



**RADA NAUKOWA DYSCYPLINY
ZOOTECHNIKA I RYBACTWO**

ROZPRAWA DOKTORSKA

**w formie zbioru opublikowanych i powiązanych tematycznie artykułów
naukowych w dyscyplinie zootechnika i rybactwo**

mgr inż. Bartosz Bigorowski

***Efektywność produkcji i jakość surowca w aspekcie zastosowania
alternatywnego żywienia kaczek rzeźnych***
*Production Efficiency and Meat Quality in Relation to Alternative Feeding
Strategies in Broiler Ducks*

DZIEDZINA NAUK ROLNICZYCH
DYSCYPLINA ZOOTECHNIKA I RYBACTWO

PROMOTOR PRACY

dr hab. inż. Szymon Ł. Różański, prof. PBŚ

PROMOTOR POMOCNICZY

dr inż. Sebastian Właźlak

Katedra Hodowli i Żywienia Zwierząt, Wydział Hodowli i Biologii Zwierząt

Politechnika Bydgoska im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich

Bydgoszcz, 2026

Źródło finansowania

Badania naukowe, których wyniki prezentowane są w tematycznie powiązanych ze sobą publikacjach będących podstawą niniejszej rozprawy doktorskiej zrealizowano w ramach programu "Regionalna Inicjatywa Doskonałości" (RID/SP/0017/2024/01).

Opłaty za przetwarzanie artykułów w trybie otwartego dostępu dofinansowano ze środków Ministra Nauki w ramach programu "Regionalna Inicjatywa Doskonałości" (RID/SP/0017/2024/01).

Podziękowania

*Składam podziękowania mojemu promotorowi Panu **dr. hab. inż. Szymonowi Różańskiemu, prof. PBŚ** za pomoc merytoryczną i wsparcie podczas pisania pracy oraz promotorowi pomocniczemu Panu **dr. inż. Sebastianowi Wlazlakowi** za zaangażowanie oraz cenne sugestie i uwagi.*

*Chciałbym również podziękować Panu **prof. dr. hab. inż. Markowi Adamskiemu** za nieocenione wsparcie i motywację, Panu **dr. hab. inż. Jakubowi Bieskowi, prof. PBŚ** za zaangażowanie i wskazówki na każdym etapie rozwoju naukowego oraz Panu **dr. hab. inż. Mirosławowi Banaszkowi, prof. PBŚ**, za otwartość i okazywane wsparcie.*

*Pragnę również podziękować mojej **Rodzinie i Bliskim** za motywację oraz wiarę w moje możliwości.*

*Pracę dedykuję mojej żonie **Martynie** oraz moim dzieciom **Gabrieli i Witoldowi** bo dzięki Wam każdy trud miał sens.*

SPIS TREŚCI

1.	Wstęp	9
2.	Wykaz artykułów naukowych stanowiących cykl publikacji rozprawy doktorskiej	12
3.	Uzasadnienie spójności tematycznej cyklu publikacji rozprawy doktorskiej	13
3.1.	Hipoteza badawcza, cel i zakres badań	14
3.2.	Materiały i metody badań	15
3.2.1.	Układ doświadczenia i warunki odchowu kaczek rzeźnych	15
3.2.2.	Skład chemiczny paszy	17
3.2.3.	Zawartość kwasów tłuszczowych oraz witamin w paszy i mięsie	18
3.2.4.	Wyniki produkcyjne kaczek rzeźnych	19
3.2.5.	Szacowanie ekonomiki paszy	19
3.2.6.	Skład tuszek oraz cechy fizykochemiczne mięsa	21
3.2.7.	Lepkość treści pokarmowej	24
3.2.8.	Analiza statystyczna	24
3.3.	Wyniki	25
3.3.1.	Wyniki produkcyjne kaczek rzeźnych	25
3.3.2.	Szacowanie ekonomiki paszy	26
3.3.3.	Wydajność rzeźna i cechy tuszek	26
3.3.4.	Cechy fizykochemiczne mięśni	26
3.3.5.	Lepkość treści pokarmowej	27
3.3.6.	Profil kwasów tłuszczowych i zawartość witamin w mięśniach	28
3.4.	Dyskusja	30
3.4.1.	Wyniki produkcyjne kaczek rzeźnych	30
3.4.2.	Szacowanie ekonomiki paszy	32
3.4.3.	Wydajność rzeźna i cechy tuszek	32
3.4.4.	Cechy fizykochemiczne mięśni	34
3.4.5.	Lepkość treści pokarmowej	35
3.4.6.	Profil kwasów tłuszczowych i zawartość witamin	36
3.5.	Wnioski	39
3.6.	Tabele	41
3.7.	Literatura	55
4.	Streszczenie	65
5.	Abstract	67

6.	Załączniki	69
6.1.	Kopie artykułów naukowych stanowiących cykl publikacji rozprawy doktorskiej	69
6.2.	Oświadczenie autora rozprawy doktorskiej	69
6.3.	Oświadczenia współautorów artykułów naukowych	69

1. WSTĘP

W 2024 roku produkcja drobiu w Polsce wyniosła 268,86 mln sztuk, w tym kaczek 7,40 mln sztuk. Z kolei produkcja mięsa drobiowego w 2024 r. w naszym kraju wyniosła 3,01 mln ton tuszek. W porównaniu do roku 2023 wzrost produkcji oszacowano na poziomie 1,32%. Polska w 2024 roku wyprodukowała 76,2 tys. ton tuszek kaczyc co do roku 2023 stanowiło wzrost o 11,15% i uplasowało nasz kraj na trzecim miejscu w Unii Europejskiej zaraz za Francją (187,8 tys. ton) i Węgrami (76,3 tys. ton) [AVEC, 2025]. Żywienie drobiu może stanowić 70-80% kosztów jego produkcji [Gunasekar, 2006], dlatego ważne jest, aby te koszty optymalizować i szukać alternatywnego sposobu żywienia, który pozwoli utrzymać wysokie wyniki produkcyjne oraz dobrą jakość mięsa [Biesek i in., 2022a].

Według Li i in. [2025] kaczki rzeźne Cherry Valley pochodzące z angielskiej firmy Cherry Valley Farms, są najbardziej rozpowszechnionym mieszańcem towarowym na świecie. W Polsce warunki środowiskowe są przyjazne do utrzymywania stad kaczek, a zdaniem Kokoszyńskiego i in. [2015] to właśnie kaczki rzeźne Cherry Valley w warunkach krajowych charakteryzuje szybkie tempo wzrostu i optymalny współczynnik zużycia paszy (FCR), mimo zróżnicowanych warunków odchowu. W naszym kraju w gospodarstwach indywidualnych w zależności od systemu utrzymania, kaczki rzeźne użytkuje się od 6. do 8. tygodni [Gornowicz i in., 2011].

Dodatkowo żywienie wpływa bezpośrednio na jakość pozyskanego surowca rzeźnego [Baéza, 2016]. Jak podaje Orkusz [2015], ogół cech danego produktu, która zaspokoi potrzeby konsumenta jest wyznacznikiem jego jakości. Wartość odżywcza, barwa, smakowitość, kruchość, twardość oraz soczystość to jedne z głównych cech, na które zwraca uwagę konsument. Dodatkowo, do fizykochemicznych cech jakościowych należą także: skład chemiczny oraz zdolność utrzymania wody [Augustyńska-Prejsnar i in., 2018]. Według Zhanga i in. [2013] za decyzje zakupowe oraz postrzeganie świeżości produktu odpowiedzialna jest barwa, kruchość i zdolność zatrzymywania wody w mięsie. Jak podaje Wlaźlak i in. [2024] mięso kaczki dzięki wysokiej wartości odżywczej i wysokiej zawartości tłuszczu (głównego nośnika smaku) może być konkurencją w stosunku do mięsa pozostałych gatunków drobiu. Mięso kaczki wyróżnia duża zawartość kwasu linolenowego (C18:3 n-3) i kwasu linolowego (C18:2 n-6) oraz wielonienasyconych kwasów tłuszczowych (PUFA) i aminokwasów egzogennych.

Zdaniem Suwignyo i in. [2021] specyfika układu pokarmowego kaczek pozwala na zastosowanie pasz o wyższej zawartości włókna pokarmowego w ich żywieniu. Tym samym

umożliwia to wykorzystanie w dawce pokarmowej pasz alternatywnych jakimi nie wątpliwie są kiszone ziarno kukurydzy i marchew. System żywienia oraz komponenty w dawce pokarmowej są głównymi czynnikami wpływającymi na wyniki produkcyjne, w tym tempo wzrostu ptaków oraz (FCR).

W poszukiwaniu optymalizacji kosztów utrzymania kaczek w praktyce drobiarskiej, szczególnie w chowie półintensywnym, poszukuje się alternatywnych sposobów żywienia względem tych standardowych, opartych na pełnoporcjowych mieszankach paszowych. W żywieniu kaczek możliwe jest wykorzystanie komponentów paszowych z własnej produkcji w gospodarstwie, odpadów oraz pozostałości po uprawach [Seidavi i in., 2021]. Produkty przemysłu rolno-spożywczego są łatwo dostępne i mogą zastąpić wiele podstawowych komponentów w paszach dla drobiu. Produkty uboczne z przetwórstwa zbóż oraz warzyw cieszą się dużym zainteresowaniem w żywieniu drobiu, w związku z ich niskim kosztem zakupu, co przekłada się na obniżenie kosztów produkcji mięsa [Abo Ghanima i in., 2020]. Z tego powodu w badaniach własnych wykorzystano w żywieniu kaczek kiszone ziarno kukurydzy oraz marchew w różnych formach (płatki, proszek, świeża surowa).

Światowa produkcja marchwi szacowana jest na około 42 mln ton rocznie z czego w Europie produkowane jest 27%, a głównym producentem marchwi są kraje Azji (55%) [FAO, 2023; NAB, 2021]. W Unii Europejskiej produkcja marchwi w 2022 roku wyniosła 4,4 mln ton, co stanowi około 2 mln hektarów upraw wszystkich warzyw [Eurostat, 2023a]. Duże ilości marchwi nie są wprowadzane do obrotu ze względu na jej słabą jakość, spowodowaną głównie uszkodzeniami mechanicznymi, długim okresem przechowywania oraz procesami obróbki. Najnowsze dane wskazują, że 34,6% marchwi przetworzonej nie spełnia standardów jakościowych, a dodatkowe 12,6% jest całkowicie utylizowane, co oznacza że prawie połowa przetworzonej marchwi staje się nadwyżką lub odpadem [Pietrangeli i Cicatiello, 2024]. W Unii Europejskiej owoce i warzywa stanowią prawie połowę wszystkich odpadów jakie produkują gospodarstwa domowe. Wykorzystanie tych odpadów oraz nadwyżek produkcji w żywieniu zwierząt to olbrzymi, niewykorzystany potencjał [Eurostat, 2023b; Caldeira i in. 2019].

Duża zawartość wody w ziarnie kukurydzy podczas zbioru (30-50%), przekłada się na problem z jej dłuższym przechowywaniem. Zdaniem Alves i in. [2004] wysoka zawartość wody w składzie ziarna kukurydzy przyczynia się do rozwoju drobnoustrojów, które finalnie są odpowiedzialne za pleśnienie oraz gnienie ziarna. Dlatego też ziarno kukurydzy po zbiorze jest suszone albo zakiszane. W produkcji pasz dla drobiu suche ziarno kukurydzy jest podstawowym surowcem energetycznym [Mateos i in., 2019]. Tańszą od suszenia metodą

przechowywania jest zakiszanie (konserwacja) mokrego ziarna kukurydzy. Jest to metoda pozwalająca zachować wysoką wartość pokarmową tego surowca [Sosin i in., 2010].

Zarówno marchew jak i kiszone ziarno kukurydzy mogą stanowić alternatywne źródło składników odżywczych w porównaniu do pełnoporcjowych mieszanek paszowych. Ponadto mogą zostać wyprodukowane w gospodarstwie indywidualnym. W literaturze naukowej opublikowano doniesienia dotyczące zastosowania marchwi i kukurydzy w żywieniu drobiu. W badaniach Hashema [2012] wykazano, że dodatek 5% suszonej marchwi poprawił wyniki produkcyjne kurcząt rzeźnych (wzrost i FCR) jak również wynik ekonomiczny odchowu, który był efektem obniżenia kosztów paszy. Zastosowanie kiszonego ziarna kukurydzy wpływa na poprawę strawności skrobi [Benton i in., 2005]. Potwierdzono to w badaniach Jacovaciego i in. [2021] na innych gatunkach zwierząt gospodarskich u których zastosowanie kiszonego ziarna kukurydzy w porównaniu do jej suchej formy zwiększyło wykorzystanie paszy o 18,3%.

Stosowanie kiszonego ziarna kukurydzy w żywieniu drobiu wodnego nie jest tak popularne jak w przypadku żywienia bydła mlecznego, opasowego czy trzody chlewnej [Świątkiewicz i Bojanowski, 2008]. Badania nad stosowaniem różnych form marchwi były podejmowane. Steinfeldt i in. [2007] stwierdzili wzrost liczby zniesionych jaj u kur, gdzie zastosowano świeżą marchew, a Siti i Bidura [2022] wykazali zwiększoną produkcję jaj oraz poziom β -karotenu w żółtkach u niosek. Niewiele jest prac dotyczących formy proszku z marchwi oraz płatków w paszach dla kaczek, w związku z tym podjęte badania wydają się być uzasadnione.

2. WYKAZ ARTYKUŁÓW NAUKOWYCH STANOWIĄCH CYKL PUBLIKACJI ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

1. **Bartosz Bigorowski**, Jakub Biesek, Izabela Narloch, Szymon Różański. 2025. Research Note: Impact of different carrot forms on production results and physiochemical features of carcass elements in broiler ducks. *Poultry Science*, 104(11): 105762. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psj.2025.105762>. Impact Factor: 4,500, punkty MNiSW: 140

2. **Bartosz Bigorowski**, Sebastian Wlazlak, Izabela Narloch, Szymon Różański. 2026. The effects of feeding diets with ensiled maize grain on the production efficiency and meat characteristics of broiler ducks. *Journal of Veterinary Research*, 70(2): 279-292. DOI: <https://doi.org/10.2478/jvetres-2026-0020>. Impact Factor: 1,800, punkty MNiSW: 140

3. UZASADNIENIE SPÓJNOŚCI TEMATYCZNEJ CYKLU PUBLIKACJI ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

Z roku na rok zaobserwować można wzrost produkcji mięsa kaczego. W Polsce w roku 2024 produkcja ta zwiększyła się aż o 11,15% względem roku 2023. Jesteśmy na trzecim miejscu wśród producentów mięsa kaczego w Unii Europejskiej. Przez długi czas mięso kaczecie nie było popularne na stołach w naszym kraju, ze względu na duże otłuszczenie, jednakże dotychczasowe badania wykazały, że tłuszcz ten charakteryzuje wysoki udział nienasyconych kwasów tłuszczowych. Ponadto, dzięki podwyższonej zawartości tłuszczu mięso kaczecie ma wyjątkowe walory smakowe.

Wpływ na rosnącą produkcję kaczek rzeźnych mają: optymalizacja warunków środowiskowych, żywienie oraz genetyka – tworzenie mieszańców wielorodowych szybkorosnących. To właśnie żywienie kaczek rzeźnych jest czynnikiem, który dodatkowo determinuje koszty produkcji. W ostatnich latach gwałtowne zmiany cen komponentów paszowych, które stanowią bazę gotowych pasz pełnoporcjowych, wymuszają coraz częściej na producentach poszukiwanie alternatyw w żywieniu.

Mieszańce towarowe Cherry Valley są najchętniej wybieranym materiałem wśród kaczek rzeźnych, zarówno w produkcji wielkotowarowej jak i przydomowej. Szybkie tempo wzrostu oraz przystosowanie do warunków środowiskowych wpływają na dużą masę ciała ptaków w trwającym 7 tygodni odchowie.

Biorąc powyższe pod uwagę w badaniach własnych zastosowano w żywieniu alternatywne pasze (przetworzoną marchew i kiszone ziarno kukurydzy). Dodatkowo, marchew oraz kukurydza są paszami, które można wyprodukować w każdym gospodarstwie posiadającym nawet niewielki areał gruntów ornych, ale również są komponentami łatwo dostępnymi na rynku. Przemysł rolno-spożywczy produkuje duże ilości marchwi odpadowej i ponad produkcyjnej, a tym samym koszty zakupy takiego materiału, który nadaje się do spożycia przez ptaki jest niski. Kukurydza jako roślina zbożowa jednoroczna jest gatunkiem, który charakteryzuje najwyższy plon ziarna ze wszystkich zbóż. Dodatkowo fakt konserwacji ziarna (kiszenie) wpływa na jego długi okres przechowywania, a tym samym dostępności do skarmiania przez cały rok.

Analiza powyższych uwarunkowań przyczyniła się do przeprowadzenia badań pozwalających ocenić efekt zastosowania pasz alternatywnych (marchwi w różnych formach i kiszzonego ziarna kukurydzy) w żywieniu kaczek na wyniki produkcyjne, jakość mięsa, profil

kwasów tłuszczowych oraz zawartość witamin w mięsie. Ponadto podjęto próbę oszacowania obniżenia kosztów żywienia kaczek przy zastosowaniu pasz doświadczalnych.

3.1. HIPOTEZA BADAWCZA, CEL I ZAKRES BADAŃ

W **hipotezie badawczej** założono, iż zastosowanie pasz alternatywnych w żywieniu kaczek rzeźnych Cherry Valley ma wpływ na wyniki produkcyjne, cechy tuszek, jakość mięsa, cechy fizyczne, profil kwasów tłuszczowych w mięsie przy jednoczesnym obniżeniu kosztów paszy.

Weryfikacji hipotezy badawczej dokonano poprzez analizę zastosowania pasz alternatywnych w postaci marchwi (surowej, płatków, proszku) oraz kiszonego ziarna kukurydzy w żywieniu kaczek rzeźnych

Celem badań była ocena wyników produkcyjnych, składu tuszek, jakości mięsa oraz profilu kwasów tłuszczowych kaczek rzeźnych Cherry Valley żywionych różnymi formami marchwi i kiszonego ziarna kukurydzy.

Cel główny badań realizowano poprzez wybór dodatku do paszy pełnoporcjowej różnych form marchwi: 2% proszku, 2% płatków oraz 20% świeżej surowej marchwi - **doświadczenie 1** oraz w **doświadczeniu 2** sposobu zadawania kiszonego ziarna kukurydzy w formie zmieszanej: 20% kiszonego ziarna i 80% paszy pełnoporcjowej lub oddzielnie z dostępem do kiszonego ziarna *ad libitum* i ograniczeniu paszy pełnoporcjowej.

3.2. MATERIAŁY I METODY BADAŃ

Badania wykonano zgodnie z obowiązującymi wymogami prawnymi, uwzględniając Dyrektywę Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/63/UE z dnia 22 września 2010 r. w sprawie ochrony zwierząt wykorzystywanych do celów naukowych i Ustawę z dnia 15 stycznia 2015 r. o ochronie zwierząt wykorzystywanych do celów naukowych lub edukacyjnych (z późniejszymi zmianami) oraz wytyczne ARRIVE 2.0 [Percie du Sert i in., 2020].

3.2.1. Układ doświadczenia i warunki odchowu kaczek rzeźnych

Badania przeprowadzono w 2024 roku w gospodarstwie indywidualnym na terenie województwa kujawsko-pomorskiego. W **doświadczeniu 1** do odchowu przeznaczono 240 piskląt jednodniowych (samców), mieszańców towarowych kaczek Cherry Valley, natomiast w **doświadczeniu 2** 180 piskląt jednodniowych (samców) tego samego pochodzenia. Ptaki do gospodarstwa dostarczono z Zakładu Wylęgu Drobiu Wodnego z województwa wielkopolskiego (Tulce, Polska).

W **doświadczeniu 1** wyróżniono 4 grupy – 1 kontrolną i 3 doświadczalne, w **doświadczeniu 2** trzy grupy – 1 kontrolną i 2 doświadczalne. W obydwu doświadczeniach każdą grupę podzielono na 6 równolicznych powtórzeń po 10 ptaków. W **doświadczeniu 1** (publikacja 1) grupa kontrolna (CON) otrzymywała *ad libitum* 100% paszy pełnoporcjowej pochodzącej z zakupu; grupa CFL otrzymywała 2% dodatek płatków marchwi do paszy pełnoporcjowej komercyjnej, podawanej *ad libitum*; grupa RAWC otrzymywała 80% paszy pełnoporcjowej komercyjnej i 20% świeżej surowej marchwi, mix podawany *ad libitum*; grupa CPOW otrzymywała 2% dodatek sproszkowanej marchwi do paszy pełnoporcjowej komercyjnej, podawanej *ad libitum*. Przez pierwsze 3 dni pasze pełnoporcjową komercyjną podawano we wszystkich grupach, po tym czasie wprowadzono wyżej wymienione dodatki do grup doświadczalnych. Na podstawie deklaracji producenta, pasza starter zawierała: kukurydzę, pszenicę, śrutę poekstrakcyjną sojową, otręby pszenne, śrutę poekstrakcyjną słonecznikową, łuskane nasiona słonecznika, jęczmień, śrutę poekstrakcyjną rzepakową, gluten pszenny paszowy, węglan wapnia, tłuszcz zwierzęcy, fosforan jednowapniowy, olej i tłuszcz roślinny (surowy słonecznikowy), chlorek sodu i siarczan sodu. Wartość pokarmową stanowiło: białko surowe (19,30%), tłuszcz surowy (3,90%), włókno surowe (4,40%), popiół surowy (5,20%), lizynę (0,94%), metioninę (0,44%), wapń (0,60%), fosfor (0,61%) i sód (0,16%). Pasza grower zawierała: kukurydzę, pszenicę, otręby pszenne, śrutę poekstrakcyjną sojową, śrutę poekstrakcyjną słonecznikową, łuskane nasiona słonecznika, pszenżyto, śrutę

poekstrakcyjną rzepakową, tłuszcz zwierzęcy, węglan wapnia, fosforan jednowapniowy, chlorek sodu i wodorowęglan wapnia. Wartość pokarmową stanowiło: białko surowe (17,20%), tłuszcz surowy (3,90%), włókno surowe (4,90%), popiół surowy (4,70%), lizynę (0,85%), metioninę (0,36%), wapń (0,60%), fosfor (0,56%) i sód (0,15%). Dodatki między sobą różniły się frakcją. Marchew świeża oraz płatki miały zbliżoną do siebie wielkość, natomiast proszek z marchwi miał frakcję mniejszą niż pasza komercyjna. W przypadku dodatku 2% płatków oraz 2% proszku do paszy komercyjnej zastosowano tzw. przedmieszkę, którą wprowadzono do pozostałej objętości paszy przy użyciu mieszalnika pasz (Dozamech, Odolanów, Polska). Płatki marchwi oraz proszek pochodził z zakupu, natomiast marchew świeża pochodziła z gospodarstwa, w którym wykonano testy.

W **doświadczeniu 2** grupa kontrolna (CON) była żywiona dokładnie tak samo jak w doświadczeniu 1; grupa CSMIX otrzymywała mieszankę 80% paszy pełnoporcjowej komercyjnej i 20% zakiszonego ziarna kukurydzy, podawanej *ad libitum*; grupa CD+SG otrzymywała ograniczoną ilość paszy pełnoporcjowej komercyjnej z zakiszonym ziarnem kukurydzy, które podawane było *ad libitum*. Ograniczenie dziennej ilości paszy komercyjnej zostało ustalone na podstawie danych zgodnych z opracowaniem Zaremba i in. [2024]. Analogicznie jak w **doświadczeniu 1** przez pierwsze 3 dni paszę komercyjną podawano we wszystkich grupach, po tym czasie wprowadzono dodatek kiszonego ziarna w grupach doświadczalnych. Kiszzone ziarno kukurydzy pochodziło z gospodarstwa, w którym przeprowadzono badania. Ziarno kukurydzy o zawartości 34% SM zostało poddane zmieleniu przy użyciu śrutownika bijakowego (Gruber, Gaspoltshofen, Austria) z dodatkiem zakiszacza AGRO SIL CORN w ilości 3 kg/1000kg ziarna. Następnie zmielone ziarno z zakiszaczem wsypało do worków typu Big Bag o pojemności 1000 kg, które wyposażone były dodatkowo w foliowy worek, całość ubito i szczelnie zamknięto po 24 godzinach, aby ograniczyć dostęp tlenu. Kiszzone ziarno kukurydzy w doświadczeniu 2 zastosowano po 32. tygodniach od jego przygotowania.

Wyodrębniono dwa okresy żywieniowe. Pierwszy okres od 1. do 28. dnia życia ptaków, gdzie stosowano pasze pełnoporcjową typu starter i drugi od 29. do 49. dnia życia, gdzie podawano ptakom paszę pełnoporcjową typu grower. Pasza pełnoporcjowa pochodziła z zakupu i miała formę kruszonki (De Heus, Łęczyca, Polska).

Odchów kaczek trwał 49 dni. Budynek inwentarski, w którym przeprowadzono doświadczenia został przygotowany zgodnie z wymogami dotyczącymi warunków utrzymania kaczek [Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi, 2010]. Ptaki utrzymywano w kojcach przystosowanych dla kaczek rzeźnych. Wielkość każdego kojca wynosiła 1,44 m², a jako ściółkę użyto pociętej słomy pszennej. Temperatura powietrza przez pierwsze 4 dni w budynku wynosiła 28-30°C. W kolejnych dniach temperatura była systematycznie obniżana, tak że w 4. tygodniu odchowu wynosiła 20°C. Przez okres pierwszych 4. tygodni zastosowano dodatkowe źródło ciepła w postaci promienników grzewczych (250W, 30-32°C). Mikroklimat w pomieszczeniu był zgodny z parametrami określonymi dla kaczek [Biesek i in., 2022]. Przez okres całego odchowu kaczki miały swobodny dostęp do świeżej wody oraz paszy *ad libitum*. Kojce wyposażone były w poidelka smoczkowe oraz karmidła o długości 7 cm na sztukę. W **doświadczeniu 2** w grupie CD+SG kojce wyposażono w dodatkowe karmidła, w których zasypywano kiszone ziarno kukurydzy, tak aby ptaki miały możliwość wyboru paszy.

3.2.2. Skład chemiczny paszy

W doświadczeniach 1 i 2 pasze analizowano pod względem składu chemicznego. Pobrano próbki paszy z grup kontrolnych i doświadczalnych oraz stosowanych dodatków. Próbki paszy pobrano w 1. oraz 29. dniu, po zmianie paszy ze startera na grower. W tabeli 1 przedstawiono wyniki składu chemicznego pasz komercyjnych (starter, grower), pasz stosowanych w grupach doświadczalnych oraz dodatków marchwi w różnej formie. W tabeli 2 przedstawiono wyniki składu chemicznego pasz komercyjnych (starter, grower), pasz stosowanych w grupach doświadczalnych oraz kiszonego ziarna kukurydzy.

Określono następujące składniki w paszy:

- sucha masa - PN-ISO 6496:2022,
- popiół surowy - Rozporządzenie Komisji (WE) nr 152/2009 z dnia 27 stycznia 2009 r.,
- białko surowe - PN-ISO 5983-1:2006,
- tłuszcz surowy - PN-EN ISO 6492:2005,
- włókno surowe - PN-ISO 6865:2002,
- kwaśne włókno detergentowe (ADF) - PN-EN ISO 13906:2009,
- neutralne włókno detergentowe (NDF) - PN-EN ISO 16472:2007,
- lignina kwaśno - detergentowa (ADL) - PN-EN ISO 13906:2009,
- energia brutto - PN-EN ISO 9831:2005.

Zawartość wszystkich składników wyrażono w g/kg suchej masy [Zaremba i in., 2024].

3.2.3. Zawartość kwasów tłuszczowych oraz witamin w paszy i mięsie

Zawartość witamin w paszach, różnych formach marchwi, kiszonym ziarnie kukurydzy oraz mięsie.

Próbki paszy oraz mielonego mięsa traktowano przeciwutleniaczem (metanol) i roztworem wodorotlenku potasu (50%), następnie wytrząsano (30 minut). Po zmydleniu dodano wodę i przeprowadzono trzykrotną ekstrakcję mieszaniną heksanu i octanu etylu (9:1). Warstwę organiczną odparowano w strumieniu azotu (60 minut). Rozpuszczoną w metanolu pozostałość przesączono przez filtr strzykawkowy (PTFE 0,22 µm).

Identyfikację i kwantyfikację witamin przeprowadzono za pomocą chromatografu cieczonego (Shimadzu) z detektorem fluorescencyjnym i UV-Vis. Do oznaczenia użyto termostatowej kolumny Gemini 3 µm NX-C18 110A, 150 x 4,6 mm (Phenomenex, USA) z odwróconą fazą (RP) w temperaturze 30°C. Zastosowano elucję gradientową metanolem/tetrahydrofuranem, a przepływ fazy mobilnej wynosił 1 ml/min. Długość fali wzbudzenia i emisji w detektorze fluorescencji wynosiła odpowiednio 295 nm i 330 nm dla α-tokoferolu, β-tokoferolu i γ-tokoferolu oraz 325 nm i 475 nm dla retinolu. Detektor UV-Vis ustawiono na 450 nm dla β-karotenu.

Profil kwasów tłuszczowych w paszach, różnych formach marchwi, kiszonym ziarnie kukurydzy oraz mięsie.

Ekstrakcję lipidów z próbek paszy i mięsa przeprowadzono w oparciu o zmodyfikowaną metodę Folcha i in. [1957]. Próbki traktowano mieszaniną chloroformu i metanolu (2:1, v/v), homogenizowano, poddano działaniu ultradźwięków i odwirowano. Warstwę chloroformu usunięto w strumieniu azotu. Otrzymaną pozostałość transestryfikowano i odwirowano, a ekstrakt zachowano do dalszej analizy. Zawartość estrów metylowych kwasów tłuszczowych (FAME) oznaczono przy użyciu chromatografu gazowego (Agilent Technologies 7890B) z detektorem płomieniowo-jonizacyjnym (FID) i automatycznym systemem dozowania w obecności heksanu. Czasy retencji FAME w próbkach mięsa i paszy określono w odniesieniu do standardu (FAME Mix-37, Sigma-Aldrich, St. Louis, MO). Powierzchnie pików zintegrowano ręcznie za pomocą programu Agilent ChemStation F.01.00.1903 (Agilent Technologies, Santa Clara, Kalifornia, USA), a wyniki wyrażono jako procent całkowitej

powierzchni chromatogramu, stosując współczynniki korekcji detektora z płomieniową jonizacją [Bannon i in. 1986]. Profile kwasów tłuszczowych w mięsie i paszy oznaczono za pomocą chromatografu gazowego Agilent 7890B (Agilent Technologies, Santa Clara, USA) wyposażonego w detektor FID, dozownik z podziałem/bez podziału i wielofunkcyjny autosampler.

3.2.4. Wyniki produkcyjne kaczek rzeźnych

Przez cały okres odchowu rejestrowano liczbę ptaków padłych i brakowania zdrowotne. Na ich podstawie obliczono przeżywalność ptaków. Masę ciała ptaków (BW) kontrolowano w 1., 28. i 49. dniu odchowu (Radwag, Radom, Polska). Na podstawie masy ciała obliczono tempo wzrostu (GR) oraz przyrosty masy ciała (BWG). Codziennie rejestrowano spożycie paszy (FI). Następnie obliczono współczynnik konwersji paszy (FCR) oraz europejski indeks brojlera (EBI). Zastosowano następujące wzory wymienionych parametrów:

$$GR = \frac{\text{końcowa masa ciała (g)} - \text{początkowa masa ciała (g)}}{0,5 \times (\text{początkowa masa ciała (g)} + \text{końcowa masa ciała (g)})} \times 100,$$

$$BWG = \text{końcowa masa ciała (g)} - \text{początkowa masa ciała (g)},$$

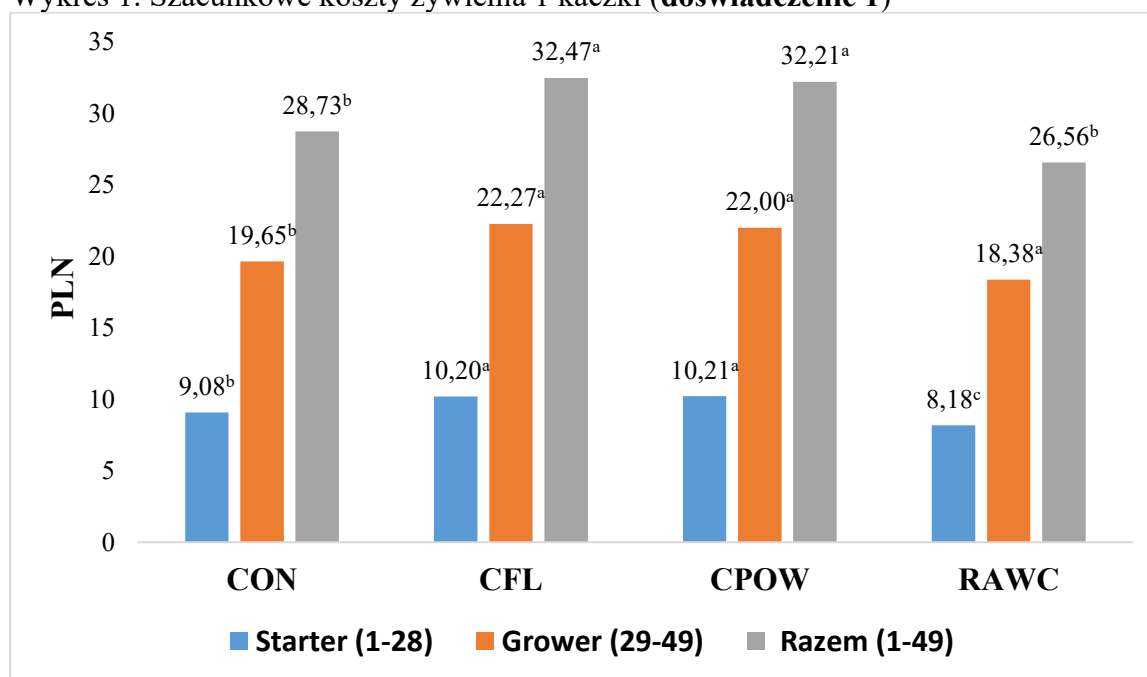
$$FCR = \frac{FI \text{ (kg)}}{BWG \text{ (kg)}},$$

$$EBI = \frac{\text{przeżywalność (\%)} \times \text{średni dzienny przyrost (kg)}}{FCR \frac{\text{kg}}{\text{kg}}} / 10.$$

3.2.5. Szacowanie ekonomiki paszy

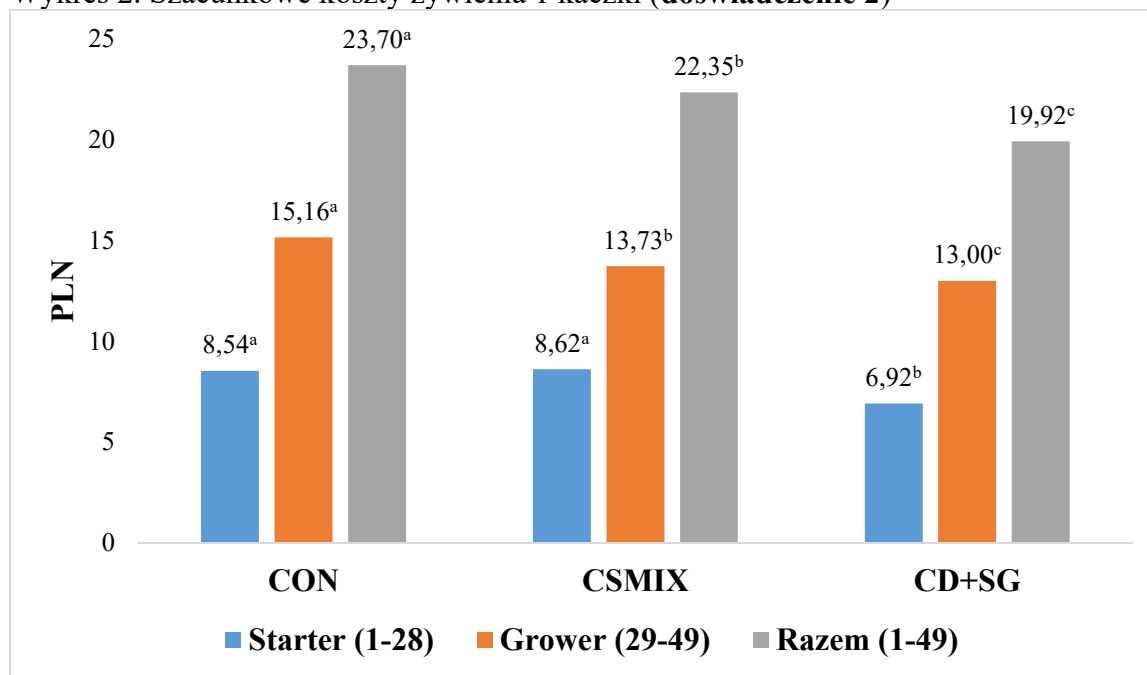
Ekonomikę paszy oszacowano na podstawie cen rynkowych pasz pochodzących z zakupu (pasza pełnoporcjowa, płatki marchwi, proszek marchwi) oraz paszy pochodzącej z gospodarstwa (świeża marchew, kiszone ziarno kukurydzy). Dane przedstawiono na wykresie 1 oraz wykresie 2. W **doświadczeniu 1** kilogram paszy pełnoporcjowej typu starter kosztował 2,92 zł (złoty polski), a pasza pełnoporcjowa typu grower - 2,88 zł/kg. Za 1 kg płatków marchwi zapłacono 18,70 zł, surowa świeża marchew – 0,80 zł/kg, a proszek marchwi – 20 zł/kg. W **doświadczeniu 2** kilogram paszy pełnoporcjowej typu starter kosztował 2,48 zł, a pasza pełnoporcjowa typu grower – 2,37 zł/kg. Kiszone ziarno kukurydzy kosztowało 1 zł/kg.

Wykres 1. Szacunkowe koszty żywienia 1 kaczki (doświadczenie 1)



CON - kaczki żywione paszą komercyjną; CFL - kaczki żywione paszą komercyjną z dodatkiem 2% płatków marchwi; RAWC - kaczki żywione 80% paszy komercyjnej i 20% surowej (świeżej) marchwi; CPOW - kaczki żywione paszą komercyjną z dodatkiem 2% proszku marchwi ^{a,b,...} - oznaczono w kolumnach statystycznie istotne różnice między grupami ($P \leq 0,05$)

Wykres 2. Szacunkowe koszty żywienia 1 kaczki (**doświadczenie 2**)



¹CON - kaczki żywione paszą komercyjną; CSMIX - kaczki żywione paszą komercyjną i kiszonym ziarnem kukurydzy (80:20); CD+SG – kaczki żywione paszą komercyjną w sposób ograniczony i kiszonym ziarnem kukurydzy *ad libitum*, ^{a,b,...} - oznaczono w kolumnach statystycznie istotne różnice między grupami ($P \leq 0,05$)

3.2.6. Skład tuszek oraz cechy fizykochemiczne mięsa

Po zakończonym odchowie wybrano po 2 ptaki z każdego kojca o masie ciała zbliżonej do masy ciała wszystkich ptaków w powtórzeniu. Do uboju pobrano po 12 ptaków z każdej grupy, łącznie w **doświadczeniu 1** – 48 sztuk, w **doświadczeniu 2** – 36 sztuk. Ubój przeprowadzono poprzez ogłuszenie kaczek urządzeniem elektrycznym zgodnie z zaleceniami unijnymi [Dyrektywa, Parlamentu Europejskiego 2010], a następnie wykonano dekapitację między pierwszym kręgiem szyjnym, a kłykiem potylicznym. Tuszkę oparzano w temperaturze około 65°C przez 5 sekund w 4 powtórzeniach, a następnie oskubano przy użyciu skubarki mechanicznej (Soda Plus, Krępice, Polska). Następnie tuszkę na 3 sekundy zanurzano w gorącym wosku (Polwax, Jasło, Polska) i schładzano w zimnej wodzie. Z tuszek usunięto wosk z resztką piór i usunięto łapy w stawie skokowym. Wykonano patroszenie oraz wyodrębniono podroby (serce, żołądek mięśniowy, wątrobę). Tak przygotowane tuszki schłodzono przez 24 godziny w temperaturze 4°C w chłodni (Hendi, Poznań, Polska). Po schłodzeniu tuszki i podroby zważono przy użyciu wagi precyzyjnej (Radwag, Radom, Polska). Podczas ważenia wykonano również analizę pH prawego mięśnia piersiowego za pomocą pH-metru (Elmetron, Zabrze, Polska) wyposażonego w elektrodę sztyletową OSH1280.

