne (m.in. pH, barwa, wodochłonność, siła cięcia, stabilność oksydacyjna). Pomimo występowania istotnych różnic pomiędzy porównywanymi grupami zwierząt, należy stwierdzić, że zwiększający się w dawce dodatek biowęgla nie wpływał w ukierunkowany sposób na oceniane właściwości mięsa wieprzowego. Potwierdzono, że stosowanie biowęgla jako dodatku w diecie świń w zakresie od 0,25 do 0,75% w dawce pokarmowej nie oddziałuje negatywnie na podstawowy skład chemiczny, właściwości fizykochemiczne i profil kwasów tłuszczowych ocenianych mięśni szkieletowych. Tym samym jego zastosowanie nie ogranicza wykorzystania takiego surowca do produkcji mięsa kulinarnego lub przetwarzania go na wędliny. Pewne ograniczenie może wynikać zaobserwowanego faktu zmniejszenia ilości tłuszczu śródmięśniowego, co może niekorzystnie wpływać na brak wykształcania właściwych cech sensorycznych mięsa, co jednak wymaga weryfikacji w kolejnych badaniach.

Słowa kluczowe: świnię, mięso, biowęgiel, jakość

ORCID Mariusz Florek 0000-0003-0941-1714, Łukasz Wlazło 0000-0002-1086-182X, Piotr Domaradzki 0000-0002-6917-571X, Mateusz Ossowski 0000-0003-4734-8293, Bożena Nowakowicz-Dębek 0000-0003-2510-1062, Katarzyna Karpińska 0000-0001-6087-9457, Anna Czech 0000-0003-4142-2608.

Wstęp

Wysokie walory konsumpcyjne mięsa wieprzowego należą do najbardziej pożądaných przez konsumentów właściwości produktów pochodzenia zwierzęcego. W ujęciu statystycznym najczęściej spożywanym przez przeciętnego mieszkańca Unii Europejskiej produktem pochodzenia zwierzęcego jest mięso wieprzowe (Lin-Schilstra i in., 2022), którego roczna konsumpcja wynosi ok. 41 kg (Lebret i Čandek-Potokar, 2022). Ilość ta przewyższa łączne spożycie wszystkich rodzajów mięsa, tj. mięsa drobiowego, wołowiny, baraniny i mięsa koziego (Lamkaddam i in., 2021). Ze względu na różnorodność produktów wieprzowych dostępnych na rynku, jak i zmieniające się oczekiwania konsumentów pod względem systemów produkcji stosowanych w chowie świń, pożądana jakość wieprzowiny również podlega zmianom (Prache i in., 2022). Stale rosnące wymagania konsumentów narzucają na producentów świń potrzebę ciągłej poprawy jakości produktów końcowych, przy jednoczesnym zwiększeniu produkcji (Channon i in., 2018). Biorąc pod uwagę technologiczne parametry surowca, najważniejszą cechą mięsa wieprzowego jest jego skład chemiczny. Kluczowe jest także monitorowanie właściwości fizykochemicznych (pH, wodochłonność, barwa), co pozwala na identyfikację najczęstszych wad jakościowych, takich jak mięso PSE czy mięso kwaśne (Ossowski i in., 2021).

Wykazano, że nowe substancje wykorzystywane w hodowli zwierząt mogą zapewnić utrzymanie jakości mięsa, a nawet ją podnieść. Do takich substancji należą sorbenty naturalne, w tym bentonit (Young-Jik i in., 2017; Yu i in., 2008.), zeolit (Lee i in., 2020), czy biowęgiel (Lao i Mbega, 2020; Toth i Dou, 2016), które najczęściej stosowane są jako dodatki do paszy. Pomimo coraz większej liczby publikacji dotyczących zastosowania sorbentów naturalnych grupy sorbentów smektytowych (Ivanov i Ivanov, 2016; Slamova i in., 2011; Young-Jik i in., 2017), biowęgiel wydaje się być słabiej zbadanym dodatkiem.

Biowęgiel definiowany jest jako materiał otrzymywany za pośrednictwem procesu pirolizy biomasy roślinnej (Schmidt i in., 2019). Materia organiczna do produkcji biowęgla, jako dodatku paszowego, poddawana jest działaniu wysokiej temperatury (od 350°C do 1100°C) w warunkach ograniczonego dostępu tlenu lub jego braku (Man i in., 2021). Wykazano efektywne wykorzystanie biowęgla do oczyszczania wody czy gleby substancjami nieorganicznymi i organicznymi, a także potwierdzono jego zdolności redukcyjne wobec gazowych zanieczyszczeń, biogenów (Ossowski i in., 2022), pochłaniania toksyn (Troy i in., 2013), pozostałości leków czy hormonów (Ambaye i in., 2021). Biowęgiel, ze względu na swoją porowatą budowę, jest w stanie stworzyć w przewodzie pokarmowym zwierząt swoiste środowisko dla archeonów metanogennych odpowiedzialnych za rozkład metanu, co ostatecznie prowadzi do ograniczenia uwalniania tego gazu podczas chowu (Eger i in., 2018; Terry i in., 2020). Wykazano także, że biowęgiel usprawnia trawienie, poprawia wchłanianie składników odżywczych w jelitach oraz wpływa na wydajność i jakość mięsa (Kashef i in., 2021; Lao i Mbega, 2020).

Podczas gdy dla sorbentów smektytowych wykazano wysokie bezpieczeństwo ich stosowania jako dodatku paszowego, tak w przypadku biowęgla dostępne dane są bardzo ograniczone (Kalus i in., 2020; Man i in., 2021). Z uwagi na powyższe podjęto badania, których celem była ocena wykorzystania biowęgla jako dodatku do mieszanek paszowych dla tuczników mieszańców i jego wpływu na skład chemiczny i właściwości fizykochemiczne dwóch mięśni szkieletowych.

Material i metody

Układ doświadczenia

Eksperyment przeprowadzono zgodnie wytycznymi Deklaracji Helsińskiej oraz zgodnie prawem Unii Europejskiej (Dyrektywa 2010/63/UE) Parlamentu Europejskiego i Rady w sprawie ochrony

zwierząt wykorzystywanych do celów naukowych lub edukacyjnych. Na badania uzyskano również zgodę Lokalnej Komisji ds. Doświadczeń na Zwierzętach nr 72/2021.

Badaniami objęto 180 mieszańców towarowych na bazie komponentu matecznego loch rasy DanBred oraz ojcowskiego knurów rasy Duroc. Zwierzęta o początkowej masie ciała około 25 kg równym udziałem płci, przydzielono losowo do 4 grup po 45 osobników w każdej. Utworzone grupy oznaczono odpowiednio: kontrolna (K) oraz doświadczalne (D1, D2, D3). Wszystkie tuczniaki utrzymywano w tych samych warunkach środowiskowych. Zwierzętom podawano standardową paszę odpowiednią dla grupy wiekowej, której wartość pokarmowa odpowiadała zaleceniom NRC (ang. National Research Council), (2012). Grupa kontrolna (K) otrzymywała wyłącznie paszę standardową. Zwierzętom trzech grup doświadczalnych podawano standardową paszę wraz odpowiednio zróżnicowanym udziałem sorbentu w paszy, który wynosił odpowiednio: 0,25% (D1), 0,5% (D2) i 0,75% (D3). Udział sorbentu w paszy określono w oparciu o wcześniejsze symulacje laboratoryjne. W trakcie doświadczenia zwierzęta karmiono *ad libitum* ze swobodnym dostępem do wody pitnej. Prowadzony monitoring warunków mikroklimatycznych nie wykazywał przekroczeń parametrów zawartych w Rozporządzeniu dotyczącym minimalnych warunków utrzymania zwierząt (Dz.U. 2019 poz. 1966). Na przełomie czerwca/lipca z każdej grupy wybrano losowo po 6 świń do uboju. Zarówno transport zwierząt, jak i ubój zostały przeprowadzone zgodnie wymaganiami zawartymi w Rozporządzeniu Rady (WE) nr 1/2005 dnia 22 grudnia 2004 r. oraz Rozporządzeniu Rady (WE) Nr 1099/2009 dnia 24 września 2009 r. Masa ciała świń wahała się od 105 do 115 kg.