Zgodnie z metodą Ziółleckiego i Dobruchowskiego [1989] wykonano dysekcję tuszek poprzez wyodrębnienie następujących elementów: szyi (bez skóry), mięśni piersiowych, mięśni nóg (udo i podudzie bez kości), tłuszczu sadelkowego, skóry z tłuszczem podskórnym (w tym skóra z szyi), skrzydła oraz pozostałości tuszki (korpus, kości nóg). Wszystkie elementy tuszki zostały zważone (Radwag, Radom, Polska), a następnie obliczono ich masę na 100 g tuszki. Obliczono wydajność rzeźną z podrobami i bez podrobów według wzoru:

$$\text{wydajność rzeźna} = \frac{\text{masa tuszki (g)}}{\text{masa ciała przed ubojem (g)}} \times 100$$

$$\text{wydajność rzeźna z podrobami} = \frac{\text{masa tuszki z podrobami (g)}}{\text{masa ciała przed ubojem (g)}} \times 100$$

Oceniono barwę mięśni piersiowych i mięśni nóg według skali barw CIELab, L* - jasność, a* - wysycenie barwą czerwoną, b* - wysycenie barwą żółtą przy użyciu kolorymetru (Konica Minolta, Tokio, Japonia). Pomiar wykonano od wewnętrznej strony obu grup mięśni. Dodatkowo, w **doświadczeniu 1** wykonano pomiar barwy skóry z tłuszczem podskórnym (strona wewnętrzna i zewnętrzna) oraz tłuszczu sadelkowego.

Do analizy wycieku swobodnego wybrano prawy mięsień piersiowy z każdej sztuki. Mięsień zważono (Radwag, Radom, Polska), umieszczono w worku strunowym o wymiarach 150 x 200 mm, który uprzednio ponacinano w dolnej części w celu umożliwienia wycieku wody (M1). Przygotowaną próbkę umieszczono w większym worku strunowym (150 x 250 mm), związano worek sznurkiem i zawieszono w chłodni w temperaturze 4°C na 24 godziny [Banaszak i in., 2022]. Po chłodzeniu ponownie zważono mięsień (M2) i obliczono procent utraty wody ze wzoru:

$$\text{Wyciek swobodny} = 100 - \left(\frac{M2}{M1} \right) \times 100$$

gdzie, M2 – masa końcowa, M1 – masa początkowa.

Tego samego wzoru użyto do obliczeń wodochłonności (WHC) mięsa. Lewy mięsień piersiowy i mięsień nóg zmielono w maszynce do mięsa (Hendi, Poznań, Polska). Próbkę mięśni odważono (0,295 – 0,305 g) (M1), a następnie umieszczono między dwoma kawałkami bibuły Whatmanna i obciążano ciężarem 2 kg przez 5 minut. Próbkę ponownie zważono (M2) (Radwag, Radom, Polska) i określono procent utraty wody [Właźlak i in., 2024]. W próbkach zmielonych mięśni piersiowych i mięśni nóg (90 g) przeprowadzono analizę składu

chemicznego określając zawartość: białka, tłuszczu śródmięśniowego, kolagenu, soli oraz wody. Do analizy wykorzystano aparat FoodScan (Foss, Hillerød, Dania) metodą spektrofotometrii z użyciem bliskiej podczerwieni (NIR) [PN-A-82109:2010]. Ponadto w próbkach tych analizowano zawartość kwasów tłuszczowych oraz witamin zgodnie z metodyką opisaną wcześniej (3.2.3). Obliczono profil kwasów tłuszczowych w mięśniach, w tym nasycone kwasy tłuszczowe (SFA), jednonienasycone (MUFA), wielonienasycone (PUFA), nienasycone (UFA), PUFA n3, PUFA n6, stosując następujące wzory:

- $\sum SFA = C10:0 + C12:0 + C14:0 + C15:0 + C16:0 + C17:0 + C18:0 + C20:0;$
- $\sum MUFA = C14:1 + C16:1 + C17:1 + C18:1n9t + C18:1n9c + C20:1n9 + C24:1n9;$
- $\sum PUFA = C18:2n6t + C18:2n6c + C18:3n3 + C20:2 + C20:3n3 + C20:4n6 + C22:2 + C22:6n3;$
- $\sum UFA = C14:1 + C16:1 + C17:1 + C18:1n9t + C18:1n9c + C18:2n6t + C18:2n6c + C18:3n3 + C20:2 + C20:3n3 + C20:1n9 + C20:4n6 + C22:2 + C22:6n3 + C24:1n9;$
- $PUFA\ n3 = C18:3n3 + C20:3n3 + C22:6n3;$
- $PUFA\ n6 = C18:2n6t + C18:2n6c + C20:4n6.$

Dodatkowo w **doświadczeniu 1** obliczono wskaźniki zdrowotne dla mięśni piersiowych i nóg:

- Indeks wartości odżywczej (**NVI**)= $(C18:0 + C18:1n9)/C16:0;$
- Indeks aterogenności (**AI**)= $(C12:0 + 4 \times C14:0 + C16:0)/(\sum MUFA + \sum(n-6) + \sum(n-3));$
- Indeks trombogenności (**TI**)= $(C14:0 + C16:0 + C18:0)/(0.5 \times \sum MUFA + 0.5 \times (n-6) + 3 \times (n-3) + (n-3)/(n-6));$
- Indeks prozdrowotny (**HPI**)= $(\sum UFA)/(C12:0 + 4 \times C14:0 + C16:0);$
- Indeks podatności na peroksydację (**PI**)= $(\% \text{ monoenoic} \times 0.025) + (\% \text{ dienoic} \times 1) + (\% \text{ trienoic} \times 2) + (\% \text{ tetraenoic} \times 4) + (\% \text{ pentaenoic} \times 6) + (\% \text{ hexaenoic} \times 8);$
- Wskaźnik hipocholesterolemiczny/hipercholesterolemiczny (indeks h/H) = $[(C18:1n9 + C18:2n6 + C18:3n3 + C20:4n6 + C20:5n3 + C22:5n3 + C22:6n3)/(C14:0 + C16:0)].$

Obliczenia przeprowadzono na podstawie metod opisanych przez Ugarković i in. [2024].

3.2.7. Lepkość treści pokarmowej

W **doświadczeniu 2** wykonano analizę lepkości treści jelitowej zmodyfikowaną metodą użytą przez Pestana i in. [2020]. Po przeprowadzeniu patroszenia tuszek z każdej grupy pobrano po 6 próbek treści jelitowej z jelita czczego oraz krętego. Każda z próbek miała objętość około 7,5 ml i została umieszczona w probówce typu Falcon o pojemności 15 ml. Następnie materiał poddano wirowaniu w wirówce laboratoryjnej (Eppendorf, Hamburg, Niemcy) przez 10 minut przy prędkości 4200 obr./min. Po zakończeniu wirowania z każdej próbki pobierano 1,5 ml supernatantu przy użyciu pipety automatycznej (Chemland, Kraków, Polska), a następnie przeniesiono go do probówek typu Eppendorf o pojemności 1,5 ml. Do oznaczenia lepkości użyto wiskozymetr Brookfielda DVNext (LaboPlus, Warszawa, Polska). Na płytkę pomiarową naniesiono 0,5 ml supernatantu, po czym wykonano pomiar przy prędkości obrotowej wynoszącej 6 rpm. Za wartość końcową przyjęto średnią wartość wszystkich odczytów zarejestrowanych w czasie 30-sekundowego pomiaru. Każdą próbkę analizowano dwukrotnie, uzyskując łącznie 12 wyników dla każdej grupy. Otrzymane wartości lepkości wyrażano w centypuazach (cP).

3.2.8. Analiza statystyczna

Przy użyciu programu statystycznego Statistica 13.3.0 [TIBCO Software, Kraków, Polska, 2017] analizowano dane liczbowe. Dla każdej badanej cechy obliczono wartości średnie oraz standardowy błąd średniej (SEM). Do oceny danych zastosowano jednokierunkową analizę wariancji, a do identyfikacji statystycznie istotnych różnic między grupami przy poziomie istotności $P \leq 0,05$ zastosowano test Tukeya. W **doświadczeniu 1** zastosowano model statystyczny:

$$Y_f = \mu + F_f + e_f$$

gdzie Y_f jest zmienną zależną; μ jest średnią ogólną; F_f jest efektem żywienia (f: CON, CFL, RAWC lub CPOW); e_f jest błędem resztkowym.

W **doświadczeniu 2** zastosowano model statystyczny:

$$Y_a = \mu + D_a + e_a$$

gdzie Y_a – zmienna zależna; μ – średnia ogólna; D_a – wpływ żywienia (a = CON, CSMIX lub CD+SG); e_a jest błędem resztkowym.

3.3. WYNIKI

3.3.1. Wyniki produkcyjne kaczek rzeźnych

Analizując śmiertelność kaczek przez 49 dni odchowu nie odnotowano ptaków padłych w grupie CPOW, z kolei w grupach CON, CFL i RAWC śmiertelność kaczek wyniosła 1,67% (**doświadczenie 1**). Taki sam poziom śmiertelności charakteryzował kaczki z grup CON i CSMIX w **doświadczeniu 2**. Największą śmiertelność porównując obydwie doświadczenia odnotowano w grupie, która miała ograniczoną ilość paszy treściwej, a kiszone ziarno kukurydzy było podawane *ad libitum* (3,33%) ($P=0,761$).

Masa ciała, przyrosty masy ciała oraz tempo wzrostu u kaczek w **doświadczeniu 1** były podobne i nie różniły się statystycznie istotnie ($P>0,05$). Analizując tempo wzrostu (GR) oraz przyrosty masy ciała 1-28 (BWG) w **doświadczeniu 2** stwierdzono istotnie mniejsze wartości w grupie CD+SG w porównaniu z grupami CON i CSMIX ($P<0,001$). Z kolei w drugim okresie żywienia (29-49) wartości GR i BWG były istotnie mniejsze w grupach CON i CSMIX w porównaniu do grupy CD+SG ($P=0,62$). Istotnie większe przyrosty masy ciała (BWG) przez cały okres odchowu wykazano w grupie CSMIX w porównaniu do grupy CD+SG ($P=0,047$). Analizując zestawione dane w tabeli 5 w **doświadczeniu 1** odnotowano istotnie wyższy współczynnik zużycia paszy (FCR) w grupie RAWC w pierwszym okresie odchowu ($P=0,010$) jak i przez cały odchów w porównaniu z grupą CPOW ($P=0,038$). Istotnie niższy FCR (tabela 6) w całym okresie odchowu charakteryzował ptaki z grupy CON w porównaniu do pozostałych grup ($P=0,048$). Analizując parametry europejskiego indeksu brojlera (EBI) w **doświadczeniu 1** nie odnotowano statystycznie istotnych różnic ($P=0,146$). Natomiast w doświadczeniu gdzie użyto za dodatek kiszone ziarno kukurydzy parametr ten był istotnie wyższy w grupie CSMIX w porównaniu do grupy CD+SG ($P=0,004$).

W **doświadczeniu 1** istotnie najniższy koszt paszy stwierdzono w grupie CON i RAWC w porównaniu do grupy CFL i CPOW ($P<0,001$). Ponadto, istotnie najniższa cena paszy starter wyróżniała grupy gdzie zastąpiono 20% paszy świeżą surową marchwią ($P<0,001$). Z drugiej strony w **doświadczeniu 2** wykazano istotnie niższe koszty żywienia kaczek w grupach doświadczalnych w porównaniu do grupy kontrolnej ($P<0,001$). Z kolei w pierwszym okresie żywienia pasza w grupie CD+SG charakteryzowała istotnie niższą ceną wyprodukowania niż w pozostałych grupach ($P<0,001$).

3.3.2. Szacowanie ekonomiki paszy

Analizując koszty związane z żywieniem kaczek (wykres 1) stwierdzono statystycznie istotne różnice pomiędzy grupami ($P \leq 0,05$). Istotnie największy koszt żywienia jednej kaczki przez cały okres odchowu wykazano w grupie CFL i CPOW w porównaniu do grupy CON oraz RAWC. Żywienie kaczek świeżą marchwią (doświadczenie 1) pozwoliło obniżyć koszty odchowu związane z żywieniem o 2,17 PLN na każdej sztuce w czasie 49. dni odchowu ($P \leq 0,05$) w porównaniu do grupy kontrolnej. W doświadczeniu 2 stwierdzono statystycznie istotnie największe koszty żywienia kaczki w grupie CON przez drugi okres żywieniowy oraz za przez cały okres odchowu. Istotnie najniższy koszt żywienia kaczki przez cały okres odchowu wykazano w grupie CD+SG w porównaniu do grupy CON i CSMIX.

3.3.3. Wydajność rzeźna i cechy tuszek

Wydajność rzeźna kaczek w **doświadczeniu 1** oraz **doświadczeniu 2** nie różniła się statystycznie istotnie między grupami ($P=0,833$; $P=0,065$). Wydajność rzeźna z podrobami w **doświadczeniu 1** nie różniła się istotnie między grupami ($P=0,877$). W **doświadczeniu 2** istotnie wyższą wydajność rzeźną z podrobami stwierdzono w grupie CSMIX w porównaniu do grupy kontrolnej ($P=0,036$). Z kolei w grupie CD+SG nie różniła się istotnie między pozostałymi grupami ($P=0,005$).

Analizując tabelę 7 istotnie większą masę mięśni nóg u kaczek z grupy CPOW (**doświadczenie 1**) w porównaniu do grupy CON i RAWC ($P=0,046$). Grupy CON i CFL charakteryzowała istotnie większa masa skóry z tkanką podskórną ($P=0,048$) oraz większa całkowita ilość tłuszczu ($P=0,033$) w porównaniu do grupy RAWC i CPOW. Istotnie największą masę wątroby wykazano w grupie CD+SG w porównaniu do pozostałych grup ($P=0,005$; tabela 8). Masa mięśni piersiowych ($P=0,031$) oraz całkowita masa mięśni w grupie CD+SG była istotnie mniejsza w porównaniu do CON ($P=0,029$). Masa skóry z tłuszczem podskórnym ($P=0,030$) i ogólna zawartość tłuszczu ($P=0,046$) była istotnie większa u ptaków z grupy CD+SG w porównaniu do grupy kontrolnej. Grupa CSMIX nie różniła się istotnie od pozostałych grup.

3.3.4. Cechy fizykochemiczne mięśni

W **doświadczeniu 1**, (tabela 9) mięśnie piersiowe kaczek z grupy RAWC i CPOW charakteryzowała większa zawartość białka w porównaniu do pozostałych grup. Istotnie najmniejszą zawartość białka stwierdzono w grupie ptaków CFL ($P < 0,001$). Również

w **doświadczeniu 2**, (tabela 10) stwierdzono statystycznie istotne różnice w zawartości białka w mięśniach piersiowych ($P=0,001$). Istotnie największą wartość tego parametru stwierdzono w grupie CON w porównaniu do obu grup doświadczalnych. W **doświadczeniu 1** stwierdzono istotnie mniejszą zawartość kolagenu (mięśnie piersiowe) w grupach CFL i CPOW niż w grupie CON, z kolei najmniejszą zawartość kolagenu wykazano w grupie CFL ($P<0,001$). Zawartość tłuszczu śródmięśniowego (IMF) również w grupach CFL i CPOW była istotnie mniejsza niż w grupie CON, a grupa CFL wykazała statystycznie istotnie najmniejszą zawartość kolagenu w mięśniach piersiowych ($P<0,001$). Mięśnie piersiowe kaczek z grupy CPOW charakteryzowała istotnie większa zawartość wody w mięśniach piersiowych w porównaniu do pozostałych grup, z kolei najmniejszą zawartość wody wykazano w grupie RAWC ($P<0,001$). Analizując mięśnie nóg u kaczek żywionych dodatkami marchwi wykazano istotnie większą zawartość soli w grupach CON i CPOW niż w grupie CFL ($P=0,004$). W grupach CFL i CPOW stwierdzono istotnie mniejszą zawartość tłuszczu śródmięśniowego w porównaniu do grupy CON i RAWC ($P<0,001$). Odwrotnie wykazano w przypadku zawartości wody w mięśniach piersiowych. Kaczki z grupy CFL i CPOW charakteryzowała większą zawartość wody w porównaniu do grup CON i RAWC ($P<0,001$). Analizując parametry barwy mięśni piersiowych, mięśni nóg, barwy skóry z tłuszczem podskórnym oraz barwy tłuszczu sadelkowego, zaobserwowano tylko istotnie niższą wartość w przypadku wysycenia barwą żółtą (b^*) po wewnętrznej stronie skóry z tłuszczem podskórnym kaczek z grupy CON niż w grupie CFL ($P=0,046$). W **doświadczeniu 2** zawartość soli w mięśniach piersiowych była istotnie większa w grupach CON i CD+SG w porównaniu do grupy CSMIX ($P<0,001$). Zawartość tłuszczu śródmięśniowego w mięśniach piersiowych była istotnie większa w grupie CD+SG ($P<0,001$). Z kolei zawartość wody w mięśniach piersiowych w grupie CSMIX była istotnie największa w porównaniu do pozostałych grup ($P<0,001$). Mięśnie nóg kaczek z grupy kontrolnej charakteryzowała istotnie większa zawartość białka ($P=0,033$). W tych samych mięśniach zawartość kolagenu w grupie kontrolnej była statystycznie istotnie większa w porównaniu do grupy gdzie stosowano 20% dodatek świeżej surowej marchwi ($P=0,033$).

3.3.5. Lepkość treści pokarmowej

W **doświadczeniu 2** wykazano istotnie mniejszą ($P=0,003$) lepkość treści jelita krętego u kaczek z grupy CON i CSMIX w porównaniu do grupy kaczek żywionych ograniczoną ilością paszy komercyjnej z dodatkiem kiszonego ziarna kukurydzy. Z kolei analizując lepkość treści z jelita czczego wykazano istotnie największą wartość w grupie CD + SG w porównaniu do grupy CSMIX ($P=0,005$).

3.3.6. Profil kwasów tłuszczowych i zawartość witamin w mięśniach

W **doświadczeniu 1**) pod względem zawartości w mięśniach piersiowych kwasu C12:0, C14:0, C14:1, C15:0, C17:0 C17:1, C18:0, C18:2n6t oraz C20:3n3 wykazano ich istotnie większą wartość w grupie CON niż w pozostałych grupach ($P<0,05$). Grupę z dodatkiem 2% płatków (CFL) charakteryzowała większa zawartość C10:0, C14:0, C16:0, C17:1, C18:0 i C20:2 ($P<0,05$). Większą zawartość C18:0, C18:2n6c, C20:1n9, C20:2, C20:3n3, C20:4n6, C22:2, C24:1n9 i C22:6n3 stwierdzono w grupie gdzie zastąpiono 20% paszy pełnoporcjowej świeżą marchwią ($P<0,05$). W **doświadczeniu 2** (tabela 12) wykazano większą zawartość C10:0, C12:0, C14:0, C14:1 i C15:0 ($P<0,05$) w mięśniach piersiowych kaczek żywionych ograniczoną paszą pełnoporcjową i kiszonym ziarnem kukurydzy (CD+SG). Istotnie mniejszą zawartość wielonienasyconych kwasów tłuszczowych (C18:2n6c, C20:2, C20:3n3 i C22:2) wykazano w grupie CD+SG w porównaniu do pozostałych grup ($P<0,05$). W mięśniach piersiowych kaczek z grupy CD+SG zawartość TFA ($P=0,003$) oraz MUFA ($P=0,007$) była istotnie większa niż w pozostałych grupach.

Analizując zawartość kwasów tłuszczowych w mięśniach nóg w **doświadczeniu 1** (tabela 11) istotnie wyższy poziom C10:0, C12:0, C14:0, C14:1, C15:0, C16:0, C17:0, C18:2n6c, C20:0, C20:2, C22:2, C24:1n9 i C22:6n3 ($P<0,05$) stwierdzono w grupie CON. W tych samych mięśniach grupę RAWC charakteryzował wyższy poziom C16:1, C24:1n9 i C22:6n3 ($P<0,05$), z kolei C14:1, C16:0 i C20:3n3 ($P<0,05$) był wyższy w grupie CFL. W grupie CPOW odnotowano najwyższy poziom kwasu C18:1n9t ($P<0,05$). W **doświadczeniu 2** (tabela 13) analizując zawartość kwasów tłuszczowych w mięśniach nóg stwierdzono najwięcej C10:0, C12:0, C14:0, C14:1, C15:0, C16:0 i C17:1 w grupie CD+ SG w porównaniu do pozostałych grup ($P<0,05$). Zawartość C18:2n6t była istotnie najmniejsza w grupie CSMIX ($P=0,005$), z kolei C18:2n6c ($P<0,001$), C20:2 ($P=0,008$) oraz PUFA ($P<0,001$) w grupie CD+SG. Odwrotnie w przypadku SFA, grupa CD+SG charakteryzowała statystycznie istotnie największą zawartość nienasyconych kwasów tłuszczowych ($P<0,001$).

W mięśniach piersiowych (**doświadczenie 1**) (tabela 15) największą zawartość MUFA stwierdzono w grupie CON i CPOW. Z kolei poziom PUFA był istotnie najwyższy w grupie RAWC, a poziom całkowity UFA w CPOW ($P<0,05$). Istotnie najniższy poziom SFA wykazano w grupie CON i CPOW w porównaniu do grupy CFL gdzie poziom był najwyższy ($P<0,001$). Istotnie najwyższy poziom PUFA n-6 stwierdzono w grupie RAWC ($P<0,001$), z kolei PUFA n-3 był istotnie wyższy w grupach CON i RAWC w porównaniu do grupy CPOW

($P=0,007$). Grupę CON charakteryzował istotnie najniższy stosunek $n-6/n3$ ($P=0,011$), a odwrotnie w przypadku $n-3/n-6$ ($P=0,013$). Wskaźnik wartości odżywczej (NVI) był istotnie najwyższy w grupie kontrolnej ($P=0,001$), natomiast wskaźnik aterogenny w grupie CFL ($P<0,001$). Istotnie najwyższy poziom wskaźnika trombogenicznego odnotowano w grupie z dodatkiem 2% płatków (CFL) w porównaniu do pozostałych grup ($P<0,001$). Poza tym grupę tę charakteryzował najniższy wskaźnik zdrowotny (HPI). Istotnie najniższy indeks h/H (hipocholesterolemiczny/hipercholesterolemiczny) stwierdzono w CFL ($P=0,005$). Z kolei najwyższy indeks PI wykazano w grupie RAWC ($P=0,001$).

3.4. DYSKUSJA

3.4.1. Wyniki produkcyjne kaczek rzeźnych

W **doświadczeniu 1** śmiertelność kaczek była na poziomie 1,67% w grupach CON, CFL oraz RAWC, natomiast ptaków padłych nie stwierdzono w grupie CPOW. Tak niska liczba ptaków padłych w stadzie może świadczyć o dobrej jakości piskląt, które użyto w doświadczeniu oraz warunkami środowiskowymi panującym w pomieszczeniu, gdzie przeprowadzono odchów kaczek rzeźnych. W **doświadczeniu 2** w grupie CON i CSMIX wykazano liczbę ptaków padłych na takim samym poziomie jak w **doświadczeniu 1**. W grupie gdzie zastosowano ograniczoną ilość paszy komercyjnej z kiszonym ziarnem kukurydzy *ad libitum* (CD + SG) stwierdzono najwyższe upadki na poziomie 3,33%. Stwierdzić można, że zarówno dodatek marchwi w różnych formach oraz kiszzonego ziarna kukurydzy nie wpłynął istotnie na pogorszenie przeżywalności ptaków.

Skład chemiczny mieszanek paszowych użytych w **doświadczeniach 1 i 2** był zgodny z zaleceniami żywieniowymi dla kaczek [Adamski i Rutkowski, 2018]. Różnice w składzie chemicznym w **doświadczeniu 1** występowały w obrębie zawartości białka w grupie gdzie stosowano świeżą marchew (RAWC). Zauważono wyższą zawartość białka w paszy typu starter i grower, która mogła być spowodowana zastąpieniem 20% paszy pełnoporcjowej świeżą marchwią o zawartości białka surowego 329,46 g/kg SM. Odwrotnie stwierdzono w **doświadczeniu 2**, gdzie kiszzone ziarno kukurydzy mogło obniżyć w mieszankach zawartość białka surowego.

W **doświadczeniu 1** nie stwierdzono różnic między grupami w przypadku masy ciała kaczek (BW), tempa wzrostu (GR) oraz przyrostów masy ciała (BWG). Istotne różnice stwierdzono w spożyciu paszy oraz wartości FCR w pierwszym okresie żywienia jak i za cały okres żywienia w grupie kaczek, u których zastosowano 80% paszy komercyjnej z dodatkiem 20% świeżej marchwi. Świeża marchew mogła przyczynić się do podwyższenia ilości spożytej paszy w porównaniu do innych grup dzięki poprawie smakowitości i soczystości mieszanki, z kolei świeża marchew negatywnie wpłynęła na FCR, który w tej grupie był największy. Nie mniej jednak dodatek różnych form marchwi do paszy komercyjnej nie przyczynił się do pogorszenia wyników produkcyjnych kaczek rzeźnych Cherry Valley. Silondae i in. [2023] wykazali, że stosowanie w żywieniu drobiu soku z marchwi, który jest odpadem produkcyjnym, w różnych proporcjach (20%, 40%, 80%), zwiększył przyrosty masy ciała oraz zwiększył FCR. W tych samych badaniach nie wykazano ptaków padłych w czasie trwania odchowu. W

doświadczeniu 2 masa ciała i przyrosty masy ciała kaczek nie różniły się istotnie statystycznie między grupą CSMIX i KON. Jednakże liczbowo ptaki w grupie CSMIX były o 95,62 g cięższe względem grupy kontrolnej. Ponadto ptaki z tej grupy charakteryzowało istotnie większe spożycie paszy w porównaniu do pozostałych grup oraz wyższy FCR w porównaniu do grupy KON przez cały okres odchowu. Podobnie, w badaniach Zaremba i in. [2024] nie wykazano istotnego wpływu zastosowania kiszonki z wysłodków buraczanych oraz kiszonki z całych roślin kukurydzy na końcowe przyrosty masy ciała kaczek w typie Pekin w czasie 49 dni odchowu. Metabolizm jest indywidualną cechą osobniczą [Listrat i in., 2016]. Może być także uwarunkowany składem i strukturą paszy [Baéza i in., 2022]. Według Harrabi i in. [2017] kiszenie pozwala na wydłużenie trwałości paszy, tym samym poprawia jej właściwości odżywcze. Dzięki zastosowaniu kiszonych pasz dochodzi do obniżenia pH przewodu pokarmowego co sprzyja hamowaniu rozwój patogennych drobnoustrojów. Według Jazi i in. [2018] komponenty poddane procesowi kiszenia mogą zawierać bakterie kwasu mlekowego oraz kwasy organiczne (kwas mlekowy), które uznawane są za składniki funkcjonalne dla procesów trawienia. Pasze poddane procesowi fermentacji mogą redukować liczbę szkodliwych drobnoustrojów [Sun i in., 2013], dodatkowo korzystnie wpływając na parametry histologiczne jelita, w tym zwiększenie wysokości kosmków jelitowych [Hu i in., 2015]. Z kolei Katu i in. [2025] wykazali korzystny wpływ fermentowanej paszy w żywieniu kurcząt rzeźnych na zwiększenie biodostępności składników odżywczych, zmiany w morfologii jelit oraz poprawę odporności, co potwierdziłoby korzystne wyniki BW, BWG dla grupy CSMIX. Predyspozycje genetyczne oraz skład mikrobioty jelitowej wpływają na to, w jaki sposób składniki odżywcze są wykorzystywane z pasz, interakcje te mogą wpływać na zmienność efektywności paszy [Zhang i in., 2024]. Mir i in. [2017] twierdzą, że żywienie może bezpośrednio przekładać się na jakość mięsa, głównie gdy występują w dawce pokarmowej różnice pod względem białka i energii [Choi i in., 2023].

Zdaniem Dinga i in. [2022] stwierdzili, że zastosowanie suszonego wywaru gorzelnianego (DDGS) w żywieniu kaczek typu Pekin jako alternatywy dla śruty sojowej oraz kukurydzy w ilości do 20% pogorszyło wyniki produkcyjne. Średni dzienny przyrost masy ciała kaczek od 10. do 42. dnia po zastosowaniu dodatku DDGS (20%) w dawce pokarmowej był niższy o 6,18 g w porównaniu do kaczek z grupy kontrolnej. Ponadto śmiertelność ptaków w tej grupie gdzie zastosowano od 10 do 20% DDGS była istotnie mniejsza w porównaniu do pozostałych grup. Podobnie w badaniach Łukaszewicz i in. [2011] stwierdzili istotne zmniejszenie masy końcowej kaczek typu Pekin, gdzie stosowano 30% udział w dawce DGGS.

3.4.2. Szacowanie ekonomiki paszy

W doświadczeniu 1, analizując koszty paszy przez cały okres odchowu, po oszacowaniu kosztów żywienia kaczek można stwierdzić, że na uzyskanie jednego kilograma przyrostu średnio przeznaczono odpowiednio: 7,56 zł – KON; 8,73 zł – CFL; 7,06 zł – RAWC; 8,58 zł – CPOW. Wprowadzając do dawki 20% świeżej marchwi ograniczono koszty żywienia na każdy kilogram przyrostu o 6,61% w porównaniu do żywienia opartego na pełnoporcjowych mieszankach paszowych. W doświadczeniu 2 zmniejszono koszty żywienia jednej kaczki przez 49 dni odchowu o 3,78 zł w grupie CD+SG w porównaniu do grupy kontrolnej. W grupie gdzie zastosowano pasze w sposób ograniczony oraz kiszone ziarno kukurydzy *ad libitum*, zmniejszono koszty żywienia o 15,94%. W przeciwieństwie do wyników badań własnych Ding i in. [2022] wykazali wzrost kosztów paszy po zastosowaniu 20% dodatku DDGS w żywieniu kaczek rzeźnych. Z kolei w badaniach Bieska i in. [2022b] stwierdzono zwiększony zysk z 1 kg tuszki kaczek, w żywieniu których 40% pełnoporcjowej mieszanki paszowej zastąpiono ziarnem pszenicy w ostatnim tygodniu odchowu. Zysk ten był na poziomie 3,34 zł w porównaniu do grupy kontrolnej. Jak podają inni autorzy, w systemie intensywnym lub półintensywnym koszty żywienia mogą stanowić od 65 do 70% całkowitych kosztów produkcji [Tanwiriah i in., 2011 ; Banday i in., 2023].

3.4.3. Wydajność rzeźna i cechy tuszek

W **doświadczeniu 1** wydajność rzeźna oraz masa podrobów tuszki nie różniła się istotnie między grupami. W badaniach Biesek i in. [2021] wykazano, że dodatek ekstrudowanej soi w paszy dla kaczek przyczynił się do wzrostu wydajności rzeźnej oraz masy tuszki. Skład chemiczny i wartość pokarmowa dawki żywieniowej są jednym z głównych czynników, które determinują wydajność rzeźną oraz masę poszczególnych elementów tuszki. W badaniach własnych różne formy marchwi, nie przyczyniły się do pogorszenia wydajności rzeźnej w porównaniu do grupy kontrolnej. Wydajność rzeźna wraz z podrobami w **doświadczeniu 2** była istotnie najwyższa w grupie CSMIX, gdzie w żywieniu stosowano 80% paszy komercyjnej + 20% kiszzonego ziarna kukurydzy. W wymienionej grupie poziom białka w porównaniu do grupy kontrolnej był mniejszy zarówno w mieszance paszy typu starter z kiszonym ziarnem kukurydzy (15,42 g/kg SM) oraz mieszance paszy typu grower z kiszonym ziarnem kukurydzy (11,58 g/kg SM). Poziom energii brutto w paszach doświadczalnych był wyższy w porównaniu do paszy komercyjnej i było to spowodowane wysoką zawartością energii brutto w kiszonym ziarnie kukurydzy (28,83 MJ). W badaniach Zeng i in. [2015] stwierdzono, że poziom energii metabolicznej względem białka surowego w paszy wpływał na przyrosty masy ciała,. Jednakże

to poziom białka determinował spożycie paszy. Ci sami autorzy wykazali również, że wzrost energii metabolicznej z 11,8 MJ do 13,8 MJ w paszy wpłynął na wydajność rzeźną co potwierdziły wyniki badań własnych. Z kolei Han i in. [2017] stwierdzili, że wraz ze wzrostem w paszy dla kaczek włókna surowego zwiększała się masa żołądka. W 21. dniu odchovu kaczki żywione paszą z udziałem włókna surowego na poziomie 7,52% miały większą masę żołądka niż kaczki, u których zastosowano w paszy dodatek włókna surowego na poziomie 1,46%, 3,09%, 4,15% i 6,18%. Wyższy poziom włókna w paszy przyczynia się do bardziej intensywnej pracy żołądka, a to przekłada się na jego wzrost. W badaniach własnych w grupie RAWC, gdzie stosowano dodatek 20% świeżej marchwi, włókno surowe było na najwyższym poziomie w porównaniu do pozostałych grup. Jednakże, parametr ten nie wpłynął na masę żołądka oraz pozostałych podrobów. W **doświadczeniu 2** wykazano istotnie największą masę wątroby w grupie CD+SG. Wysoki poziom energii w kiszonym ziarnie kukurydzy (28,83 MJ), która była stosowana w tej grupie do woli, mógł przyczynić się do zwiększenia masy wątroby, dzięki łatwo przyswajalnej energii w postaci skrobi. W przypadku kiedy w dawce pokarmowej mamy do czynienia z dodatnim bilansem energetycznym, nadmiar glukozy przekształca się w lipidy, co ma bezpośredni wpływ na wzrost masy wątroby [Desert i in., 2018]. Dodatkowo, podczas procesów kiszenia dochodzi do poprawy strawności składników, w tym przypadku energii. Cui i in. [2022] wykazali istotny wzrost masy wątroby u kurcząt rasy Huxu, gdzie zastosowano zwiększoną zawartość energii metabolicznej w paszy (13,31 MJ) w porównaniu do grupy, u której wartość energii metabolicznej w paszy była na poziomie 12,06 MJ. Dodatkowo wykazali oni, że pasza wysokoenergetyczna prawdopodobnie reguluje ekspresję 14 genów, które oddziałują na metabolizm lipidów. Wpływ na różnicę w masie oraz wyglądzie wątroby mogą mieć mykotoksyny, a szczególnie niebezpieczna dla kaczek jest aflatoksyna [Banerjee i in., 2022; Alhousein i Gurbuz, 2016]. Prawidłowo przeprowadzony proces kiszenia działa konserwująco, gdyż fermentacja hamuje rozwój grzybów. W badaniach własnych nie oceniano zawartości mykotoskyn w paszy, a w ocenie organoleptycznej stosowane zakiszone ziarno kukurydzy nie wykazywało objawów zagrzybienia, więc czynnik ten może być jedynie przypuszczeniem.

W **doświadczeniu 1** wykazano istotnie najwyższą masę mięśni nóg w grupie CPOW, gdzie stosowano 2% dodatek sproszkowanej marchwi do paszy komercyjnej, w przypadku mięśni piersiowych tych różnic nie wykazano. Z kolei w **doświadczeniu 2** stwierdzono istotnie największe mięśnie piersiowe u kaczek z grupy kontrolnej, jak również kaczki z tej grupy miały istotnie największą masę mięśni ogółem. Zaremba i in. [2024] nie wykazali różnic w masie

mięśni piersiowych i mięśni nóg kaczek żywionych ograniczoną ilością paszy komercyjnej z dodatkiem wysłodków buraczanych i kiszonki z kukurydzy *ad libitum*. Niska zawartość białka w wysłodkach buraczanych, kiszonce z kukurydzy, świeżej marchwi oraz w kiszonym ziarnie kukurydzy nie sprzyjają budowie tkanki mięśniowej. Wraz ze wzrostem zawartości białka surowego w paszach stosowanych u kaczek w typie Pekin wzrasta masa mięśnia piersiowego [Zeng i in., 2015]. Wzrost zawartości białka surowego z 15% na 19% przyczynił się do wzrostu mięśni piersiowych o 10,8% w 35. dniu odchowu. W badaniach własnych w **doświadczeniu 1** wykazano istotnie największą masę skóry wraz z tłuszczem podskórnym oraz ogólną ilość tłuszczu u kaczek z grupy kontrolnej oraz grupy żywionej paszą z dodatkiem 2% płatków marchwi. Natomiast w **doświadczeniu 2** analizując te same parametry stwierdzono istotnie najwyższą ich zawartość w grupie gdzie stosowano w żywieniu kiszone ziarno *ad libitum* (CD+SG). W badaniach Chena i in. [2023] stwierdzono, że pasza o zwiększonej zawartości tłuszczu – 9%, przekłada się na zwiększenie całkowitej zawartości tłuszczu, masę tłuszczu podskórnego i sadelkowego.

3.4.4. Cechy fizykochemiczne mięśni

Zawartość białka w mięśniach piersiowych w **doświadczeniu 1** różniła się istotnie między grupami, z kolei w mięśniach nóg nie wykazano różnic. Istotnie najwyższą zawartość białka stwierdzono w grupie RAWC, gdzie stosowano w żywieniu 20% świeżej marchwi oraz 80% paszy pełnoporcjowej komercyjnej oraz w grupie CPOW gdzie w żywieniu zastosowano dodatek 2% proszku z marchwi. W **doświadczeniu 2** wykazano również istotne różnice w odkładaniu białka w mięśniach piersiowych i mięśniach nóg kaczek. Jednak największa zawartość białka zarówno w mięśniach piersiowych jak i nóg stwierdzono w grupie kontrolnej. W badaniach Mostafa i in. [2025] wskazano na korelację między wysokim poziomem białka (18, 20, 22%) w paszy w różnych fazach wzrostu, a odkładaniem białka w tkance mięśniowej. W **doświadczeniu 1** również wykazano taką zależność w grupie RAWC, gdzie zawartość białka w mieszance paszy świeżej marchwi z starterem (24,29% białka surowego) oraz świeżej marchwi z growerem (22,72% białka surowego) była największa w porównaniu do pozostałych grup. Również w **doświadczeniu 2** potwierdzono zależności z badań Mostafa i in. [2025], gdzie poziom białka w paszy w grupie kontrolnej był najwyższy dla paszy typu starter (21,97% białka surowego) oraz paszy typu grower (20,05% białka surowego). W tych samych badaniach wykazano korelację między niskim poziomem białka w paszy, a wysoką zawartością odkładanego tłuszczu w mięśniach. Cheng i in. [1997] oraz Marcu i in. [2011] stwierdzili, że pasza o wysokiej zawartości białka wpływa na zwiększenie białka w mięśniach piersiowych.