Materiał doświadczalny stanowiły próbki dwóch mięśni szkieletowych, tzn. najdłuższego lędźwi (musculus longissimus lumborum, MLL) i półbłoniastego (musculus semimembranosus, MSM), które pobrano podczas rozbioru technologicznego prawych półtuszek poddanych 24-godzinnemu wychłodzeniu. Probki oddzielnie pakowano próżniowo w worki PA/PE wysoką barierą gazową i poziomem próżni 98%, a następnie transportowano i przechowywano w temperaturze $2 \pm 1^{\circ}\text{C}$ do momentu wykonania analiz.

Właściwości fizykochemiczne

W próbach mięśni szkieletowych oznaczono metodami referencyjnymi podstawowy skład chemiczny, tzn. zawartość wody metodą suszenia w 103°C (Memmert UF30, Schwabach, Germany) wg PN-ISO 1442:2000; popiołu metodą spopielenia w 550°C (Heraeus M110, Hana, Germany) wg PN-ISO 936:2000, białka ogólnego ($N \times 6,25$) metodą Kjeldahla przy użyciu aparatu Büchi B-324 (Flawil, Switzerland) wg PN-A-04018:1975/Az3:2002 i tłuszczu wolnego metodą Soxhleta (n-heksan jako rozpuszczalnik) przy użyciu aparatu Büchi B-811 (Flawil, Switzerland) wg PN-ISO 1444:2000. Liczbę Federa (W/B, proporcja zawartości wody do białka; W/P, ang. the water to protein ratio) charakteryzującą stopień uwodnienia białek mięśniowych obliczono na podstawie oznaczonej zawartości wody i białka ogólnego. Wartość energii w kcal 100 g tkanki mięśniowej obliczono przyjmując następujące równoważniki energetyczne, dla 1 g białka – 4 kcal, dla 1 g tłuszczu – 9 kcal (EU 2011).

Za pomocą pH-metru Elmetron CP-401 waterproof (Elmetron Sp.j., Zabrze, Polska) i elektrody zespolonej ERH-12-6 (Hydromet S.C.) oznaczono pH mięśni szkieletowych po 24 i 48 godz. od uboju, a przy użyciu elektrody zespolonej typu ERPt-13 (Hydromet S.C.) zmierzono potencjał oksydoredukcyjny (ORP, ang. oxidation reduction potential, mV) (Florek i in., 2019). Stabilność oksydacyjną lipidów oznaczono wg metody Witte i in. (1970), wykorzystując spektrofotometr Varian Cary 300 Bio przy długości fali 530 nm. Wartość TBARS (ang. thiobarbituric acid reactive substance) wyrażono w mg aldehydu malonowego (MDA, ang. malondialdehyde) w 1 kg mięsa. Ogólną zawartość barwników hemowych (jako koncentracja hematyny w $\mu\text{g/g}$ mięsa) oznaczono metodą Hornseya (1956) wykorzystując spektrofot-

tometr Varian Cary 300 Bio (Varian Australia PTY, Ltd., Mulgrave, Australia) i długość fali 640 nm.

Barwę mięśni szkieletowych oceniono za pomocą spektrofotometru Konica-Minolta 600d (illuminant D65, obserwator standardowy 10°; Konica Minolta Sensing, Inc., Osaka, Japan), rejestrując na odsłoniętej powierzchni przekroju mięśnia po 30 min bloomingu w temp. 2°C następujące wyróżniki: L* – jasność; a* – udział barwy czerwonej, b* – udział barwy żółtej, C* – nasycenie i h° – odcień (CIE 2004). Średnie wartości uzyskano z 5 powtórzeń.

Wyciek naturalny określono na podstawie różnicy masy próbki (ok. 100 g) przed i po 24-godzinnym przechowywaniu w temperaturze 4°C. Wyciek termiczny oznaczono na podstawie różnicy masy próby mięśnia przed i po obróbce termicznej przeprowadzonej w łaźni wodnej. Próby mięśni o masie około 75 g zamknięte w woreczkach foliowych ogrzewano w 70°C przez 45 min (HENDI sous-vide system GN 1/1, Rhenen, The Netherlands), następnie chłodzono pod bieżącą wodą przez 30 minut i przechowywano w 4°C. Ilość wody wolnej (mg) oznaczono wg metody Graua i Hamma (1953), wykorzystując bibułę filtracyjną Whatman No 1, naważkę 300 mg i działając stałą siłą 2 kg przez 5 min. Pomiar powierzchni (w cm²) naważki mięsa (M) i całkowitego wycieku (T) wykonano za pomocą programu komputerowej analizy obrazu MultiScan Base ver. 14 i wyrażono procentowo jako $M/T \times 100$ (ang. meat sample/total loss $\times 100$). Pomiar parametrów testu szerometrycznego wykonano za pomocą jednokolumnowej maszyny wytrzymałościowej Zwick/Roell Proline B0.5 (Zwick GmbH & Co, Ulm, Germany) na próbach mięśni wykorzystanych do oceny wycieku termicznego. Za pomocą noża szerometrycznego Warner-Bratzlera (V-blade) zmierzono siłę (SF, ang. shear force, N) i energię cięcia (SE, ang. shear energy, mJ) wg Florca i in. (2016b), a wyniki pomiarów opracowano za pomocą programu TestXpert® II.

Skład kwasów tłuszczowych (KT) po wcześniejszej ekstrakcji tłuszczu tkanki mięśniowej wg Folcha i in. (1957) oznaczono metodą chromatografii gazowej. Rozdzielenie estrów metylowych kwasów tłuszczowych (FAME, ang. fatty acids methyl esters) dokonano po wcześniejszej transmetylacji próbek tłuszczu (50 mg) za pomocą mieszaniny H₂SO₄ (95%) i metanolu (AOCS 2000). Estrы metylowe zidentyfikowano przy użyciu aparatu Varian GC 3900 (Walnut Creek, USA) detektorem płomieniowo-jonizacyjnym (FID, ang. flame ionization detector) i kolumną kapilarną CP 7420 zgodnie z metodyką i szczegółowymi parametrami procesu podanymi wcześniej przez Domaradzkiego i in. (2019). Identyfikację KT przeprowadzono na podstawie względnego czasu ich retencji w stosunku do czasów retencji wzorców FAME (Supelco Inc., Bellefonte, PA, USA). Wykorzystując program komputerowy Star GC Workstation Version 5.5 (Varian Inc., Walnut Creek, USA) obliczono skład KT jako procent wszystkich zidentyfikowanych FA (ang. fatty acids) zgodnie z normą PN-EN ISO 5508:1996. Analizy przeprowadzono w dwóch powtórzeniach.

Analiza statystyczna

Uzyskane wyniki opracowano statystycznie za pomocą programu STATISTICA 13 (TIBCO Software Inc., Palo Alto, CA, USA) w oparciu o jednoczynnikową analizę wariancji, oceniając wpływ grupy (K, D1, D2, D3) na podstawowy skład chemiczny, właściwości fizykochemiczne i skład KT poszczególnych mięśni szkieletowych. Istotność różnic pomiędzy średnimi dla ocenianych grup wyznaczono testem HSD Tukeya.

Wyniki

Uzyskane wyniki w zakresie podstawowego składu chemicznego obu badanych mięśni szkieletowych (tab. 1) nie potwierdziły istotnego wpływu dodatku biowęgla (w żadnej ocenianych dawk) na zawartość wody, białka ogólnego, tłuszczu i kaloryczność. Jedynie w przypadku popiołu obserwowano istotne zróżnicowanie jego zawartości w mięśni LL tuczników otrzymujących dodatek biowęgla, a pośrednią wartość stwierdzono w grupie kontrolnej. Z kolei w mięśni SM obserwowano istotny ($P<0,01$) spadek udziału popiołu wraz ze zwiększeniem biowęgla w dawce. Warto nadmienić, że w przypadku tłuszczu śródmięśniowego w obu mięśniach obserwowano tendencję do numerycznego zmniejszenia jego udziału u tuczników otrzymujących biowęgiel. Jednak brak istotnych różnic pomiędzy grupami związany był dużą zmiennością zawartości tego składnika. Oczywiście konsekwencją mniejszej ilości tłuszczu śródmięśniowego była również mniejsza kaloryczność mięsa (o około 10%) w porównaniu do grupy kontrolnej.

Tabela 1. Podstawowy skład chemiczny mięśni szkieletowych
Table 1. Proximate chemical composition of skeletal muscles

Wyszczególnienie Specification	K	D1	D2	D3	SEM	Istotność Significance
MLL						
Woda (%) Water (%)	73,34	74,30	74,21	74,84	0,25	ns
Białko (%) Protein (%)	22,85	22,54	23,71	22,77	0,29	ns
Tłuszcz (%) Fat (%)	2,11	1,37	0,71	1,04	0,25	ns
Popiół (%) Ash (%)	1,63 ^{AB}	1,96 ^B	1,26 ^A	1,36 ^A	0,07	**
W/B W/P	3,22	3,31	3,14	3,29	0,05	ns
Energia (kcal/100 g) Energy (kcal/100 g)	110,4	102,5	101,2	100,4	2,48	ns
MSM						
Woda (%) Water (%)	73,58	74,34	74,88	75,21	0,28	ns
Białko (%) Protein (%)	21,90	22,70	22,00	22,07	0,19	ns
Tłuszcz (%) Fat (%)	3,19	1,62	1,83	1,92	0,38	ns
Popiół (%) Ash (%)	1,34 ^B	1,33 ^B	1,05 ^{AB}	0,86 ^A	0,05	**
W/B W/P	3,36	3,28	3,42	3,41	0,04	ns
Energia (kcal/100 g) Energy (kcal/100 g)	116,3	105,4	104,5	105,6	3,33	ns

Objaśnienia: MLL – mięsień najdłuższy lędźwi; MSM – mięsień półbłoniasty; W/B – stopień uwodnienia białek mięśniowych; SEM – błąd standardowy średniej; ** $P<0,01$. K – grupa kontrolna, D1, D2, D3 – grupy doświadczalne rosnącym udziałem biowęgla (0,25%, 0,50% i 0,75%). Note: MLL – *Longissimus lumborum* muscle; MSM – *Semimembranosus* muscle; W/P – degree of protein hydration; SEM – standard error of mean; ** – $P<0.01$. K – control group, D1, D2, D3 – experimental groups with an increasing proportion of biocarbon (0.25%, 0.50% and 0.75%).

Wyniki pomiarów właściwości fizykochemicznych (tab. 2) wskazują na istotny wpływ dodatku biowęgla na potencjał oksydoredukcyjny oraz wszystkie parametry barwy obu badanych mięśni szkieletowych, a w przypadku MLL również na pH po 24 godz. Mięsień LL tuczników otrzymujących dodatek biowęgla wykazywał niższe pH w porównaniu do grupy kontrolnej po 24 (o 0,22–0,30, $P<0,05$), jak również po 48 godz. (o 0,10–0,15) *post mortem*. W MSM takich wyraźnych różnic nie notowano po 24 godzinach, aczkolwiek po 48 godzi-

nach pH w grupach doświadczalnych było niższe niż w grupie kontrolnej (o 0,07–0,10). Pomimo istotnego zróżnicowania potencjału oksydoredukcyjnego pomiędzy porównywanymi grupami tuczników należy zaznaczyć, że wszystkie wartości były ujemne, co świadczy o redukcyjnym charakterze ich wewnętrznego środowiska. W przypadku MLL obserwowano również tendencję większej stabilności oksydacyjnej wyrażonej wartością TBARS w grupach doświadczalnych (zwłaszcza w D2) w porównaniu do grupy kontrolnej.

Zwiększający się w dawce dodatek biowęgla nie wpływał w ukierunkowany sposób na parametry barwy MLL, o czym zdecydowały przede wszystkim zbliżone wartości w grupie kontrolnej i D2 ($P > 0,05$). W przypadku MSM obserwowano natomiast istotny ($P < 0,01$) wpływ dodatku biowęgla na mniejszą jasność (niższa wartość L^*) i większy udział składowej czerwonej (wyższa wartość a^*) oraz istotnie ($P < 0,05$) większy udział składowej żółtej (wyższa wartość b^*), co również znalazło odzwierciedlenie w wyższym nasyceniu barwy (większa wartość C^*). Tym samym MSM tuczników żywionych dodatkiem biowęgla miał istotnie ($P < 0,01$) ciemniejszą powierzchnię i korzystniejszy (mniej żółty) odcień (h°) w porównaniu do grupy kontrolnej. Część tych różnic mogła być związana wyższą koncentracją żelaza hemowego, zwłaszcza w MSM w D1 i D3.

Tabela 2. Właściwości fizykochemiczne mięśni szkieletowych
Table 2. Physicochemical properties of skeletal muscles

Cecha Trait	K	D1	D2	D3	SEM	Istotność Significance
MLL						
pH 24 h	5,59 ^b	5,29 ^a	5,37 ^{ab}	5,32 ^a	0,04	*
pH 48 h	5,47	5,35	5,37	5,32	0,01	ns
ORP (mV)	-54,1 ^b	-78,1 ^a	-75,1 ^a	-90,0 ^a	3,24	*
TBARS (mg MDA/kg)	0,211	0,177	0,116	0,155	0,014	ns
Fe (hematyna $\mu\text{g/g}$)	28,2	28,5	28,3	30,8	1,60	ns
Fe (hematin $\mu\text{g/g}$)						
Barwa wg CIE: CIE colour:						
L^*	53,95 ^{ab}	54,07 ^{ab}	53,27 ^a	55,26 ^b	0,24	*
a^*	-0,24 ^a	0,37 ^b	-0,12 ^{ab}	0,24 ^{ab}	0,08	*
b^*	9,30 ^A	10,40 ^B	9,27 ^A	10,19 ^B	0,08	**
C^*	9,32 ^A	10,42 ^B	9,34 ^A	10,24 ^B	0,08	**
h°	91,6 ^b	88,1 ^a	90,9 ^{ab}	88,9 ^{ab}	0,48	*
MSM						
pH 24 h	5,59	5,53	5,57	5,58	0,02	ns
pH 48 h	5,58	5,48	5,49	5,51	0,02	ns
ORP (mV)	-119,4 ^b	-151,4 ^a	-121,0 ^{ab}	-90,0 ^b	9,04	*
TBARS (mg MDA/kg)	0,346	0,373	0,270	0,336	0,019	ns
Fe (hematyna $\mu\text{g/g}$)	37,7	42,5	38,2	50,2	2,77	ns
Fe (hematin $\mu\text{g/g}$)						
Barwa wg CIE: CIE colour:						
L^*	56,98 ^B	53,63 ^A	51,81 ^A	51,90 ^A	0,38	**
a^*	-0,16 ^A	1,73 ^B	1,31 ^B	2,19 ^B	0,14	**
b^*	9,51 ^a	11,08 ^b	9,70 ^{ab}	10,35 ^b	0,12	*
C^*	9,56 ^a	11,28 ^b	9,91 ^{ab}	10,68 ^b	0,13	*
h°	91,0 ^B	81,4 ^A	82,9 ^A	78,2 ^A	0,74	**