Zawartość kolagenu w mięśniach piersiowych była istotnie najwyższa w grupie kontrolnej (1,32 g/100 g) w **doświadczeniu 1**. W **doświadczeniu 2** w mięśniach piersiowych takich różnic w przypadku kolagenu nie odnotowano. Zauważono jednak istotnie mniejszą zawartość soli w mięśniach piersiowych kaczek żywionych paszą komercyjną wraz z kiszonym ziarnem kukurydzy (80:20). Zawartość wody w mięśniach piersiowych kaczek w **doświadczeniu 1** była istotnie najwyższa w grupie żywionej paszą z dodatkiem 2% proszku z marchwi. Analizując tę samą cechę w **doświadczeniu 2** wykazano istotnie największą wartość w grupie CSMIX. Kokoszyński i in. [2021] podają, że skład chemiczny mięsa kaczego zależy od genotypu i płci.

Analizując skład chemiczny mięśni nóg w **doświadczeniu 1** stwierdzono istotnie najwyższą zawartość soli w grupie kontrolnej. Pod względem zawartości wody oraz tłuszczu śródmięśniowego w mięśniach nóg kaczek wykazano istotne różnice. Grupa kontrolna oraz grupa RAWC miały istotnie najmniejsze zawartości wody w mięśniach nóg w porównaniu do pozostałych grup. Ponadto w przypadku zawartości tłuszczu śródmięśniowego sytuacja była odwrotna, w grupie CON i RAWC wykazano istotnie największą zawartość tego parametru. W tych grupach wykazano istotnie najmniejsze wartości tego parametru. W **doświadczeniu 2** istotnie największą zawartość kolagenu stwierdzono w grupie kontrolnej.

Dodatkowo w badaniach własnych (**doświadczenie 1**) wykazano istotną różnicę w wysyceniu barwą żółtą (b*) skóry z tłuszczem podskórnym od strony wewnętrznej w mięśniach nóg. Najwyższa wartość tego parametru charakteryzowała kaczki z grupy CFL (żywione dodatkiem do paszy komercyjnej 2% płatków z marchwi). Rajput i in. [2013] w swoich badaniach wykazali korzystny wpływ dodatku do paszy podstawowej luteiny w ilości 200 mg/kg na wysycenie barwą żółtą (b*) mięśni piersiowych i mięśni nóg. Marchew jest bogatym źródłem karotenoidów [Sharma i in. 2011]. Badania własne potwierdzają, że zawarte w marchwi karotenoidy wpływają na barwę skóry od strony wewnętrznej, jednak to płatki marchwi miały największy wpływ na ten parametr. Może to świadczyć o wyższej koncentracji oraz lepszej przyswajalności karotenoidów z tej formy marchwi.

3.4.5. Lepkość treści pokarmowej

W **doświadczeniu 2** wykazano największą lepkość treści jelita czczego i krętego w grupie CD + SG (ograniczona pasza komercyjna + kiszone ziarno kukurydzy *ad libitum*). Badania Smulikowskiej i in. [2002] potwierdzają korelację między wysoką lepkością treści pokarmowej, a negatywnym wpływem na rozwój żołądka i motorykę jelita cienkiego u samiec

kurcząt rzeźnych Hybro. Wysoka lepkość treści jelitowej może wpływać na pogorszenie wyników produkcyjnych, strawność składników pokarmowych oraz dłuższe zaleganie treści w jelitach. W badaniach Ayres i in. [2019] wykazali korelację między lepkością jelit, a FCR od 1. do 21. dnia i przyrostem masy ciała do 21. dnia. W badaniach własnych stwierdzono również zależność między wysoką lepkością jelita czczego (4,21) i jelita krętego (6,33) u kaczek z grupy CD + SG, a współczynnikiem konwersji paszy (FCR) do 21. dnia odchowu. Również przyrosty masy ciała w tej grupie były najmniejsze do 21. dnia odchowu. Badania własne są zbieżne z doniesieniami literaturowymi, gdzie wysoka lepkość treści pokarmowej pogarszała niektóre wyniki produkcyjne [Bedford i Classen, 1992]. Przy układaniu dawek pokarmowych dla drobiu trzeba zwrócić szczególną uwagę na zawartość polisacharydów nieskrobiowych (NSP) w komponentach. NSP są uznawane za główny składnik włókna pokarmowego oraz mogą stanowić czynnik antyżywniowy [Mateos i in., 2012]. Należą do węglowodanów, które w przewodzie pokarmowym nie ulegają rozkładowi pod wpływem endogennych enzymów. Jednakże dzięki fermentacji mikrobiologicznej w jelicie ślepym mogą ulegać rozkładowi, a następnie wchłonięciu przez organizm ptaków [Kirchgeßner i in., 1999]. W badaniach Choct i in. [1996] wykazano, iż wzrost zawartości NSP w dawce pokarmowej dla kurcząt rzeźnych IM98, może prowadzić do zwiększonej fermentacji w jelicie cienkim. Jak podają autorzy NSP wpłynął bezpośrednio na zwiększenie lepkości treści jelitowej i tym samym pogorszył wyniki produkcyjne. W badaniach własnych istotnie większą lepkość treści jelita czczego wykazano w grupie CD+SG. Jednocześnie w grupach gdzie stosowano kiszone ziarno kukurydzy stwierdzono istotnie mniejszą zawartość białka w mięśniach piersiowych i mięśniach nóg. Większa lepkość treści jelita czczego mogła wpłynąć niekorzystnie na procesy wchłaniania składników odżywczych w paszy, a tym samym zawartość białka w mięśniach.

3.4.6. Profil kwasów tłuszczowych i zawartość witamin

W **doświadczeniu 1** żywienie różnymi formami marchwi wpłynęło na profil kwasów tłuszczowych w mięśniach piersiowych i mięśniach nóg kaczek typu Pekin. W przypadku mięśni piersiowych grupa CFL (pasza pełnoporcjowa + dodatek 2% płatków marchwi) wykazała wyższy poziom SFA (kwasy tłuszczowe nasycone), grupa RAWC (80% pasza komercyjna + 20% kiszone ziarno kukurydzy) była bogatsza w PUFA, szczególnie n-6 i n-3. Grupa CPOW (pasza komercyjna + dodatek 2% proszku marchwi) miała najwyższy całkowity stosunek UFA i UFA/SFA, ale najmniejszą zawartość PUFA n-3, podczas gdy RAWC i CFL miały korzystniejszy stosunek n-6/n-3. W **doświadczeniu 2** poziom kwasów tłuszczowych nasyconych (SFA) nie różnił się między grupami w przypadku mięśni piersiowych, z kolei

w przypadku mięśni nóg poziomy ich były najwyższe w grupie żywionej ograniczoną ilością paszy komercyjnej z dodatkiem kiszzonego ziarna *ad libitum* (CD+SG). Poziom kwasów jednonienasyconych (MUFA) oraz TFA w mięśniach piersiowych był najwyższy w grupie CD+SG z kolei w przypadku mięśni nóg nie stwierdzono istotnych różnic. Grupa CD+SG charakteryzowała się najniższym poziomem PUFA (wielonienasycone kwasy tłuszczowe) w mięśniach piersiowych oraz mięśniach nóg. Juodka i in. [2018] stosowali w żywieniu kaczek Pekin makuch z lnicznika siewnego (*Camelina sativa* L. Crantz) i makuch z konopi (*Cannabis sativa* L.) jako źródło wielonienasyconych kwasów tłuszczowych n-3 (PUFA). Mięśnie piersiowe i mięśnie nóg charakteryzowała znacznie większa zawartość kwasu α -linolenowego n-3 i PUFA n-3 u ptaków żywionych 15-20% dodatkiem makuchu z lnicznika. W grupie, którą żywiono 15-20% dodatkiem makuchu z konopi stwierdzono istotnie większą zawartość kwasu γ -linolenowego n-6 i całkowitej PUFA n-6. Kowalska i in. [2020] żywili kaczki Cherry Valley łubinem żółtym i śrutą rzepakową jako alternatywą dla śruty sojowej. W cytowanych badaniach tkanka tłuszczowa podskórna kaczek z grup doświadczalnych wykazywała istotnie wyższą zawartość kwasów n-3 w porównaniu do grupy kontrolnej, co jest ważnym parametrem dla konsumentów. W badaniu Qiao i in. [2017] porównywano skład kwasów tłuszczowych w tkankach mięśniowych w zależności od genotypu. Cytowani autorzy wykazali, że korzystny profil kwasów tłuszczowych występuje u kaczek Spent Layer w porównaniu do Cherry Valley i Crossbred (mniejsza zawartość SFA i większa zawartość UFA). Gogus i Smith [2010] podają, że każdy z kwasów ma odmienny wpływ na zdrowie człowieka, jednak SFA mogą sprzyjać rozwojowi chorób wieńcowych i nowotworowych. Uważa się, że to żywienie jest najważniejszym czynnikiem wpływającym na profil kwasów tłuszczowych mięsa, co poprawia jego wartość odżywczą. Wysoka zawartość PUFA n-3 może mieć negatywny wpływ na właściwości sensoryczne mięsa. Zwiększa degradację oksydacyjną i produkcję niekorzystnych lotnych związków podczas obróbki termicznej [Wood i in., 1999]. Z kolei w zaleceniach żywieniowych stawia się nacisk na ograniczone spożycie nasyconych kwasów tłuszczowych (SFA) z jednocześnie większym spożyciem PUFA. Wysoka zawartość PUFA i korzystny stosunek n-6 do n-3 podnoszą wartość paszy i pomagają zmniejszyć ryzyko chorób sercowo-naczyniowych oraz cukrzycy u ludzi [Yu i in., 2020].

Dodatkowo w **doświadczeniu 2** obliczono wskaźniki zdrowia lipidowego. Na podstawie uzyskanych wyników najbardziej korzystne wskaźniki jakości lipidów stwierdzono w grupie CPOW, która wykazała niski poziom AI (wskaźnik aterogeny) oraz TI (wskaźnik trombogeny), wysokie wartości h/H (Współczynnik hipocholesterolemii / hipercholesterole

-mii) oraz najwyższy NVI (wskaźnik wartości odżywczej) w mięśniach nóg. Świadczyć to może o korzystnym profilu lipidowym dla zdrowia sercowo-naczyniowego [Ugarković i in. 2024; Dal Bosco i in., 2022]. Chociaż grupę CPOW charakteryzowała mniejsza zawartość PUFA n-3 w mięśniach nóg, jego wysoka proporcja MUFA i UFA/SFA dodatkowo poprawiała wskaźniki związane ze zdrowiem. Niski AI i TI, w połączeniu z wysokim h/H, NVI i wartością HPI wykazują profil lipidowy bardziej korzystny dla zdrowia sercowo-wieńcowego w mięśniach nóg grupy CPOW. Wyższe wartości PI w RAWC odzwierciedlają większą podatność lipidów na utlenianie ze względu na podwyższone PUFA, podkreślając potrzebę ochrony antyoksydacyjnej w celu zachowania stabilności lipidów [Dal Bosco i in., 2022].

Stwierdzono znacznie wyższą zawartość retinolu w mięśniach piersiowych kaczek z grupy CPOW (**doświadczenie 1**). Zawartość β + γ - tokoferolu była znacząco mniejsza w grupie RAWC i CPOW w porównaniu do grupy kontrolnej (CON). Z drugiej strony, mięśnie nóg ptaków z grupy CPOW charakteryzowała wyższa zawartość retinolu i β + γ - tokoferolu. W **doświadczeniu 2** zawartość α - tokoferolu była istotnie najmniejsza w grupie CD+SG w porównaniu do pozostałych grup w mięśniach piersiowych, z kolei β + γ - tokoferol w grupie CON w mięśniach piersiowych oraz mięśni nóg był największy. Witamina E jako przeciwutleniacz odgrywa rolę ochroną przed utlenianiem kwasów tłuszczowych w mięsie. Zawartość witamin w mięsie ściśle zależy od zawartości tych składników w paszy. Zawartość witamin E i PUFA w mięśniach są ze sobą powiązane. Wraz ze wzrostem zawartości PUFA w mięsie, zawartość α - tokoferolu maleje [Barroeta, 2007]. W badaniach własnych (**doświadczenie 1**) proszek z marchwi miał znacząco wyższą zawartość PUFA w porównaniu do paszy kontrolnej np. C18:2n6c, C18:3n3, C22:1n9, C20:3n6, które potencjalnie mogą wpływać na zmiany β + γ - tokoferolu w mięśniach piersiowych, ale nie w mięśniach nóg. Jensen i in. [1998] wykazali, że 10,2 mg β -karotenu w paszy nie wpłynęło na zawartość retinolu w mięśniach piersiowych w porównaniu z ptakami z grupy kontrolnej. Nie koresponduje to z wynikami badań własnych. Większą zawartość retinolu stwierdzono w grupie ptaków żywionych sproszkowaną marchwią zarówno w mięśniach piersiowych, jak i mięśniach nóg. Według Carrerasa i in. [2004] wysoka zawartość β -karotenu w paszy dla kurcząt brojlerów może ograniczyć zdolność gromadzenia α - tokoferolu w mięśniach piersiowych. W grupie gdzie zastosowano 1,5mg/kg β -karotenu, stwierdzono istotnie najmniejszą zawartość tego składnika (1,56 μ g/g tkanki). Podobne wyniki przedstawili Ruiz i in. [1999], wskazując, że zbyt wysoki stosunek β -karotenu do witaminy E w paszy utrudnia gromadzenie witaminy E w mięśniach. Dodatki użyte w badaniach własnych zarówno z użyciem marchwi w różnych formach, jak

i kiszonego ziarna kukurydzy zawierały bardzo wysoką zawartość β -karotenu i mniejszą zawartość zarówno α -tokoferolu jak i β + γ -tokoferolu w porównaniu do pasz komercyjnych. To może wyjaśniać istotnie mniejszą zawartość β + γ -tokoferol w mięśniach piersiowych w grupach RAWC, CPOW, CSMIX i CD+SG w porównaniu do grup kontrolnych.

3.5.WNIOSKI

1. Zastosowanie alternatywnych komponentów paszowych w postaci marchwi i kiszonego ziarna kukurydzy w żywieniu kaczek nie wpłynęło na pogorszenie masy ciała ptaków po odchowie. Pomimo zwiększonego zużycia paszy na 1 kg przyrostu kaczek, u których w żywieniu zastąpiono 20% mieszanki pełnoporcjowej świeżą surową marchwią i kiszonym ziarnem kukurydzy, co potwierdzono obliczonymi kosztami paszy.

2. Tuszki kaczek żywionych mieszanką pełnoporcjową i paszami do których wprowadzono różne formy marchwi były podobnie umięśnione. Bardziej otluszczone kaczki uzyskano w efekcie żywienia mieszankami pełnoporcjowymi lub z dodatkiem 2% płatków z marchwi. W porównaniu z ptakami u których w żywieniu wprowadzono 20% świeżej surowej marchwi lub 2% proszku z marchwi. Natomiast ograniczenie paszy pełnoporcjowej i wprowadzenie *ad libitum* kiszonego ziarna kukurydzy spowodowało zmniejszenie o 2% umięśnienia tuszek kaczek przy jednoczesnym zwiększeniu otluszczenia o 2,9%.

3. Wprowadzenie do żywienia kaczek alternatywnych komponentów (różne formy marchwi i kiszone ziarno kukurydzy) nie spowodowało pogorszenia fizykochemicznych mięśni piersiowych i nóg.

4. Zastosowanie w żywieniu kaczek 20% świeżej surowej marchwi lub 2% proszku z marchwi w dawce pokarmowej spowodowały zwiększenie zawartości białka w mięśniach piersiowych, a wprowadzenie kiszonego ziarna kukurydzy jej zmniejszenie. Obniżenie zawartości tłuszczu śródmięśniowego stwierdzono w przypadku wprowadzenia do żywienia 2% płatków z marchwi lub proszku z marchwi oraz 20% kiszonego ziarna kukurydzy.

5. Zastosowanie 20% świeżej surowej marchwi i kiszonego ziarna kukurydzy oraz 2% płatków z marchwi wpływa korzystnie na profil kwasów tłuszczowych w mięśniach piersiowych ptaków po odchowie.

Hipotezę badawczą potwierdzono w zakresie możliwości obniżenia kosztów produkcji przy zastosowaniu alternatywnych komponentów paszowych (różne formy marchwi, kiszane ziarno kukurydzy), równocześnie nie potwierdzając ich wyraźnego wpływu na wyniki produkcyjne i jakość uzyskanego surowca.

3.6. TABELLE

Tabela 1. Skład chemiczny paszy oraz marchwi w różnych formach (doświadczenie 1)

Składnik ¹	Pasza komercyjna (CON)		Pasza komercyjna z 2% dodatkiem płatków marchwi (CFL)		80% pasza komercyjna z 20% surowej świeżej marchwi (RAWC)		Pasza komercyjna z 2% dodatkiem proszku marchwi (CPOW)		Płatki marchwi	Surowa świeża marchew	Proszek marchwi
	Starter	Grower	Starter	Grower	Starter	Grower	Starter	Grower			
Sucha masa g/kg	898,73	898,47	898,43	898,18	751,81	751,61	899,26	899,00	883,73	164,15	924,98
g/kg SM											
Popiół surowy	56,43	50,44	56,13	50,26	136,85	132,06	56,26	50,39	41,66	458,53	47,8
Białko surowe	221,24	201,59	218,01	198,75	242,88	227,16	218,04	198,79	59,81	329,46	61,4
Tłuszcz surowy	35,38	35,97	34,79	35,37	37,08	37,55	34,85	35,42	5,77	43,87	8,67
Włókno surowe	54,45	51,85	54,61	52,06	145,77	143,69	54,71	52,16	62,58	511,03	67,46
ADF	72,34	72,66	72,49	72,80	234,37	234,63	72,84	73,15	79,6	882,5	97,24
NDF	173,43	193,84	173,79	193,79	408,04	424,37	173,96	193,97	191,34	1346,49	200,13
ADL	19,82	19,68	19,81	19,67	39,22	39,10	19,81	19,68	19,27	116,8	19,53
Energia brutto, MJ	18,67	19,09	18,63	19,04	33,21	33,54	18,63	19,04	16,68	91,35	16,45

¹SM - sucha masa; ADF - kwaśne włókno detergentowe; NDF - obojętne włókno detergentowe; ADL - kwaśna lignina detergentowa.

Tabela 2. Skład chemiczny paszy oraz kiszonego ziarna kukurydzy (doświadczenie 2)

Składnik ¹	Starter	Grower	Kiszone ziarno kukurydzy	80% startera i 20% kiszonego ziarna kukurydzy	80% growera i 20% kiszonego ziarna kukurydzy
Sucha masa g/kg	895,03	892,00	601,70	836,37	833,94
g/kg SM					
Popiół surowy	53,91	50,13	26,48	48,42	45,40
Białko surowe	219,71	200,51	142,61	204,29	188,93
Tłuszcz surowy	37,24	36,71	64,82	42,75	42,33
Włókno surowe	49,89	53,66	104,54	60,82	63,59
ADF	294,22	77,87	383,29	312,04	138,96
NDF	390,88	274,27	548,09	422,32	329,04
ADL	97,94	15,73	101,44	98,64	32,87
Energia brutto, MJ	18,64	18,63	28,83	20,68	20,67

¹SM - sucha masa; ADF - kwaśne włókno detergentowe; NDF - obojętne włókno detergentowe; ADL - kwaśna lignina detergentowa.

Tabela 3. Profil kwasów tłuszczowych i witamin w paszy (doświadczenie 1)

Składnik ¹	Pasza komercyjna (CONN)		Pasza komercyjna z 2% dodatkiem płatków marchwi (CFL)		80% pasza komercyjna z 20% surowej świeżej marchwi (RAWC)		Pasza komercyjna z 2% dodatkiem proszku marchwi (CPOW)		Płatki marchwi	Surowa świeża marchew	Proszek marchwi
	Starter	Grower	Starter	Grower	Starter	Grower	Starter	Starter	Grower	Starter	Grower
g/100g											
C10:0	0,11	-	-	-	-	-	0,12	-	-	-	-
C12:0	0,47	0,52	0,37	0,51	0,33	0,39	0,47	0,49	-	-	-
C14:0	0,95	0,71	0,65	0,80	0,40	0,45	0,89	0,79	0,40	2,38	0,42
C14:1	0,14	0,13	0,09	0,12	0,07	0,09	0,14	0,12	-	-	-
C15:0	0,15	0,13	0,37	0,13	0,09	0,12	0,14	0,16	0,51	0,65	0,69
C16:0	14,44	15,32	14,16	15,54	14,12	15,17	14,66	15,70	18,17	20,23	21,41
C16:1	1,03	1,40	0,99	1,37	1,08	1,18	1,01	1,31	0,40	0,76	0,27
C17:0	0,15	0,14	0,12	0,15	0,13	0,14	0,15	0,16	0,36	0,40	0,43
C17:1	0,09	0,10	0,10	0,10	0,08	0,11	0,09	0,09	0,13	0,22	0,10
C18:0	3,19	2,91	2,91	2,93	2,96	3,00	3,16	2,89	2,47	2,68	2,76
C18:1n9t	24,57	25,92	23,94	25,69	24,55	24,34	24,12	25,08	4,41	14,53	3,73
C18:1n9c	1,27	1,73	1,33	1,70	1,48	1,61	1,28	1,67	1,06	0,97	0,91
C18:2n6c	48,62	45,78	49,94	45,77	49,36	47,81	48,89	46,19	63,44	53,00	59,31
C20:0	0,28	0,25	0,28	0,25	0,30	0,28	0,28	0,24	0,49	0,48	0,74
C18:3n3	2,75	3,08	2,87	3,08	3,06	3,22	2,82	3,15	5,94	3,70	6,10
C20:1n9	0,51	0,66	0,52	0,57	0,66	0,62	0,49	0,62	0,23	-	0,24
C20:2	0,12	0,15	0,12	0,15	0,14	0,17	0,13	0,15	0,51	-	0,23
C20:3n3	0,03	0,05	0,03	0,05	0,04	0,05	0,03	0,05	-	-	-
C22:0	0,25	0,18	0,26	0,18	0,25	0,23	0,26	0,19	0,42	-	0,81
C20:3n6	0,11	0,19	0,12	0,20	0,15	0,19	0,09	0,19	0,24	-	0,33
C20:4n6	0,05	0,05	0,04	0,05	0,05	0,05	0,04	0,05	-	-	-
C22:1n9	0,06	0,04	0,05	0,05	0,06	0,07	0,06	0,05	0,24	-	0,45
C:23:0	0,05	0,06	0,08	0,08	0,08	0,08	0,06	0,10	0,26	-	0,20
C22:2	0,17	0,13	0,17	0,16	0,18	0,18	0,17	0,15	0,33	-	0,56
C20:5n3	0,06	0,10	0,07	0,10	0,07	0,10	0,06	0,10	-	-	0,22
C24:0	0,10	0,06	0,12	0,08	0,08	0,11	0,12	0,09	-	-	0,10
C24:1n9	0,21	0,15	0,21	0,15	0,17	0,16	0,21	0,17	-	-	-
C22:6n3	0,07	0,05	0,08	0,05	0,08	0,08	0,07	0,06	-	-	-
µg /100 g											
retinol	143,67	200,33	140,80	196,32	114,94	160,26	140,80	196,32	-	-	-
α-tokoferol	2318,72	2248,47	2284,68	2215,83	2000,22	1944,02	2283,90	2215,06	616,54	726,24	577,88
β+γ-tokoferol	1051,46	1085,93	1031,08	1064,86	846,10	873,68	1030,56	1064,34	32,28	24,67	6,47
β-karoten	22,05	13,57	118,23	109,92	1408,28	1401,49	151,99	143,68	4831,05	6953,18	6518,84

¹C10:0, kwas dekanowy; C12:0, kwas dodekanowy; C14:0, kwas tetradekanowy; C14:1n-5, kwas cis-9-tetradecenowy; C15:0, kwas pentadekanowy; C16:0, kwas heksadekanowy; C16:1n-7, kwas cis-9-heksadecenowy; C17:0, kwas heptadekanowy; C17:1n-7, kwas cis-10-heptadecenowy; C18:0, kwas oktadekanowy; C18:1n-9t, kwas trans-9-oktadecenowy; C18:1n-9c, kwas cis-9-oktadekanowy; C18:2n-6t, kwas trans-9,12-oktadekadienowy; Kwas C18:2n-6c,cis,cis-9,12-oktadekadienowy; C20:0, kwas arachidowy; C18:3n-3, kwas cis,cis,cis-9,12,15-oktadekatrienowy; C20:1n9, kwas cis-11-eikozenowy; C20:2, kwas cis-11,14-eikozadienowy; C20:2, kwas dihomolinolowy; C20:3n-3, kwas cis-11,14,17-eikozatrienowy; C20:4n-6, kwas arachidonowy; C22:2, kwas cis-13,16-dokozadienowy; C24:1n-9c, kwas nerwonowy; Kwas C22:6n-3, cis-4,7,10,13,16,19-dokozaheksaenowy;

Tabela 4. Profil kwasów tłuszczowych i kiszonego ziarna kukurydzy (doświadczenie 2)

Składnik ¹	Starter	Grower	Kiszone ziarno kukurydzy	80% starter i 20% kiszone ziarno kukurydzy	80% grower i 20% kiszone ziarno kukurydzy
g/100g					
C10:0	0,038	0,035	0,097	0,037	0,047
C12:0	0,298	0,358	0,213	0,310	0,329
C14:0	0,703	0,670	0,875	0,696	0,711
C14:1	0,113	0,108	0,110	0,112	0,108
C15:0	0,122	0,118	0,168	0,121	0,128
C16:0	14,097	14,450	12,083	14,168	13,977
C16:1	0,938	1,292	0,357	1,009	1,105
C17:0	0,140	0,143	0,193	0,141	0,153
C17:1	0,088	0,105	0,077	0,091	0,099
C18:0	3,263	3,052	2,778	3,221	2,997
C18:1n9t	25,138	26,538	24,783	25,418	26,187
C18:1n9c	1,268	1,760	0,720	1,366	1,552
C18:2n6t	0,000	0,000	3,412	0,000	0,682
C18:2n6c	48,787	46,010	49,533	48,232	46,715
C20:0	0,307	0,285	0,505	0,303	0,329
C18:3n3	2,877	3,097	0,715	2,921	2,621
C20:1n9	0,575	0,638	1,837	0,588	0,878
C21:0	0,047	0,055	0,218	0,049	0,088
C20:2	0,122	0,158	0,053	0,129	0,137
C20:3n3	0,035	0,048	0,000	0,038	0,038
C22:0	0,288	0,223	0,182	0,275	0,215
C20:3n6	0,073	0,082	0,000	0,075	0,066
C20:4n6	0,125	0,153	0,085	0,131	0,139
C23:0	0,062	0,055	0,032	0,061	0,050
C22:2	0,078	0,102	0,450	0,083	0,172
C20:5n3	0,000	0,028	0,000	0,006	0,022
C24:0	0,195	0,173	0,215	0,191	0,181
C24:1n9	0,107	0,127	0,152	0,111	0,132
C22:6n3	0,125	0,127	0,123	0,125	0,126
SFA	19,557	19,623	17,558	19,570	19,210
MUFA	28,285	30,567	28,067	28,741	30,067
PUFA	52,095	49,933	54,352	51,663	50,817
TFA	25,138	26,538	28,193	25,418	26,869
µg/100g					
α-tokoferol	2752,495	2264,428	161,398	2654,882	1843,822
β+γ tokoferol	1567,155	1126,695	1069,895	1479,063	1115,335
β-karoten	31,695	17,580	117,667	28,872	37,597
retinol	173,805	130,527	14,370	165,149	107,296

¹C10:0, kwas dekanowy; C12:0, kwas dodekanowy; C14:0, kwas tetradekanowy; C14:1n-5, kwas cis-9-tetradecenowy; C15:0, kwas pentadekanowy; C16:0, kwas heksadekanowy; C16:1n-7, kwas cis-9-heksadecenowy; C17:0, kwas heptadekanowy; C17:1n-7, kwas cis-10-heptadecenowy; C18:0, kwas oktadekanowy; C18:1n-9t, kwas trans-9-oktadecenowy; C18:1n-9c, kwas cis-9-oktadekanowy; C18:2n-6t, kwas trans-9,12-oktadekadienowy; Kwas C18:2n-6c, cis, cis-9,12-oktadekadienowy; C20:0, kwas arachidowy; C18:3n-3, kwas cis, cis, cis-9,12,15-oktadekatrienowy; C20:1n9, kwas cis-11-eikozenowy; C20:2, kwas cis-11,14-eikozadienowy; C20:2, kwas dihomoliny; C20:3n-3, kwas cis-11,14,17-eikozatrienowy; C20:4n-6, kwas arachidonowy; C22:2, kwas cis-13,16-dokozadienowy; C24:1n-9c, kwas nerwonowy; Kwas C22:6n-3, cis-4,7,10,13,16,19-dokozaheksaenowy;

Tabela 5. Wyniki produkcyjne kaczek rzeźnych Cherry Valley (doświadczenie 1)

Cecha ²	Grupa ¹				SEM	P-value
	CON	CFL	RAWC	CPOW		
Przeżywalność (%)	98,33	98,33	98,33	100,00	0,690	0,801
BW (g)						
dzień1	55,73	55,42	54,65	55,60	0,207	0,257
dzień 28	2056,97	1989,18	2082,32	2092,02	15,615	0,074
dzień 49	3855,58	3774,69	3816,44	3810,58	13,863	0,239
GR (%)						
1-28	189,43	189,14	189,76	189,64	0,093	0,083
29-49	60,89	62,00	58,80	58,23	0,581	0,062
1-49	194,30	194,21	194,35	194,25	0,028	0,344
BWG (g)						
1-28	2001,23	1933,77	2027,67	2036,42	15,647	0,074
29-49	1798,62	1785,50	1734,11	1718,57	13,902	0,111
1-49	3799,85	3719,27	3761,79	3754,98	13,849	0,241
FI (g)						
1-28	3110,43 ^b	3095,52 ^b	3347,45 ^a	3075,73 ^b	28,943	<0,001
29-49	6821,15	6844,54	7460,18	6707,57	117,014	0,086
1-49	9990,34 ^{ab}	9997,20 ^{ab}	10807,63 ^a	9783,30 ^b	139,407	0,034
FCR (kg/kg)						
1-28	1,56 ^{ab}	1,60 ^{ab}	1,65 ^a	1,51 ^b	0,017	0,010
29-49	3,81	3,83	4,30	3,91	0,075	0,054
1-49	2,63 ^{ab}	2,69 ^{ab}	2,87 ^a	2,61 ^b	0,037	0,038
EBI	291,43	278,51	264,44	294,23	5,129	0,146

¹CON - kaczki żywione paszą komercyjną; CFL - kaczki żywione paszą komercyjną z dodatkiem 2% płatków marchwi; RAWC - kaczki żywione 80% paszy komercyjnej i 20% surowej (świeżej) marchwi; CPOW - kaczki żywione paszą komercyjną z dodatkiem 2% proszku marchwi; ²BW - masa ciała; GR - tempo wzrostu; BWG - przyrost masy ciała; FI - spożycie paszy; FCR – współczynnik zużycia paszy; EBI - Europejski Indeks Brojlerów, ^{a,b,...}- oznaczono w kolumnach statystycznie istotne różnice między grupami (P≤0,05)

Tabela 6. Wyniki produkcyjne kaczek rzeźnych Cherry Valley (doświadczenie 2)

Cecha ²	Grupa ¹			SEM	P-value
	CON	CSMIX	CD+SG		
Przeżywalność (%)	98,33	98,33	96,67	1,008	0,761
BW (g)					
dzień1	58,28	57,10	55,70	1,050	0,631
dzień 28	1871,92 ^a	1850,62 ^a	1467,37 ^b	48,932	<0,001
dzień 49	3500,44 ^{ab}	3574,87 ^a	3367,78 ^b	36,010	0,048
GR (%)					
1-28	187,92 ^a	188,02 ^a	185,38 ^b	0,365	<0,001
29-49	60,73 ^b	63,52 ^b	78,59 ^a	2,051	0,062
1-49	193,45	193,70	193,49	0,108	0,625
BWG (g)					
1-28	1813,64 ^a	1793,52 ^a	1411,67 ^b	48,539	<0,001
29-49	1628,51 ^b	1724,25 ^b	1900,41 ^a	35,603	0,001
1-49	3422,15 ^{ab}	3517,77 ^a	3312,08 ^b	35,587	0,047
FI (g)					
1-28	3444,53 ^b	3957,65 ^a	3353,18	65,058	<0,001
pasza	-	-	2429,18	-	-
kiszzone ziarno	-	-	924,00	-	-
29-49	6395,16	6569,08	6346,75	51,794	0,410
pasza	-	-	4890,70	-	-
kiszzone ziarno	-	-	1456,06	-	-
1-49	9839,69 ^b	10526,73 ^a	9699,93 ^b	136,838	0,023
pasza	-	-	7319,88	-	-
kiszzone ziarno	-	-	2380,05	-	-
FCR (kg/kg)					
1-28	1,90 ^c	2,21 ^b	2,38 ^a	0,051	<0,001
29-49	3,93 ^a	3,81 ^a	3,34 ^b	0,120	<0,001
1-49	2,86 ^b	2,99 ^a	2,93 ^a	0,033	0,048
EBI	241,82 ^{ab}	265,41 ^a	223,17 ^b	5,820	0,004

¹CON, kaczki żywione paszą komercyjną; CSMIX, grupa żywiona paszą komercyjną z kiszonym ziarnem kukurydzy (stosunek 80:20); CD+SG, grupa żywiona ograniczoną paszą komercyjną i kiszonym ziarnem kukurydzy *ad libitum*; ²BW - masa ciała; GR - tempo wzrostu; BWG - przyrost masy ciała; FI - spożycie paszy; FCR - współczynnik zużycia paszy; EBI - Europejski Indeks Brojlerów, ^{a,b,...} - oznaczono w kolumnach statystycznie istotne różnice między grupami (P≤0,05)

Tabela 7. Skład tuszek kaczek rzeźnych (doświadczenie 1)

Cecha		Grupa ¹				SEM	P-value
		CON	CFL	RAWC	CPOW		
g/100 g	Wydajność rzeźna	71,40	71,87	71,84	71,89	0,213	0,833
	Wydajność rzeźna z podrobami	73,11	73,42	73,54	73,55	0,210	0,877
	Serce	0,78	0,71	0,77	0,75	0,014	0,217
	Wątroba	3,98	4,01	4,41	3,99	0,098	0,353
	Żołądek	3,50	3,28	3,30	3,34	0,061	0,604
	Szyja	6,95	6,92	6,80	7,32	0,114	0,420
	Mięśnie piersiowe	22,12	22,39	23,62	23,07	0,271	0,195
	Mięśnie nóg	12,64 ^b	13,04 ^{ab}	12,48 ^b	13,38 ^a	0,126	0,046
	Razem mięśnie	34,76	35,42	36,10	36,44	0,320	0,256
	Skóra z tłuszczem podskórnym	23,54 ^a	23,58 ^a	22,17 ^b	22,17 ^b	0,251	0,048
	Tłuszcz sadelkowy	0,69	0,82	0,64	0,60	0,038	0,182
	Razem tłuszcz	24,23 ^a	24,40 ^a	22,80 ^b	22,77 ^b	0,265	0,033
	Skrzydła ze skórą	12,08	11,98	12,19	12,31	0,116	0,789
	Pozostałości tuszki	23,99	22,46	23,83	22,99	0,360	0,401

¹CON - kaczki żywione paszą komercyjną; CFL - kaczki żywione paszą komercyjną z dodatkiem 2% płatków marchwi; RAWC - kaczki żywione 80% paszy komercyjnej i 20% surowej (świeżej) marchwi; CPOW - kaczki żywione paszą komercyjną z dodatkiem 2% proszku marchwi, ^{a,b,...} - oznaczono w kolumnach statystycznie istotne różnice między grupami (P≤0,05)

Tabela 8. Skład tuszek kaczek rzeźnych (doświadczenie 2)

Składnik		Grupa ¹			SEM	P-value
		CON	CSMIX	CD+SG		
g/100 g	Wydajność rzeźna	72,07	73,39	71,99	0,277	0,065
	Wydajność rzeźna z podrobami	77,29 ^b	78,81 ^a	77,53 ^{ab}	0,264	0,036
	Serce	0,69	0,68	0,69	0,013	0,934
	Wątroba	2,69 ^b	2,67 ^b	3,24 ^a	0,084	0,005
	Żołądek	3,39	3,54	3,21	0,074	0,214
	Szyja	7,15	7,07	7,01	0,147	0,932
	Mięśnie piersiowe	22,65 ^a	21,71 ^{ab}	20,94 ^b	0,272	0,031
	Mięśnie nóg	13,44	13,21	13,14	0,199	0,824
	Razem mięśnie	36,09 ^a	34,92 ^{ab}	34,09 ^b	0,317	0,029
	Skóra z tłuszczem podskórnym	16,91 ^b	18,92 ^{ab}	19,66 ^a	0,448	0,030
	Tłuszcz sadelkowy	0,78	0,85	0,89	0,063	0,759
	Razem tłuszcz	17,69 ^b	19,77 ^{ab}	20,55 ^a	0,494	0,046
	Skrzydła ze skórą	12,27	11,88	11,83	0,138	0,366
	Pozostałości tuszki	24,64	24,49	23,62	0,366	0,486

¹CON, kaczki żywione paszą komercyjną; CSMIX, grupa żywiona paszą komercyjną z kiszonym ziarnem kukurydzy (stosunek 80:20); CD+SG, grupa żywiona ograniczoną paszą komercyjną i kiszonym ziarnem kukurydzy *ad libitum*, ^{a,b,...} - oznaczono w kolumnach statystycznie istotne różnice między grupami (P≤0,05)

Tabela 9. Cechy fizykochemiczne mięśni piersiowych i nóg (doświadczenie 1)