Objaśnienia: MLL – mięsień najdłuższy łądźwi; MSM – mięsień półbłoniasty; SEM – błąd standardowy średniej; * $P < 0,05$; ** $P < 0,01$; ORP – potencjał oksydo-redukcyjny; K – grupa kontrolna, D1, D2, D3 – grupy doświadczalne rosnącym udziałem biowęgla (0,25%, 0,50% i 0,75%). Note: MLL – *Longissimus lumborum* muscle; MSM – *Semimembranosus* muscle; SEM – standard error of mean; ** – $P < 0,01$; ORP – oxidation-reduction potential; K – control group, D1, D2, D3 – experimental groups with an increasing proportion of biocarbon (0.25%, 0.50% and 0.75%).

Analizując wpływ dodatku biowęgla w diecie tuczników nie stwierdzono istotnego wpływu na parametry wodochłonności obu mięśni szkieletowych (MLL i MSM), (tab. 3). Należy jednak zauważyć, że mięśnie świń grup doświadczalnych wykazywały mniejszą wodochłonność wyrażoną większymi ubytkami po obróbce termicznej i mniejszą siłę wiązania wody własnej (niższa proporcja M/T, większa ilość wody wolnej), co mogło być związane niższym pH tkanki mięśniowej u tych grup (tab. 1). Obserwowano natomiast korzystny wpływ dodatku biowęgla na teksturę mięsa poprzez obniżenie siły ($P < 0,01$) i energii cięcia ($P > 0,05$) szczególnie w odniesieniu do MSM tuczników z grup D1 i D3. Podobnie najniższe wartości siły i energii cięcia stwierdzono dla MLL u tuczników z grupy D3.

Tabela 3. Wyróżniki wodochłonności i parametry testu szerometrycznego mięśni szkieletowych
Table 3. Parameters of water holding capacity and shear force test

Cecha Trait	K	D1	D2	D3	SEM	Istotność Significance
MLL						
Wyciek naturalny (%) Drip loss (%)	3,7	3,6	3,5	3,3	0,27	ns
Wyciek termiczny (%) Cooking loss (%)	31,0	33,5	33,2	34,1	0,82	ns
M/T (%)	28,0	23,8	26,1	25,5	0,82	ns
Woda wolna (mg) Free water (mg)	70,6	81,4	80,9	78,7	2,24	ns
Siła cięcia (N) Shear force (N)	52,5 ^A	63,0 ^B	55,0 ^{AB}	47,8 ^A	1,49	**
Energia cięcia (mJ) Shear energy (mJ)	204,0	226,3	190,0	158,2	6,94	ns
MSM						
Wyciek naturalny (%) Drip loss (%)	2,6	3,2	2,5	3,5	0,23	ns
Wyciek termiczny (%) Cooking loss (%)	30,6	31,3	29,8	31,5	0,80	ns
M/T (%)	31,5	25,6	25,1	27,2	1,12	ns
Woda wolna (mg) Free water (mg)	64,9	76,1	74,4	81,2	2,64	ns
Siła cięcia (N) Shear force (N)	65,9 ^B	53,8 ^A	57,4 ^{AB}	53,3 ^A	1,38	**
Energia cięcia (mJ) Shear energy (mJ)	233,4	183,9	207,4	176,8	6,81	ns

Objaśnienia: MLL – mięsień najdłuższy łądźwi; MSM – mięsień półbłoniasty; SEM – błąd standardowy średniej; ** $P < 0,01$; K – grupa kontrolna, D1, D2, D3 – grupy doświadczalne rosnącym udziałem biowęgla (0,25%, 0,50% i 0,75%). Note: MLL – *Longissimus lumborum* muscle; MSM – *Semimembranosus* muscle; SEM – standard error of mean; ** $P < 0,01$; K – control group, D1, D2, D3 – experimental groups with an increasing proportion of biocarbon (0.25%, 0.50% and 0.75%).

Jakkolwiek, zarówno w MLL, jak i MSM nie stwierdzono istotnego wpływu dodatku biowęgla do diety świń na udział poszczególnych KT, jak i sumy wyróżnionych grup KT (tab. 4), to jednak obserwowane były zauważalne tendencje, polegające na zmniejszeniu udziału sumy kwasów tłuszczowych nasyconych (SFA, ang. saturated fatty acids) i jednonienasyconych (MUFA, ang. monounsaturated fatty acids) przy jednoczesnym zwiększeniu

szeniu udziału kwasów tłuszczowych wielonienasyconych (PUFA, ang. polyunsaturated fatty acids). W lipidach MLL spadek udziału SFA był najsilniej zauważalny w grupie D2, dotyczył bowiem obu najważniejszych KT, tzn. C16:0 i C:18:0. Jednocześnie grupa ta charakteryzowała się najniższym udziałem jednonienasyconego kwasu C18:1c9 i najwyższym udziałem kwasów wielonienasyconych, w tym C18:2n-6 oraz sumą n-6 i n-3. Konsekwencją obserwowanych tendencji była również największa wartość proporcji P/S (PUFA/SFA). Identyczne zależności (z wyjątkiem kwasu C18:1c9) w tej grupie obserwowano również w tłuszczu śródmięśniowym MSM (tab. 4).

Tabela 4. Udział procentowy wybranych kwasów tłuszczowych (KT)* oraz poszczególnych grup KT w tłuszczu śródmięśniowym mięśni szkieletowych

Table 4. Percentage of selected fatty acids and partial sums of fatty acids from intramuscular fat of skeletal muscle

Wyszczególnienie (% sumy wszystkich kwasów) Specification (% of total fatty acids)	K	D1	D2	D3	SEM	Istotność Significance
MLL						
C16:0	22,50	21,48	20,98	21,54	0,39	ns
C18:0	12,63	12,81	11,92	12,68	0,15	ns
SFA	36,39	35,58	33,89	35,42	0,54	ns
C16:1c9	2,78	2,49	2,69	2,56	0,09	ns
C18:1c9	35,83	32,98	31,01	33,00	1,14	ns
C18:1c11	3,66	3,51	3,55	3,50	0,04	ns
MUFA	44,01	40,70	39,34	40,97	1,19	ns
C18:3n-3	0,30 ^a	0,42 ^b	0,38 ^{ab}	0,40 ^b	0,02	*
n-3	1,05	1,19	1,46	1,21	0,08	ns
C18:2n-6	10,96	13,66	14,61	13,93	0,89	ns
C20:4n-6	3,53	3,81	5,35	3,60	0,39	ns
n-6	15,54	18,87	21,44	18,99	1,33	ns
PUFA	16,62	20,06	22,90	20,21	1,40	ns
P/S	0,48	0,57	0,68	0,57	0,05	ns
MSM						
C16:0	22,08	21,16	20,89	21,65	0,31	ns
C18:0	11,84	11,57	10,62	11,87	0,22	ns
SFA	35,35	34,07	32,79	34,93	0,52	ns
C16:1c9	2,91	2,71	2,96	2,76	0,06	ns
C18:1c9	38,44	36,04	36,03	36,25	0,72	ns
C18:1c11	3,76	3,67	3,79	3,65	0,04	ns
MUFA	46,90	44,22	44,74	44,40	0,73	ns
C18:3 n-3	0,48	0,59	0,61	0,59	0,03	ns
n-3	1,10	1,27	1,38	1,17	0,06	ns
C18:2n-6	11,02	13,75	14,01	13,32	0,66	ns
C20:4n-6	2,56	2,95	3,52	2,63	0,25	ns
n-6	14,54	17,92	18,73	17,11	0,92	ns
PUFA	15,69	19,20	20,12	18,45	0,97	ns
P/S	0,46	0,57	0,61	0,53	0,03	ns

Objaśnienia: MLL – mięsień najdłuższy lędźwi; MSM – mięsień półbłoniasty; SEM – błąd standardowy średniej; SFA – suma nasyconych kwasów tłuszczowych; MUFA – suma jednonienasyconych kwasów tłuszczowych; n-3 – suma kwasów PUFA n-3; n-6 – suma kwasów PUFA n-6; PUFA – suma wielonienasyconych kwasów tłuszczowych; P/S – proporcja PUFA/SFA; K – grupa kontrolna, D1, D2, D3 – grupy doświadczalne rosnącym udziałem biowęglu (0,25%, 0,50% i 0,75%). Note: MLL – *Longissimus lumborum* muscle; MSM – *Semimembranosus* muscle; SEM – standard error of mean; SFA – total saturated fatty acids; MUFA – total monounsaturated fatty acids; n-3 – total PUFA n-3; n-6 – total PUFA n-6; PUFA – total polyunsaturated fatty acids; P/S – PUFA/SFA ratio; K – control group, D1, D2, D3 – experimental groups with an increasing proportion of biocarbon (0.25%, 0.50% and 0.75%).

Omówienie wyników

Na świecie w przemysłowym chowie świń wykorzystuje się sorbenty mineralne różnego pochodzenia, głównie w celu poprawy zdrowotności zwierząt (Elliott i in., 2020; EFSA 2011) i zwiększenia ich wskaźników produkcyjnych (Kim i in., 2005; Schneider i in., 2017). Choć z uwagi na charakterystykę i właściwości stosowanego sorbentu (Shi i in., 2007; Shurson i in., 1984) wyniki uzyskiwane w tym zakresie nie są jednoznaczne (Islam i in., 2014; Ossowski i in., 2021), to wciąż nieliczne są badania, w tym również krajowe, nad wpływem sorbentów na szeroko pojętą jakość mięsa wieprzowego.

Uzyskane w prezentowanych badaniach wyniki dotyczące podstawowego składu chemicznego mięśni szkieletowych świń nie odbiegały od wartości podawanych w literaturze krajowej dla tuczników towarowych (Grela i in., 2021; Siemiński i in., 2023). Mięso tuczników otrzymujących w diecie dodatek biowęgla od 0,50 do 0,75% zawierało istotnie mniej popiołu, jak również dodatkowo obserwowano tendencję ($P>0,05$) zmniejszenia ilości tłuszczu śródmięśniowego. U drobiu wykazano, że dodatek biowęgla (różnego pochodzenia) wpływa na zmniejszenie otłuszczenia tuszek (Kutlu i Ünsal, 1998; Kim i in., 2011). Z kolei u świń wpływ biowęgla na zawartość tłuszczu śródmięśniowego nie jest jednoznaczny (Ossowski i in., 2021; Chu i in., 2013). Niższą zawartość popiołu i jednocześnie wyższą tłuszczu obserwowali Islam i in. (2014), stosując dodatek 0,5% zeolitu do paszy świń mieszańców trójrasowych.

Oznaczenie kwasowości (pH) tkanki mięśniowej jest niezbędne do prawidłowego zdiagnozowania ewentualnych wad jakościowych surowca wieprzowego. Właściwe końcowe pH mięsa (od 5,50 do 5,80) będące efektem niezakłóconej glikogenolizy poubojowej jest jednym z czynników uzyskania pożądaných wrażeń sensorycznych i właściwości fizykochemicznych decydujących o pełnym wykorzystaniu kulinarnym i technologicznym surowca. W tym miejscu należy zaznaczyć, że z uwagi na problemy niezależne od autorów nie oznaczono pH początkowego, tzn. 45 min od uboju, stąd też nie jest możliwe pełne wnioskowanie na temat przebiegu glikogenolizy pośmiertnej (zakwaszenia poubojowego). Tym niemniej opierając się na wartościach pH oznaczonych 24 i 48 godz. od uboju można przyjąć tezę o prawidłowym jej przebiegu w MSM wszystkich grup tuczników oraz MLL w grupie kontrolnej. Natomiast w przypadku tuczników grup otrzymujących dodatek biowęgla ich MLL wykazywał stosunkowo niskie pH końcowe (5,29–5,37), typowe dla mięsa kwaśnego (Sieczkowska i in., 2010). W prezentowanych badaniach nie stwierdzono jednak nadmiernych ($>5\%$) ubytków naturalnych tego mięśnia (3,3–3,6%, tab. 2). Obserwowane potencjalnie niekorzystne pH mogło być następstwem wysokiej temperatury w czasie transportu zwierząt doświadczalnych do rzeźni (III dekada czerwca). Nie było ono natomiast następstwem warunkowań genetycznych tuczników, bowiem wszystkie osobniki były wolne od genu wrażliwości na stres „n” i genu RN^- , „kwaśnego mięsa”. Dodatek biowęgla nie wpływał kierunkowo na wyróżniki barwy MLL. Z kolei w przypadku MSM w grupach doświadczalnych obserwowano istotnie ciemniejszą powierzchnię (niższe wartości L^*), większy udział składowej czerwonej (dodatnie wartości a^*) oraz większy udział składowej żółtej (większe wartości b^*). Stwierdzone różnicowanie ocenianych właściwości fizykochemicznych pomiędzy ocenianymi mięśniami szkieletowymi (aczkolwiek nieweryfikowane statystycznie) mogą wynikać z ich odmiennego profilu włókien mięśniowych (Wojtysiak i Połtowicz, 2015). Zasadniczo wartości oznaczonych parametrów diagnostycznych w mięśniach szkieletowych tuczników (tab. 1 i 2) nie wskazują jednoznacznie na występowanie jakichkolwiek wad jakościowych. Reasumując, tkanka mięśniowa tuczników otrzymujących dodatek biowęgla wykazywała niższe pH, a powierzchnia MSM była ciemniejsza w porównaniu do grupy kontrolnej. Z kolei Kim i in. (2005) w mięśni LL tuczników trójrasowych wykazali, że większemu udziałowi sorbentu (zeolitu) w paszy towarzyszyło istotnie wyższe pH i ciemniejsza barwa mięśnia.

W prezentowanych badaniach wykazano, że pomimo istotnego zróżnicowania tkanka mięśniowa (MLL i MSM) tuczników we wszystkich grupach żywieniowych, charakteryzowała się ujemnymi wartościami potencjału oksydo-redukcyjnego. Takie wartości ORP wskazują na redukcyjny charakter środowiska, który w przypadku tkanki mięśniowej jest typowy dla mięsa surowego, w którym proces dojrzewania nie jest jeszcze zaawansowany lub w którym panują warunki beztlenowe (Florek i in., 2019). Redukcyjny charakter reakcji w tkance mięśniowej mógł wpłynąć na dobrą stabilność oksydacyjną lipidów mięśniowych, bowiem wartość TBARS była na relatywnie niskim poziomie, zbliżona we wszystkich grupach żywieniowych w obrębie analizowanych mięśni szkieletowych, jak również niezależna od zawartości barwników hemowych, w których obecne jest żelazo wykazujące właściwości prooksydacyjne (Min i in., 2008). Istotnie niższe wartości TBARS i jednocześnie niższy poziom Fe hemoowego w MLL i MSM tuczników żywionych dodatkiem różnych sorbentów stwierdzili Ossowski i in. (2021).