Cecha ²		Grupa ¹				SEM	P-value
		CON	CFL	RAWC	CPOW		
Mięśnie piersiowe							
	pH _{24hours}	6,09	6,07	6,06	6,11	0,019	0,831
barwa	L*	37,10	38,40	36,46	37,00	0,345	0,236
	a*	16,85	15,58	15,67	15,87	0,212	0,124
	b*	3,00	2,70	2,26	2,02	0,176	0,201
%	Wyciek swobodny	2,49	2,39	2,22	2,35	0,106	0,851
	Wodochłonność	35,98	33,59	33,56	31,65	0,691	0,175
g/100g	Białko	21,60 ^c	21,87 ^b	22,45 ^a	22,31 ^a	0,057	<0,001
	Kolagen	1,32 ^a	1,25 ^c	1,30 ^{ab}	1,27 ^{bc}	0,007	<0,001
	Sól	0,36	0,31	0,32	0,30	0,009	0,089
	Tłuszcz śródmięśniowy	2,62 ^a	1,96 ^c	2,36 ^b	1,85 ^c	0,051	<0,001
	Woda	74,17 ^b	74,24 ^b	73,84 ^c	74,81 ^a	0,059	<0,001
Mięśnie nóg							
barwa	L*	40,03	38,03	38,64	39,00	0,539	0,628
	a*	14,66	14,57	14,89	19,34	1,266	0,484
	b*	3,64	3,51	3,47	3,05	0,186	0,715
%	Wodochłonność	32,31	31,67	31,29	29,08	0,493	0,104
g/100g	Białko	19,24	19,20	19,32	19,14	0,032	0,263
	Kolagen	1,65	1,67	1,69	1,54	0,021	0,055
	Sól	0,67 ^a	0,55 ^b	0,61 ^{ab}	0,57 ^a	0,013	0,004
	Tłuszcz śródmięśniowy	6,11 ^a	5,73 ^b	6,22 ^a	5,75 ^b	0,052	<0,001
	Woda	71,54 ^b	72,04 ^a	71,68 ^b	72,06 ^a	0,056	<0,001
Skóra z tłuszczem podskórnym (strona zewnętrzna)							
barwa	L*	67,13	68,59	67,75	68,22	0,358	0,520
	a*	8,35	7,77	7,71	7,37	0,256	0,605
	b*	11,33	10,29	10,46	10,23	0,228	0,294
Skóra z tłuszczem podskórnym (strona wewnętrzna)							
barwa	L*	70,22	69,84	69,84	68,85	0,238	0,212
	a*	5,50	6,29	5,67	6,65	0,229	0,252
	b*	7,36 ^b	8,79 ^a	7,74 ^{ab}	7,65 ^{ab}	0,195	0,046
Tłuszcz sadelkowy							
barwa	L*	66,27	66,57	66,66	66,67	0,313	0,967
	a*	8,52	8,24	8,08	7,87	0,334	0,924
	b*	9,63	9,64	9,60	9,11	0,220	0,805

¹CON - kaczki żywione paszą komercyjną; CFL - kaczki żywione paszą komercyjną z dodatkiem 2% płatków marchwi; RAWC - kaczki żywione 80% paszy komercyjnej i 20% surowej (świeżej) marchwi; CPOW - kaczki żywione paszą komercyjną z dodatkiem 2% proszku marchwi; ² L – jasność; a- wysycenie barwą czerwoną; b- wysycenie barwą żółtą. ^{a,b,...} - oznaczono w kolumnach statystycznie istotne różnice między grupami (P≤0,05)

Tabela 10. Cechy fizykochemiczne mięśni piersiowych i mięśni nóg (doświadczenie 2)

Cecha ¹		Grupa ²			SEM	P-value
		CON	CSMIX	CD+SG		
Mięśnie piersiowe						
barwa	pH _{24hours}	5,98	6,01	5,60	0,320	0,428
	L*	37,03	38,34	37,01	0,085	0,150
	a*	16,03	15,77	16,67	0,013	0,323
	b*	2,11	2,49	1,92	0,014	0,401
%	Wyciek swobodny	2,09	2,20	1,82	0,250	0,623
	Wodochłonność	36,38	35,90	35,33	0,173	0,799
g/100g	Białko	23,01 ^a	22,55 ^b	22,26 ^b	0,043	0,001
	Kolagen	1,33	1,28	1,29	0,078	0,289
	Sól	0,38 ^a	0,27 ^b	0,37 ^a	0,605	<0,001
	Tłuszcz śródmięśniowy	1,15 ^b	1,07 ^b	1,50 ^a	0,454	<0,001
	Woda	74,89 ^b	75,46 ^a	74,80 ^b	0,324	<0,001
Mięśnie nóg						
barwa	L*	36,73	37,38	38,32	0,143	0,368
	a*	15,46	15,00	14,95	0,052	0,788
	b*	2,83	2,93	3,09	0,033	0,903
	Wodochłonność	32,04	31,27	28,73	0,232	0,061
g/100g	Białko	20,16 ^a	19,40 ^b	19,38 ^b	0,138	0,033
	Kolagen	1,95 ^a	1,71 ^{ab}	1,54 ^b	0,131	0,003
	Sól	0,82	0,69	0,65	0,141	0,085
	Tłuszcz śródmięśniowy	5,16	5,52	4,98	0,161	0,266
	Woda	72,51	72,41	72,71	0,621	0,650

¹CON, kaczki żywione paszą komercyjną; CSMIX, grupa żywiona paszą komercyjną z kiszonym ziarnem kukurydzy (stosunek 80:20); CD+SG, grupa żywiona ograniczoną paszą komercyjną i kiszonym ziarnem kukurydzy *ad libitum*, ²L – jasność; a- wysycenie barwą czerwoną; b- wysycenie barwą żółtą. ^{a,b,...} - oznaczono w kolumnach statystycznie istotne różnice między grupami (P≤0,05)

Tabela 11. Profil kwasów tłuszczowych w mięśniach piersiowych i mięśniach nóg kaczek rzeźnych (doświadczenie 1)

Składnik ²	Mięśnie piersiowe Grupa ¹				SEM	P-value	Mięśnie nóg Grupa				SEM	P-value
	CON	CFL	RAWC	CPOW			CON	CFL	RAWC	CPOW		
g/100g												
C10:0	0,171 ^b	0,214 ^a	0,128 ^c	0,000 ^d	0,0147	<0,001	0,122 ^a	0,000 ^c	0,113 ^{ab}	0,100 ^b	0,0092	<0,001
C12:0	0,544 ^a	0,478 ^b	0,240 ^c	0,103 ^d	0,0326	<0,001	0,415 ^a	0,249 ^b	0,257 ^b	0,263 ^b	0,0140	<0,001
C14:0	1,563 ^a	1,524 ^a	1,069 ^b	0,978 ^b	0,0534	<0,001	1,421 ^a	0,963 ^b	1,095 ^b	0,961 ^b	0,0427	<0,001
C14:1	0,414 ^a	0,292 ^b	0,145 ^c	0,133 ^c	0,0218	<0,001	0,276 ^a	0,251 ^a	0,200 ^b	0,152 ^b	0,0104	<0,001
C15:0	0,526 ^a	0,276 ^b	0,139 ^c	0,159 ^c	0,0286	<0,001	0,257 ^a	0,166 ^{bc}	0,205 ^b	0,153 ^c	0,0093	<0,001
C16:0	20,768 ^b	23,007 ^a	22,267 ^{ab}	22,856 ^a	0,2519	0,002	21,380 ^a	21,214 ^a	20,427 ^{ab}	19,526 ^b	0,2261	0,008
C16:1	1,972	1,743	1,755	1,678	0,0454	0,107	2,331 ^b	2,402 ^b	3,030 ^a	2,877 ^a	0,0678	<0,001
C17:0	0,316 ^a	0,253 ^b	0,240 ^b	0,243 ^b	0,0087	0,002	0,220 ^a	0,182 ^b	0,199 ^{ab}	0,178 ^b	0,0051	0,008
C17:1	0,178 ^a	0,170 ^a	0,053 ^c	0,117 ^b	0,0097	<0,001	0,109	0,104	0,113	0,105	0,0031	0,774
C18:0	14,661 ^a	14,675 ^a	15,002 ^a	12,104 ^b	0,2609	<0,001	12,395	10,973	11,295	10,593	0,2599	0,075
C18:1n9t	24,573 ^b	22,512 ^{bc}	21,626 ^c	27,668 ^a	0,5477	<0,001	28,016 ^c	31,684 ^b	30,646 ^{bc}	34,820 ^a	0,5788	<0,001
C18:1n9c	2,382	2,439	2,456	2,277	0,0306	0,152	2,200	1,944	2,047	2,142	0,0361	0,057
C18:2n6t	0,153 ^a	0,091 ^b	0,107 ^b	0,090 ^b	0,0053	<0,001	0,096	0,101	0,105	0,087	0,0032	0,228
C18:2n6c	15,528 ^b	16,050 ^{ab}	16,808 ^a	16,696 ^a	0,1682	0,016	17,122 ^a	16,485 ^{ab}	16,680 ^{ab}	15,758 ^b	0,1484	0,006
C20:0	0,219	0,262	0,231	0,222	0,0076	0,170	0,205 ^a	0,124 ^b	0,116 ^b	0,114 ^b	0,0077	<0,001
C18:3n3	0,633 ^a	0,591 ^{ab}	0,528 ^b	0,644 ^a	0,0135	0,005	0,704	0,694	0,800	0,681	0,0176	0,060
C20:1n9	0,423 ^{ab}	0,372 ^b	0,489 ^a	0,476 ^a	0,0143	0,008	0,501	0,427	0,423	0,456	0,0116	0,054
C20:2	0,642 ^b	0,848 ^a	0,945 ^a	0,498 ^c	0,0338	<0,001	0,983 ^a	0,554 ^{bc}	0,639 ^b	0,445 ^c	0,0391	<0,001
C20:3n3	1,262 ^a	1,175 ^{ab}	1,251 ^a	0,969 ^b	0,0374	0,012	0,667 ^{bc}	0,820 ^a	0,698 ^b	0,563 ^c	0,0226	<0,001
C20:4n6	10,276 ^{ab}	10,459 ^{ab}	11,063 ^a	9,486 ^b	0,1813	0,014	7,456	8,122	8,026	7,731	0,1062	0,103
C22:2	0,555 ^c	0,664 ^b	0,764 ^a	0,466 ^d	0,0214	<0,001	0,651 ^a	0,416 ^b	0,387 ^b	0,286 ^c	0,0252	<0,001
C24:1n9	1,824 ^{ab}	1,563 ^b	2,121 ^a	1,773 ^b	0,0524	<0,001	2,016 ^a	1,687 ^{ab}	2,006 ^a	1,633 ^b	0,0520	0,004
C22:6n3	0,418 ^b	0,342 ^c	0,575 ^a	0,365 ^{bc}	0,0185	<0,001	0,458 ^a	0,436 ^{ab}	0,494 ^a	0,375 ^b	0,0111	<0,001

¹CON - kaczki żywione paszą komercyjną; CFL - kaczki żywione paszą komercyjną z dodatkiem 2% płatków marchwi; RAWC - kaczki żywione 80% paszy komercyjnej i 20% surowej (świeżej) marchwi; CPOW - kaczki żywione paszą komercyjną z dodatkiem 2% proszku marchwi, ² – nazwy podano w tabeli 3 strona 43. ^{a,b,...} - oznaczono w kolumnach statystycznie istotne różnice między grupami (P≤0,05)

Tabela 12. Profil kwasów tłuszczowych oraz zawartość witamin mięśni piersiowych (doświadczenie 2)

Składnik ²	CON	Grupa ¹ CSMIX	CD+SG	SEM	P-value
g/100g					
C10:0	0,10 ^{ab}	0,09 ^b	0,12 ^a	0,004	0,002
C12:0	0,30 ^a	0,21 ^b	0,35 ^a	0,014	<0,001
C14:0	1,33 ^b	1,23 ^b	1,70 ^a	0,068	0,008
C14:1	0,19 ^{ab}	0,17 ^b	0,23 ^a	0,009	0,032
C15:0	0,24 ^{ab}	0,22 ^b	0,29 ^a	0,011	0,015
C16:0	21,94	22,02	22,64	0,170	0,185
C16:1	1,23	1,19	1,41	0,044	0,089
C17:0	0,31	0,29	0,30	0,007	0,506
C17:1	0,13	0,11	0,12	0,005	0,431
C18:0	14,47	14,30	13,99	0,135	0,339
C18:1n9t	19,22 ^b	19,59 ^b	21,93 ^a	0,372	0,003
C18:1n9c	2,13	2,07	2,00	0,027	0,177
C18:2n6t	0,15 ^a	0,12 ^b	0,13 ^b	0,004	0,003
C18:2n6c	18,77 ^a	18,51 ^a	16,85 ^b	0,242	0,001
C20:0	0,25 ^a	0,24 ^{ab}	0,22 ^b	0,005	0,041
C18:3n3	0,54	0,51	0,53	0,010	0,564
C20:1N9	0,48	0,46	0,45	0,011	0,666
C21:0	0,12 ^a	0,08 ^b	0,13 ^a	0,006	<0,001
C20:2	1,25 ^a	1,24 ^a	0,95 ^b	0,031	<0,001
C20:3n3	1,17 ^a	1,20 ^a	1,02 ^b	0,022	0,001
C20:4n6	11,66	12,06	11,05	0,243	0,234
C22:2	0,70 ^a	0,75 ^a	0,50 ^b	0,022	<0,001
C20:5n3	0,09	0,10	0,10	0,003	0,456
C24:0	0,06	0,06	0,07	0,001	0,208
C24:1N9	2,56	2,57	2,32	0,049	0,057
C22:6n3	0,62	0,61	0,62	0,017	0,986
SFA	39,12	38,73	39,80	0,198	0,078
MUFA	25,94 ^b	26,16 ^b	28,46 ^a	0,378	0,007
PUFA	34,94 ^a	35,11 ^a	31,74 ^b	0,411	<0,001
TFA	19,37 ^b	19,71 ^b	22,05 ^a	0,371	0,003
µg/100g					
α-tokoferol	319,09 ^a	317,57 ^a	274,47 ^b	8,265	0,039
β+γ tokoferol	41,33 ^a	34,91 ^b	32,68 ^b	1,086	0,002
retinol	10,28	9,26	10,72	0,308	0,140

¹CON, kaczki żywione paszą komercyjną; CSMIX, grupa żywiona paszą komercyjną z kiszonym ziarnem kukurydzy (stosunek 80:20); CD+SG, grupa żywiona ograniczoną paszą komercyjną i kiszonym ziarnem kukurydzy *ad libitum*, ² - nazwy podano w tabeli 4 strona 44. ^{a,b,...} - oznaczono w kolumnach statystycznie istotne różnice między grupami (P≤0,05)

Tabela 13. Profil kwasów tłuszczowych oraz zawartość witamin mięśni nóg (doświadczenie 2)

Składnik ²	CON	Grupa ¹ CSMIX	CD+SG	SEM	P-value
g/100g					
C10:0	0,10 ^b	0,09 ^b	0,16 ^a	0,008	<0,001
C12:0	0,31 ^b	0,28 ^b	0,48 ^a	0,018	<0,001
C14:0	1,31 ^b	1,26 ^b	2,14 ^a	0,077	<0,001
C14:1	0,20 ^b	0,20 ^b	0,31 ^a	0,011	<0,001
C15:0	0,24 ^b	0,21 ^b	0,35 ^a	0,012	<0,001
C16:0	19,49 ^b	19,28 ^b	21,13 ^a	0,209	<0,001
C16:1	1,87	1,99	2,03	0,038	0,237
C17:0	0,28	0,26	0,31	0,008	0,073
C17:1	0,13 ^b	0,13 ^b	0,15 ^a	0,004	0,005
C18:0	13,87	13,48	13,86	0,179	0,607
C18:1n9t	25,69	27,49	26,95	0,363	0,112
C18:1n9c	1,97	1,90	17,15	5,057	0,377
C18:2n6t	0,18 ^a	0,15 ^b	0,18 ^a	0,004	0,005
C18:2n6c	19,29 ^a	17,89 ^a	14,54 ^b	0,451	<0,001
C20:0	0,17	0,15	0,18	0,005	0,084
C18:3n3	0,80 ^a	0,69 ^b	0,62 ^b	0,017	<0,001
C20:1N9	0,46	0,46	0,45	0,008	0,777
C21:0	0,12	0,13	0,15	0,006	0,077
C20:2	0,83 ^a	0,76 ^{ab}	0,67 ^b	0,021	0,008
C20:3n3	0,67	0,67	0,64	0,011	0,362
C20:4n6	8,52	9,02	8,74	0,168	0,489
C22:2	0,34 ^b	0,32 ^b	0,45 ^a	0,013	<0,001
C20:5n3	0,09 ^b	0,10 ^b	0,15 ^a	0,006	<0,001
C24:0	0,05 ^b	0,04 ^b	0,06 ^a	0,003	0,001
C24:1N9	2,36	2,42	2,41	0,045	0,842
C22:6n3	0,66 ^{ab}	0,64 ^b	0,77 ^a	0,021	0,024
SFA	35,95 ^b	35,18 ^b	38,81 ^a	0,354	<0,001
MUFA	32,69	34,59	34,27	0,366	0,071
PUFA	31,37 ^a	30,24 ^a	26,74 ^b	0,495	<0,001
TFA	25,88	27,65	27,13	0,360	0,117
µg/100g					
α-tokoferol	229,91	220,82	194,28	6,558	0,066
β+γ tokoferol	32,94 ^a	25,48 ^b	28,64 ^{ab}	1,310	0,049
retinol	8,11	8,61	9,10	0,189	0,100

¹CON, kaczki żywione paszą komercyjną; CSMIX, grupa żywiona paszą komercyjną z kiszonym ziarnem kukurydzy (stosunek 80:20); CD+SG, grupa żywiona ograniczoną paszą komercyjną i kiszonym ziarnem kukurydzy *ad libitum* ² - nazwy podano w tabeli 4 strona 44. ^{a,b,...} - oznaczono w kolumnach statystycznie istotne różnice między grupami (P≤0,05)

Tabela 14. Lepkość treści pokarmowej

	Group ¹			SEM	P-value
	CON	CSMIX	CD+SG		
Jelito czcze	3,68 ^{ab}	3,25 ^b	4,21 ^a	0,128	0,005
Jelito kręte	4,58 ^b	4,82 ^b	6,33 ^a	0,220	0,003

¹CON, kaczki żywione paszą komercyjną; CSMIX, grupa żywiona paszą komercyjną z kiszonym ziarnem kukurydzy (stosunek 80:20); CD+SG, grupa żywiona ograniczoną paszą komercyjną i kiszonym ziarnem kukurydzy *ad libitum* ^{a,b,...}- oznaczono w kolumnach statystycznie istotne różnice między grupami ($P \leq 0,05$)

Tabela 15. Bilans kwasów tłuszczowych i wskaźniki lipidowe zdrowia (doświadczenie 1)

Składnik ²	Mięśnie piersiowe Group ¹				SEM	P-value	Mięśnie nóg Group ²				SEM	P-value
	CON	CFL	RAWC	CPOW			CON	CFL	RAWC	CPOW		
g/100 g												
SFA	38,77 ^b	40,69 ^a	39,31 ^{ab}	36,67 ^c	0,338	<0,001	36,41 ^a	33,87 ^{ab}	33,71 ^{ab}	31,89 ^b	0,460	0,002
MUFA	31,77 ^a	29,09 ^b	28,65 ^b	34,12 ^a	0,502	<0,001	35,45 ^b	38,50 ^b	38,46 ^b	42,19 ^a	0,573	<0,001
PUFA	29,47 ^b	30,22 ^b	32,04 ^a	29,21 ^b	0,294	0,001	28,14 ^a	27,63 ^a	27,83 ^a	25,93 ^b	0,223	<0,001
UFA	61,23 ^b	59,31 ^c	60,69 ^{bc}	63,33 ^a	0,338	<0,001	63,59 ^b	66,13 ^{ab}	66,29 ^{ab}	68,11 ^a	0,460	0,002
UFA/SFA	1,58 ^b	1,46 ^c	1,55 ^{bc}	1,73 ^a	0,023	<0,001	1,75 ^b	1,97 ^{ab}	1,97 ^{ab}	2,15 ^a	0,042	0,004
PUFA n-6	25,96 ^b	26,60 ^{ab}	27,98 ^a	26,27 ^b	0,248	0,014	24,67	24,71	24,81	23,58	0,186	0,053
PUFA n-3	2,31 ^a	2,11 ^{ab}	2,35 ^a	1,98 ^b	0,047	0,007	1,83 ^a	1,95 ^a	1,99 ^a	1,62 ^b	0,034	<0,001
n-6/n-3	11,35 ^b	12,71 ^{ab}	11,99 ^{ab}	13,33 ^a	0,236	0,011	13,61 ^{ab}	12,70 ^b	12,51 ^b	14,60 ^a	0,241	0,003
n-3/n-6	0,09 ^a	0,08 ^{ab}	0,08 ^{ab}	0,07 ^b	0,002	0,013	0,07 ^{ab}	0,08 ^a	0,08 ^a	0,06 ^b	0,001	0,004
Indeksy												
NVI	2,01 ^a	1,73 ^b	1,76 ^b	1,84 ^{ab}	0,030	0,001	2,00 ^b	2,11 ^b	2,15 ^b	2,45 ^a	0,041	<0,001
AI	0,46 ^b	0,51 ^a	0,45 ^b	0,43 ^b	0,008	<0,001	0,44 ^a	0,39 ^b	0,38 ^b	0,35 ^b	0,008	<0,001
TI	1,03 ^{bc}	1,15 ^a	1,08 ^b	0,99 ^c	0,014	<0,001	0,99 ^a	0,89 ^{ab}	0,87 ^b	0,82 ^b	0,018	0,004
HPI	2,23 ^a	2,01 ^b	2,27 ^a	2,36 ^a	0,033	<0,001	2,32 ^b	2,62 ^{ab}	2,65 ^{ab}	2,92 ^a	0,057	0,001
PI	65,91 ^b	66,49 ^{ab}	71,75 ^a	62,69 ^b	0,889	0,001	55,97 ^{ab}	57,52 ^{ab}	57,82 ^a	54,04 ^b	0,506	0,023
h/H Index	2,42 ^a	2,15 ^b	2,29 ^{ab}	2,40 ^a	0,033	0,005	2,47 ^b	2,69 ^b	2,73 ^{ab}	3,03 ^a	0,055	0,001

¹CON - kaczki żywione paszą komercyjną; CFL - kaczki żywione paszą komercyjną z dodatkiem 2% płatków marchwi; RAWC - kaczki żywione 80% paszy komercyjnej i 20% surowej (świeżej) marchwi; CPOW - kaczki żywione paszą komercyjną z dodatkiem 2% proszku marchwi; ² - nazwy podano w rozdziale materiał i metody strona 23. ^{a,b,...} - oznaczono w kolumnach statystycznie istotne różnice między grupami (P≤0,05)

3.7. LITERATURA

- [1] Abo Ghanima M.M., El-Hack M.E., Taha A.E., Tufarelli V., Laudadio V., Naiel M.A.E. 2020. Assessment of Stocking Rate and Housing System on Performance, Carcass Traits, Blood Indices, and Meat Quality of French Pekin Ducks. *Agriculture*. 10(7): 273. doi:10.3390/agriculture10070273
- [2] Adamski M., Rutkowski A. 2018. Rozdział: Zalecenia żywieniowe kaczek. W książce: Zalecenia żywieniowe i wartość pokarmowa pasz dla drobiu. Praca zbiorowa pod redakcją Smulikowska S., Rutkowski A., wyd. V zmienione i uzupełnione. Wyd. Instytut Fizjologii i Żywienia Zwierząt im. Jana Kielanowskiego Polskiej Akademii Nauk, Jabłonna. Polski Oddział Światowego Stowarzyszenia Wiedzy Drobiarskiej PB WPSA, Poznań. APRA, Osielsko. 66-74.
- [3] Alhousein A., Gurbuz Y., 2015. Aflatoxins in Poultry Nutrition. *J. Nat. Sci.* 18(4). doi:10.18016/ksujns.98227
- [4] Alves G., Costa C., Monteiro A.L.G., Garcia C.A., Munari D.P., Neres M.A. 2004. Qualidade da carne de cordeiros criados em creep feeding corn silage de grãos úmidos de milho. *R. Bras. Zootec.* 33(4): 1039–1047. doi:10.1590/S1516-35982004000400024
- [5] Augustyńska-Prejsnar A., Ormian M., Sokołowicz Z. 2018. Cechy kształtujące jakość mięsa drobiowego. *PTPS*. 2: 90-96.
- [6] AVEC Annual Report. 2025. Data dostępu: 07.01.2026 r. <https://avec-poultry.eu/resources/annual-reports/>
- [7] Ayres V.E., Broomhead J.N., Li X., Raab R.M., Moritz J.S. 2019. Viscosity and growth response of broilers fed high fiber diets supplemented with a corn-produced recombinant carbohydrase. *J. Appl. Poult. Res.* 28(4): 826-836. doi:10.3382/japr/pfz039
- [8] Baéza E. 2016. Nutritional requirements and feed management of meat type ducks. *World's Poult. Sci. J.* 72(1): 5–20. doi:10.1017/S004393391500272X
- [9] Baéza E., Guillier L., Petracci M. 2022. Review: Production factors affecting poultry carcass and meat quality attributes. *Animal*. 16(1): 1000331. doi:10.1016/j.animal.2021.100331
- [10] Banaszak M., Biesek J., Adamski M. 2022. Research Note: Growth and meat features of broiler chicken with the use of halloysite as a technological additive to feed and peat litter. *Poult. Sci.* 101(1): 101543. doi:10.1016/j.psj.2021.101543

- [11] Banday M.T., Adil S., Sheikh I.U., Hamadani H., Qadri F.I., Sahfi M.E., Sait H.S.A.W., El-Mageed T.A.A., Salem H.M., Taha A.E., El-Saadony M.T., Abd El-Hack M.E. 2023. The use of silkworm pupae (*Bombyx mori*) meal as an alternative protein source for poultry. *World's Poult. Sci. J.* 79(1): 119–134. doi:10.1080/00439339.2023.2163955
- [12] Banerjee S., Kumar D., Behera R., Panda S., Jena G.R., Naik P.K., Swain B.K., Mishra S.K., Beura C.K. 2022. Aflatoxins in Duck Production-A Review. *Indian. J. Anim. Nutr.* 39(3). doi: 10.56093/c3zpyj45
- [13] Bannon C.D., Craske J.D., Hilliker A.E. 1986. Analiza estrów metylowych kwasów tłuszczowych z wysoką dokładnością i niezawodnością. Walidacja teoretycznych względnych współczynników odpowiedzi nienasyconych estrów w detektorze płomieniowo-jonizacyjnym. *J. Am Oil. Chem. Soc.* 63: 105-110. doi:10.1007/BF02676134
- [14] Barroeta A.C. 2007. Nutritive value of poultry meat: relationship between vitamin E PUFA. *World's Poult. Sci. J.* 63(2): 277-284. doi:10.1017/S0043933907001468
- [15] Bedfords M.R., Classen H.L. 1992. Reduction of intestinal viscosity through manipulation of dietary rye and pentosanase concentration is effected through changes in the carbohydrate composition of the intestinal aqueous phase and results in improved growth rate and food conversion efficiency of broiler chicks. *J. Nutr.* 122(3): 560-569. doi:10.1093/jn/122.3.560
- [16] Benton, J.R., Klopfenstein T.J., Erickson G.E. 2005. Effects of corn moisture and length of ensiling on dry matter digestibility and rumen degradable protein. *Neb. Beef Cattle Rep.* 151: 31-33.
- [17] Biesek J., Banaszak M., Grabowicz M., Właźlak S., Adamski M. 2022a. Production efficiency and utility features of broiler ducks fed with feed thinned with wheat grain. *Animal.* 12(23): 3427. doi:10.3390/ani12233427
- [18] Biesek J., Banaszak M., Grabowicz M., Właźlak S., Adamski M. 2022b. Production Efficiency and Utility Features of Broiler Duck Fed wit Feed Thinned with Wheat Grain. *Animals.* 12(23): 3427. doi: 10.3390/ani12233427
- [19] Biesek J., Banaszak M., Kuźniacka J., Adamski M. 2021. Characteristics of carcass and physicochemical traits of meat from male and female ducks fed a diet based on extruded soybean. *Poult. Sci.* 100(7): 101170. doi:10.1016/j.psj.2021.101170
- [20] Caldeira C., De Laurentiis V., Corrado S., Holsteijn F., Sala S. 2019. Quantification of food waste per product group along the food supply chain in the European Union: a mass

flow analysis. *Resour. Conserv. Recycl.* 149: 479-488.

doi:10.1016/j.resconrec.2019.06.011

- [21] Carreras I., Guerrero L., Guàrdia M.D., Esteve-Garcia E., Regueiro J.A.G., Sárraga C. 2004. Vitamin E levels, thiobarbituric acid test and sensory evaluation of breast muscles from broilers fed α -tocopheryl acetate- and β -carotene-supplemented diets. *J. Sci. Food Agric.* 84: 313–317. doi:10.1002/jsfa.1639
- [22] Chen G.H., Zhang K.Y., Tian G., Bai S.P., Ding X.M., Wang J.P., Lv L., Xuan Y., Zeng Q.F. 2023. Effects of a high-fat diet on the growth performance, lipid metabolism, and the fatty acids composition of liver and skin fat in Pekin ducks aged from 10 to 40 days. *Poult. Sci.* 102(3): 102429. doi:10.1016/j.psj.2022.102429
- [23] Cheng T.K., Hamre M.L., Coon C.N. 1997. Effect of environmental temperature, dietary protein, and energy levels on broiler performance. *J. Appl. Poult. Res.* 6(1): 1–17. doi:https://doi.org/10.1093/japr/6.1.1
- [24] Choct M., Hughes R.J., Wang J., Bedford M.R., Morgan A.J., Annison G. 1996. Increased small intestinal fermentation is partly responsible for the anti-nutritive activity of non-starch polysaccharides in chickens. *Br. Poult. Sci.* 37(3): 609-621. doi: 10.1080/00071669608417891
- [25] Choi J., Kong B., Bowker B.C., Zhuang H., Kim W.K. 2023. Nutritional strategies to improve meat quality and composition in the challenging conditions of broiler production: a review. *Animal.* 13(8): 1386. doi:10.3390/ani13081386
- [26] Cui X., Abouelezz K., Jiang Z., Gou Z., Wang Y., Jiang S. 2022. Effects of metabolic energy intervention on lipid content and liver transcriptome in finisher yellow-feathered chickens. *Ital. J. Anim. Sci.* 21(1): 1362-1370. doi:10.1080/1828051X.2022.2116607
- [27] Dal Bosco A., Cartoni Mancinelli A., Vaudo G., Cavallo M., Castellini C., Mattioli S. 2022. Indexing of Fatty Acids in Poultry Meat for Its Characterization in Healthy Human Nutrition: A Comprehensive Application of the Scientific Literature and New Proposals. *Nutrients.* 14(15): 3110. doi:10.3390/nu14153110
- [28] Desert C., Baéz E., Aite M., Boutin M., Le Cam A., Montfort J., Houee-Bigot M., Blum Y., Roux P.F., Hennequet-Antier C., Berri C., Metayer-Coustard S., Collin A., Allais S., Le Bihan E., Causeur D., Gondret F., Duclos M.J., Lagarrigue S. 2018. Multi-tissue transcriptomic study reveals the main role of liver in the chicken adaptive response to a switch in dietary energy source through the transcriptional regulation of lipogenesis. *BMC Genomics.* 19: 187. doi:10.1186/s12864-018-4520-5

- [29] Ding X.M., Qi Y.Y., Zhang K.Y., Tian g., Bai S.P., Wang J.P., Peng H.W., Lv L., Xuan Y., Zeng Q.F. 2022. Corn distiller's dried grains with solubles as an alternative ingredient to corn and soybean meal in Pekin duck diets based on its predicted AME and the evaluated standardized ileal digestibility of amino acids. *Poult. Sci.* 101(8): 101974. doi: 10.1016/j.psj.2022.101974
- [30] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/63/UE z dnia 22 września 2010 r. w sprawie ochrony zwierząt wykorzystywanych do celów naukowych. *Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej*. L 276: 33–79.
- [31] Eurostat. 2023a. The fruit and vegetable sector in the EU – a statistical overview. Data dostępu: 11.08.2025 r. The fruit and vegetable sector in the EU - a statistical overview - Statistics Explained – Eurostat.
- [32] Eurostat. 2023b. Understanding food waste in the EU: Insights from Eurostat. Data dostępu: 10.08.2025 r. Understanding Food Waste in the EU: Insights from Eurostat – ROSETTA.
- [33] FAO 2023. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), FAOSTAT – Crops and livestock products. Data dostępu: 11.08.2025 r. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>.
- [34] Folch, J., M. Lees, G.S. Stanley. 1957. Prosta metoda izolacji i oczyszczania całkowitych lipidów z tkanek zwierzęcych. *J. Biol. Chem.* 226(1): 497-509. doi:10.1016/S0021-9258(18)64849-5
- [35] Gogus U., Smith C.H. 2010. *n*–3 Omega fatty acids: a review of current knowledge. *Int. J. Food Sci. Tech.* 45(3): 417–436. doi:10.1111/j.1365-2621.2009.02151.x
- [36] Gornowicz E., Lewko L., Pietrzak M. 2011. Kształtowanie się cech jakościowych mięsa kaczek w zależności od pochodzenia i metody chowu. *Postępy Nauk i Technol. Prz. Rol.-Spoż.* 66(1): 32-43.
- [37] Gunasekar K.R. 2006. Formulating feeds for broiler performance. *The PoultrySite* 24.04.2006 r. Data dostępu: 02.2024. <https://www.thepoultrysite.com/articles/formulating-feed-for-broiler-performance>
- [38] Han H.Y., Zhang K.Y., Ding X.M., Bai S.P., Luo Y.H., Wang J.P., Zeng Q.F. 2017. Effect of dietary fiber levels on performance, gizzard development, intestinal morphology, and nutrient utilization in meat ducks from 1 to 21 days of age. *Poult. Sci.* 96(12): 4333-4341. doi:<https://doi.org/10.3382/ps/pex268>.

- [39] Harrabi H., Leroi F., Mihoubi N.B., Chevalier F., Kechaou N. 2017. Biological Silages from Tunisian Shrimp and Octopus By-Products. *J. Aquat Food Prod. Technol.* 26(3): 279-295. doi:10.1080/10498850.2016.1145160
- [40] Hashem N.A. 2012. The use of dried carrot processing waste in broiler diets. *J. Anim. Poult.* 3(9): 423-435. doi:10.21608/jappmu.2012.82949
- [41] Hu Y., Wang Y., Li A., Wang Z., Zhang X., Yun T., Qiu L., Yin Y. 2015. Effects of fermented rapeseed meal on antioxidant functions, serum biochemical parameters and intestinal morphology in broilers. *Food Agric. Immunol.* 27(2): 182-193. doi: 10.1080/09540105.2015.1079592
- [42] Jacovaci F.A., Salvo P.A.R., Jobim C.C., Daniel J.L.P. 2021. Effect of ensiling on the feeding value of flint corn grain for feedlot beef cattle: A meta-analysis. *Rev. Bras. Zootec.* 50. doi:10.37496/rbz5020200111
- [43] Jazi V., Ashayerizadeh A., Toghyani M., Shabani A., Tellez G., Toghyani M. 2018. Fermented soybean meal exhibits probiotic properties when included in Japanese quail diet in replacement of soybean meal. *Poult. Sci.* 97(6): 2113-2122. doi: 10.3382/ps/pey071
- [44] Jensen S.K., Jensen C., Jakobsen K., Engberg R.M., Andersen J.O., Lauridsen C., Sørensen P., Skibsted L.H., Bertelsen G. 1998. Supplementation of broiler diets with retinol acetate, β -carotene or canthaxanthin: Effect on vitamin status and oxidative status of broilers *in vivo* and on meat stability. *Acta Agric. Scand. Sect. A.* 48(1): 28–37. doi:10.1080/09064709809362400
- [45] Juodka R., Juska R., Juskiene V., Leikus R., Stankeviciene D., Nainiene R. 2018. The effect of feeding with hemp and Camelina cakes on the fatty acid profile of duck muscles. *Arch. Anim. Breed.* 61(3): 293–303. doi:10.5194/aab-61-293-2018
- [46] Katu J.K., Tóth T., Ásványi B., Hatvan Z., Varga L. 2025. Effect of Fermented Feed on Growth Performance and Gut Health of Broilers: A Review. *Animals.* 15(13): 1957. doi: 10.3390/ani15131957
- [47] Kirchgessner M., Eder K., Müller H.L., Jamroz D. 1999. Zur energetischen Bewertung von Nichtstärke-Polysacchariden beim Geflügel. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 81(1): 51-56. doi:10.1046/j.1439-0396.1999.811158.x
- [48] Kokoszyński D., Wasilewski R., Stęczny K., Bernacki Z., Kaczmarek K., Saleh M., Wasilewski P.D., Biegnewska M. 2015. Comparison of growth performance and meat traits in Pekin ducks from different genotypes. *Eur. Poult. Sci.* 79: 1-11. doi:10.1399/eps.2015.110

- [49] Kokoszyński D., Wilkanowska A., Saleh M., Fik M., Bigorowski B. 2021. Comparison of some meat and liver quality traits in Muscovy and Pekin ducks. *J. Appl. Anim. Res.* 49(1): 118-124. doi:10.1080/09712119.2021.1895173
- [50] Kowalska E., Kucharska-Gaca J., Kuźniacka J., Biesek J., Banaszak M., Adamski M. 2020. Effects of legume-diet and sex of ducks on the growth performance, physicochemical traits of meat and fatty acid composition in fat. *Sci. Rep.* 10: 13465. doi:10.1038/s41598-020-70508-x
- [51] Li H., Xu G., Yan H., Bei L., Zhao M., Zhang R., Meng Y., Zhu Y., Wei L., Xie Z., Jiang S. 2025. Study on the infection characteristics and pathogenesis of duck circovirus 1 in Cherry Valley meat ducks. *Poult. Sci.* 104(2): 104805. doi:10.1016/j.psj.2025.104805
- [52] Listrat A., Lebreton B., Louveau I., Astruc T., Bonnet M., Lefaucheur L., Picard B., Bugeon J. 2016. How Muscle Structure and Composition Influence Meat and Flesh Quality. *Sci. World. J.* 182746. doi:10.1155/2016/3182746
- [53] Łukaszewicz E., Kowalczyk A., Adamski M., Kuźniacka J. 2011. Growth parameters and meat quality of Pekin ducks fed on different level of dried distillers grains with solubles. *Arch. Anim. Breed.* 54(5): 557-566. doi:10.5194/aab-54-557-2011
- [54] Marcu A., Vacaru-Opriș I., Marcu A., Nicula, M., Dumitrescu G., Nichita I., Dronca D., Kelciov B. 2011. The Influence of the Feed Protein and Energy Level on the Meat Chemical Composition at "Lohmann Meat" Hybrid Lucrari. *Sci. Pap. Anim. Sci. Biotechnol.* 44(2): 260-265.
- [55] Mateos G.G., Cámara L., Fondevila G., Lázaro R.P. 2019. Critical review of the procedures used for estimation of the energy content of diets and ingredients in poultry. *J. Appl. Poult. Res.* 28(3): 506–525. doi:10.3382/japr/pfy025
- [56] Mateos G.G., Jiménez-Moreno E., Serrano M.P., Lázaro R.P. 2012. Poultry response to high levels of dietary fiber sources varying in physical and chemical characteristics. *J. Appl. Poult. Res.* 21(1): 156-174. doi:10.3382/japr.2011-00477
- [57] Mir N.A., Rafiq A., Kumar F., Singh V., Shukla V. 2017. Determinants of broiler chicken meat quality and factors affecting them: a review. *J. Food. Sci. Technol.* 54: 2997–3009. doi:10.1007/s13197-017-2789-z
- [58] Mostafa I., Barari M., Asasi K. 2025. Impact of Dietary Protein Reduction on Broiler Performance, Carcass Composition, and Meat Quality. *J. Poult. Sci. Avian Dis.* 3(3): 5-11. doi:10.61838/kman.jpsad.3.3.2
- [59] NAB. 2021. Namibian Agronomic Board (NAB), Market Intelligence Report: Carrots, Publisher: Namibian Agronomic Board Agronomy and Horticulture Market Development

Division Research and Policy Development Subdivision. Data dostępu: 10.08.2025.
<http://www.nab.com.na/>

- [60] Orkusza A. 2015. Czynniki kształtujące jakość mięsa drobiu grzebiącego. *Nauki Inż. i Technol.* 1(16): 47-60. doi:10.15611/nit.2015.1.05
- [61] Percie du Sert N., Hurst V., Ahluwalia A., Alam S., Avey M.T., Baker M., Browne W.J., Clark A., Cuthill I.C., Dirnagl U., Emerson M., Garner P., Holgate S.T., Howells D.W., Karp N.A., Lazic S.E., Lidster K., MacCallum C.J., Macleod M., Pearl E.J., Petersen O.H., Rawle F., Reynolds P., Rooney K., Sena E.S., Silberberg S.D., Steckler T., Wurbel H. 2020. The ARRIVE guidelines 2.0: Updated guidelines for reporting animal research. *PLoS Biol.* 18(7): 1-12. doi: 10.1371/journal.pbio.3000410
- [62] Pestana J.M. 2020. Impact of dietary incorporation of *Spirulina (Arthrospira platensis)* and exogenous enzymes on broiler performance, carcass traits, and meat quality. *Poult. Sci.* 99(5): 2519–2532. doi:10.1016/j.psj.2019.11.069
- [63] Pietrangeli R., Cicatiello C. 2024. Lost vegetables, lost value: Assessment of carrot downgrading and losses at a large producer organization. *J. Clean Prod.* 478: 143873. doi:10.1016/j.jclepro.2024.143873
- [64] PN-A-82109:2010. Mięso i przetwory mięsne -- Oznaczanie zawartości tłuszczu, białka i wody – Metoda spektrometrii transmisyjnej w bliskiej podczerwieni (NIT) z wykorzystaniem kalibracji na sztucznych sieciach neuronowych (ANN). <https://www.pkn.pl/en>
- [65] PN-EN ISO 13906:2009. Pasze – oznaczanie zawartości włókna kwaśnodetergentowego (ADF) i ligniny kwaśnodetergentowej (ADL).
- [66] PN-EN ISO 16472:2007. Pasze – oznaczanie zawartości włókna obojętnodetergentowego po traktowaniu amylazą (aNDF).
- [67] PN-EN ISO 5983-1:2006. Pasze – oznaczanie zawartości azotu i obliczanie zawartości białka surowego – Część 1: Metoda Kjeldahla.
- [68] PN-EN ISO 6492:2005. Pasze – oznaczanie zawartości tłuszczu.
- [69] PN-EN ISO 9831:2005. Pasze, produkty zwierzęce, kał i mocz. Oznaczanie wartości energetycznej brutto. Metoda bomby kalorymetrycznej.
- [70] PN-ISO 6496:2002. Pasze – oznaczanie wilgotności i zawartości innych substancji lotnych.
- [71] PN-ISO 6865:2002. Pasze – oznaczanie zawartości włókna surowego – metoda z pośrednią filtracją.