Analizując wodochłonność mięsa, nie stwierdzono istotnego wpływu dodatku biowęgla w diecie tuczników na poszczególne wyróżniki, których zakresy były porównywalne do danych literaturowych dla tuczników pogłowania krajowego (Grela i in., 2008; 2020). W prezentowanych badaniach wykazano istotny ($P < 0,01$) wpływ dodatku biowęgla na poziomie 0,25% i 0,75% na poprawę instrumentalnie określanej kruchości MSM. W przypadku MLL wpływ ten okazał się wielokierunkowy. Warto nadmienić, że zakres siły cięcia dla MLL wynosił od 47,8 N (D3) do 63,0 N (D1), a dla MSM od 53,3 N (D3) do 65,9 N (grupa K). Uwzględniając zatem klasyfikację wg Iwańskiej i in. (2016), oceniane mięso wieprzowe należy uznać jako pośrednie pomiędzy kruchym ($30 \text{ N/cm}^2 - 45 \text{ N/cm}^2$) i twardym ($60 \text{ N/cm}^2 - 90 \text{ N/cm}^2$). Wartości te zostały osiągnięte już po 48 h *post mortem*, tzn. bez poubojowego procesu dojrzewania (tenderyzacji) mięsa (Florek i in., 2016a). We wcześniejszych badaniach Domaradzkiego i in. (2020) wykazano, że u pewnych ras świń przedłużony do 14 dni okres dojrzewania wieprzowiny w warunkach próżniowych może przynieść wymierne korzyści w zakresie cech jakościowych mięsa (barwa, kruchość), zwłaszcza w aspekcie jego wykorzystania do celów kulinarnych.

Nie stwierdzono istotnego wpływu dodatku biowęgla w diecie tuczników na profil i udział wybranych KT tłuszczu śródmięśniowego ocenianych mięśni szkieletowych. Uzyskane wyniki potwierdzają wcześniejsze obserwacje Domaradzkiego i in. (2022), którzy oceniając różne naturalne sorbenty (w tym biowęgiel w dawce 0,5%) nie potwierdzili ich istotnego wpływu na skład KT w MLL, natomiast w MSM wpływ ten okazał się znikomy i jednocześnie wielokierunkowy. Dodatek biowęgla (różnego pochodzenia) do diety kurcząt brojlerów (Kim i in., 2011; Park i in., 2001) lub tuczników (Chu i in., 2013) powodował zmniejszenie poziomu SFA i jednocześnie zwiększenie kwasów tłuszczowych nienasyconych (UFA, ang. unsaturated fatty acids), a w konsekwencji również i zwiększenie proporcji (UFA/SFA). Należy zaznaczyć, iż w cytowanych badaniach istotne różnice były związane przede wszystkim udziałem KT o 18 atomach węgla tj. C18:0, C18:1, C18:2 i C18:3. Podobnie w prezentowanych badaniach zaobserwowano pozytywną/korzystną tendencję ($P > 0,05$) polegającą na korzystnej/pożądaney z żywieniowego punktu widzenia modyfikacji profilu KT, w tym przede wszystkim zmniejszeniu udziału KT nasyconych, a jednocześnie zwiększeniu udziału KT wielonienasyconych (jednak przewagą PUFA n-6) oraz zwiększenie proporcji P/S.

Podsumowanie

Można stwierdzić, że wykorzystanie biowęgla jako dodatku w diecie świń w zakresie od 0,25 do 0,75% nie oddziałuje negatywnie na podstawowy skład chemiczny, właściwości fizykochemiczne i profil KT ocenianych mięśni szkieletowych. Tym samym nie ogranicza przydatności takiego surowca do wykorzystania jako mięso kulinarne lub przerobowe np. w produkcji pełnego asortymentu wędlin. Pewnym ograniczeniem wydaje się być obserwowana tendencja do zmniejszenia ilości tłuszczu śródmięśniowego, co może wpływać negatywnie na wykształcanie się cech sensorycznych mięsa, których jednak nie oceniano w prezentowanych badaniach. Uzyskane wyniki wskazują, że biowęgiel jest bezpiecznym dodatkiem w diecie świń, jakkolwiek potrzebna jest kontynuacja tego kierunku badań, uwzględniająca m.in. powiązania efektów hodowlanych aktualnymi z wyzwaniem polityki klimatyczno-środowiskowej oraz ocenę gotowych produktów jak mięso kulinarne czy przetwory mięsne.

Piśmiennictwo

- Ambaye T.G., Vaccari M., van Hullebusch E.D., Amrane A., Rtimi S. (2021). Mechanisms and adsorption capacities of biochar for the removal of organic and inorganic pollutants from industrial wastewater. *Int. J. Environ. Sci. Technol.*, 18: 3273–3294. <https://doi.org/10.1007/s13762-020-03060-w>
- AOCS (2000). Official Method Ce 2–66. Preparation of methyl esters of fatty acids. American Oil Chemists' Society: Champaign, IL, USA.
- Channon H.A., D'Souza D.N., Jarrett R.G., Lee G.S.H., Watling R.J., Jolley J.Y.C., Dunshea F.R. (2018). Guaranteeing the quality and integrity of pork – An Australian case study. *Meat Sci.*, 144: 186–192. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.04.030>
- Chu G.M., Kim J.H., Kang S.N., Song Y.M. (2013). Effects of dietary bamboo charcoal on the carcass characteristics and meat quality of fattening pigs. *Korean J. Food Sci. Anim. Resour.*, 33: 348–355. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2013.33.3.348>
- CIE (2004). Colorimetry. 3rd ed. Commission International de l'Eclairage, Vienna, pp. 16–20.
- Domaradzki P., Florek M., Skałeczki P., Litwińczuk A., Kędzierska-Matysek M., Wolanciuk A., Tajchman K. (2019). Fatty acid composition, cholesterol content and lipid oxidation indices of intramuscular fat from skeletal muscles of beaver (*Castor fiber* L.). *Meat Sci.*, 150: 131–140. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.12.005>
- Domaradzki P., Skałeczki P., Prasow M., Babicz M., Florek M. (2020). The physicochemical properties and lipid oxidation parameters of selected muscles of Puławska breed fatteners during 14-day ageing in vacuum packaging. *Med. Weter.*, 76: 400–405. <https://doi.org/10.21521/mw.6422>
- Domaradzki P., Nowakowicz-Dębek B., Wlazło Ł., Ossowski M., Dmoch M., Florek M. (2022). Fatty acid composition of muscle and adipose tissue in pigs fed with addition of natural sorbents. *Animals*, 12: 1681. <https://doi.org/10.3390/ani12131681>
- EFSA (2011). Panel on Additives and Products or Substances used in Animal Feed (FEED-AP). Scientific Opinion on the safety and efficacy of bentonite (dioctahedral montmorillonite) as feed additive for all species. *EFSA J.*, 9: 2007. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2011.2007>
- Eger M., Graz M., Riede S., Breves G. (2018). Application of Mootral™ reduces methane production by altering the archaea community in the rumen simulation technique. *Front. Microbiol.*, 9: 2094. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmicb.2018.02094>

- Elliott Ch.T., Connolly L., Kolawole O. (2020). Potential adverse effects on animal health and performance caused by the addition of mineral adsorbents to feeds to reduce mycotoxin exposure. *Mycotoxin Res.*, 36: 115–126. <https://doi.org/10.1007/s12550-019-00375-7>
- EU (2005). Council Regulation (EC) No 1/2005 of 22 December 2004 on the protection of animals during transport and related operations and amending Directives 64/432/EEC and 93/119/EC and Regulation (EC) No 1255/97.
- EU (2011). Regulation (EU) No 1169/2011 of the European Parliament and of the Council of 25 October 2011 on the Provision of Food Information to Consumers. Annex XIII. *Off. J. Eur. Union L*, 304: 18–63.
- Florek M., Domaradzki P., Litwińczuk Z. (2016a). Teorie dotyczące naturalnych procesów kruszenia mięsa po uboju. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2: 34–48. <https://doi.org/10.15193/zntj/2016/105/113>
- Florek M., Junkuszew A., Bojar W., Skąlecki P., Greguła-Kania M., Litwińczuk A., Gruszczyki T.M. (2016b). Effect of vacuum ageing on instrumental and sensory textural properties of meat from Uhruska lambs. *Ann. Anim. Sci.*, 16: 601–609. <https://doi.org/10.1515/aoas-2015-0084>
- Florek M., Domaradzki P., Żółkiewski P., Ruda B., Litwińczuk Z., Kędzierska-Matysek M. (2019). Właściwości fizykochemiczne i wskaźniki trwałości przechowalniczej wołowiny dojrzewającej na sucho wykorzystaniem serwatki kwasowej. *Med. Weter.*, 75: 487–492. <https://doi.org/10.21521/mw.6214>
- Folch J., Lees M., Sloane S.G.H. (1957). A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissue. *J. Biol. Chem.*, 226: 497–509.
- Grau R., Hamm R. (1953). Eine einfache Methode zur Bestimmung der Wasserbindung im Muskel. *Naturwissenschaft.*, 40: 29–30.
- Grela E.R., Semeniuk W., Florek M. (2008). Effects of protein-xanthophyll (PX) concentrate of alfalfa additive to crude protein-reduced diets on nitrogen excretion, growth performance and meat quality of pigs. *J. Cent. Europ. Agric.*, 9: 669–676.
- Grela E.R., Świątkiewicz M., Florek M., Wojtaszewska I. (2020). Impact of milk thistle (*Silybum marianum* L.) seeds in fatter diets on pig performance and carcass traits and fatty acid profile and cholesterol of meat, backfat and liver. *Liv. Sci.*, 239: 104180. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2020.104180>
- Grela E.R., Świątkiewicz M., Florek M., Bąkowski M., Skiba G. (2021). Effect of inulin source and a probiotic supplement in pig diets on carcass traits, meat quality and fatty acid composition in finishing pigs. *Animals*, 11: 2438. <https://doi.org/10.3390/ani11082438>
- Hornsey H.C. (1956). The colour of cooked cured pork I. Estimation of the nitric oxide-haem pigments. *J. Sci. Food Agric.*, 7: 534–540.
- Islam M.M., Ahmed S.T., Kim S.-G., Mun H.-S., Yang C.-J. (2014). Dietary effect of artificial zeolite on performance, immunity, faecal microflora concentration and noxious gas emissions in pigs. *Ital. J. Anim. Sci.*, 13: 830–835. <http://dx.doi.org/10.4081/ijas.2014.3404>
- Ivanov O.V., Ivanov E.A. (2016). Productivity of pigs and quality meat while feeding premix “Biolekks” and bentonite. *Bulg. J. Agric. Sci.*, 22: 62–65.
- Iwańska E., Mikołajczak B., Grześ B., Pospiech E. (2016). Impact of post mortem aging of pork on changes in the isoelectric point of the proteins and tenderness. *Med. Weter.*, 72: 458–462. <http://dx.doi.org/10.21521/mw.5530>
- Kalus K., Konkol D., Korczyński M., Koziel J.A., Opaliński S. (2020). Effect of biochar diet supplementation on chicken broilers performance, NH₃ and odor emissions and meat consumer acceptance. *Animals*, 10: 1539. <https://doi.org/10.3390/ani10091539>
- Kashef M., Afsharmanesh M., Salarmoini M. (2021). Effect of the substitution of different levels of Biochar with mineral premix in diet on growth performance variables, meat quality and bone ash of broiler. *Iran. J. Anim. Sci. Res.*, 13: 537–549. DOI: 10.22067/ijasr.2021.38290.0

- Kim J.H., Kim S.C., Ko Y.D. (2005). Effect of dietary zeolite treated on the performance and carcass characteristics in finishing pigs. *J. Anim. Sci. Technol. (Kor.)*, 47: 555–564.
- Kim S.-H., Lee I.-C., Kang S.-S., Moon C., Kim S.-H., Shin D.-H., Kim H.-C., Yoo J.-C., Kim J.-C. (2011). Effects of bamboo charcoal and bamboo leaf supplementation on performance and meat quality in chickens. *J. Life Sci.*, 21: 805–810. DOI: 10.5352/JLS.2011.21.6.805.
- Kutlu H.R., Ünsal I. (1998). Effects of dietary wood charcoal on performance and fatness of broiler chicks. *Br. Poult. Sci.*, 39: S31–S32. <https://doi.org/10.1080/00071669888223>
- Lamkaddam I.U., Blázquez E., Pelaz L., Llenas L., Ponsá S., Colón J., Vega E., Mora M. (2021). Application of ion-exchange-based additive to control ammonia emissions in fattening pig barns with slatted floors. *Environ. Technol. Innov.*, 22: 101481. DOI: 10.1016/j.eti.2021.101481.
- Lao E.J., Mbega E.R. (2020). Biochar as a feed additive for improving the performance of farm animals. *Malaysian J. Sust. Agric.*, 4: 86–93. DOI:10.26480/mjsa.02.2020.86.93
- Lebret B., Čandek-Potokar M. (2022). Review: Pork quality attributes from farm to fork. Part I. Carcass and fresh meat. *Animal*, 16 (Suppl. 1): 100402. DOI: 10.1016/j.animal.2021.100402.
- Lee J., Song M., Yun W., Liu S., Oh H., An J., Kim Y., Lee C., Kim H., Cho J. (2020). Effects of silicate derived from quartz porphyry supplementation in the health of weaning to growing pigs after lipopolysaccharide challenge. *J. Appl. Anim. Res.*, 48: 440–447. <http://dx.doi.org/10.1080/09712119.2020.1817748>
- Lin-Schilstra L., Backus G., Snoek H., Mörlein D. (2022). Consumers' view on pork: Consumption motives and production preferences in ten European Union and four non-European Union countries. *Meat Sci.*, 187: 108736, DOI: 10.1016/j.meatsci.2022.108736.
- Man K.Y., Chow K.L., Man Y.B., Mo W.Y., Wong M.H. (2021). Use of biochar as feed supplements for animal farming. *Critic. Rev. Environ. Sci. Technol.*, 51: 187–217. <http://dx.doi.org/10.1080/10643389.2020.1721980>
- Min B., Nam K.C., Cordray J., Ahn D.U. (2008). Endogenous factors affecting oxidative stability of beef loin, pork loin, and chicken breast and thigh meats. *J. Food Sci.*, 73: C439–C446.
- National Research Council, NRC (2012). *Nutrient Requirements of Swine*, 11th revised ed.; National Academies Press: Washington, DC, USA.
- Obwieszczenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi dnia 19 września 2019 r. W sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi w sprawie minimalnych warunków utrzymywania gatunków zwierząt gospodarskich innych niż te, dla których normy ochrony zostały określone w przepisach Unii Europejskiej. <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU20190001966>
- Ossowski M., Wlazło Ł., Nowakowicz-Dębek B., Florek M. (2021). Effect of natural sorbents in the diet of fattening pigs on meat quality and suitability for processing. *Animals*, 11: 2930. <https://doi.org/10.3390/ani11102930>
- Ossowski M., Wlazło Ł., Bis-Wencel H., Krzaczek P., Nowakowicz-Dębek B. (2022). Zastosowanie naturalnych sorbentów w żywieniu świń jako metoda zmniejszania zanieczyszczeń pomieszczeń hodowlanych. *Przem. Chem.*, 101: 297–303. <https://doi.org/10.15199/62.2022.5.1>
- Park C.I., Kim Y.J. (2001). Effect of additions of supplemental activated carbon on the fatty acid, meat color and minerals of chicken meat. *Korean J. Food Sci. Anim. Resour.*, 21: 285–291.
- PN-75-A-04018:1975/Az3:2002. Produkty rolniczo-żywnościowe – Oznaczanie azotu metodą Kjeldahla i przeliczanie na białko; Polski Komitet Normalizacyjny: Warszawa, Polska, 2002.