- [72] Qiao Y., Huang J., Chen Y., Chen H., Zhao L., Huang M., Zhou G. 2017. Meat quality, fatty acid composition and sensory evaluation of Cherry Valley, Spent Layer and Crossbred ducks. *Anim. Sci. J.* 88: 156–165. doi:10.1111/asj.12588
- [73] Rajput N., Naeem M., Ali S., Zhang J.F., Zhang L., Wang T. 2013. The effect of dietary supplementation with the natural carotenoids curcumin and lutein on broiler pigmentation and immunity. *Poult. Sci.* 92(5): 1177-1185. doi:10.3382/ps.2012-02853
- [74] Rozporządzenie Komisji (WE) nr 152/2009 z dnia 27 stycznia 2009 r. ustanawiające metody pobierania próbek i dokonywania analiz do celów urzędowej kontroli pasz.
- [75] Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 28 czerwca 2010 r, w sprawie minimalnych warunków utrzymania gatunków zwierząt gospodarskich innych niż te, dla których normy ochrony zostały określone w przepisach Unii Europejskiej (Dziennik Ustaw, poz, 1966).
- [76] Ruiz J.A., Pérez-Vendrell A.M, Esteve-Garcia E. 1999. Effect of β -Carotene and Vitamin E on Oxidative Stability in Leg Meat of Broilers Fed Different Supplemental Fats. *J. Agric. Food Chem.* 47(2): 448-454. doi:10.1021/jf980825g
- [77] Seidavi A., Azizi M., Swelum A.A, Abd El-Hack M.M., Naiel M.A.E. 2021. Practical application of some common agro-processing wastes in poultry diets. *Worlds Poult. Sci. J.* 77(4): 913-927. doi:10.1080/00439339.2021.1960461
- [78] Sharma K.D., Karki S., Thakur N.S., Attri S. 2012. Chemical composition, functional properties and processing of carrot-a review. *J. Food Sci. Technol.* 49(1): 22-32. doi:10.1007/s13197-011-0310-7
- [79] Silondae H., Polakitan D., Paat P.C., Kairupan A.N., Layuk P., Lintang M., Joseph G.H., Polakitan A., Tand O.G., Rawung J.B.M., Rembang J.H.W., Salamba H.N., Malia I.E., Sondakh J.O.M., Hutapea R.T.P., Kindangen J.G., Elizabeth R. 2023. The effects of carrot (*Daucus carota* L.) waste juice on the performances of native chicken in North Sulawesi. Indonesia. *Open Agric.* 8(1): 20220173. doi:10.1515/opag-2022-0173
- [80] Siti N.W., Bidura I.G.N.G. 2022. Effects of carrot leaves on digestibility of feed, and cholesterol and β -carotene content of egg yolks. *South Afric. J. Anim. Sci.* 51(6): 786-792. doi:10.4314/sajas.v51i6.11
- [81] Smulikowska S., Mieczkowska A., Nguyen C.V., Bąbelewska M. 2002. The influence of digesta viscosity on the development of the stomach, on in vitro small intestinal motility and on digestion of nutrients in broiler chickens. *J. Anim. Feed Sci.* 11(4): 683-694. doi:10.22358/jafs/67925/2002

- [82] Sosin-Bzducha E., Strzetelski J., Borowiec F., Kowalczyk J., Okoń K. 2010. Effect of feeding ensiled maize grain on rumen development and calf rearing performance. *J. Anim. Feed Sci.* 19(2): 195–210. doi:10.22358/jafs/66281/2010
- [83] Steenfeldt S., Kjaer J.B., Engberg R.M. 2007. Effect of feeding silages or carrots as supplements to laying hens on production performance, nutrient digestibility, gut structure, gut microflora and feather pecking behaviour. *Brit. Poult. Sci.* 48(4): 454-468. doi:10.1080/00071660701473857
- [84] Sun H., Tang Jw., Yao Xh., Wu Yf., Wang X., Feng J. 2013. Effects of dietary inclusion of fermented cottonseed meal on growth, cecal microbial population, small intestinal morphology, and digestive enzyme activity of broilers. *Trop. Anim. Health Prod.* 45: 987-993. doi: 10.1007/s11250-012-0322-y
- [85] Suwignyo B., Suryanto E., Samur S.I.N., Hanim C. 2021. The effect of hay alfalfa (*Medicago sativa L.*) supplementation in different basal feed on the feed intake (FI), body weight, and feed conversion ratio of hybrid ducks. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* 686: 012039. doi:10.1088/1755-1315/686/1/012039
- [86] Świątkiewicz M., Bojanowski J. 2008. Carcass and meat quality of pigs fed with high-lysine maize grain silage. *Monogr. Problemy agrotechniki oraz wykorzystanie kukurydzy i sorgo. UP w Poznaniu*
- [87] Tanwiriah W., Nurlina L., Garnida D., Sujana E. Performance and Income Over Feed Cost of Rambon Duck that Given the Ration Containing Gold Snail (*Pomacea canaliculata*) and Noni Fruit (*Morinda citrifolia L*) Flour. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 334: 012009. doi:10.1088/1755-1315/334/1/012009
- [88] TIBCO Software. 2017. Statistica ver. 13.3.0. Statsoft TIBCO Software Inc., Palo Alto. CA, USA, Kraków, Polska.
- [89] Ugarković N.K., Bedeković D., Greiner K., Fabijanić N., Prpić Z., Konjačić M. 2024. Carcass Characteristics and Meat Quality of Wild-Living Mallard (*Anas platyrhynchos L.*) Originating from Croatia. *Foods*. 13(10): 1519. doi:10.3390/foods13101519
- [90] Wlaźlak S., Biesek J., Banaszak M. 2024. Growth performance, meat quality, strength of jejunum and leg bones of both sexes Cherry Valley ducks fed with zeolite. *Sci. Rep.* 14: 3938. doi:10.1038/s41598-024-54393-2
- [91] Wood J.D., Enser M., Fisher A.V., Nute G.R. 1999. Manipulating meat quality and composition. *Proc. Nutr. Soc.* 58(2): 363-70. doi:10.1017/S0029665199000488

- [92] Yu J., Yang H.M., Lai Y.Y., Wan X.L., Wang Z.Y. 2020. The body fat distribution and fatty acid composition of muscles and adipose tissues in geese. *Poult. Sci.* 99(9): 4634-4641. doi:10.1016/j.psj.2020.05.052
- [93] Zaremba I., Grabowicz M., Biesek J. 2024. Effects of feeding silage of beet pulp or maize on the growth performance, meat quality, and production economics of broiler ducks, *Poult. Sci.* 103(3): 103441. doi:10.1016/j.psj.2024.103441
- [94] Zeng Q.F., Cherry P., Doster A., Murdoch R., Adeola O., Applegate T.J. 2015. Effect of dietary energy and protein content on growth and carcass traits of Pekin ducks. *Poult. Sci.* 94(3): 384-94. doi:10.3382/ps/peu069
- [95] Zhang M., Daoying W., Huang W., Liu F., Zhu Y., Xu W., Cao J. 2013. Apoptosis during postmortem conditioning and its relationship to duck meat quality. *Food Chem.* 138(1): 96-100. doi:10.1016/j.foodchem.2012.10.142
- [96] Zhang W., Lan F., Zhou, Q., Gu S., Li X., Wen C., Yang N., Sun C. 2024. Host genetics and gut microbiota synergistically regulate feed utilization in egg-type chickens. *J. Animal. Sci. Biotechnol.* 15: 123. doi:10.1186/s40104-024-01076-7
- [97] Ziotecki J., Doruchowski W. 1989. *Methods for the Evaluation of Meat Quality and Yield.* COBRD Publisher, Poznań, Poland.1-12.

4. STRESZCZENIE

Efektywność produkcji i jakość surowca w aspekcie zastosowania alternatywnego żywienia kaczek rzeźnych

mgr inż. Bartosz Bigorowski

Słowa kluczowe: kaczka, żywienie, marchew, kiszone ziarno kukurydzy, wyniki produkcyjne, jakość, pasze alternatywne,

W ostatnich latach wzrost produkcji kaczek rzeźnych w Polsce skłania do poszukiwania obniżenia kosztów produkcji poprzez zastosowanie alternatywnych komponentów paszowych przy równoczesnym zachowaniu wyników produkcyjnych i jakości pozyskiwanego surowca. Celem badań była ocena wyników produkcyjnych, składu tuszek, jakości mięsa oraz profilu kwasów tłuszczowych kaczek rzeźnych Cherry Valley żywionych różnymi formami marchwi i kiszonego ziarna kukurydzy. Badania przeprowadzono łącznie na 420 kaczkach rzeźnych Cherry Valley. Odchów trwał 49 dni. Kaczki utrzymywano systemem półintensywnym. W żywieniu kaczek zastosowano alternatywne komponenty paszowe: 2% płatków z marchwi, 20% świeżej surowej marchwi, 2% proszku z marchwi, 20% / *ad libitum* kiszonego ziarna kukurydzy. Grupę kontrolną kaczek żywiono mieszankami paszowymi pełnoporcjowymi. W czasie odchowu kontrolowano: zużycie paszy, upadki, masę ciała. Po zakończeniu uboju obliczono wydajność rzeźną, wykonano analizę dysekcyjną tuszek określając ich skład. Oznaczono parametry fizykochemiczne (pH, barwa, wyciek swobodny, wodochłonność), podstawowy skład chemiczny mięśni i profil kwasów tłuszczowych oraz dodatkowo lepkość treści pokarmowej. Zastosowanie alternatywnych komponentów paszowych w postaci marchwi i kiszonego ziarna kukurydzy w żywieniu kaczek nie wpłynęło na pogorszenie masy ciała ptaków po odchowie. Pomimo zwiększonego zużycia paszy na 1 kg przyrostu kaczek, u których w żywieniu zastąpiono 20% mieszanki pełnoporcjowej świeżą surową marchwią i kiszonym ziarnem kukurydzy, co potwierdzono obliczonymi kosztami paszy. Tuszki kaczek żywionych mieszanką pełnoporcjową i paszami do których wprowadzono różne formy marchwi były podobnie umięśnione. Bardziej otluszczone kaczki uzyskano w efekcie żywienia mieszankami pełnoporcjowymi lub z dodatkiem 2% płatków z marchwi. W porównaniu z ptakami u których w żywieniu wprowadzono 20% świeżej surowej marchwi lub 2% proszku z marchwi. Natomiast ograniczenie paszy pełnoporcjowej i wprowadzenie *ad libitum* kiszonego ziarna kukurydzy spowodowało zmniejszenie o 2% umięśnienia tuszek kaczek przy jednoczesnym

zwiększeniu otluszczenia o 2,9%. Wprowadzenie do żywienia kaczek alternatywnych komponentów paszowych (różne formy marchwi i kiszone ziarno kukurydzy) nie spowodowało pogorszenia fizykochemicznych mięśni piersiowych i nóg. Zastosowanie w żywieniu kaczek 20% świeżej surowej marchwi lub 2% proszku z marchwi w dawce pokarmowej spowodowały zwiększenie zawartości białka w mięśniach piersiowych, a wprowadzenie kiszonego ziarna kukurydzy jej zmniejszenie. Obniżenie zawartości tłuszczu śródmięśniowego stwierdzono w przypadku wprowadzenia do żywienia 2% płatków z marchwi lub proszku z marchwi oraz 20% kiszonego ziarna kukurydzy. Zastosowanie 20% świeżej surowej marchwi i kiszonego ziarna kukurydzy oraz 2% płatków z marchwi wpłynęło korzystnie na profil kwasów tłuszczowych w mięśniach piersiowych ptaków po odchowie.

5. ABSTRACT

Production Efficiency and Meat Quality in Relation to Alternative Feeding Strategies in Broiler Ducks

Bartosz Bigorowski, M.Eng.

Key words: duck, feeding, carrot, ensiled maize grain, production performance, quality, alternative feedstuffs

In recent years, the increasing production of meat ducks in Poland has prompted efforts to reduce production costs through the use of alternative feed components while maintaining production performance and the quality of the obtained meat. The study aimed to evaluate production performance, carcass composition, meat quality, and the fatty acid profile of Cherry Valley meat ducks fed diets containing different forms of carrot and ensiled maize grain. The study was conducted on a total of 420 Cherry Valley meat ducks. The rearing period lasted 49 days, and the ducks were maintained under a semi-intensive production system. The following alternative feed components were used in duck nutrition: 2% carrot flakes, 20% fresh raw carrot, 2% carrot powder, and 20% or *ad libitum* ensiled maize grain. The control group was fed a commercial diet. During the rearing period, feed intake, mortality, and body weight were monitored. After slaughter, dressing percentage was calculated and carcass dissection was performed to determine carcass composition. The physicochemical properties of the meat, including pH, colour, drip loss, and water-holding capacity, were determined. In addition, the basic chemical composition of the muscles, fatty acid profile, and viscosity of the digestive contents were analyzed. The inclusion of alternative feed components in the form of carrot and ensiled maize grain in duck diets did not adversely affect the final body weight of the birds. However, feed conversion ratio increased in ducks in which 20% of the commercial diet was replaced with fresh raw carrot or ensiled maize grain, which was also reflected in the calculated feed costs. The carcasses of ducks fed a commercial diets and diets containing different forms of carrot showed a similar muscle proportion. Higher carcass fatness was observed in ducks fed a commercial diets or diets supplemented with 2% carrot flakes compared with birds receiving diets containing 20% fresh raw carrot or 2% carrot powder. In contrast, restriction of the commercial diet combined with the *ad libitum* provision of ensiled maize grain resulted in a 2% reduction in muscle proportion and a simultaneous 2.9% increase in carcass fatness. The inclusion of alternative feed components, including different forms of carrot and ensiled maize

grain, did not adversely affect the physicochemical properties of breast and leg muscles. The inclusion of 20% fresh raw carrot or 2% carrot powder in duck diets increased the protein content of breast muscles, whereas the inclusion of ensiled maize grain reduced it. A reduction in intramuscular fat content was observed when 2% carrot flakes, 2% carrot powder, or 20% ensiled maize grain were included in the diets. The use of 20% fresh raw carrot, ensiled maize grain, and 2% carrot flakes had a beneficial effect on the fatty acid profile of breast muscles in ducks at the end of the rearing period.

6. ZAŁĄCZNIKI

6.1. Kopie artykułów naukowych stanowiących cykl publikacji rozprawy doktorskiej

6.2. Oświadczenie autora rozprawy doktorskiej

6.3. Oświadczenia współautorów artykułów naukowych



Research Note: Impact of different carrot forms on production results and physiochemical features of carcass elements in broiler ducks

Bartosz Bigorowski^{a,*}, Jakub Biesek^a, Izabela Narloch^b, Szymon Różański^c

^a Department of Animal Breeding and Nutrition, Faculty of Animal Breeding and Biology, Bydgoszcz University of Science and Technology, Mazowiecka 28, 85-084, Bydgoszcz, Poland

^b Department of Food Analysis and Environmental Protection, Faculty of Chemical Technology and Engineering, Bydgoszcz University of Science and Technology, Seminaryjna 3, 85-326 Bydgoszcz, Poland

^c Laboratory of Chemical Research and Instrumental Analysis, Faculty of Animal Breeding and Biology, Bydgoszcz University of Science and Technology, Mazowiecka 28, 85-084, Bydgoszcz, Poland

ARTICLE INFO

Keywords:

Duck
root crops
production results
meat quality
feed costs

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the effect of dietary inclusion of different carrot forms on production results, carcass traits, meat quality, fatty acid (FA) composition, vitamin content, and feed costs in Cherry Valley broiler ducks. A total of 240 one-day-old males (initial body weight of 55.2 g) were allocated to 4 treatments ($n = 60$; 6 replicates of 10 birds): control (CD; 100 % commercial diet), CFL (CD + 2 % carrot flakes), RAWC (80 % CD + 20 % raw carrot), and CPOW (CD + 2 % carrot powder). Ducks were reared for 49 d under identical housing and management conditions. Final body weight did not differ among groups ($P > 0.05$). RAWC increased feed intake (FI) and feed conversion ratio (FCR) compared with CPOW ($P < 0.05$). Feed costs were lowest in CD and RAWC, and highest in CFL and CPOW ($P < 0.001$). Ducks fed CPOW showed higher relative leg muscle yield, whereas CD and CFL had greater fat deposition ($P < 0.05$). Breast muscle crude protein was higher in RAWC and CPOW, while intramuscular fat was highest in CD ($P < 0.001$). CFL increased skin yellowness ($P = 0.046$), potentially indicating carotenoid deposition. Carrot form significantly affected muscle FA composition. RAWC increased total PUFA (n-3 and n-6), whereas CPOW improved UFA/SFA ratio and lipid health indices; CFL showed the least favorable lipid profile ($P < 0.05$). Retinol concentrations in breast and leg muscles were highest in CPOW ($P < 0.05$), confirming efficient bioconversion of β -carotene. α - and γ -tocopherol contents varied, with higher values in CD for breast and in CPOW for leg muscles. In conclusion, dietary carrot form influenced both production efficiency and product quality in broiler ducks. Raw carrot increased FI and reduced FCR efficiency, carrot flakes primarily affected carcass pigmentation, and carrot powder improved FCR, lean tissue accretion, lipid health indices, and vitamin A deposition in muscle. However, the practical application of carrot powder is constrained by elevated feed costs.

Introduction

The production of broiler ducks in the European Union is steadily increasing, and because feed contributes the largest share of production costs, the search for alternative feed ingredients remains a priority for both economic and environmental reasons. Among potential resources, vegetable by-products such as carrots are of particular interest, as they are produced globally in large quantities and a considerable proportion is downgraded or wasted during processing, creating opportunities for their valorization in animal nutrition (Yitbarek, 2019). Carrots are

characterized by appreciable levels of crude protein, dietary fibre, and carotenoids, especially β -carotene, which can contribute not only to antioxidant activity but also to pigmentation of poultry tissues and eggs.

Several studies have demonstrated that different carrot forms can influence performance and product quality in poultry. In broiler chickens, the inclusion of dried carrot waste improved growth, feed conversion ratio (FCR), and crude protein concentration in breast muscle (Hashem, 2012). Fresh carrots supplied to laying hens enhanced both egg production and welfare outcomes (Steenfeldt et al., 2007), whereas carrot juice or juice by-products successfully replaced a

Section: Processing and Products.

* Corresponding author.

E-mail address: bartosz.bigorowski@pbs.edu.pl (B. Bigorowski).

<https://doi.org/10.1016/j.psj.2025.105762>

Received 14 April 2025; Accepted 31 August 2025

Available online 1 September 2025

0032-5791/© 2025 Published by Elsevier Inc. on behalf of Poultry Science Association Inc. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

substantial proportion of drinking water without impairing nutrient balance or health status (Silondae et al., 2023). Carrot leaves have also been utilized, resulting in increased egg production and elevated yolk carotenoid concentrations (Siti and Bidura, 2022). Nutrient utilization was improved in broilers receiving carrot meal, with higher feed intake, energy retention, and nitrogen balance (Ng'ambi et al., 2019). Furthermore, supplementation with purple carrot powder in quail diets enhanced antioxidant activity of yolks without negative effects on laying performance (Sarmiento-Garcia et al., 2023). The literature for broiler ducks fed with carrots is limited.

Collectively, the available evidence indicates that carrots can serve as a functional feed material capable of modulating both production outcomes and the nutritional properties of poultry products. On this basis, the present study was designed to test the hypothesis that dietary inclusion of different carrot forms (flakes, powder, or raw carrots) into a standard commercial diet would influence growth performance, carcass yield, meat composition, fatty acid profile, and feed economics in broiler ducks.

Materials and methods

The research was approved by the Committee for the Care of Animals of the Bydgoszcz University of Science and Technology, Poland (approval no. 1/24) and conducted according to the relevant regulations.

Experimental design and animal rearing

The experiment was conducted on 240 one-day-old male Cherry Valley broiler ducks. The rearing lasted 49 days. Ducks with an average weight of 55.18 g (± 3.51 g) were randomly divided into four equal groups of 6 replicates each (60 birds per group). The pens were adapted to keep the broiler ducks on litter throughout the rearing period, and the density was 17 kg/1 m². All pens were made from the same durable material, which did not cause mechanical damage to the birds. On the day of the experiment's beginning, the facility's temperature was 30°C; it was measured at the height of the ducks and maintained at this level for 4 days. In the following days, the temperature was systematically lowered so that in the 4th week of rearing, it reached 20°C. An additional heat source was used in the first 4 weeks of rearing the broiler ducks (heating lamps 32°C).

The ducks were kept in a litter system (cut wheat straw). Relative air humidity was 60 %, ventilation was 1m³/sec, and the lighting period was 16L:8D, with 23L:1D in the first and last three days. The light was warm-yellow colored with 20 lx intensity. The ducks had free access to water and feed *ad libitum* throughout the experiment. The birds took water from bell drinkers (1/10 ducks) and fed from linear feeders (7 cm long per duck). The ducks were fed in two periods. The first period consisted of a starter diet from day 1 to 28, and the second period, when a grower diet was given from day 29 to 49. During both feeding periods, a granulated commercial diet (isoprotein and isocaloric) was used.

The birds were kept in 4 feeding groups: the CD group, which received 100 % commercial diet *ad libitum*; the CFL group, which received a 2 % carrot flakes supplement to the commercial diet, given *ad libitum*; the RAWC group, which received a mixture of 80 % commercial diet and 20 % fresh raw carrots, given *ad libitum*; the CPOW group, which received a 2 % powdered carrot in a commercial diet *ad libitum*. Fresh raw carrots and carrot flakes had a fraction similar to the commercial diet, while powdered carrots had a smaller fraction than the commercial diet. In all groups, only a commercial diet was given for the first three days, and on the following days, feed with additives was introduced and given *ad libitum*. Various forms of carrot were purchased for the test and mixing with the commercial diet was performed with a feed mixer (Dozamech, Odolanów, Poland) according to the described proportions.

Analytical composition of the commercial diet and carrot

Analytical tests were performed to assess the chemical composition of diets in 6 replicates each based on methods of The Polish Committee for Standardization (Polski Komitet Normalizacyjny – PKN). These tests included the following parameters: dry matter (DM) (POL-EKO dryer, Wodzisław Śląski, Poland); crude ash (CA) using the gravimetric method; crude fat (EE) determined by the Soxhlet method (SOXTEC SYSTEM HIT 1043, Gemini BV, Apeldoorn, Netherlands); crude protein (CP) analyzed via the Kjeldahl method (Kjeltec™ 8400 Analyzer Unit and Kjeltec Sampler 8420, FOSS, Hilleroed, Denmark); acid detergent fiber (ADF, including residual ash); neutral detergent fiber (NDF, with heat-stable amylase and including residual ash), using the ANKOM 220 apparatus (Ankom, Macedon, NY); gross energy (GE) analyzed using an isoparabolic calorimeter (KL-21 PLUS; Precyzja-Bit PPHU Ltd., Bydgoszcz, Poland). All ingredient content was expressed per 1 kg of DM.

Vitamin content in a commercial diet and carrot

Samples were weighted a specific amount of ground meat/feed into a vial, then antioxidant, methanol, and potassium hydroxide solution (50 %) to the sample were added, mixed, and placed in a thermoshaker (30 minutes). After saponification, water was added, and a 3-fold extraction step was performed using a hexane: ethyl acetate mixture (9:1). The organic layer in a glass vial was evaporated in a nitrogen stream (60 minutes). Dissolved the residue in methanol was filtered through a syringe filter (PTFE 0.22 µm).

Vitamin identification and quantification were performed using a liquid chromatograph (Shimadzu) with a fluorescence and UV-Vis detector. The Gemini 3 µm NX-C18 110A, 150 × 4.6 mm (Phenomenex, USA) reverse phase (RP) column thermostated at 30°C was used for the determination. Methanol/tetrahydrofuran gradient elution was used, and the mobile phase flow was 1 mL/min. Excitation and emission wavelengths in the fluorescence detector were 295 nm and 330 nm for α -tocopherol, β -tocopherol, γ -tocopherol, respectively, 325 nm and 475 nm for retinol. The UV-Vis detector was set at 450 nm for β -carotene.

Fatty acid profile in a commercial diet and carrot

Lipid extraction from feed and meat samples was performed. Samples were treated with a chloroform-methanol mixture (2:1, v/v), homogenized, ultrasonicated, and centrifuged. The chloroform layer was subsequently removed under a nitrogen stream. The residue obtained was transesterified and centrifuged, and the extract was collected. For analysis, hexane containing the fatty acid (FA) methyl esters (FAME) was analyzed by gas chromatography (Agilent Technologies 7890B), equipped with a flame ionization detector (FID) and automated injection system. FAME retention times in meat and feed samples were identified compared to the standard (FAME Mix-37, Sigma-Aldrich, St. Louis, MO). Peak areas were manually integrated using Agilent ChemStation F.01.00.1903 (Agilent Technologies, Santa Clara, CA, USA), with results expressed as a percentage of the total chromatogram area, applying flame ionization detector correction factors. FA profiles in meat and feed were determined using an Agilent 7890B gas chromatograph (Agilent Technologies, Santa Clara, USA) equipped with an FID, split/splitless injector, and multipurpose autosampler.

Growth performance

Duck mortality was recorded throughout the rearing period, and viability was calculated accordingly. The birds were weighed on days 1, 28, and 49, and both growth rate (GR) and body weight gain (BWG) were determined based on body weight (BW). Growth rate was calculated using the formula: $\frac{\text{final body weight (g)} - \text{initial body weight (g)}}{0.5 \times (\text{initial body weight (g)} + \text{final body weight (g)})} \times$

100%) and body weight gain (final body weight (g) – initial body weight (g)). Feed intake (FI) was monitored daily, and the feed conversion ratio (FCR) per kg of BWG was calculated as $\left(\frac{\text{FI (kg)}}{\text{BWG (kg)}}\right)$.

The European Broiler Index (EBI, $\frac{\text{viability (\%)} \times \text{average daily gain (kg)}}{\text{FCR (kg/kg)}} / 10$) was calculated.

Estimation of feed economics

The feed economics were estimated based on the market prices. Based on feed prices from the feed company, the starter commercial diet costs 2.92 PLN (Polish zloty) per 1 kg, and the grower commercial diet costs 2.88 PLN per 1 kg. Carrot flakes cost 18.70 PLN per 1 kg, raw fresh carrot – 0.80 PLN per 1 kg, and carrot powder – 20 PLN per 1 kg. In groups CFL and CPOW, the costs were calculated with a ratio of commercial diet and carrot flakes or powder 98:2 %, and in group RAWC – 80 % of a commercial diet and 20 % of raw fresh carrots.

Carcass characteristics, meat quality, and fatty acid profile

After rearing, 12 ducks from each group were selected, with body weights close to the average weight within each pen (2 ducks per pen). The ducks were slaughtered by either stunning with an electric current or decapitation at the junction between the first cervical vertebra and the occipital condyle, following Council Regulation (EC) No. 1099/2009 on animal protection at the time of killing. The carcasses were scalded, feathers were automatically removed, and evisceration was performed. The feet were removed at the hock joint, and the carcasses were chilled in a refrigerator at 4°C for 24 hours (Hendi, Poznań, Poland). Carcasses were weighed using a precision scale (Radwag, Radom, Poland). During weighing, the pH of the pectoral muscle was measured with a pH meter equipped with a dagger electrode.

Carcasses were dissected to separate the neck (without skin), pectoral muscles (m. pectoralis major and minor), leg muscles (thigh and drumstick, deboned), skin with subcutaneous fat (including neck skin), abdominal fat, wings with skin, and carcass remains (trunk and leg bones). All carcass parts were weighed using the same scale. The slaughter yield of the carcass was calculated, and the relative weight of each carcass element per 100 g of total carcass weight was determined. The color of the pectoral and leg muscles was evaluated using the CIELab color scale, with measurements for brightness (L*), redness (a*), and yellowness (b*) taken via colorimetry (Konica Minolta, Tokyo, Japan) on the inner side of both muscle groups. Also, the skin with subcutaneous fat (inner side) was measured by the colorimeter. Drip loss was measured for the right pectoral muscle by weighing the muscle, placing it in double bags, suspending it in a refrigerator at 4°C for 24 hours, and re-weighing the muscle to calculate water loss percentage: $\left(100 - \left(\frac{\text{final sample weight (g)}}{\text{initial sample weight (g)}}\right) \times 100\%\right)$.

Water-holding capacity (WHC) was similarly calculated using the formula for the drip loss. The left pectoral and leg muscles were ground in a meat grinder (Hendi, Poznań, Poland). Muscle samples (0.295–0.305 g) were placed between two pieces of Whatman No. 1 filter paper and compressed under a 2 kg weight for 5 minutes. Afterward, the samples were re-weighed, and the percentage of water loss was determined. Samples of minced breast and leg muscles (90 g) were prepared and analyzed for chemical composition, including crude protein (CP), collagen, sodium chloride (salt), intramuscular fat (IMF), and water content. The analyses were conducted using a FoodScan apparatus (FOSS, Hilleroed, Denmark) with Near Infrared Transmission (NIT) spectrometry. Meat quality analyses were performed in 12 replications. The FA profile in pectoral and leg muscle was analyzed similarly to that described in the section “Fatty acid profile in a commercial diet and carrot.” The FA profile in muscles was calculated,

including saturated FA (SFA), monounsaturated FA (MUFA), polyunsaturated FA (PUFA), unsaturated FA (UFA), PUFA n-3 and n-6, and their ratios. The formulas were used:

- $\sum \text{SFA} = \text{C10:0} + \text{C12:0} + \text{C14:0} + \text{C15:0} + \text{C16:0} + \text{C17:0} + \text{C18:0} + \text{C20:0}$;
- $\sum \text{MUFA} = \text{C14:1} + \text{C16:1} + \text{C17:1} + \text{C18:1n9t} + \text{C18:1n9c} + \text{C20:1n9} + \text{C24:1n9}$;
- $\sum \text{PUFA} = \text{C18:2n6t} + \text{C18:2n6c} + \text{C18:3n3} + \text{C20:2} + \text{C20:3n3} + \text{C20:4n6} + \text{C22:2} + \text{C22:6n3}$;
- $\sum \text{UFA} = \text{C14:1} + \text{C16:1} + \text{C17:1} + \text{C18:1n9t} + \text{C18:1n9c} + \text{C18:2n6t} + \text{C18:2n6c} + \text{C18:3n3} + \text{C20:2} + \text{C20:3n3} + \text{C20:1n9} + \text{C20:4n6} + \text{C22:2} + \text{C22:6n3} + \text{C24:1n9}$;
- $\text{PUFA n3} = \text{C18:3n3} + \text{C20:3n3} + \text{C22:6n3}$;
- $\text{PUFA n6} = \text{C18:2n6t} + \text{C18:2n6c} + \text{C20:4n6}$.

The health indicators were also calculated for pectoral and leg muscles:

- Nutritive/Nutritional Value Index (NVI) = $(\text{C18:0} + \text{C18:1n9}) / \text{C16:0}$;
- Atherogenic Index (AI) = $(\text{C12:0} + 4 \times \text{C14:0} + \text{C16:0}) / (\sum \text{MUFA} + \sum (\text{n-6}) + \sum (\text{n-3}))$;
- Thrombogenic Index (TI) = $(\text{C14:0} + \text{C16:0} + \text{C18:0}) / (0.5 \times \sum \text{MUFA} + 0.5 \times (\text{n-6}) + 3 \times (\text{n-3}) + (\text{n-3}) / (\text{n-6}))$;
- Health-Promoting Index (HPI) = $(\sum \text{UFA}) / (\text{C12:0} + 4 \times \text{C14:0} + \text{C16:0})$;
- Peroxidisability Index (PI) = $(\% \text{ monoenoic} \times 0.025) + (\% \text{ dienoic} \times 1) + (\% \text{ trienoic} \times 2) + (\% \text{ tetraenoic} \times 4) + (\% \text{ pentaenoic} \times 6) + (\% \text{ hexaenoic} \times 8)$;
- Hypocholesterolemic/hypercholesterolemic ration (h/H Index) = $[(\text{C18:1n9} + \text{C18:2n6} + \text{C18:3n3} + \text{C20:4n6} + \text{C20:5n3} + \text{C22:5n3} + \text{C22:6n3}) / (\text{C14:0} + \text{C16:0})]$.

The calculation were performed based on the methods described by Ugarković et al. (2024).

Statistical analysis

Data were calculated in Statistica ver. 13.3.0 (TIBCO Software, Cracow, Poland). Mean values and pooled standard error of the mean (SEM) were calculated. One-way analysis of variance was used, with the statistical model $Y_f = \mu + F_f + e_f$, where Y_f is the dependent variable; μ is the overall mean; F_f is the effect of feeding (f: commercial diet; commercial diet + 2 % carrot flakes; 80 % commercial diet + 20 % raw fresh carrot; commercial diet + 2 % carrot powder); e_f , residual error). Significant differences were validated using Tukey's test, with a P -value of <0.05.

Results and discussion

At the beginning, the description of analytical composition of diets is presented. The commercial starter and grower diets contained approximately 22 % crude protein, 3.5–3.6 % crude fat, 5–6 % crude ash, and gross energy values of 18.7–19.1 MJ/kg DM. Neutral detergent fiber was 174–194 g/kg DM and acid detergent fiber about 72 g/kg DM. Carrot flakes and carrot powder had a dry matter content of 884 and 925 g/kg, respectively, whereas raw carrot contained only 164 g/kg. On a dry matter basis, crude protein was 330 g/kg in raw carrot and approx. 60 g/kg in flakes and powder. Crude fat ranged from 6 to 9 g/kg DM across the carrot materials, and gross energy was 16–16.5 MJ/kg DM. Fiber levels were high, with neutral detergent fiber exceeding 500 g/kg DM in raw carrot. The vitamin profile showed that the commercial diet contained 141–200 µg/100 g of retinol, 2,200–2,300 µg/100 g of α -tocopherol, and about 1,000 µg/100 g of β + γ -tocopherol. Carrot materials had markedly lower retinol and tocopherols but were characterized by high β -carotene

contents: 4,800 µg/100 g in flakes and 6,500 µg/100 g in powder, compared with 13–22 µg/100 g in the commercial diet. The fatty acid composition of the commercial diet was dominated by linoleic acid (C18:2 n-6, 46–49 %), followed by oleic acid (C18:1 n-9, >25 %) and palmitic acid (C16:0, 14–15 %). Stearic acid (C18:0) accounted for about 3 %, and α-linolenic acid (C18:3 n-3) for 2.7–3.1 %. In carrot flakes and powder, palmitic acid reached 18–21 %, while linoleic acid was 53–63 % and α-linolenic acid 3.7–6.1 %. Raw carrot contained 20 % palmitic acid, more than 50 % linoleic acid, and around 6 % α-linolenic acid.

Growth performance and economics

In our study, duck mortality reached 1.67 % in the CON, CFL, and RAWC groups, while no mortality was recorded in the CPOW group. Body weight and growth did not differ significantly among groups ($P > 0.05$). During days 1–28, feed intake in the RAWC group was significantly higher than in the others ($P < 0.001$). Across the entire rearing period (days 1–49), feed intake in RAWC remained higher compared with CPOW ($P = 0.034$). In these periods, feed conversion ratio was also significantly higher in RAWC than in CPOW ($P = 0.010$; $P = 0.038$). Feed costs were lower in CD and RAWC compared with CFL and CPOW ($P < 0.001$) (Table 1).

Mortality during the trial was low, with no losses recorded in the CPOW group, which confirms that the addition of carrots in various forms did not compromise the health or welfare of the ducks. Final body weight was not significantly affected by dietary treatment, showing that carrot inclusion neither impaired nor enhanced overall growth potential when compared with the standard commercial diet. Nevertheless, marked differences were observed in feed intake and feed conversion ratio, which are critical indicators of production efficiency. Ducks receiving raw carrots consumed more feed, but this intake was not efficiently converted into body weight gain, resulting in a poorer FCR. In contrast, ducks fed carrot powder achieved the most favorable FCR, indicating that this form provided a more effective supply of nutrients. Similar responses have been reported in broilers, where dried carrot products improved feed utilization and nutrient retention (Hashem, 2012; Ng'ambi et al., 2019), and when carrot juice replaced drinking water (Silondae et al., 2023). The divergence between raw and powdered carrot groups is explained by differences in dry matter concentration: raw carrots, with high moisture content, dilute nutrient density, whereas carrot powder, being nutrient-dense, enhances delivery of metabolizable energy and protein per unit of feed.

Feed cost analysis reflected these nutritional characteristics. The lowest costs were observed in groups fed the commercial diet alone or with raw carrots, reflecting the relatively low price of these ingredients. By contrast, diets supplemented with flakes or powder were more expensive. Although carrot powder improved feed efficiency, its high purchase cost limited economic advantage. This highlights a trade-off between biological performance and financial feasibility, where the form of carrot determines both the nutritional and economic outcomes.

Carcass characteristics and meat quality

Group CPOW showed a higher ($P = 0.046$) relative leg muscle mass compared to CD and RAWC. In groups CD and CFL, the relative weight of skin with subcutaneous fat increased ($P = 0.048$) compared to RAWC and CPOW, leading to a higher total fat content ($P = 0.033$) (Table 1).

In pectoral muscle, CP was higher in RAWC and CPOW, and the lowest in CFL ($P < 0.001$). Collagen was higher in CD, while IMF was elevated in CD and the lowest in CFL ($P < 0.001$). Water content was highest in CPOW and lowest in RAWC ($P < 0.001$). In leg muscle, salt was higher in CD and CPOW compared to CFL ($P = 0.004$), while IMF was increased in CD and RAWC ($P < 0.001$). Conversely, water content was higher in CFL and CPOW ($P < 0.001$). Skin color analysis showed that only the b^* parameter was lower in CD than in CFL ($P = 0.046$) (Table 1).

Carcass evaluation demonstrated that dietary treatments influenced the relative distribution of muscle and fat. Ducks in the CPOW group showed a higher proportion of leg muscles, suggesting that this form of carrot promoted lean tissue accretion. In contrast, ducks from the CD and CFL groups exhibited a higher proportion of skin with subcutaneous fat, resulting in greater overall fat content of the carcass. These observations indicate that carrot powder encouraged protein deposition at the expense of fat storage, whereas flakes and the control diet favored adiposity. Previous work has similarly shown that carrot-based feed-stuffs can reduce adiposity and support lean tissue growth (Hashem, 2012; Afify et al., 2013).

Analysis of breast muscles confirmed this tendency. Crude protein levels were higher in the RAWC and CPOW groups, while intramuscular fat was greatest in the CD group. This implies that carrots, whether raw or powdered, enhanced protein accretion, whereas the absence of supplementation favored fat deposition. Differences in collagen and water content further suggest that the physical form of carrot influenced muscle structure and water-holding capacity, likely through effects on nutrient partitioning. Leg muscle composition followed a comparable pattern, with ducks from CD and RAWC groups showing higher intramuscular fat, while water content was greater in the CFL and CPOW groups. These changes indicate that inclusion of carrot products, particularly in processed forms, may improve muscle hydration and reduce fat infiltration.

Skin color analysis revealed a significant effect of carrot flakes, with higher yellowness values compared to the control. This is consistent with the accumulation of dietary carotenoids in fat and skin, leading to enhanced pigmentation. Similar observations have been reported in poultry, where carotenoids from feed were efficiently deposited in tissues (Rajput et al., 2013). Such pigmentation changes are technologically and commercially relevant, since skin color is an important visual quality attribute for consumers.

Fatty acid profile and vitamin content in muscle

In our study, the pectoral muscles of CD ducks had higher levels of C12:0, C14:0, C14:1, C15:0, C17:0, C17:1, C18:0, C18:2n6t, C18:3n3, and C20:3n3. The CFL group showed higher concentrations of C10:0, C14:0, C16:0, C17:1, C18:0, and C20:2. RAWC ducks had higher C18:0, C18:2n6c, C20:1n9, C20:2, C20:3n3, C20:4n6, C22:2, C24:1n9, and C22:6n3, whereas CPOW ducks showed higher levels of C16:0, C18:1n9t, C18:2n6c, C18:3n3, and C20:1n9 ($P < 0.05$) (Table 2).

In leg muscles, CD showed higher levels of C10:0, C12:0, C14:0, C14:1, C15:0, C16:0, C17:0, C18:2n6c, C20:0, C20:2, C22:2, C24:1n9, and C22:6n3; CFL was higher in C14:1, C16:0, and C20:3n3; RAWC in C16:1, C24:1n9, and C22:6n3; and CPOW in C18:1n9t ($P < 0.05$) (Table 2).

In pectoral muscles, SFA was higher in CFL, MUFA in CD and CPOW, PUFA in RAWC, and total UFA in CPOW ($P < 0.05$). UFA/SFA ratio was highest in CPOW. RAWC had higher PUFA n-6, and CD and RAWC had higher PUFA n-3 ($P < 0.05$). NVI was highest in CD ($P = 0.001$). AI and TI were highest in CFL ($P < 0.001$), whereas HPI and h/H were higher in CD, RAWC, and CPOW than in CFL ($P = 0.001$) (Table 2). In leg muscles, SFA was higher in CD ($P = 0.002$), MUFA and UFA/SFA were highest in CPOW ($P = 0.004$), but PUFA n-3 was lowest in CPOW ($P < 0.001$). NVI was highest in CPOW, AI in CD, and TI in CD ($P < 0.05$). PI was higher in RAWC ($P = 0.023$). HPI and h/H were higher in CPOW than in CD and CFL ($P = 0.001$) (Table 2).

The fatty acid profile of duck muscles was also influenced by carrot form. In breast muscles, raw carrot increased the proportion of polyunsaturated fatty acids, while carrot powder elevated the ratio of unsaturated to saturated fatty acids and produced the most favorable lipid health indices. These results show that the form of carrot not only modifies the total amount of fatty acids available but also directs their balance toward profiles considered beneficial for human nutrition (Hashem, 2012; Ng'ambi et al., 2019). Leg muscles displayed

Table 1

Production efficiency, carcass characteristics and meat quality of broiler ducks.

Item ¹	Group ²				SEM	P-value
	CD	CFL	RAWC	CPOW		
Viability (%)	98.33	98.33	98.33	100.00	0.690	0.801
BW (g)						
day 1	55.73	55.42	54.65	55.60	0.207	0.257
day 28	2056.97	1989.18	2082.32	2092.02	15.615	0.074
day 49	3855.58	3774.69	3816.44	3810.58	13.863	0.239
GR (%)						
d 1-28	189.43	189.14	189.76	189.64	0.093	0.083
d 29-49	60.89	62.00	58.80	58.23	0.581	0.062
Total	194.30	194.21	194.35	194.25	0.028	0.344
BWG (g)						
d 1-28	2001.23	1933.77	2027.67	2036.42	15.647	0.074
d 29-49	1798.62	1785.50	1734.11	1718.57	13.902	0.111
Total	3799.85	3719.27	3761.79	3754.98	13.849	0.241
FI (g)						
d 1-28	3110.43 ^b	3095.52 ^b	3347.45 ^a	3075.73 ^b	28.943	<0.001
d 29-49	6821.15	6844.54	7460.18	6707.57	117.014	0.086
Total	9990.34 ^{ab}	9997.20 ^{ab}	10807.63 ^a	9783.30 ^b	139.407	0.034
FCR (kg/kg)						
d 1-28	1.56 ^{ab}	1.60 ^{ab}	1.65 ^a	1.51 ^b	0.017	0.010
d 29-49	3.81	3.83	4.30	3.91	0.075	0.054
Total	2.63 ^{ab}	2.69 ^{ab}	2.87 ^a	2.61 ^b	0.037	0.038
EBI	291.43	278.51	264.44	294.23	5.129	0.146
Feed costs (PLN)						
Starter (d 1-28)	9.08 ^b	10.20 ^a	8.18 ^c	10.21 ^a	0.183	<0.001
Grower (d 29-49)	19.65 ^b	22.27 ^a	18.38 ^b	22.00 ^a	0.425	<0.001
Total feed cost	28.73 ^b	32.47 ^a	26.56 ^b	32.21 ^a	0.581	<0.001
g/100 g						
Slaughter yield	71.40	71.87	71.84	71.89	0.213	0.833
Neck	6.95	6.92	6.80	7.32	0.114	0.420
Pectoral muscle	22.12	22.39	23.62	23.07	0.271	0.195
Leg muscle	12.64 ^b	13.04 ^{ab}	12.48 ^b	13.38 ^a	0.126	0.046
Total muscle	34.76	35.42	36.10	36.44	0.320	0.256
Skin with subcutaneous fat	23.54 ^a	23.58 ^a	22.17 ^b	22.17 ^b	0.251	0.048
Abdominal fat	0.69	0.82	0.64	0.60	0.038	0.182
Total fat	24.23 ^a	24.40 ^a	22.80 ^b	22.77 ^b	0.265	0.033
Wings with skin	12.08	11.98	12.19	12.31	0.116	0.789
Carcass remains	21.98	21.28	22.11	21.16	0.356	0.391
Pectoral muscle						
pH _{24hours}	6.09	6.07	6.06	6.11	0.019	0.831
Color						
L*	37.10	38.40	36.46	37.00	0.345	0.236
a*	16.85	15.58	15.67	15.87	0.212	0.124
b*	3.00	2.70	2.26	2.02	0.176	0.201
g/100 g						
Drip loss	2.49	2.39	2.22	2.35	0.106	0.851
WHC	35.98	33.59	33.56	31.65	0.691	0.175
CP	21.60 ^c	21.87 ^b	22.45 ^a	22.31 ^a	0.057	<0.001
Collagen	1.32 ^a	1.25 ^c	1.30 ^{ab}	1.27 ^{bc}	0.007	<0.001
Salt	0.36	0.31	0.32	0.30	0.009	0.089
IMF	2.62 ^a	1.96 ^c	2.36 ^b	1.85 ^c	0.051	<0.001
Water	74.17 ^b	74.24 ^b	73.84 ^c	74.81 ^a	0.059	<0.001
Leg muscle						
Color						
L*	40.03	38.03	38.64	39.00	0.539	0.628
a*	14.66	14.57	14.89	19.34	1.266	0.484
b*	3.64	3.51	3.47	3.05	0.186	0.715
g/100 g						
WHC	32.31	31.67	31.29	29.08	0.493	0.104
CP	19.24	19.20	19.32	19.14	0.032	0.263
Collagen	1.65	1.67	1.69	1.54	0.021	0.055
Salt	0.67 ^a	0.55 ^b	0.61 ^{ab}	0.57 ^a	0.013	0.004
IMF	6.11 ^a	5.73 ^b	6.22 ^a	5.75 ^b	0.052	<0.001
Water	71.54 ^b	72.04 ^a	71.68 ^b	72.06 ^a	0.056	<0.001
Skin with subcutaneous fat (inner side)						
Color						
L*	70.22	69.84	69.84	68.85	0.238	0.212
a*	5.50	6.29	5.67	6.65	0.229	0.252
b*	7.36 ^b	8.79 ^a	7.74 ^{ab}	7.65 ^{ab}	0.195	0.046

Footnotes:.

Results are expressed as mean values (for production results $n = 6$; for carcass and meat quality $n = 12$);^{a,b,c}, mean values with different letters in a row indicate statistically significant differences ($P < 0.05$);¹, BW, body weight; GR, growth rate; BWG, body weight gain; FI, feed intake; FCR, feed conversion ratio; EBI, European Broiler Index; L*, lightness; a*, redness; b*, yellowness; WHC, water-holding capacity; CP, crude protein; IMF, intramuscular fat;², CD, ducks fed with a commercial diet; CFL, ducks fed with a commercial diet and 2 % of carrot flakes; RAWC, ducks fed with 80 % of a commercial diet and 20 % of raw (fresh) carrots; CPOW, ducks fed with a commercial diet and 2 % of carrot powder. Costs were estimated based on the local market prices. Based on the prices of feed, the starter commercial diet costs 2.92 PLN per 1 kg; grower commercial diet – 2.88 PLN per 1 kg; carrot flakes – 18.70 PLN per 1 kg; raw fresh carrot – 0.80 PLN per 1 kg; carrot powder: 20.00 PLN per 1 kg.

Table 2

Individual fatty acid profile, fatty acid balance, health lipid indices and vitamin content of pectoral and leg muscle of broiler ducks.

Item ¹ (g/100 g)	Pectoral muscle				SEM	P-value	Leg muscle				SEM	P-value
	Group ²						Group ²					
	CD	CFL	RAWC	CPOW			CD	CFL	RAWC	CPOW		
C10:0	0.171 ^b	0.214 ^a	0.128 ^c	0.000 ^d	0.0147	<0.001	0.122 ^a	0.000 ^c	0.113 ^{ab}	0.100 ^b	0.0092	<0.001
C12:0	0.544 ^a	0.478 ^b	0.240 ^c	0.103 ^d	0.0326	<0.001	0.415 ^a	0.249 ^b	0.257 ^b	0.263 ^b	0.0140	<0.001
C14:0	1.563 ^a	1.524 ^a	1.069 ^b	0.978 ^b	0.0534	<0.001	1.421 ^a	0.963 ^b	1.095 ^b	0.961 ^b	0.0427	<0.001
C14:1	0.414 ^a	0.292 ^b	0.145 ^c	0.133 ^c	0.0218	<0.001	0.276 ^a	0.251 ^a	0.200 ^b	0.152 ^b	0.0104	<0.001
C15:0	0.526 ^a	0.276 ^b	0.139 ^c	0.159 ^c	0.0286	<0.001	0.257 ^a	0.166 ^{bc}	0.205 ^b	0.153 ^c	0.0093	<0.001
C16:0	20.768 ^b	23.007 ^a	22.267 ^{ab}	22.856 ^a	0.2519	0.002	21.380 ^a	21.214 ^a	20.427 ^{ab}	19.526 ^b	0.2261	0.008
C16:1	1.972	1.743	1.755	1.678	0.0454	0.107	2.331 ^b	2.402 ^b	3.030 ^a	2.877 ^a	0.0678	<0.001
C17:0	0.316 ^a	0.253 ^b	0.240 ^b	0.243 ^b	0.0087	0.002	0.220 ^a	0.182 ^b	0.199 ^{ab}	0.178 ^b	0.0051	0.008
C17:1	0.178 ^a	0.170 ^a	0.053 ^c	0.117 ^b	0.0097	<0.001	0.109	0.104	0.113	0.105	0.0031	0.774
C18:0	14.661 ^a	14.675 ^a	15.002 ^a	12.104 ^b	0.2609	<0.001	12.395	10.973	11.295	10.593	0.2599	0.075
C18:1n9t	24.573 ^b	22.512 ^{bc}	21.626 ^c	27.668 ^a	0.5477	<0.001	28.016 ^c	31.684 ^b	30.646 ^{bc}	34.820 ^a	0.5788	<0.001
C18:1n9c	2.382	2.439	2.456	2.277	0.0306	0.152	2.200	1.944	2.047	2.142	0.0361	0.057
C18:2n6t	0.153 ^a	0.091 ^b	0.107 ^b	0.090 ^b	0.0053	<0.001	0.096	0.101	0.105	0.087	0.0032	0.228
C18:2n6c	15.528 ^b	16.050 ^{ab}	16.808 ^a	16.696 ^a	0.1682	0.016	17.122 ^a	16.485 ^{ab}	16.680 ^{ab}	15.758 ^b	0.1484	0.006
C20:0	0.219	0.262	0.231	0.222	0.0076	0.170	0.205 ^a	0.124 ^b	0.116 ^b	0.114 ^b	0.0077	<0.001
C18:3n3	0.633 ^a	0.591 ^{ab}	0.528 ^b	0.644 ^a	0.0135	0.005	0.704	0.694	0.800	0.681	0.0176	0.060
C20:1n9	0.423 ^{ab}	0.372 ^b	0.489 ^a	0.476 ^a	0.0143	0.008	0.501	0.427	0.423	0.456	0.0116	0.054
C20:2	0.642 ^b	0.848 ^a	0.945 ^a	0.498 ^c	0.0338	<0.001	0.983 ^a	0.554 ^{bc}	0.639 ^b	0.445 ^c	0.0391	<0.001
C20:3n3	1.262 ^a	1.175 ^{ab}	1.251 ^a	0.969 ^b	0.0374	0.012	0.667 ^{bc}	0.820 ^a	0.698 ^b	0.563 ^c	0.0226	<0.001
C20:4n6	10.276 ^{ab}	10.459 ^{ab}	11.063 ^a	9.486 ^b	0.1813	0.014	7.456	8.122	8.026	7.731	0.1062	0.103
C22:2	0.555 ^c	0.664 ^b	0.764 ^a	0.466 ^d	0.0214	<0.001	0.651 ^a	0.416 ^b	0.387 ^b	0.286 ^c	0.0252	<0.001
C24:1n9	1.824 ^{ab}	1.563 ^b	2.121 ^a	1.773 ^b	0.0524	<0.001	2.016 ^a	1.687 ^{ab}	2.006 ^a	1.633 ^b	0.0520	0.004
C22:6n3	0.418 ^b	0.342 ^c	0.575 ^a	0.365 ^{bc}	0.0185	<0.001	0.458 ^a	0.436 ^{ab}	0.494 ^a	0.375 ^b	0.0111	<0.001
g/100 g												
SFA	38.77 ^b	40.69 ^a	39.31 ^{ab}	36.67 ^c	0.338	<0.001	36.41 ^a	33.87 ^{ab}	33.71 ^{ab}	31.89 ^b	0.460	0.002
MUFA	31.77 ^a	29.09 ^b	28.65 ^b	34.12 ^a	0.502	<0.001	35.45 ^b	38.50 ^b	38.46 ^b	42.19 ^a	0.573	<0.001
PUFA	29.47 ^b	30.22 ^b	32.04 ^a	29.21 ^b	0.294	0.001	28.14 ^a	27.63 ^a	27.83 ^a	25.93 ^b	0.223	<0.001
UFA	61.23 ^b	59.31 ^c	60.69 ^{bc}	63.33 ^a	0.338	<0.001	63.59 ^b	66.13 ^{ab}	66.29 ^{ab}	68.11 ^a	0.460	0.002
UFA/SFA	1.58 ^b	1.46 ^c	1.55 ^{bc}	1.73 ^a	0.023	<0.001	1.75 ^b	1.97 ^{ab}	1.97 ^{ab}	2.15 ^a	0.042	0.004
PUFA n-6	25.96 ^b	26.60 ^{ab}	27.98 ^a	26.27 ^b	0.248	0.014	24.67	24.71	24.81	23.58	0.186	0.053
PUFA n-3	2.31 ^a	2.11 ^{ab}	2.35 ^a	1.98 ^b	0.047	0.007	1.83 ^a	1.95 ^a	1.99 ^a	1.62 ^b	0.034	<0.001
n-6/n-3	11.35 ^b	12.71 ^{ab}	11.99 ^{ab}	13.33 ^a	0.236	0.011	13.61 ^{ab}	12.70 ^b	12.51 ^b	14.60 ^a	0.241	0.003
n-3/n-6	0.09 ^a	0.08 ^{ab}	0.08 ^{ab}	0.07 ^b	0.002	0.013	0.07 ^{ab}	0.08 ^a	0.08 ^a	0.06 ^b	0.001	0.004
Indexes												
NVI	2.01 ^a	1.73 ^b	1.76 ^b	1.84 ^{ab}	0.030	0.001	2.00 ^b	2.11 ^b	2.15 ^b	2.45 ^a	0.041	<0.001
AI	0.46 ^b	0.51 ^a	0.45 ^b	0.43 ^b	0.008	<0.001	0.44 ^a	0.39 ^b	0.38 ^b	0.35 ^b	0.008	<0.001
TI	1.03 ^{bc}	1.15 ^a	1.08 ^b	0.99 ^c	0.014	<0.001	0.99 ^a	0.89 ^{ab}	0.87 ^b	0.82 ^b	0.018	0.004
HPI	2.23 ^a	2.01 ^b	2.27 ^a	2.36 ^a	0.033	<0.001	2.32 ^b	2.62 ^{ab}	2.65 ^{ab}	2.92 ^a	0.057	0.001
PI	65.91 ^b	66.49 ^{ab}	71.75 ^a	62.69 ^b	0.889	0.001	55.97 ^{ab}	57.52 ^{ab}	57.82 ^a	54.04 ^b	0.506	0.023
h/H Index	2.42 ^a	2.15 ^b	2.29 ^{ab}	2.40 ^a	0.033	0.005	2.47 ^b	2.69 ^b	2.73 ^{ab}	3.03 ^a	0.055	0.001
µg/100 g of sample												
Retinol	11.02 ^b	12.47 ^{ab}	10.49 ^b	14.49 ^a	0.492	0.012	8.43 ^b	9.76 ^{ab}	9.31 ^{ab}	10.02 ^a	0.200	0.020
α-tocopherol	308.15	322.91	310.42	254.76	12.970	0.260	201.40	197.94	201.96	227.13	4.854	0.118
β+γ-tocopherol	48.35 ^a	40.29 ^{ab}	37.64 ^b	37.51 ^b	1.370	0.009	26.40 ^{ab}	23.42 ^b	26.98 ^{ab}	32.64 ^a	1.176	0.036

Footnotes:..

Results are expressed as mean values;

^{a,b,c}, mean values with different letters in a row indicate statistically significant differences ($P < 0.05$);

¹, C10:0, decanoic acid; C12:0, dodecanoic acid; C14:0, tetradecanoic acid; C14:1n-5, cis-9-tetradecenoic acid; C15:0, pentadecanoic acid; C16:0, hexadecanoic acid; C16:1n-7, cis-9-hexadecenoic acid; C17:0, heptadecanoic acid; C17:1n-7, cis-10-heptadecenoic acid; C18:0, octadecanoic acid; C18:1n-9t, trans-9-octadecenoic acid; C18:1n-9c, cis-9-octadecenoic acid; C18:2n-6t, trans-9,12-octadecadienoic acid; C18:2n-6c, cis, cis-9,12-octadecadienoic acid; C20:0, arachidic acid; C18:3n-3, cis, cis, cis-9,12,15-octadecatrienoic acid; C20:1n9, cis-11-eicosenoic acid; C20:2, cis-11,14-eicosadienoic acid; C20:2, dihomolimonoleic acid; C20:3n-3, cis-11,14,17-eicosatrienoic acid; C20:4n-6, arachidonic acid; C22:2, cis-13,16-docosadienoic acid; C24:1n-9c, nervonic acid; C22:6n-3, cis-4,7,10,13,16,19-docosahexaenoic acid; SFA, saturated fatty acid; MUFA, monounsaturated fatty acid; PUFA, polyunsaturated fatty acid; UFA, unsaturated fatty acid; $\sum$ SFA = C10:0 + C12:0 + C14:0 + C15:0 + C16:0 + C17:0 + C18:0 + C20:0; $\sum$ MUFA = C14:1 + C16:1 + C17:1 + C18:1n9t + C18:1n9c + C20:1n9 + C24:1n9; $\sum$ PUFA = C18:2n6t + C18:2n6c + C18:3n3 + C20:2 + C20:3n3 + C20:4n6 + C22:2 + C22:6n3; $\sum$ UFA = C14:1 + C16:1 + C17:1 + C18:1n9t + C18:1n9c + C18:2n6t + C18:2n6c + C18:3n3 + C20:2 + C20:3n3 + C20:1n9 + C20:4n6 + C22:2 + C22:6n3 + C24:1n9; PUFA n3 = C18:3n3 + C20:3n3 + C22:6n3; PUFA n6 = C18:2n6t + C18:2n6c + C20:4n6; Nutritive/Nutritional Value Index (NVI) = (C18:0 + C18:1n9)/C16:0; Atherogenic Index (AI) = (C12:0 + 4 × C14:0 + C16:0)/($\sum$ MUFA + $\sum$ (n-6) + $\sum$ (n-3)); Thromogenic Index (TI) = (C14:0 + C16:0 + C18:0)/(0.5 × $\sum$ MUFA + 0.5 × (n-6) + 3 × (n-3) + (n-3)/(n-6)); Health-Promoting Index (HPI) = ($\sum$ UFA)/(C12:0 + 4 × C14:0 + C16:0); Peroxidizability Index (PI) = (% monoenoic × 0.025) + (% dienoic × 1) + (% trienoic × 2) + (% tetraenoic × 4) + (% pentaenoic × 6) + (% hexaenoic × 8); Hypocholesterolemic/hypercholesterolemic ration (h/H Index) = [(C18:1n9 + C18:2n6 + C18:3n3 + C20:4n6 + C20:5n3 + C22:5n3 + C22:6n3)/(C14:0 + C16:0)];

², CD, ducks fed with a commercial diet; CFL, ducks fed with a commercial diet and 2 % of carrot flakes; RAWC, ducks fed with 80 % of a commercial diet and 20 % of raw (fresh) carrots; CPOW, ducks fed with a commercial diet and 2 % of carrot powder.

complementary patterns: carrot powder increased the share of mono-unsaturated fatty acids and improved the UFA/SFA ratio, whereas raw carrot favored the accumulation of polyunsaturated fatty acids.

In vitamins, CPOW showed significantly higher retinol in pectoral muscles compared to CD and RAWC ($P = 0.014$). In leg muscles, retinol

was also higher in CPOW than CD ($P = 0.020$). β+γ-tocopherol was higher in CD for pectorals ($P = 0.009$) and in CPOW for legs ($P = 0.036$) (Table 2).

Vitamin concentrations were also strongly affected by carrot inclusion. Retinol levels were highest in the muscles of ducks receiving carrot

powder, reflecting the efficient conversion of dietary β -carotene into vitamin A. Comparable effects have been observed in poultry products, where carrot-based feedstuffs elevated carotenoid deposition and antioxidant capacity (Steenfeldt et al., 2007; Siti and Bidura, 2022; Sarmiento-Garcia et al., 2023). At the same time, tocopherol concentrations were reduced in groups receiving carrot products compared with the control. This finding may be explained by competition between β -carotene and vitamin E during absorption and storage (Afify et al., 2013).

In summary, the inclusion of carrots in different forms in broiler duck diets affected feed efficiency, carcass traits, muscle composition, lipid profile, and vitamin content. Raw carrot (20 %) increased feed intake and FCR, while carrot powder (2 %) improved FCR, enhanced leg muscle proportion, crude protein, and retinol levels in muscles, and promoted favorable lipid health indices, based on fatty acids profile. Carrot flakes mainly influenced skin pigmentation. Feed costs were lowest with the control and raw carrot diets and highest with flakes and powder. Overall, carrot powder improved meat quality, nutritional value, and vitamin A deposition, but its practical application is limited by higher cost.

CRediT authorship contribution statement

Bartosz Bigorowski: Writing – review & editing, Writing – original draft, Validation, Software, Resources, Methodology, Formal analysis, Data curation, Conceptualization. **Jakub Biesek:** Writing – review & editing, Writing – original draft, Supervision, Software, Methodology, Formal analysis, Data curation, Conceptualization. **Izabela Narloch:** Writing – original draft, Methodology, Formal analysis, Data curation. **Szymon Róžański:** Writing – review & editing, Validation, Supervision, Software, Methodology, Formal analysis, Conceptualization.

Disclosures

The authors declare no potential conflict of interest of which they could be aware. No third parties were involved in the research.

Acknowledgements

Financially supported by the Minister of Science under the program "Regional Initiative of Excellence" (RID/SP/0017/2024/01).

References

- Afify, A.E.-M.M., Romeilah, R.R., Osfor, M.M., Elbahnasawy, A.S., 2013. Evaluation of Carrot pomace (*Daucus carota* L.) as hypocholesterolemic and hypolipidemic agent on Albino rats. *Not. Sci. Biol.* 5, 7–14. <https://doi.org/10.15835/nsb518306>.
- Hashem, N.A., 2012. The use of dried carrot processing waste in broiler diets. *J. Anim. Poult. Prod.* 3, 423–435. <https://doi.org/10.21608/jappmu.2012.82949>.
- Ng'ambi, J.W., Mokgope, W., Brown, D., Manyelo, T.G., 2019. Effect of dietary carrot meal supplementation on productivity and carcass characteristics of arbor acre broiler chickens aged 22 to 42 days. *Appl. Ecol. Environ. Res.* 17, 12337–12346. https://doi.org/10.15666/aeer/1705_1233712346.
- Rajput, N., Naeem, M., Ali, S., Zhang, J.F., Zhang, L., Wang, T., 2013. The effect of dietary supplementation with the natural carotenoids curcumin and lutein on broiler pigmentation and immunity. *Poult. Sci.* 92, 1177–1185. <https://doi.org/10.3382/ps.2012-02853>.
- Sarmiento-Garcia, A., Olgun, O., Kilinc, G., Sevim, B., Gokmen, S.A., 2023. The use of purple carrot powder in the diet of laying quails improved some egg quality characteristics, including antioxidant capacity. *Trop. Anim. Health Prod.* 23, 220. <https://doi.org/10.1007/s11250-023-03636-x>.
- Silondae, H., Polakitan, D., Paat, P.C., Kairupan, A.N., Layuk, P., Lintang, M., Joseph, G. H., Polakitan, A., Tandi, O.G., Rawung, J.B.M., Rembang, J.H.W., Salamba, H.N., Malia, I.E., Sondakh, J.O.M., Hutapea, R.T.P., Kindangen, J.G., Elizabeth, R., 2023. The effects of carrot (*Daucus carota* L.) waste juice on the performances of native chicken in North Sulawesi, Indonesia. *Open Agric.* 8, 20220173. <https://doi.org/10.1515/opag-2022-0173>.
- Siti, N.W., Bidura, I.G.N.G., 2022. Effects of carrot leaves on digestibility of feed, and cholesterol and β -carotene content of egg yolks. *South. Afric. J. Anim. Sci.* 51, 786–792. <https://doi.org/10.4314/sajas.v51i6.11>.
- Steenfeldt, S., Kjaer, J.B., Engberg, R.M., 2007. Effect of feeding silages or carrots as supplements to laying hens on production performance, nutrient digestibility, gut structure, gut microflora and feather pecking behaviour. *Brit. Poult. Sci.* 48, 454–468. <https://doi.org/10.1080/00071660701473857>.
- Ugarković, N.K., Bedeković, D., Greiner, K., Fabijanić, N., Prpić, Z., Konjacić, M., 2024. Carcass characteristics and meat quality of wild-living mallard (*Anas platyrhynchos* L.) originating from Croatia. *Foods* 13, 1519. <https://doi.org/10.3390/foods13101519>.
- Yitbarek, M.B., 2019. Some selected vegetable and fruit wastes for poultry feed. *J. Vet. Anim. Res.* 2, 102.

The effects of feeding diets with ensiled maize grain on the production efficiency and meat characteristics of broiler ducks

Bartosz Bigorowski¹✉, Sebastian Wlaźlak¹, Izabela Narloch², Szymon Różański³

¹Department of Animal Breeding and Nutrition, ³Laboratory of Chemical Research and Instrumental Analysis, Bydgoszcz University of Science and Technology, 85-084, Bydgoszcz, Poland

²Department of Food Analysis and Environmental Protection, Bydgoszcz University of Science and Technology, 85-326, Bydgoszcz, Poland
bartosz.bigorowski@pbs.edu.pl

Received: July 21, 2025

Accepted: April 10, 2026

Abstract

Introduction: Alternative methods of duck feeding can be good solutions for reducing production costs on small farms. Ensiled corn grain is a good source of energy that can be used in the rearing of broiler ducks. This research investigated productivity effects and meat quality parameters in experimental broiler ducks provided this material as feed portions. **Material and Methods:** Broiler ducks were divided into a control group (CON) and two experimental groups (CSMIX and CD+SG). In the CSMIX group, birds were fed a commercial diet mixed with ensiled corn grain in a ratio of 80:20. In the CD+SG group, the commercial diet was limited, and ensiled corn grain was *ad libitum*. **Results:** The highest body weight and weight gain were found in the CSMIX group. A lower feed intake was found in the control and CD+SG group than in the CSMIX group throughout the rearing. A higher final feed conversion ratio characterised ducks from the experimental groups and a higher pectoral muscle and total muscle weight than the CD+SG group was noted in carcasses of ducks from the CON group. In the pectoral and leg muscles of the CON and CSMIX groups, the content of polyunsaturated fatty acids was higher than in these muscles of the CD+SG group. **Conclusion:** Duck feeding with ensiled corn grain (80:20) could be a feeding strategy for small farms because it yields favourable growth parameters, carcass composition and high polyunsaturated fatty acid content in meat, and reduces feed costs.

Keywords: ducks, performance, digesta viscosity, meat quality, fatty acid profile.

Introduction

Alternative duck feeds are mainly given on small farms, where plant raw materials are readily available. This allows breeders to reduce production costs and control the quality of raw feed materials (6). Developing an innovative feeding strategy for waterfowl production could have tangible benefits, as feed costs can account for up to 70% of the total production costs (60).

The specificity of the duck digestive tract promotes the digestion of feeds with a higher dietary fibre content. This allows the possibility of feeding roughage to this poultry species (52). Therefore, in the study by Zaremba *et al.* (64), nutrition cutting out some commercial diet and substituting silage from beet pulp and whole maize plants *ad libitum* was provided. The authors noted that the experimental strategies yielded more profit per bird than the control groups. Kierończyk *et al.* (24), found changes in the

pH of the gizzard, ileum and cecum contents of Pekin ducks fed with chemically preserved and high-moisture whole maize at levels of 5 and 10%. Wang *et al.* (57), showed that whole-maize plant silage in goose rearing affected the microbial composition and abundance of certain types of bacteria. Kokoszyński *et al.* (25), tested the effect of whole-maize silage provided *ad libitum* to White Kołuda geese from the 22nd to the 98th day of life. In the experimental group (silage), a significantly higher slaughter yield and proportion of pectoral and leg muscle mass to whole carcass mass were found in 17-week-old geese. The results confirmed that alternative feeding strategies affected production economics, carcass composition, and birds' gastrointestinal tract microflora.

After harvesting, maize grain is characterised by a high water content – up to 50%. It is necessary to dry or preserve it to extend the storage time. Dried maize grain is an essential energy raw material in poultry feed

production (31). However, ensiling is a cheaper preservation method, which maintains a high nutritional value (7). This grain is characterised by a lower content of nitrogen-free extract compounds, a higher protein content and higher digestibility of nutrients (15). Although maize grain silage is common in cattle and pig nutrition and has been well studied (21, 62), information on its effects in waterfowl nutrition is limited. The study aimed to explore the possibility of using ensiled maize grain to improve production results, carcass characteristics, meat quality and the profitability of Cherry Valley broiler duck production.

Material and Methods

The study was carried out adhering to current legislation on the protection of animals used for scientific or educational purposes (13, 17). The Committee for the Care of Animals (Local Ethics Committee) at Bydgoszcz University of Science and Technology in Poland approved the test procedures and methods (Approval No. 1/24), which were also compliant with the animal research: reporting of *in vivo* experiments (ARRIVE) guidelines (33).

Animals and experimental design. In the experiment, 180 one-day-old male Cherry Valley broiler ducks were kept for 49 days. The birds were purchased from a commercial duck hatchery (DROB, Tulce, Poland). The birds were divided into three groups of 60 and each group was divided into six replicates. The size of each pen was 1.44 m², and each was made of stainless steel frames and mesh. Wheat straw was used as bedding. On the first day, the temperature in the building measured at the height of the ducklings was 28°C. Then, it was lowered gradually to fall to 20°C in the 4th week of rearing. During the first four weeks of rearing, the ducks had access to an additional heat source (30–32°C). Other microclimate parameters were consistent with those established by Biesek *et al.* (6). The ducks had access to water and *ad libitum* feed throughout the experiment. The birds were provided with nipple drinkers (two per 10 ducks) and feeders (with a length of 7 cm per duck). Feeding was divided into two periods: starter feed was provided from day 1 to day 28 and grower feed from day 29 to day 49. Three feeding groups were reared: the CON group, which received 100% granulated commercial diet *ad libitum*; the CSMIX group, which received a mixture of 80% granulated commercial diet and 20% ensiled corn grain, administered *ad libitum*; and the CD+SG group, which received a limited amount of granulated commercial diet along with ensiled corn grain *ad libitum*. The ensiled corn had a smaller grain size than the commercial diet. The CD+SG group were left a free choice between the two offered feeds. For this purpose, double feeders were used, one of which contained commercial diet, and the other of which contained ensiled corn grain. The proportion reduction in the daily amount of commercial

diet was established based on data previously reported by Zaremba *et al.* (64). In the CD+SG group, only the commercial feed was given for the first three days. Subsequently the following amounts of commercial feed were given per pen (10 birds): 251.75 g (days 4–7), 528.00 g (days 8–14), 1,020.00 g (days 15–21), 1,735.71 g (days 22–28), 2,201.86 g (days 29–35), 2,337.14 g (days 36–42) and 2447.71 g (days 43–49).

Feed composition. Based on the manufacturer's declaration, the starter feed contained maize, wheat, soybean extraction meal, wheat bran, sunflower extraction meal, hulled sunflower seeds, barley, rapeseed extraction meal, wheat gluten feed, calcium carbonate, animal fat, monocalcium phosphate, vegetable oil and fat (raw sunflower), sodium chloride, and sodium sulphate. The crude protein proportion was 19.30%, that of crude fat was 3.90%, crude fibre was 4.40%, crude ash 5.20%, lysine 0.94%, methionine 0.44%, calcium 0.60%, phosphorus 0.61% and sodium 0.16%. The grower feed contained maize, wheat, wheat bran, soybean extraction meal, sunflower extraction meal, from dehulled sunflower seeds, triticale, rapeseed extraction meal, animal fat, calcium carbonate, monocalcium phosphate, sodium chloride and calcium bicarbonate. Crude protein made up 17.20%, crude fat 3.90%, crude fibre 4.90%, crude ash 4.70%, lysine 0.85%, methionine 0.36%, calcium 0.60%, phosphorus 0.56% and sodium 0.15%.

Ensiled corn grain production. Corn grain of the Pioneer 8500 variety with a moisture content of 34% was ensiled. Twenty-four hours after harvesting, the grain was ground in Gruber machinery (Gaspoltshofen, Austria). The Agro-Sil Corn ensiling additive (Agrifood, Bojanowo, Poland) was added in a 3 kg mass per 1,000 kg of grain. The additive contained propionic acid, formic acid, lactic acid, ammonium formate, propionate, anti-corrosive substances and a carrier. The prepared mixture was next tipped into plastic bags with a capacity of 1,000 kg and compacted by rapid lifting and lowering, and the bags were tightly sealed after 24 h to limit access to oxygen. Ensiled corn grain was given to the ducklings 32 weeks after the bag was closed.

Chemical composition of diets. A POL-EKO dryer (Wodzisław Śląski, Poland) was used to calculate the dry matter content with the technique stipulated in the Polish Animal feeding stuffs - determination of moisture and other volatile substances standard PN-ISO 6496:2002 (35). The analysis was carried out using the weight method, similarly to the analysis of crude ash content (10). The crude fat content was assessed using a Soxtec System HT 1043 extraction apparatus (FOSS Tecator, Hilleroed, Denmark), in observance of the Polish Animal feeding stuffs - determination of fat content standard PN-ISO 6492:2005 (37). The Kjeldahl method determined the crude protein content using the Kjeltac 8400 analyser and the Kjeltac 8420 sampler (FOSS). This analysis followed the method in the PN-EN ISO 20483:2014-02 standard, considering a factor of 6.25 (43). The content of acidic detergent

fibre (ADF) was assessed by weight, including residual ash and acid-detergent lignin (ADL) (40) and neutral detergent fibre (NDF) (39) using an ANKOM 220 fibre analyser (Ankom, Macedon, NY, USA). Gross energy was determined, using a KL-21 PLUS isoparabolic calorimeter (Precyzja-Bit, Bydgoszcz, Poland) and adhering to the Polish Animal feeding stuffs, animal products, and faeces and urine - determination of gross energy – bomb calorimetric method standard PN-EN ISO 9831:2005 (38). The above analyses were carried out for commercial diets, commercial diet mixtures with ensiled corn grain (80:20 ratio) and ensiled corn grain, and for both rearing periods. Samples of starter feed were taken on day 1 and samples of grower feed were collected on day 29 (grower feed) – three samples of each type of feed/silage in two replicates. Gross energy was calculated in MJ/kg of dry matter and other nutrient values in kg of dry matter. The chemical composition of feed and ensiled corn grain is shown in Table 1.