- PN-EN ISO 5508:1996. Oleje i tłuszcze roślinne oraz zwierzęce – Analiza estrów metylo-
wych kwasów tłuszczowych metodą chromatografii gazowej; Polski Komitet Normali-
zacyjny: Warszawa, Polska, 1996.
- PN-ISO 1442:2000. Mięso i przetwory mięsne – Oznaczanie zawartości wody (metoda odwo-
ławcza); Polski Komitet Normalizacyjny: Warszawa, Polska, 2000.
- PN-ISO 1444:2000. Mięso i przetwory mięsne – Oznaczanie zawartości tłuszczu wolnego;
Polski Komitet Normalizacyjny: Warszawa, Polska, 2000.
- PN-ISO 936:2000. Mięso i przetwory mięsne – Oznaczanie popiołu całkowitego; Polski Ko-
mitet Normalizacyjny: Warszawa, Polska, 2000.
- Prache S., Adamiec C., Astruc T., Baéza-Campone E., Bouillot P.E., Clinquart A., Feidt C.,
Fourat E., Gautron J., Girard A., Guillier L., Kesse-Guyot E., Lebret B., Lefèvre F., Le
Perchec S., Martin B., Mirade P.S., Pierre F., Raulet M., Rémond D., Sans P., Souchon
I., Donnars C., Santé-Lhoutellier V. (2022). Review: Quality of animal-source foods.
Animal, 16 (Suppl. 1): 100376. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100376>
- Schmidt H., Hagemann N., Draper K., Kammann C. (2019). The use of biochar in animal
feeding. *PeerJ*, 7: e7373. <https://doi.org/10.7717/peerj.7373>
- Schneider A.F., Zimmermann O.F., Gewehr C.E. (2017). Zeolites in poultry and swine pro-
duction. *Ciência Rural*, Santa Maria, 47: e20160344. <http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20160344>
- Shi Y.H., Xu Z.R., Wang C.Z., Sun Y. (2007). Efficacy of two different types of montmoril-
lonite to reduce the toxicity of aflatoxin in pigs. *New Zeal. J. Agric. Res.*, 50: 473–478.
<http://dx.doi.org/10.1080/00288230709510315>
- Shurson G.C., Ku P.K., Miller E.R., Yokoyama M.T. (1984). Effects of zeolite a or clinoptilo-
lite in diets of growing swine. *J. Anim. Sci.*, 59: 1536–1545.
- Sieczkowska H., Koćwin-Podsiadła M., Antosik K., Krzęcio E., Zybert A., Korszeń Ł.
(2010). Charakterystyka jakości surowca wieprzowego wybranych grup rasowych tucz-
ników. *Rocz. Nauk. PTZ*, 6: 363–374.
- Siemiński G., Skąlecki P., Florek M., Domaradzki P., Poleszak E., Dmoch M., Ryszkowska-
Siwko M., Kędzierska-Matysek M., Teter A., Kowalczyk M., Kaliniak-Dziura A.
(2023). Meat nutritional value of Puławska fattening pigs, Polish Large White × Puław-
ska crossbreeds and hybrids of Danbred. *Animals*, 13: 2408.
<https://doi.org/10.3390/ani13152408>
- Slamova R., Trckova M., Vondruskova H., Zraly Z., Pavlik I. (2011). Clay minerals in animal
nutrition. *Appl. Clay Sci.*, 51: 395–398. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2011.01.005>
- Terry S.A., Redman A.-A.P., Ribeiro G.O., Chaves A.V., Beauchemin K.A., Okine E., McAl-
lister T.A. (2020). Effect of a pine enhanced biochar on growth performance, carcass
quality, and feeding behavior of feedlot steers. *Translat. Anim. Sci.*, 4: 831–838.
<https://doi.org/10.1093/tas/txaa011>
- Toth J.D., Dou Z. (2016). Use and impact of biochar and charcoal in animal production sys-
tems. In: *Agricultural and environmental applications of biochar: Advances and barriers*,
Guo M., He Z., Uchimiya S.M. (Eds). DOI: 10.2136/sssaspecpub63.2014.0043.5
- Troy S.M., Lawlor P.G., O' Flynn C.J., Healy M.G. (2013). Impact of biochar addition to soil
on greenhouse gas emissions following pig manure application. *Soil Biol. Biochem.*, 60:
173–181. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2013.01.019>
- Witte V.C., Krause G.F., Bailey M.E. (1970). A new extraction method for determining 2-
thiobarbituric acid values of pork and beef during storage. *J. Food Sci.*, 35: 582–585.
- Wojtysiak D., Połtowicz K. (2015). Effect of ageing time on microstructure, rate of desmin
degradation and meat quality of pig *longissimus lumborum* and adductor muscles. *Folia
Biol. (Krakow)*, 63: 151–158. https://doi.org/10.3409/fb63_2.151

- Young-Jik K., Woo-Whan J., Tae-Ho C., In-Hag C. (2017). Growth performance, meat quality, and carcass characteristics in growing and fattening Hanwoo steers fed bentonite. *Acta Scient. Anim. Sci.*, 39: 309–313. DOI: 10.4025/actascianimsci.v39i3.35405
- Yu D.Y., Li X.L., Li W.F. (2008). Effect of montmorillonite superfine composite on growth performance and tissue lead level in pigs. *Biol. Trace Elem. Res.*, 125: 229–235. <https://doi.org/10.1007/s12011-008-8173-0>

Zatwierdzono do druku: 8 IV 2024

EFFECT OF BIOCARBON ON THE QUALITY OF PORK RAW MATERIAL

**Mariusz Florek, Łukasz Wlazło, Piotr Domaradzki, Mateusz Ossowski,
Bożena Nowakowicz-Dębek, Katarzyna Karpińska, Anna Czech**

SUMMARY

Since there was scarce information on the use of biocarbon as a feed additive in the diet of pigs, a study was undertaken to evaluate its effect on the quality of two skeletal muscles of crossbred fattening pigs. A control group (K) received only standard feed, and three experimental groups received standard feed together with increasing percentages of sorbent: D1 0.25%, D2 0.5% and D3 0.75%, respectively. The proximate composition, fatty acid profile of intramuscular fat and physico-chemical technological parameters (including pH, colour, water holding capacity, shear force, oxidative stability) were determined in the fattening pigs' meat. Despite the occurrence of some significant differences between the compared groups, it should be concluded that the increasing addition of biocarbon in the ration did not have a targeted effect on the assessed properties of the pork meat. It was confirmed that the use of biocarbon as an additive in the pig diet in the range of 0.25 to 0.75 per cent did not negatively affect the proximate composition, physico-chemical parameters and fatty acid profile of the skeletal muscles. Thus, its application does not limit the use of such raw material for the production of case-ready meat (for culinary purpose) or its processing into sausages. Some limitation may result from the observed reduction in intramuscular fat, which may contribute to the lack of development of appropriate sensory characteristics of the meat, but this has to be verified in further studies.

Keywords: pigs, meat, biocarbon, quality