Fatty acid profile and vitamins of feed and muscles. For the determination of vitamins E (α -tocopherol and β + γ tocopherol) and A (retinol), samples were prepared according to Polish standards (36, 42) with modifications. The duck meat and feed samples were homogenised and saponified. The next step was extraction using a mixture of n-hexane and ethyl acetate. After separating layers, the supernatant was collected into chromatographic vials and evaporated to dryness under nitrogen. The residue was reconstituted with 1 mL of solvent and filtered through a 0.45- μ m PTFE filter disc into two chromatographic vials for

simultaneous analysis by liquid chromatography with UV and fluorescence detector (UFLC HPLC System; Shimadzu, Canby, OR, USA). Peak areas were manually integrated with LChsolution v. 1.25 (Shimadzu). Vitamin content was estimated using a standard curve obtained from various concentrations of standard solutions. The total vitamin content in the samples was calculated as the amount of vitamins in mass units of the sample.

Lipid extraction from feed and meat was carried out according to Folch *et al.* (14), with adaptations. Lipids were extracted from samples using chloroform and methanol (2:1, v/v). The mixture was homogenised, ultrasonicated and centrifuged. The chloroform layer was removed under a nitrogen stream. The obtained residue was transesterified and centrifuged, and the extract was collected. Finally, hexane with the fatty acid methyl esters was subjected to chromatography analysis using a 7890B gas chromatography system (Agilent Technologies, Santa Clara, CA, USA) equipped with a flame ionisation detector, autosampler and split/splitless injector. The retention times of fatty acid methyl ester (FAME) compounds for meat and feed samples were identified by comparison with a standard (FAME Mix-37; Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA). Peak areas were manual integrated with Agilent ChemStation F.01.00.1903 (Agilent Technologies). The results were presented as a percentage of the total area of the chromatograms using the correction factors of the flame ionisation detector (5). The fatty acid profile and vitamin content in diets are presented in Table 2.

Table 1. Chemical composition of broiler duck feed and ensiled corn grain

Ingredient ¹	Starter diet	Grower diet	Corn grain silage	80% starter diet and 20% silage	80% grower diet and 20% silage
Dry matter (g/kg feed)	895.03	892.00	601.70	836.37	833.94
Crude ash (g/kg dry matter)	53.91	50.13	26.48	48.42	45.40
Total protein	219.71	200.51	142.61	204.29	188.93
Crude fat	37.24	36.71	64.82	42.75	42.33
Crude fibre	49.89	53.66	104.54	60.82	63.59
ADF	294.22	77.87	383.29	312.04	138.96
NDF	390.88	274.27	548.09	422.32	329.04
ADL	97.94	15.73	101.44	98.64	32.87
Gross energy (MJ/kg dry matter)	18.64	18.63	28.83	20.68	20.67

Mean values are presented based on 6 replicates for each type of feedstuff. ¹ – ADF, acid detergent fibre; NDF – neutral detergent fibre; ADL – acid detergent lignin

Table 2. Fatty acids profile and vitamins in broiler duck feed

Item	Starter diet (%)	Grower diet (%)	Corn grain silage (%)	80% starter diet and 20% silage (%)	80% grower diet and 20% silage (%)
C10:0	0.038	0.035	0.097	0.037	0.047
C12:0	0.298	0.358	0.213	0.310	0.329
C14:0	0.703	0.670	0.875	0.696	0.711
C14:1n-5	0.113	0.108	0.110	0.112	0.108
C15:0	0.122	0.118	0.168	0.121	0.128
C16:0	14.097	14.450	12.083	14.168	13.977
C16:1n-7	0.938	1.292	0.357	1.009	1.105
C17:0	0.140	0.143	0.193	0.141	0.153
C17:1n-7	0.088	0.105	0.077	0.091	0.099
C18:0	3.263	3.052	2.778	3.221	2.997
C18:1n-9t	25.138	26.538	24.783	25.418	26.187
C18:1n-9c	1.268	1.760	0.720	1.366	1.552
C18:2n-6t	0.000	0.000	3.412	0.000	0.682
C18:2n-6c	48.787	46.010	49.533	48.232	46.715
C18:3n-3	2.877	3.097	0.715	2.921	2.621
C20:0	0.307	0.285	0.505	0.303	0.329
C20:1n-9	0.575	0.638	1.837	0.588	0.878
C20:2	0.122	0.158	0.053	0.129	0.137
C20:3n-3	0.035	0.048	0.000	0.038	0.038
C20:3n-6	0.073	0.082	0.000	0.075	0.066
C20:4n-6	0.125	0.153	0.085	0.131	0.139
C20:5n-3	0.000	0.028	0.000	0.006	0.022
C21:0	0.047	0.055	0.218	0.049	0.088
C22:0	0.288	0.223	0.182	0.275	0.215
C22:2	0.078	0.102	0.450	0.083	0.172
C22:6n-3	0.125	0.127	0.123	0.125	0.126
C23:0	0.062	0.055	0.032	0.061	0.050
C24:0	0.195	0.173	0.215	0.191	0.181
C24:1n-9	0.107	0.127	0.152	0.111	0.132
SFA	19.557	19.623	17.558	19.570	19.210
MUFA	28.285	30.567	28.067	28.741	30.067
PUFA	52.095	49.933	54.352	51.663	50.817
TFA	25.138	26.538	28.193	25.418	26.869
α-tocopherol µg/100g	2752.495	2264.428	161.398	2654.882	1843.822
β+γ tocopherol µg/100g	1567.155	1126.695	1069.895	1479.063	1115.335
β-carotene µg/100g	31.695	17.580	117.667	28.872	37.597
Retinol µg/100g	173.805	130.527	14.370	165.149	107.296

C16:0 – hexadecanoic acid; C16:1n-7 – cis-9-hexadecenoic acid; C17:0 – heptadecanoic acid; C17:1n-7 – cis-10-heptadecenoic acid; C18:0 – octadecanoic acid; C18:1n-9t – trans-9-octadecenoic acid; C18:1n-9c – cis-9-octadecenoic acid; C18:2n-6t – trans-9,12-octadecadienoate acid; C18:2n-6c – cis,cis-9,12-octadecadienoic acid; C18:3n-3 – cis,cis,cis-9,12,15-octadecatrienoic acid; C20:0 – arachidic acid; C20:1n-9 – cis-11-eicosenoic acid; C20:2 – cis-11,14-eicosadienoic acid; C20:3n-3 – cis-11,14,17-eicosatrienoic acid; C20:4n-6 – arachidonic acid; C20:5n-3 – eicosapentaenoic acid; C21:0 – heneicosanoic acid; C22:0 – behenic acid; C22:2 – docosadienoic acid; C22:6n-3 – cis-4,7,10,13,16,19-docosahexaenoic acid; C23:0 – tricosanoic acid; C24:0 – lignoceric acid; C24:1n-9c – nervonic acid; SFA – saturated fatty acids (C10:0, C12:0, C14:0, C15:0, C16:0, C17:0, C18:0, C20:0, C21:0, C22:0, C23:0 and C24:0); MUFA – monounsaturated fatty acids (C14:1n-5, C16:1n-7, C17:1n-7, C18:1n-9t, C18:1n-9, C20:1n-9 and C24:1n-9); PUFA – polyunsaturated fatty acids (C18:2n-6t, C18:2n-6c, C18:3n-3, C20:2, C20:3n-3, C20:4n-6, C20:5n-3, C22:2, C22:6n-3 and C24:6n-3); TFA – trans fatty acids (C18:1n-9t and C18:2n-6t)

Growth performance. Birds were weighed on days 1, 28 and 49 (Radwag, Radom, Poland) with an accuracy of ±0.01 g. The amount of feed and leftovers was controlled. Feed intake (FI), body weight gain (BWG), growth rate (GR), feed conversion ratio (FCR) and European broiler index (EBI) were calculated. Bird deaths were recorded in each group, and viability (%) was calculated. The formulas for the parameters mentioned above are as follows:

BWG = final body weight (g) – initial body weight (g)

$$GR = \frac{\text{final body weight (g)} - \text{initial body weight (g)}}{0.5 \times (\text{initial body weight (g)} + \text{final body weight (g)})} \times 100\%$$

$$FCR = \frac{FI \text{ (kg)}}{BWG \text{ (kg)}}$$

$$EBI = \frac{\text{viability (\%)} \times \text{average daily gain } \left(\frac{g}{\text{day}}\right)}{FCR \left(\frac{kg \text{ feed}}{kg \text{ gain}}\right) \times 10}$$

Carcass composition. On the last day of rearing, 12 selected males from each group were weighed, and 2 from each pen with body weight close to the average of their penmates were selected. They were sacrificed by stunning with an electrical device following the recommendations (13) and then decapitation. The birds were plucked with a mechanical plucker (Soda Plus, Krępice, Poland). Then, the carcasses were placed in melted wax approved for contact with food for 3 s (Polwax, Jasło, Poland) and cooled in cold water. Wax and feather remains were removed, and the carcasses were eviscerated. The heart, liver and gizzard were collected. Carcasses and offal were cooled at 4°C in a refrigerator (Hendi, Poznań, Poland) for 24 h. Before dissections were performed, the carcasses and offal were weighed. The following were dissected and separated: neck without skin, pectoral muscles (*m. pectoralis* major and minor), leg muscles (drumsticks and thighs without bones), skin with subcutaneous fat (including neck skin), abdominal fat, wings with skin and carcass remains (trunk and leg bones) (65).

Digesta viscosity. The digesta viscosity was analysed based on a modified method presented in the study by Pestana *et al.* (34). After the carcasses had been eviscerated, six samples of jejunal and ileal digesta (approximately 7.5 mL each) were taken from each group into 15 mL Falcon tubes. The samples were separated in a laboratory centrifuge (Eppendorf, Hamburg, Germany) at 4,200 rpm for 10 min. The supernatant (1.5 mL) was collected with an automatic pipette (Chemland, Kraków, Poland) and placed in Eppendorf tubes of the same capacity. A Brookfield DVNext viscometer (Middleboro, MA, USA) was used to analyse the digesta viscosity. The supernatant (0.5 mL) was poured onto a plate, and viscosity was measured at a speed of 6 rpm. The final result was the average of all the results obtained during 30 s of measurement. Each measurement was repeated giving 12 results per group. Results were recorded in centipoise (cP).

Meat quality. The pH of the pectoral muscle (major) was measured using a pH meter equipped with a dagger electrode (Elmetron, Zabrze, Poland). The device was calibrated before it gave measurements using standard buffers with pH 4.00, 7.00 and 9.00. The colour of the pectoral and leg muscles was measured from their inner side. A colorimeter was used (Konica Minolta, Tokyo, Japan) with a three-point colour scale: L*–lightness, a* – redness, and b*– yellowness (11). The right pectoral muscle was weighed (M1) and placed in a cut string bag, which was itself placed inside a larger string bag. After 24 h at a temperature of 4°C, the samples were weighed again (M2), and the drip loss was determined. The water holding capacity of the pectoral and leg muscles was assessed after they were comminuted with a meat grinder (Hendi, Poznań, Poland). Samples weighing 0.300 ± 0.005 g (in M1) were measured. The muscles were placed between two sheets of Whatman tissue paper (4×4 cm) and

compressed with a 2 kg weight for 5 min. The weight was then removed, the samples were removed, and the samples were weighed again (making M2), according to Grau and Hamm (18). Chemical composition analysis was performed in the pectoral and leg muscles to determine the content of protein, collagen, salt, intramuscular fat (IMF) and water. This was performed on three samples weighing approximately 500 g from each group in three replicates). Near-infrared transmission spectrophotometry was used with a FoodScan instrument (FOSS), working to the Polish Standard for Meat and meat products - determination of fat, protein, and water content - Near Infrared Transmission Spectrometry (NIT) using Artificial Neural Network calibration PN-A-82109:2010 standard (41).

Statistical calculation. The mean values, SEM, homogeneity of the sample and normal distribution were analysed. A unidirectional ANOVA was conducted to evaluate the data, and Tukey's test was used to identify statistically significant differences between groups at a significance level of P-value < 0.05. The data were analysed using Statistica software v. 13.3 (TIBCO, Palo Alto, CA, USA). The statistical model was $Y_a = \mu + D_a + e_a$, where Y_a was the dependent variable, μ was the overall mean, D_a was the effect of nutrition (a = CON, CSMIX or CD+SG) and e_a was residual error.

Results

Growth performance. Significantly lower body weight on the 28th day was noted in the CD+SG group compared to the CON and CSMIX groups (P-value < 0.001). On the 49th day of rearing, significantly higher body weight was measured in the CSMIX group than in the CD+SG group, while the CON group did not differ significantly from either group. The lowest GR and BWG (in days 1–28) were found in the CD+SG group and this deficit was significant (P-value < 0.001). In the second feeding period, the values of GR and BWG were significantly higher in the CD+SG group than in the other groups (P-value < 0.001). Birds in the CSMIX group gained significantly more weight for the entire rearing period than birds in the CD+SG group (P-value = 0.047). The CON and CD+SG groups had significantly lower feed intake throughout the rearing period than the CSMIX group (P-value = 0.023). There was a significantly higher FCR throughout the entire rearing period in both experimental groups than in the control group (P-value = 0.048). A significantly higher EBI value was returned for ducks in the CSMIX group compared to those in the CD+SG group (P-value = 0.004) (Table 3).

Viscosity of intestinal digesta. Ducks in the CD+SG group had significantly higher jejunal viscosity than ducks in the CSMIX group (P-value = 0.005). It was noted that ducks in the CON and CSMIX groups had significantly lower ileal viscosity than their counterparts in the CD+SG group (P-value = 0.003) (Table 4).

Carcass tissue composition and meat quality. Significantly higher slaughter yield with offal was found in the CSMIX group compared to the CON group, while the CD+SG group did not differ significantly from either group (P-value = 0.036). The highest liver weight occurred in the CD+SG group, and this surplus was significant (P-value = 0.005). Significantly higher pectoral muscle weight (P-value = 0.031) and total muscle weight (P-value = 0.029) were found in the CON group than in the CD+SG group. Skin weight with subcutaneous fat (P-value = 0.030) and total fatness (P-value = 0.046) were significantly higher in the CD+SG group compared to the CON group. In contrast, the CSMIX group did not differ significantly from the other groups (Table 5).

Physicochemical properties of the pectoral and leg muscles. A significantly higher protein content was

measured in the pectoral muscles of control group ducks than in these muscles of experimental group ducks (P-value = 0.001). In the pectoral muscles of the CON and CD+SG groups, significantly higher salt content (P-value < 0.001) was found. In CD+SG group birds' pectoral muscles, significantly greater IMF content (P-value < 0.001) was present, and in the CSMIX group birds' pectoral muscles significantly higher water content (P-value < 0.001) was observed. The leg muscles of ducks from the experimental groups were characterised by a significantly lower protein content (P-value = 0.033). More collagen was contained by leg muscles in the CON group than by these muscles in the CSMIX group, and this surplus was significant (P-value = 0.003) (Table 6).

Table 3. Growth performance of broiler ducks

Parameter		Group			SEM	P-value
		CON	CSMIX	CD+SG		
Viability (%)		98.33	98.33	96.67	1.008	0.761
BW (g)	Day 1	58.28	57.10	55.70	1.050	0.631
	Day 28	1871.92 ^a	1850.62 ^a	1467.37 ^b	48.932	<0.001
	Day 49	3500.44 ^{ab}	3574.87 ^a	3367.78 ^b	36.010	0.048
GR (%)	Days 1–28	187.92 ^a	188.02 ^a	185.38 ^b	0.365	<0.001
	Days 29–49	60.73 ^b	63.52 ^b	78.59 ^a	2.051	<0.001
	Days 1–49	193.45	193.70	193.49	0.108	0.625
BWG (g)	Days 1–28	1813.64 ^a	1793.52 ^a	1411.67 ^b	48.539	<0.001
	Days 29–49	1628.51 ^b	1724.25 ^b	1900.41 ^a	35.603	0.001
	Days 1–49	3442.15 ^{ab}	3517.77 ^a	3312.08 ^b	35.587	0.047
	Days 1–28	3444.53 ^b	3957.65 ^a	3353.18 ^c	65.058	<0.001
	Feed	-	-	2429.18	-	-
	Silage	-	-	924.00	-	-
FI (g)	Days 29–49	6395.16	6569.08	6346.75	51.793	0.410
	Feed	-	-	4890.70	-	-
	Silage	-	-	1456.05	-	-
	Days 1–49	9839.69 ^b	10526.73 ^a	9699.93 ^b	136.838	0.023
	Feed	-	-	7319.88	-	-
	Silage	-	-	2380.05	-	-
FCR (kg/kg)	Days 1–28	1.90 ^c	2.21 ^b	2.38 ^a	0.051	<0.001
	Days 29–49	3.93 ^a	3.81 ^a	3.34 ^b	0.120	<0.001
	Days 1–49	2.86 ^b	2.99 ^a	2.93 ^a	0.033	0.048
EBI (points)		241.82 ^{ab}	265.41 ^a	223.17 ^b	5.820	0.004

Results are presented as mean value (n = 6 pens per group). ^{a,b...} – when mean values have different letters in the same row, statistically significant differences were found (P-value < 0.05); CON – control group; CSMIX – group fed with a commercial diet with corn grain silage (ratio 80:20); CD+SG – group fed with restricted commercial diet and corn grain silage *ad libitum*; BW – body weight; GR – growth rate; BWG – body weight gain; FI – feed intake; FCR – feed conversion ratio; EBI – European broiler index

Table 4. Broiler duck intestinal digesta viscosity

Digestive organ	Group			SEM	P-value
	CON (cP)	CSMIX (cP)	CD+SG (cP)		
Jejunum	3.68 ^{ab}	3.25 ^b	4.21 ^a	0.128	0.005
Ileum	4.58 ^b	4.82 ^b	6.33 ^a	0.220	0.003

^{a,b...} – when mean values have different letters in the same row, statistically significant differences were found (P < 0.05); CON – control group; CSMIX – group fed with commercial diet with corn grain silage (ratio 80:20); CD+SG – group fed with restricted commercial diet and corn grain silage *ad libitum*

Table 5. Broiler duck carcass composition

Parameter	Group			SEM	P-value
	CON	CSMIX	CD+SG		
Slaughter yield g/100 g pre-slaughter body weight	72.07	73.39	71.99	0.277	0.065
Slaughter yield with offal g/100 g pre-slaughter body weight	77.29 ^b	78.81 ^a	77.53 ^{ab}	0.264	0.036
Heart g/100 g carcass with offal	0.69	0.68	0.69	0.013	0.934
Liver g/100 g carcass with offal	2.69 ^b	2.67 ^b	3.24 ^a	0.084	0.005
Gizzard g/100 g carcass with offal	3.39	3.54	3.21	0.074	0.214
Neck g/100 g carcass with offal	7.15	7.07	7.01	0.147	0.932
Pectoral muscle g/100 g carcass	22.65 ^a	21.71 ^{ab}	20.94 ^b	0.272	0.031
Leg muscle g/100 g carcass	13.44	13.21	13.14	0.199	0.824
Total muscle g/100 g carcass	36.09 ^a	34.92 ^{ab}	34.09 ^b	0.317	0.029
Skin with subcutaneous fat g/100 g carcass	16.91 ^b	18.92 ^{ab}	19.66 ^a	0.448	0.030
Abdominal fat g/100 g carcass	0.78	0.85	0.89	0.063	0.759
Total fatness g/100 g carcass	17.69 ^b	19.77 ^{ab}	20.55 ^a	0.494	0.046
Wings with skin g/100 g carcass	12.27	11.88	11.83	0.138	0.366
Carcass remains g/100 g carcass	24.64	24.49	23.62	0.366	0.486

Results are presented as mean value (n = 12 ducks per group). ^{a,b...} – when mean values have different letters in the same row, statistically significant differences were found (P-value < 0.05); CON – control group; CSMIX – group fed with a commercial diet with corn grain silage (ratio 80:20); CD+SG – group fed with restricted commercial diet and corn grain silage *ad libitum*

Table 6. Physicochemical properties of broiler duck pectoral and leg muscles

Parameter	Group			SEM	P-value
	CON	CSMIX	CD+SG		
pH _{24 hours}	5.98	6.01	5.60	0.320	0.428
Drip loss %	2.09	2.20	1.82	0.250	0.623
WHC %	36.38	35.90	35.33	0.173	0.799
Colour					
L*	37.03	38.34	37.01	0.085	0.150
a*	16.03	15.77	16.67	0.013	0.323
b*	2.11	2.49	1.92	0.014	0.401
Pectoral muscle Protein g/100 g muscle	23.01 ^a	22.55 ^b	22.26 ^b	0.043	0.001
Collagen g/100 g muscle	1.33	1.28	1.29	0.078	0.289
Salt g/100 g muscle	0.38 ^a	0.27 ^b	0.37 ^a	0.605	<0.001
IMF g/100 g muscle	1.15 ^b	1.07 ^b	1.50 ^a	0.454	<0.001
Water g/100 g muscle	74.89 ^b	75.46 ^a	74.80 ^b	0.324	<0.001
WHC %	32.04	31.27	28.73	0.232	0.061
Colour					
L*	36.73	37.38	38.32	0.143	0.368
a*	15.46	15.00	14.95	0.052	0.788
b*	2.83	2.93	3.09	0.033	0.903
Leg muscle Protein g/100 g muscle	20.16 ^a	19.40 ^b	19.38 ^b	0.138	0.033
Collagen g/100 g muscle	1.95 ^a	1.71 ^{ab}	1.54 ^b	0.131	0.003
Salt g/100 g muscle	0.82	0.69	0.65	0.141	0.085
IMF g/100 g muscle	5.16	5.52	4.98	0.161	0.266
Water g/100 g muscle	72.51	72.41	72.71	0.621	0.650

Results are presented as mean value (n = 12 ducks per group). ^{a,b...} – when mean values have different letters in the row, statistically significant differences were found (P-value < 0.05); CON – control group; CSMIX – group fed with a commercial diet with corn grain silage (ratio 80:20); CD+SG – group fed with restricted commercial diet and corn grain silage *ad libitum*; WHC – water holding capacity; L* – lightness; a* – redness; b* – yellowness; IMF – intramuscular fat

Fatty acids and vitamin content in pectoral muscles. In the pectoral muscles of ducks from the CD+SG group, statistically significantly different and the highest contents of C10:0 (P-value = 0.002), C12:0

(P-value < 0.001), C14:0 (P-value = 0.008), C14:1 (P-value = 0.032) and C15:0 (P-value = 0.015) were demonstrated. Statistically significantly lower contents of C:18:1n-9t were found in CON and CSMIX than in

CD+SG (P-value = 0.003). Compared to the other groups, the control group had higher contents of C18:2n9t (P-value = 0.003) and C18:2n6c (P-value = 0.001). In the pectoral muscles of CON and CSMIX ducks, there were significantly higher contents of C20:2 (P-value < 0.001), C20:3n3 (P-value = 0.001) and C22:2 (P-value < 0.001). This tissue from the CD+SG group contained significantly more monounsaturated fatty acids (MUFA) (P-value = 0.007)

and trans fatty acids (TFA) (P-value = 0.003). In the CON and CSMIX groups, a higher content of polyunsaturated fatty acids (PUFA) was noted (P-value < 0.001). Duck muscles from the CON and CSMIX groups were characterised by a significantly higher content of α -tocopherol (P-value = 0.039) and those from CON by content of β + γ tocopherol (P-value = 0.002) compared to the other groups (Table 7).

Table 7. Fatty acid profile and vitamin content of intramuscular fat in broiler duck pectoral muscles

Fatty acid	Group			SEM	P-value
	CON	CSMIX	CD+SG		
C10:0 (%)	0.10 ^{ab}	0.09 ^b	0.12 ^a	0.004	0.002
C12:0 (%)	0.30 ^a	0.21 ^b	0.35 ^a	0.014	<0.001
C14:0 (%)	1.33 ^b	1.23 ^b	1.70 ^a	0.068	0.008
C14:1n-5 (%)	0.19 ^{ab}	0.17 ^b	0.23 ^a	0.009	0.032
C15:0 (%)	0.24 ^{ab}	0.22 ^b	0.29 ^a	0.011	0.015
C16:0 (%)	21.94	22.02	22.64	0.170	0.185
C16:1n-7 (%)	1.23	1.19	1.41	0.044	0.089
C17:0 (%)	0.31	0.29	0.30	0.007	0.506
C17:1n-7 (%)	0.13	0.11	0.12	0.005	0.431
C18:0 (%)	14.47	14.30	13.99	0.135	0.339
C18:1n-9t (%)	19.22 ^b	19.59 ^b	21.93 ^a	0.372	0.003
C18:1n-9c (%)	2.13	2.07	2.00	0.027	0.177
C18:2n-6t (%)	0.15 ^a	0.12 ^b	0.13 ^b	0.004	0.003
C18:2n-6c (%)	18.77 ^a	18.51 ^a	16.85 ^b	0.242	0.001
C18:3n-3 (%)	0.54	0.51	0.53	0.010	0.564
C20:0 (%)	0.25 ^a	0.24 ^{ab}	0.22 ^b	0.005	0.041
C20:1n-9 (%)	0.48	0.46	0.45	0.011	0.666
C20:2 (%)	1.25 ^a	1.24 ^a	0.95 ^b	0.031	<0.001
C20:3n-3 (%)	1.17 ^a	1.20 ^a	1.02 ^b	0.022	0.001
C20:4n-6 (%)	11.66	12.06	11.05	0.243	0.234
C20:5n-3 (%)	0.09	0.10	0.10	0.003	0.456
C21:0 (%)	0.12 ^a	0.08 ^b	0.13 ^a	0.006	<0.001
C22:2 (%)	0.70 ^a	0.75 ^a	0.50 ^b	0.022	<0.001
C22:6n-3 (%)	0.62	0.61	0.62	0.017	0.986
C24:0 (%)	0.06	0.06	0.07	0.001	0.208
C24:1n-9 (%)	2.56	2.57	2.32	0.049	0.057
SFA (%)	39.12	38.73	39.80	0.198	0.078
MUFA (%)	25.94 ^b	26.16 ^b	28.46 ^a	0.378	0.007
PUFA (%)	34.94 ^a	35.11 ^a	31.74 ^b	0.411	<0.001
TFA (%)	19.37 ^b	19.71 ^b	22.05 ^a	0.371	0.003
α -tocopherol μ g/100g	319.09 ^a	317.57 ^a	274.47 ^b	8.265	0.039
β + γ tocopherol μ g/100g	41.33 ^a	34.91 ^b	32.68 ^b	1.086	0.002
Retinol μ g/100g	10.28	9.26	10.72	0.308	0.140

^{a,b...} – when mean values have different letters in the row, statistically significant differences were found (P-value < 0.05); CON – control group; CSMIX – group fed with commercial diet with corn grain silage (ratio 80:20); CD+SG – group fed with restricted commercial diet and corn grain silage *ad libitum*; C10:0 – decanoic acid; C12:0 – dodecanoic acid; C14:0 – tetradecanoic acid; C14:1n-5 – cis-9-tetradecenoic acid; C15:0 – pentadecanoic acid; C16:0 – hexadecanoic acid; C16:1n-7 – cis-9-hexadecenoic acid; C17:0 – heptadecanoic acid; C17:1n-7 – cis-10-heptadecenoic acid; C18:0 – octadecanoic acid; C18:1n-9t – trans-9-octadecenoic acid; C18:1n-9c – cis-9-octadecenoic acid; C18:2n-6t – trans-9,12-octadecadienoic acid; C18:2n-6c – cis,cis-9,12-octadecadienoic acid; C18:3n-3 – cis,cis,cis-9,12,15-octadecatrienoic acid; C20:0 – arachidic acid; C20:1n-9 – cis-11-eicosenoic acid; C20:2 – cis-11,14-eicosadienoic acid; C20:3n-3 – cis-11,14,17-eicosatrienoic acid; C20:4n-6 – arachidonic acid; C20:5n-3 – eicosapentaenoic acid; C21:0 – heneicosanoic acid; C22:2 – docosadienoic acid; C22:6n-3 – cis-4,7,10,13,16,19-docosahexaenoic acid; C24:0 – lignoceric acid; C24:1n-9c – nervonic acid; SFA – saturated fatty acids (C10:0, C12:0, C14:0, C15:0, C16:0, C17:0, C18:0, C20:0, C21:0, C22:0, C23:0 and C24:0); MUFA – monounsaturated fatty acids (C14:1n-5, C16:1n-7, C17:1n-7, C18:1n-9t, C18:1n-9c, C20:1n-9 and C24:1n-9); PUFA – polyunsaturated fatty acids (C18:2n-6t, C18:2n-6c, C18:3n-3, C20:2, C20:3n-3, C20:4n-6, C20:5n-3, C22:2, C22:6n-3 and C24:6n-3); TFA – trans fatty acids (C18:1n-9t and C18:2n-6t)

Table 8. Fatty acid profile and vitamin content of broiler duck leg muscles

Fatty acid	Group			SEM	P-value
	CON	CSMIX	CD+SG		
C10:0 (%)	0.10 ^b	0.09 ^b	0.16 ^a	0.008	<0.001
C12:0 (%)	0.31 ^b	0.28 ^b	0.48 ^a	0.018	<0.001
C14:0 (%)	1.31 ^b	1.26 ^b	2.14 ^a	0.077	<0.001
C14:1 (%)	0.20 ^b	0.20 ^b	0.31 ^a	0.011	<0.001
C15:0 (%)	0.24 ^b	0.21 ^b	0.35 ^a	0.012	<0.001
C16:0 (%)	19.49 ^b	19.28 ^b	21.13 ^a	0.209	<0.001
C16:1n-7 (%)	1.87	1.99	2.03	0.038	0.237
C17:0 (%)	0.28	0.26	0.31	0.008	0.073
C17:1n-7 (%)	0.13 ^b	0.13 ^b	0.15 ^a	0.004	0.005
C18:0 (%)	13.87	13.48	13.86	0.179	0.607
C18:1n-9t (%)	25.69	27.49	26.95	0.363	0.112
C18:1n-9c (%)	1.97	1.90	17.15	5.057	0.377
C18:2n-6t (%)	0.18 ^a	0.15 ^b	0.18 ^a	0.004	0.005
C18:2n-6c (%)	19.29 ^a	17.89 ^a	14.54 ^b	0.451	<0.001
C18:3n3 (%)	0.80 ^a	0.69 ^b	0.62 ^b	0.017	<0.001
C20:0 (%)	0.17	0.15	0.18	0.005	0.084
C20:1n-9 (%)	0.46	0.46	0.45	0.008	0.777
C20:2 (%)	0.83 ^a	0.76 ^{ab}	0.67 ^b	0.021	0.008
C20:3n-3 (%)	0.67	0.67	0.64	0.011	0.362
C20:4n-6 (%)	8.52	9.02	8.74	0.168	0.489
C20:5n-3 (%)	0.09 ^b	0.10 ^b	0.15 ^a	0.006	<0.001
C21:0 (%)	0.12	0.13	0.15	0.006	0.077
C22:2 (%)	0.34 ^b	0.32 ^b	0.45 ^a	0.013	<0.001
C22:6n-3 (%)	0.66 ^{ab}	0.64 ^b	0.77 ^a	0.021	0.024
C24:0 (%)	0.05 ^b	0.04 ^b	0.06 ^a	0.003	0.001
C24:1n-9 (%)	2.36	2.42	2.41	0.045	0.842
SFA (%)	35.95 ^b	35.18 ^b	38.81 ^a	0.354	<0.001
MUFA (%)	32.69	34.59	34.27	0.366	0.071
PUFA (%)	31.37 ^a	30.24 ^a	26.74 ^b	0.495	<0.001
TFA (%)	25.88	27.65	27.13	0.360	0.117
α-tocopherol μg/100g	229.91	220.82	194.28	6.558	0.066
β+γ tocopherol μg/100g	32.94 ^a	25.48 ^b	28.64 ^{ab}	1.310	0.049
Retinol μg/100g	8.11	8.61	9.10	0.189	0.100

a,b,... – when mean values have different letters in the row, statistically significant differences were found (P-value < 0.05); CON – control group; CSMIX – group fed with commercial diet with corn grain silage (ratio 80:20); CD+SG – group fed with restricted commercial diet and corn grain silage *ad libitum*; SEM – standard error of the mean; C10:0 – decanoic acid; C12:0 – dodecanoic acid; C14:0 – tetradecanoic acid; C14:1n-5 – cis-9-tetradecenoic acid; C15:0 – pentadecanoic acid; C16:0, hexadecanoic acid; C16:1n-7, cis-9-hexadecenoic acid; C17:0, heptadecanoic acid; C17:1n-7 – cis-10-heptadecenoic acid; C18:0 – octadecanoic acid; C18:1n-9t – trans-9-octadecenoic acid; C18:1n-9c – cis-9-octadecanoic acid; C18:2n-6t – trans-9,12-octadecadienoic acid; C18:2n-6c – cis,cis-9,12-octadecadienoic acid; C18:3n-3 – cis,cis,cis-9,12,15-octadecatrienoic acid; C20:0 – arachidic acid; C20:1n9 – cis-11-eicosenoic acid; C20:2 – cis-11,14-eicosadienoic acid; C20:3n-3 – cis-11,14,17-eicosatrienoic acid; C20:4n-6 – arachidonic acid; C20:5n3 – eicosapentaenoic acid; C21:0 – heneicosanoic acid; C22:2 – docosadienoic acid; C22:6n-3 – cis-4,7,10,13,16,19-docosahexaenoic acid; C24:0 – lignoceric acid; C24:1n-9c – nervonic acid; SFA – saturated fatty acids (C10:0, C12:0, C14:0, C15:0, C16:0, C17:0, C18:0, C20:0, C21:0, C22:0, C23:0 and C24:0); MUFA – monounsaturated fatty acids (C14:1n-5, C16:1n-7, C17:1n-7, C18:1n-9t, C18:1n-9c, C20:1n9 and C24:1n-9); PUFA – polyunsaturated fatty acids (C18:2n-6t, C18:2n-6c, C18:3n-3, C20:2, C20:3n-3, C20:4n-6, C20:5n-3, C22:2, C22:6n-3 and C24:6n-3); TFA – trans fatty acids (C18:1n-9t and C18:2n-6t)

Table 9. Estimated costs of feeding ducks

Item per 1 duck (PLN)	Group			SEM	P-value
	CON	CSMIX	CD+SG		
Starter costs (days 1–28)	8.54 ^a	8.62 ^a	6.92 ^b	0.191	<0.001
Grower costs (days 29–49)	15.16 ^a	13.73 ^b	13.00 ^c	0.229	<0.001
Total cost of feeding	23.70 ^a	22.35 ^b	19.92 ^c	0.386	<0.001

a,b,... – when mean values have different letters in the row, statistically significant differences were found (P-value < 0.05); CON – control group; CSMIX – group fed with commercial diet with corn grain silage (ratio 80:20); CD+SG – group fed with restricted commercial diet and corn grain silage *ad libitum*

Fatty acids and vitamin content in leg muscles.

In the leg muscles of ducks from the CD+SG group, significantly higher contents of C10:0 (P-value < 0.001), C12:0 (P-value < 0.001), C14:0 (P-value < 0.001), C14:1 (P-value < 0.001), C15:0 (P-value < 0.001), C16:0 (P-value < 0.001) and C17:1 (P-value = 0.005) were found compared to these fatty acid contents in the leg muscles of ducks from the CON and CSMIX groups. Similar results were obtained for C20:5n-3 (P-value < 0.001), C22:2 (P-value < 0.001) and C24:0 (P-value = 0.001). The lowest content of C18:2n-6t was detected in the CSMIX group (P-value = 0.005), and the lowest contents of C18:2n-6c (P-value < 0.001), C18:3n-3 (P-value < 0.001) and C20:2 (P-value = 0.008) in the CD+SG group. This tissue from the CON and CSMIX groups was characterised by a significantly lower saturated fatty acid (SFA) content than the same tissue from the CD+SG groups (P-value < 0.001). The opposite situation occurred in the case of PUFA (P-value < 0.001). In the leg muscles of the control group, there was a significantly higher content of β + γ tocopherol than in those of the 80:20-proportioned feed group (P-value = 0.049) (Table 8).

Estimated costs of feeding. The costs of feeding ducks in the first rearing period in the CD+SG group were significantly lower than in the other groups (P-value < 0.001). In the second feeding period and throughout the whole rearing period, feeding costs were significantly lower in both experimental groups compared to the control group (P-value < 0.001) (Table 9).

Discussion

The highest BW (day 49) and BWG (days 1–49) were determined in the CSMIX group; however, they were not statistically different from the parameters in the CON group. Ducks from the CSMIX group were characterised by the highest FI, which impacted the final FCR at 2.99 kg/kg. Ridla *et al.* (48) used silage in the diet of male Alabio ducks, which was prepared from cassava, cassava leaves, and soybean. They observed a higher BWG in the experimental group where silage with 50% water content was used. In contrast, Sulaiman *et al.* (51) showed no significant changes in the production results of Pekin ducks fed sago pith silage at 5, 10, 15 and 20% from the 3rd to the 8th week of rearing. In another contrast to our study, Zaremba *et al.* (64) also reported that an alternative feeding strategy for broiler ducks based on limited feeding with commercial diet and residual nutritional need met by beet pulp silage or maize silage did not affect the final BW or BWG. The same researchers fed ducks beet pulp silage (mixed with a commercial diet in a ratio of 30:70) and noted consumption of significantly more feed by these ducks than by ducks provided a commercial diet in a limited proportion and beet pulp silage *ad libitum* (63).

The silage production process, particularly the silage additives used, determines its usefulness and biological activity (16). Organic acids such as formic,

propionic or acetic acid maintain the stability of the silage process and create a suitable environment for developing desirable microorganisms (16, 23). They are beneficial because they acidify the diet content and improve digestion of nutrients, affecting BW, FCR and FI (49). Elnagar and El-Maaty (12) confirmed that organic acids (formic and citric acids) are suitable additives for the broiler duck diet, attested to by better body weight gain and support of the anatine immune system. In addition, the effectiveness of formic, propionic, and lactic acids was noted in increasing the height of intestinal villi and reducing the occurrence of pathogenic bacteria such as *Escherichia coli* and *Clostridium perfringens* in Khaki Campbell ducks (26). According to Carvalho-Estrada *et al.* (8), the bacterial community of maize silage is dominated by *Lactobacillus* and *Acetobacter* bacteria. The former are frequent constituents of probiotic preparations in poultry nutrition (45, 47). Therefore, maize silage has probiotic properties. Various mechanisms of action of probiotic microorganisms, including adhesion to the intestinal epithelium, competition for the habitat, and production of bacteriocins and lactic acid, were stated to promote better BWG and robust health (1). The favourable BW and BWG results for the CSMIX group may be confirmation of these mechanisms in action.

It is suggested that the higher body weight of birds in the CSMIX group than that of birds in the CD+SG group elevated the EBI (despite the similar final FCR). In the study by Zaremba *et al.* (63), the highest and a significantly different EBI was calculated for ducks fed with beet pulp silage *ad libitum* compared to the group where a mix of a commercial diet and silage (70:30) was used and to the control group. Biesek *et al.* (6) conducted research on a possible effect on production efficiency of alternative feeding of broiler ducks by replacing the commercial diet with wheat grain in 10, 20 and 40% proportions in the last week of rearing. The authors found no significant differences in the EBI between the groups. However, it is worth noting that the EBI in both cited studies did not exceed 210, whereas in our study, the CSMIX group attained 261.01. It indicates a favourable average daily gain to FCR ratio.

The highest viscosity of jejunal and ileal contents was shown in the group where ducks had unlimited access to silage (4.21 cP and 6.33 cP, respectively). Fibre content in the feed is one of the main factors that affect viscosity, in the findings of Tejeda and Kim (53). The authors showed that 8% fibre in the diet significantly reduced BWG and villus height and crypt depth in the small intestine, and also increased the viscosity of intestinal contents compared to groups where 4% fibre was used. Lee *et al.* (28) also showed a negative effect of higher intestinal viscosity on BWG. This is due to the feed's lower digestibility and the consuming organism's inefficient use of nutrients (58). Higher viscosity slows the rate of digesta flow. The effects are lower oxygen levels and the formation of acetic acid (32). Increased intestinal viscosity may

confirm the presence of soluble fibre fractions in the silage (53). Ensiled corn grain contains a large amount of crude fibre, ADF, NDF and ADL, which would explain the significant differences in viscosity and BW, especially in the CD+SG group.

A significantly higher slaughter yield with offal was achieved in the CSMIX group compared to the CON group. Ducks in the control group had significantly higher pectoral and total muscle weight than ducks in the group which consumed ensiled maize grain *ad libitum*. Significantly lower total fatness was demonstrated in the CON group than in the CD+SG group. Aslan and Ozturk (3) analysed the possibility of feeding indigenous male Turkish geese with maize silage mixed with feed at different levels (10:90, 20:80, 30:70 and 40:60). They did not find differences in slaughter yield, gizzard or liver weight. Similar results were presented by Wang *et al.* (57) in terms of carcass yield, pectoral muscle yield, leg muscle yield, liver yield and heart yield in Hortobágy geese fed whole-plant silage. However, Kokoszyński *et al.* (25) showed that carcasses of White Kołuda W31 geese fed restricted amounts of a commercial diet and maize silage *ad libitum* were characterised by significantly higher dressing percentages compared to the control group (74.7% vs 65.0%).

Bile is produced in the liver hepatocytes and then stored in the gallbladder. It contains essential components for body fat digestion, such as bile salts and phospholipids (46). Ducks in the CD+SG group potentially ate the most ensiled grain, which contained almost twice as much crude fat as the commercial starter and grower feed. To enhance fat breakdown and increase bile production, liver cells can expand. Considering the likely greatest fat consumption by CD+SG ducks, the most extensive liver cell expansion was in these ducks, consequently increasing their liver weight. The optimal dietary metabolisable-energy-to-crude-protein ratio is crucial in obtaining high weight gain and good meat quality. Low metabolisable energy in the diet limits abdominal fat accumulation, which high energy content does not (9). The CD+SG group's lower pectoral muscle and total muscle weight, as well as higher skin with subcutaneous fat and total fatness, may be due to the low crude protein content of the silage and its higher fat content compared to the commercial diet.

The pectoral and leg muscles of the ducks in the experimental groups had a significantly lower protein content than those of the ducks in the control group. The pectoral muscles of the ducks in the CD+SG group contained significantly more IMF. These muscles of the ducks from the CSMIX group had significantly higher salt and water content. The diet's quality and quantity of crude protein affect protein metabolism and muscle content (55). Marcu *et al.* (30) reported that a feed protein and energy content higher than the standard by 10% enhanced the protein and fat content in chicken pectoral muscles compared to these muscles of chickens receiving feed with these contents lower than the standard by 10%. According

to Infante-Rodríguez *et al.* (20), of four broiler chicken diets with the same crude protein content of 21.4% in the starter formulation and 18.7% in the finisher formulation, the diet with the highest content of apparent metabolisable energy (3,080 for starters and 3,160 kcal/kg for finishers) gave the lowest content of ether extract in the pectoral muscles. Moreover, no changes in the chemical composition of leg muscles were observed. Puchajda *et al.* (44) showed significantly higher protein contents in the pectoral muscles of geese fed with grass and clover silage than in the muscles of geese fed steamed potato silage. Wang *et al.* (56) observed that paper mulberry silage in the diet of Yangzhou geese improved the sensory and nutritional quality of meat as a result of good protein availability.

Ensiled corn grain was characterised by a higher proportion of PUFA and a lower proportion of SFA than commercial feed (quantitatively). Significantly lower contents of α -tocopherol and retinol were also found. Lower SFA content was evident in the leg muscles of ducks from the CON and CSMIX groups than in these muscles of CD+SG-group ducks. The fatty acid profile in meat can be modified by nutrition (50). Kowalska *et al.* (27) showed a significantly higher content of n-3 fatty acids (P-value = 0.006) in the subcutaneous fat of Pekin ducks after providing feed containing 60.10% yellow lupin and 14.00% rapeseed meal as an alternative protein source to post-extraction soybean meal. In the study by Huo *et al.* (19), keeping ducks in an integrated rice-duck farming system positively affected the fatty acid composition of meat compared to the floor pen-rearing system. The SFA content (C12:0, C14:0, C16:0, C18:0 and C21:0), MUFA content (C16:1, C17:1, and C18:1) and PUFA content (C22:2, C18:2n-6 and C22:6n-3) were higher. A high SFA content in the diet negatively impacts the circulatory system (29) and increases the risk of other diseases (22). Therefore, the presented results in the CSMIX group suggest that consumption of the meat of ducks so fed would be beneficial to health. Fats rich in unsaturated fatty acids are better digested by birds than fats high in saturated fatty acids (2). Therefore, the more suitable PUFA to SFA ratio in the experimental diet (CSMIX) could have contributed to the higher proportion of PUFA in the pectoral muscles of ducks from this group. The oxidation products of unsaturated fatty acids are hexanaldehydes and nonanaldehydes, which define the aroma of meat to the greatest extent, as stated by Wasilewski *et al.* (59) Their content may form attractive sensory characteristics in duck meat when it is high.

Feed costs can constitute up to 70% of total poultry production costs, which indicates feed's high importance as a delimiter of production profitability and the wisdom of accounting for it in estimating potential revenues (54). Unconventional methods of poultry feeding based on cheaper substitutes for commercial diets can set more favourable economic parameters for production. The costs of feeding ducks with ensiled maize grain (the CD+SG group) were significantly lower, and lighter budgetary burdens were borne feeding

both experimental groups with grower feed. Wu *et al.* (61) found a favourable net present value in an alternative system of duck rearing in corn fields compared to traditional indoor production. Reduction of feed costs is possible by keeping ducks in rice fields and using the restrictive feeding method used in this study (4). Biesek *et al.* (6) also reduced feed costs per duck during 49 days of rearing using partial replacement of feed mixture with wheat at 20% and 40% by PLN 1.98 and 2.25, respectively, compared to costs of feed as commercial granulated products.

Conclusion

Ducks from the CSMIX group had comparable BWG to those in the CON group, but significantly higher FI and FCR. Increased dietary fibre content in ensiled maize grain determined the viscosity of intestinal content, which translated into production results. Characteristic features of the chemical composition of ensiled maize grain mainly increased energy and fat and decreased protein in the feed. These changes contributed to differences in carcass composition and physicochemical quality features of meat. A similar carcass composition to ducks from the control group characterised ducks provided feed mixed with ensiled maize grain. Reduction in the commercial feed proportion and giving silage *ad libitum* negatively affected the nutritional value of meat, in particular the content of protein and fat. Pectoral and leg muscles of ducks in the exclusively granulated-feed-sustained and 80:20 groups revealed a more beneficial fatty acid profile than those of birds fed restrictively, considering PUFA and SFA. In the experimental groups, total feeding costs were lower. An alternative feeding strategy for broiler ducks based on a commercial diet and ensiled maize grain (mixed 80:20) may be recommended to achieve higher body weight gains and obtain meat with a beneficial fatty acid profile while reducing feed costs.

Conflict of Interests Statement: The authors declare that there is no conflict of interests regarding the publication of this article.

Financial Disclosure Statement: The study was funded by “Małe Granty” (Small Grants), financially supported by the Minister of Science under the program "Regional Initiative of Excellence" (RID/SP/0017/2024/01).

Animal Rights Statement: The study was carried out following current legislation on the protection of animals used for scientific or educational purposes. The Committee for the Care of Animals (Ethics Committee) at the Bydgoszcz University of Science and Technology in Poland approved the test procedures and methods (Approval No. 1/24, Bydgoszcz, Poland). All

methods were implemented under the ARRIVE guidelines.

Acknowledgements: The authors thank the Department of Animal Breeding and Nutrition team for technical assistance.

CRediT Authorship Contribution Statement:

Bartosz Bigorowski: research concept and design, collection and assembly of data, data analysis and interpretation, writing the article, critical revision of the article, final approval of the article. **Sebastian Wlazlak:** research concept and design, collection and assembly of data, data analysis and interpretation, writing the article, critical revision of the article, final approval of the article. **Izabela Narloch:** data analysis and interpretation. **Szymon Różański:** research concept and design, data analysis and interpretation, critical revision of the article, final approval of the article.

References

1. Abd El-Hack M.E., El-Saadony M.T., Shafi M.E., Qattan S.Y.A., Batiha G.E., Khafaga A.F., Abdel-Moneim A.E., Alagawany M.: Probiotics in poultry feed: a comprehensive review. *J Anim Physiol Anim Nutr* 2020, 104, 1835–1850, doi: 10.1111/jpn.13454.
2. Ao X., Kim I.H.: Effects of dietary lipid sources on growth performance and carcass traits in Pekin ducks. *Poult Sci* 2020, 99, 499–504, doi: 10.3382/ps/pez558.
3. Aslan R., Ozturk E.: Effects of maize silage feeding on growth performance, carcass characteristics, digestive system length, chemical composition, and meat quality of domestic geese. *Trop Anim Health Prod* 2022, 54, 325, doi: 10.1007/s11250-022-03313-5.
4. Baéza E.: Nutritional requirements and feed management of meat type ducks. *World's Poult Sci J* 2016, 72, 5–20, doi: 10.1017/S004393391500272X.
5. Bannon C.D., Craske J.D., Hilliker A.E.: Analysis of fatty acid methyl esters with high accuracy and reliability. V. Validation of theoretical relative response factors of unsaturated esters in the flame ionization detector. *J Am Chem Soc* 1986, 63, 105–110, doi: 10.1007/BF02676134.
6. Biesek J., Banaszak M., Grabowicz M., Wlazlak S., Adamski M.: Production efficiency and utility features of broiler ducks fed with feed thinned with wheat grain. *Animals* 2022, 12, 3427, doi: 10.3390/ani12233427.
7. Borowiec F., Karpowicz A., Cembrzyńska M., Pyś J.B.: Effect of feeding dry maize grain and high-moisture maize grain silage on fatty acid profile and cholesterol content in lambs meat (in Polish). *Zesz Nauk Uniw Przyr Wroc Biol Anim Breed* 2011, 62, 111–121.
8. Carvalho-Estrada P.A., Fernandes J., Silva É.M. da, Tizioto P., Paziani S.F., Duarte A.P., Coutinho L.L., Verdi M.C.Q., Nussio L.G.: Effects of hybrid, kernel maturity, and storage period on the bacterial community in high-moisture and rehydrated corn grain silages. *Syst Appl Microbiol* 2020, 43, 126131, doi: 10.1016/j.syapm.2020.126131.
9. Chang C., Zhang Q.Q., Wang H.H., Zhang J., Yan Z.X., Liu H.G., Geng A.L.: Dietary metabolizable energy and crude protein levels affect pectoral muscle composition and gut microbiota in native growing chickens. *Poult Sci* 2023, 102, 102353, doi: 10.1016/j.psj.2022.102353.
10. Commission of the European Communities: Commission Regulation (EC) No. 152/2009 of 27 January 2009 laying down

- the methods of sampling and analysis for the official control of feed, OJEU L 2009, 52, 54, 26/02/2009, 1.
11. Commission Internationale de l'Éclairage: *CIE 15.2 Technical Report – Colorimetry*, second edition. CIE Central Bureau, Vienna, Austria, 1986.
 12. Elnagar A., El-Maaty H.M.A.: Impact of using organic acids on growth performance, blood biochemical and hematological traits and immune response of ducks (*Cairina moschata*). Egypt Poult Sci J 2017, 37, 907–925, doi:10.21608/epsj.2017.7740.
 13. European Parliament and the Council of the European Union: Directive 2010/63/EU of the European Parliament and of the Council of 22 September 2010 on the protection of animals used for scientific purposes. OJ EU L 2010, 53, 276, 20/10/2010, 33–79.
 14. Folch J., Lees M., Stanley G.S.: A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues. J Biol Chem 1957, 226, 497–509.
 15. Gach S., Korpysz K., Polańczyk M.: Expenditure on harvest and ensiling of corn grain in a plastic bags (in Polish). J Res Appl Agric Eng 2011, 56, 44–48.
 16. Gheller L.S., Ghizzi L.G., Takiya C.S., Grigoletto N.T.S., Silva T.B.P., Marques J.A., Dias M.S.S., Freu G., Rennó F.P.: Different organic acid preparations on fermentation and microbiological profile, chemical composition, and aerobic stability of whole-plant corn silage. Anim Feed Sci Technol 2021, 281, 115083, doi: 10.1016/j.anifeedsci.2021.115083.
 17. Government of the Republic of Poland: Ustawa z dnia 15 stycznia 2015 o ochronie zwierząt wykorzystywanych do celów naukowych lub edukacyjnych (Act of 15 January 2015 on the protection of animals used for scientific or educational purposes) Dz U 2015, poz 266 (Official Journal of Laws 2015, item 266).
 18. Grau R., Hamm R.: Eine einfache Methode der Bestimmung der Wasserbindung in Fleisch (A simple method for determining water binding in meat – in German). Fleischwirtschaft 1952, 4, 295–297.
 19. Huo W., Weng K., Gu T., Luo X., Zhang Y., Zhang Y., Xu Q., Chen G.: Effects of integrated rice-duck farming system on duck carcass traits, meat quality, amino acid, and fatty acid composition. Poult Sci 2021, 100, 101107, doi: 10.1016/j.psj.2021.101107.
 20. Infante-Rodríguez F., Salinas-Chavira J., Montaña-Gómez M.F., Manríquez-Núñez O.M., González-Vizcarra V.M., Guevera-Florentino O.F., Ramírez De León J.A.: Effect of diets with different energy concentrations on growth performance, carcass characteristics and meat chemical composition of broiler chickens in dry tropics. SpringerPlus 2016, 5, 1937, doi: 10.1186/s40064-016-3608-0.
 21. Jacovaci F.A., Salvo P.A.R., Jobim C.C., Daniel J.L.P.: Effect of ensiling on the feeding value of flint corn grain for feedlot beef cattle: A meta-analysis. Rev Bras Zootec 2021, 50, e20200111, doi: 10.37496/rbz5020200111.
 22. Janiszewski P., Lisiak D., Borzuta K., Grześkowiak E., Schwarz T., Siekierko U., Andres K., Świątkiewicz S.: The effect of feeding chicken and geese broilers with different cereals on the fatty acids profile in meat. Foods 2021, 10, 2879, doi: 10.3390/foods10112879.
 23. Jiang F.-G., Cheng H.-J., Liu D., Wei C., An W.-J., Wang Y.-F., Sun H.-T., Song E.-L.: Treatment of whole-plant corn silage with lactic acid bacteria and organic acid enhances quality by elevating acid content, reducing pH, and inhibiting undesirable microorganisms. Front Microbiol 2020, 11, 593088, doi: 10.3389/fmicb.2020.593088.
 24. Kierończyk B., Rawski M., Mikołajczak Z., Wachowiak R., Homska N., Józefiak D.: A preliminary study of chemically preserved and high-moisture whole maize (*Zea mays* L.) usage in Pekin duck nutrition: effect on growth performance and selected internal organ traits. Animals 2021, 11, 1018, doi: 10.3390/ani11041018.
 25. Kokoszyński D., Bernacki Z., Grabowicz M., Stańczak K.: Effect of corn silage and quantitative feed restriction on growth performance, body measurements, and carcass tissue composition in White Kółuda W31 geese. Poult Sci 2014, 93, 1993–1999, doi: 10.3382/ps.2013-03833.
 26. Koley S., Samanta G.: Effect of dietary organic acids on feed quality, performance, gut milieu and blood profile of starter Khaki Campbell ducks. Indian J Anim Nutr 2011, 28, 325–330.
 27. Kowalska E., Kucharska-Gaca J., Kuźniacka J., Biesek J., Banaszak M., Adamski M.: Effects of legume-diet and sex of ducks on the growth performance, physicochemical traits of meat and fatty acid composition in fat. Sci Rep 2020, 10, 13465, doi: 10.1038/s41598-020-70508-x.
 28. Lee J.T., Bailey C.A., Cartwright A.L.: Guar meal, germ and hull fractions differently affect growth, performance and intestinal viscosity of broiler chickens. Poult Sci 2003, 82, 1589–1595, doi: 10.1093/ps/82.10.1589.
 29. Liu Y., Li Y., Feng X., Wang Z., Xia Z.: Dietary supplementation with *Clostridium butyricum* modulates serum lipid metabolism, meat quality, and the amino acid and fatty acid composition of Peking ducks. Poult Sci 2018, 97, 3218–3229, doi: 10.3382/ps/pey162.
 30. Marcu A., Vacaru-Opriș I., Dumitrescu G., Marcu A., Petculescu Ciochină L., Nicula M., Dronca D., Kelciiov B.: Effect of diets with different energy and protein levels on breast muscle characteristics of broiler chickens. Anim Sci Biotechnol 2013, 46, 333–340.
 31. Mateos G.G., Cámara L., Fondevila G., Lázaro R.P.: Critical review of the procedures used for estimation of the energy content of diets and ingredients in poultry. J Appl Poult Res 2019, 28, 506–525, doi: 10.3382/japr/pfy025.
 32. Park J., Knape K.D., Carey J.B.: Effects of a commercial beta-mannanase product on the performance, intestinal pH, and digesta viscosity of Pekin ducks. J Appl Poult Res 2019, 28, 447–453, doi: 10.3382/japr/pfz009.
 33. Percie du Sert N., Hurst V., Ahluwalia A., Alam S., Avey M.T., Baker M., Browne W.J., Clark A., Cuthill I.C., Dirnagl U., Emerson M., Garner P., Holgate S.T., Howells D.W., Karp N.A., Lazic S.E., Lidster K., MacCullum C.J., Macleod M., Pearl E.J., Petersen O.H., Rawle F., Reynolds P., Rooney K., Sena E.S., Silberberg S.D., Steckler T., Würbel H.: The ARRIVE guidelines 2.0: Updated guidelines for reporting animal research. PLoS Biol 2020, 18, e3000410, doi: 10.1371/journal.pbio.3000410.
 34. Pestana J.M., Puerta B., Santos H., Madeira M.S., Alfaia C.M., Lopes P.A., Pinto R.M.A., Lemos J.P.C., Fontes C.M.G.A., Lordelo M.M., Prates J.A.M.: Impact of dietary incorporation of *Spirulina* (*Arthrospira platensis*) and exogenous enzymes on broiler performance, carcass traits, and meat quality. Poult Sci 2020, 99, 2519–2532, doi: 10.1016/j.psj.2019.11.069.
 35. Polish Committee for Standardization: *PN-ISO 6496:2002, Animal feeding stuffs - determination of moisture and other volatile substances*. PKN, Warsaw, Poland, 2002, <https://sklep.pkn.pl/pn-iso-6496-2002p.html?options=cart>.
 36. Polish Committee for Standardization: *PN-EN ISO 14565:2002, Animal feeding stuffs -determination of vitamin A content - method using high-performance liquid chromatography*. PKN, Warsaw, Poland, 2002, <https://sklep.pkn.pl/pn-en-iso-14565-2002e.html?options=cart>.
 37. Polish Committee for Standardization: *PN-ISO 6492:2005, Animal feeding stuffs – determination of fat content*. PKN, Warsaw, Poland, 2005, <https://sklep.pkn.pl/pn-iso-6492-2005p.html?options=cart>.
 38. Polish Committee for Standardization: *PN-EN ISO 9831:2005, Animal feeding stuffs, animal products, and faeces and urine - determination of gross energy – bomb calorimetric method*. PKN, Warsaw, Poland, 2005, <https://sklep.pkn.pl/pn-en-iso-9831-2005p.html?options=cart>.
 39. Polish Committee for Standardization: *PN-EN ISO 16472:2007, Animal feeding stuffs - determination of amylase-treated neutral detergent fibre content (aNDF)*. PKN, Warsaw, Poland, 2007, <https://sklep.pkn.pl/pn-en-iso-16472-2007p.html?options=cart>.
 40. Polish Committee for Standardization: *PN-EN ISO 13906:2009, Animal feeding stuffs - determination of acid detergent fibre (ADF) and acid detergent lignin (ADL) contents*. PKN, Warsaw

- Poland, 2009, <https://sklep.pkn.pl/pn-en-iso-13906-2009p.html?options=cart>.
41. Polish Committee for Standardization: *PN-A-82109:2010, Meat and meat preparations - determination of fat, protein, and water content - Near Infrared Transmission Spectrometry (NIT) using Artificial Neural Network calibration*. PKN, Warsaw, Poland, 2010, <https://sklep.pkn.pl/pn-a-82109-2010p.html?options=cart>.
 42. Polish Committee for Standardization: *PN-EN 12822:2014, Foodstuffs- determination of vitamin E by high-performance liquid chromatography - measurement of α -, β -, γ - and δ -tocopherol*. PKN, Warsaw, Poland, 2014, <https://sklep.pkn.pl/pn-en-12822-2014-08e.html?options=cart>.
 43. Polish Committee for Standardization: *PN-EN ISO 20483:2014-02, Cereal grains and pulses - determination of the nitrogen content and conversion to protein content - Kjeldahl method*. PKN, Warsaw, Poland, 2014, <https://sklep.pkn.pl/pn-en-iso-20483-2014-02p.html?options=cart>.
 44. Puchajda H., Faruga A., Pudyszak K.: Effect of silages on the yield and quality of meat from two lines of goose. *Pol J Food Nutr Sci* 1997, 6, 141–147.
 45. Raja M.M.M., Raja A., Imran M.M.: Lactobacillus as a probiotic feed for chickens. *Int J Poult Sci* 2009, 8, 763–767, doi:10.3923/ijps.2009.763.767.
 46. Ravindran V., Tanchaorenrat P., Zaefarian F., Ravindran G.: Fats in poultry nutrition: digestive physiology and factors influencing their utilisation. *Anim Feed Sci Technol* 2016, 213, 1–21, doi: 10.1016/j.anifeedsci.2016.01.012.
 47. Reuben R.C., Roy P.C., Sarkar S.L., Rubayet Ul Alam A.S.M., Jahid I.K.: Isolation, characterization, and assessment of lactic acid bacteria toward their selection as poultry probiotics. *BMC Microbiol* 2019, 19, 253, doi: 10.1186/s12866-019-1626-0.
 48. Ridla M., Allailay A., Nikmah F.K., Ramli N.: Performance of Mojosari Alabio males ducks fed complete ration silage. *Anim Prod* 2014, 16, 176–182, doi: 10.20884/1.jap.2014.16.3.465.
 49. Rocha J.J., Archer G.S.: The effect of supplementation with organic acid and oregano oils in drinking water on Pekin duck growth and welfare. *Poultry* 2024, 3, 95–106, doi: 10.3390/poultry3020009.
 50. Schiavone A., Romboli I., Chiarini R., Marzoni M.: Influence of dietary lipid source and strain on fatty acid composition of Muscovy duck meat. *J Anim Physiol Anim Nutr* 2004, 88, 88–93, doi: 10.1111/j.1439-0396.2003.00463.x.
 51. Sulaiman A., Wijayanto H., Anwar K., Sumantri E., Biyatmoko D.: Performance and carcasses percentage of Pekin duck supplied with sago pith silage as an energy source. *Trop Wetl J* 2022, 8, 22–28. doi: 10.20527/twj.v8i1.108.
 52. Suwignyo B., Suryanto E., Samur S.I.N., Hanim, C.: The effect of hay alfalfa (*Medicago sativa* L.) supplementation in different basal feed on the feed intake (FI), body weight, and feed conversion ratio of hybrid ducks. *IOP Conf Ser Earth Environ Sci* 2021, 686, 012039, doi: 10.1088/1755-1315/686/1/01239.
 53. Tejeda O.J., Kim W.K.: Effects of fiber type, particle size, and inclusion level on the growth performance, digestive organ growth, intestinal morphology, intestinal viscosity, and gene expression of broilers. *Poult Sci* 2021, 100, 101397, doi: 10.1016/j.psj.2021.101397.
 54. Thirumalaisamy G., Muralidharan J., Senthilkumar S., Hema Sayee R., Priyadharsini M.: Cost-effective feeding of poultry. *Int J Sci Environ Technol* 2016, 5, 3997–4005.
 55. Urdaneta-Rincon M., Leeson S.: Muscle (pectoralis major) protein turnover in young broiler chickens fed graded levels of lysine and crude protein. *Poult Sci* 2004, 83, 1897–1903, doi: 10.1093/ps/83.11.1897.
 56. Wang R., Wang X., Xiong Y., Cao J., Nussio L.G., Ni K., Lin Y., Wang X., Yang F.: Dietary paper mulberry silage supplementation improves the growth performance, carcass characteristics, and meat quality of Yangzhou goose. *Animals* 2024, 14, 359, doi: 10.3390/ani14030359.
 57. Wang X., Li G., Wang H., Liu Y., Yang Y., Wang C., Gong S., He D.: Feeding whole-plant ensiled corn stover affects growth performance, blood parameters, and cecal microbiota of Holdobagy goose. *Front Vet Sci* 2023, 10, 1210706, doi: 10.3389/fvets.2023.1210706.
 58. Ward N.E.: Intestinal viscosity, broiler performance. *Poult Digest* 1996, 55, 12–16.
 59. Wasilewski R., Kokoszyński D., Włodarczyk K.: Fatty acid profile, health lipid indices, and sensory properties of meat from Pekin ducks of different origins. *Animals* 2023, 13, 2066, doi: 10.3390/ani13132066.
 60. Willems O.W., Miller S.P., Wood B.J.: Aspects of selection for feed efficiency in meat producing poultry. *World's Poult Sci J* 2013, 69, 77–88, doi: 10.1017/S004393391300007X.
 61. Wu K., Pan Ch., Zhou S., Zhou F., Long G., Wu B.: Farming ducks in a maize field: a new and potential crop-livestock system from China. *Agron Sustain Dev* 2021, 41, 76, doi: 10.1007/s13593-021-00732-w.
 62. Zanin E., Horst E.H., Dario J.G.N., Krzezanovski C.K.B., Ruiz G., Fregonesi J.A., Silva C.A. da, Bumbieris Junior V.H.: Performance and feed preference of weaned piglets fed with corn grain silage subjected to different rehydration sources. *Arq Bras Med Vet Zootec* 2023, 75, 485–499, doi: 10.1590/1678-4162-12812.
 63. Zaremba I., Grabowicz M., Biesek J.: Effect of beet pulp silage and various feeding methods on the performance and meat quality of broiler ducks. *Anim Feed Sci Technol* 2024, 308, 115879, doi: 10.1016/j.anifeedsci.2024.115879.
 64. Zaremba I., Grabowicz M., Biesek J.: Effects of feeding silage of beet pulp or maize on the growth performance, meat quality, and production economics of broiler ducks. *Poult Sci* 2024, 103, 103441, doi: 10.1016/j.psj.2024.103441.
 65. Ziotecki J., Doruchowski W.: *Metody oceny wartości rzeźnej drobiu (Methods of evaluation of poultry slaughter value – in Polish)*. COBRD Publishing, Zakrzewo k. Poznań, Poland, 1989.

Oświadczenie autora rozprawy doktorskiej

mgr inż. Bartosz Bigorowski

Katedra Hodowli i Żywienia Zwierząt, Wydział Hodowli i Biologii Zwierząt,
Politechnika Bydgoska im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich
Mazowiecka 28, 85-084 Bydgoszcz

OŚWIADCZENIE

Oświadczam, iż mój wkład autorski w niżej wymienionych artykułach naukowych stanowiących cykl publikacji rozprawy doktorskiej był następujący:

1. **Bartosz Bigorowski**, Jakub Biesek, Izabela Narloch, Szymon Różański. 2025. Research Note: Impact of defferent carrot forms on production results and physiochemical features of carcass elements in broiler ducks. *Poultry Science*, 104(11): 105762. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psj.2025.105762>, 140 pkt. MNiSW, , *Impact Factor*: 4,500.

Wykonane zadania przez Doktoranta w ramach artykułu: konceptualizacja badań, metodyka, nadzór nad doświadczeniami, prace terenowe, analizy laboratoryjne i nadzór metodyczny, weryfikacja danych, analiza formalna, przetwarzanie danych, przygotowanie manuskryptu, autor korespondencyjny.

1. **Bartosz Bigorowski**, Sebastian Wlazlak, Izabela Narloch, Szymon Różański. 2026. The effects of feeding diets with ensiled maize grain on the production efficiency and meat characteristics of broiler ducks. *Journal of Veterinary Research*, 70(2): 279-292. DOI: <https://doi.org/10.2478/jvetres-2026-0020>, 140 pkt. MNiSW, , *Impact Factor*: 1,800.

Wykonane zadania przez Doktoranta w ramach artykułu: konceptualizacja badań, metodyka, nadzór nad doświadczeniami, prace terenowe, analizy laboratoryjne i nadzór metodyczny, weryfikacja danych, analiza formalna, przetwarzanie danych, przygotowanie manuskryptu, autor korespondencyjny.

.Bydgoszcz, 14.09.2026 r.

miejsowość, data

Bartosz Bigorowski

podpis autora rozprawy doktorskiej

[Signature]
podpis promotora

Oświadczenie współautora

dr inż. Izabela Narloch

Zakład Analityki Żywności i Ochrony Środowiska, Wydział Technologii i Inżynierii
Chemicznej, Politechnika Bydgoska im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich
Seminaryjna 3, 85-326 Bydgoszcz

OŚWIADCZENIE

Oświadczam, iż mój wkład autorski w niżej wymienionych artykule/artykułach naukowym/naukowych był następujący:

1. **Bartosz Bigorowski**, Sebastian Właźlak, Izabela Narloch, Szymon Różański. 2026.
The effects of feeding diets with ensiled maize grain on the production efficiency and meat characteristics of broiler ducks. *Journal of Veterinary Research*, 70(2): 279-292.
DOI: <https://doi.org/10.2478/jvetres-2026-0020>, 140 pkt. MNiSW, , *Impact Factor*: 1,800.

Wykonane zadania w ramach artykułu: analizy laboratoryjne, weryfikacja danych, metodyka, korekta merytoryczno-edytorska – współudział w badaniach i opracowaniu publikacji wraz z pozostałymi autorami.

Jednocześnie wyrażam zgodę na przedłożenie wyżej wymienionych prac przez mgr. inż. Bartosza Bigorowskiego jako część rozprawy doktorskiej opartej na zbiorze opublikowanych i powiązanych tematycznie artykułów naukowych.

Bydgoszcz, 14.09.2026 r.

.....
miejscowość, data



.....
podpis współautora

Oświadczenie współautora

dr inż. Izabela Narloch

Zakład Analityki Żywności i Ochrony Środowiska, Wydział Technologii i Inżynierii
Chemicznej, Politechnika Bydgoska im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich
Seminaryjna 3, 85-326 Bydgoszcz

OŚWIADCZENIE

Oświadczam, iż mój wkład autorski w niżej wymienionych artykule/artykułach naukowym/naukowych był następujący:

1. **Bartosz Bigorowski**, Jakub Biesek, Izabela Narloch, Szymon Różański. 2025. Research Note: Impact of defferent carrot forms on production results and physiochemical features of carcass elements in broiler ducks. *Poultry Science*, 104(11): 105762. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psj.2025.105762>, 140 pkt. MNiSW, , *Impact Factor*: 4,500.

Wykonane zadania w ramach artykułu: analizy laboratoryjne, weryfikacja danych, metodyka, korekta merytoryczno-edytorska – współudział w badaniach i opracowaniu publikacji wraz z pozostałymi autorami.

Jednocześnie wyrażam zgodę na przedłożenie wyżej wymienionych prac przez mgr. inż. Bartosza Bigorowskiego jako część rozprawy doktorskiej opartej na zbiorze opublikowanych i powiązanych tematycznie artykułów naukowych.

Bydgoszcz, 14.09.2026 r.

.....
miejscowość, data



.....
podpis współautora

Oświadczenie współautora

dr hab. inż. Jakub Biesek, prof. PBŚ

Katedra Hodowli i Żywienia Zwierząt, Wydział Hodowli i Biologii Zwierząt,
Politechnika Bydgoska im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich
Mazowiecka 28, 85-084 Bydgoszcz

OŚWIADCZENIE

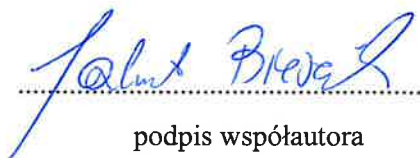
Oświadczam, iż mój wkład autorski w niżej wymienionych artykułach naukowych stanowiących cykl publikacji rozprawy doktorskiej był następujący:

1. **Bartosz Bigorowski, Jakub Biesek, Izabela Narloch, Szymon Różański.** 2025. Research Note: Impact of defferent carrot forms on production results and physiochemical features of carcass elements in broiler ducks. *Poultry Science*, 104(11): 105762. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psj.2025.105762>, 140 pkt. MNiSW, , *Impact Factor*: 4,500.

Wykonane zadania w ramach artykułu: konceptualizacja badań, pozyskanie finansowania, nadzór nad doświadczeniami, analizy laboratoryjne, weryfikacja danych, analiza formalna, metodyka, przetwarzanie danych, korekta merytoryczno-edytorska – współudział w badaniach i opracowaniu publikacji wraz z pozostałymi autorami pracy. Jednocześnie wyrażam zgodę na przedłożenie wyżej wymienionych prac przez mgr. inż. Bartosza Bigorowskiego jako część rozprawy doktorskiej opartej na zbiorze opublikowanych i powiązanych tematycznie artykułów naukowych.

Bydgoszcz 14.09.2026

miejsowość, data


podpis współautora

Oświadczenie współautora

dr hab. inż. Szymon Różański, prof. PBŚ

Laboratorium Badań Chemicznych i Analiz Instrumentalnych, Wydział Hodowli i Biologii
Zwierząt, Politechnika Bydgoska im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich
Mazowiecka 28, 85-084 Bydgoszcz

OŚWIADCZENIE

Oświadczam, iż mój wkład autorski w niżej wymienionych artykułach naukowych stanowiących cykl publikacji rozprawy doktorskiej był następujący:

1. **Bartosz Bigorowski**, Sebastian Wlaźlak, Izabela Narloch, Szymon Różański. 2026.
The effects of feeding diets with ensiled maize grain on the production efficiency and meat characteristics of broiler ducks. *Journal of Veterinary Research*, 70(2): 279-292.
DOI: <https://doi.org/10.2478/jvetres-2026-0020>, 140 pkt. MNiSW, , *Impact Factor*: 1,800.

Wykonane zadania w ramach artykułu: konceptualizacja badań, nadzór nad doświadczeniami, analizy laboratoryjne, weryfikacja danych, metodyka, korekta merytoryczno-edytorska – współudział w badaniach i opracowaniu publikacji wraz z pozostałymi autorami pracy.

Jednocześnie wyrażam zgodę na przedłożenie wyżej wymienionych prac przez mgr. inż. Bartosza Bigorowskiego jako część rozprawy doktorskiej opartej na zbiorze opublikowanych i powiązanych tematycznie artykułów naukowych.

Bydgoszcz, 16.07.2026 r.

.....
miejscowość, data

.....
podpis współautora

Oświadczenie współautora

dr hab. inż. Szymon Różański, prof. PBS

Laboratorium Badań Chemicznych i Analiz Instrumentalnych, Wydział Hodowli i Biologii
Zwierząt, Politechnika Bydgoska im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich
Mazowiecka 28, 85-084 Bydgoszcz

OŚWIADCZENIE

Oświadczam, iż mój wkład autorski w niżej wymienionych artykułach naukowych stanowiących cykl publikacji rozprawy doktorskiej był następujący:

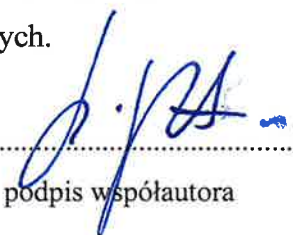
1. **Bartosz Bigorowski**, Jakub Biesek, Izabela Narloch, Szymon Różański. 2025. Research Note: Impact of defferent carrot forms on production results and physiochemical features of carcass elements in broiler ducks. *Poultry Science*, 104(11): 105762. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psj.2025.105762>, 140 pkt. MNiSW, , *Impact Factor*: 4,500.

Wykonane zadania w ramach artykułu: konceptualizacja badań, nadzór nad doświadczeniami, analizy laboratoryjne, weryfikacja danych, metodyka, korekta merytoryczno-edytorska – współudział w badaniach i opracowaniu publikacji wraz z pozostałymi autorami pracy.

Jednocześnie wyrażam zgodę na przedłożenie wyżej wymienionych prac przez mgr. inż. Bartosza Bigorowskiego jako część rozprawy doktorskiej opartej na zbiorze opublikowanych i powiązanych tematycznie artykułów naukowych.

Bydgoszcz, 14.09.2026 r.

miejsowość, data


podpis współautora

Oświadczenie współautora

dr inż. Sebastian Właźlak

Katedra Hodowli i Żywienia Zwierząt, Wydział Hodowli i Biologii Zwierząt,
Politechnika Bydgoska im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich
Mazowiecka 28, 85-084 Bydgoszcz

OŚWIADCZENIE

Oświadczam, iż mój wkład autorski w niżej wymienionych artykułach naukowych stanowiących cykl publikacji rozprawy doktorskiej był następujący:

1. **Bartosz Bigorowski**, Sebastian Właźlak, Izabela Narloch, Szymon Różański. 2026. The effects of feeding diets with ensiled maize grain on the production efficiency and meat characteristics of broiler ducks. *Journal of Veterinary Research*, 70(2): 279-292. DOI: <https://doi.org/10.2478/jvetres-2026-0020>, 140 pkt. MNiSW, , *Impact Factor*: 1,800.

Wykonane zadania w ramach artykułu: konceptualizacja badań, pozyskanie finansowania, nadzór nad doświadczeniami, analizy laboratoryjne, weryfikacja danych, analiza formalna, metodyka, przetwarzanie danych, korekta merytoryczno-edytorska – współudział w badaniach i opracowaniu publikacji wraz z pozostałymi autorami pracy.

Jednocześnie wyrażam zgodę na przedłożenie wyżej wymienionych prac przez mgr. inż. Bartosza Bigorowskiego jako część rozprawy doktorskiej opartej na zbiorze opublikowanych i powiązanych tematycznie artykułów naukowych.

Bydgoszcz, 14.09.2026r.

miejsce, data

Sebastian Właźlak

podpis współautora