



**POLITECHNIKA
BYDGOSKA**
im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich

**RADA NAUKOWA DYSCYPLINY ZOOTECHNIKA
I RYBACTWO**

ROZPRAWA DOKTORSKA

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

mgr inż. Iwona Zaremba

**Zastosowanie kiszonek w żywieniu kaczek rzeźnych w aspekcie
efektywności produkcji i jakości mięsa**

*The use of silage in broiler duck feeding in terms of production
efficiency and meat quality*

DZIEDZINA NAUK ROLNICZYCH
DYSCYPLINA ZOOTECHNIKA I RYBACTWO

PROMOTOR PRACY

dr hab. inż. Jakub Biesek, prof. PBŚ

Katedra Hodowli i Żywienia Zwierząt, Wydział Hodowli i Biologii Zwierząt

Politechnika Bydgoska im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich

Bydgoszcz, 2024 r.

Źródło finansowania

Badania przedstawione w formie zbioru powiązanych tematycznie artykułów naukowych wykonano w ramach działalności naukowej finansowanej ze środków subwencji Politechniki Bydgoskiej im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich (BN-WHiBZ-1/2022) w latach 2022 – 2024.

Artykuły naukowe, które stanowią cykl publikacji rozprawy doktorskiej dofinansowano ze środków Ministra Nauki w ramach Programu "Regionalna Inicjatywa Doskonałości" (RID/SP/0017/2024/01).

Podziękowania

Serdeczne podziękowania składam **dr. hab. inż. Jakubowi Bieskowi, prof. PBS**, promotorowi pracy, za nieocenioną pomoc merytoryczną i wsparcie w trakcie przygotowywania niniejszej dysertacji doktorskiej.

Słowa podziękowania kieruję również do **Koleżanek i Kolegów** z Katedry Hodowli i Żywienia Zwierząt za nieocenione wsparcie w trakcie prowadzenia badań.

Dziękuję również **Rodzinie** za nieustanne wsparcie, wyrozumiałość i motywację.

SPIS TREŚCI

1.	Wstęp.....	5
2.	Wykaz artykułów naukowych, które stanowią cykl publikacji rozprawy doktorskiej	8
3.	Uzasadnienie spójności tematycznej cyklu publikacji rozprawy doktorskiej	9
3.1.	Hipoteza badawcza, cel i zakres badań.....	10
3.2.	Materiały i metody badań	11
3.2.1.	Układ doświadczenia i warunki odchowu kaczek rzeźnych	11
3.2.2.	Analiza składu chemicznego kiszzonek oraz paszy pełnoporcjowej	14
3.2.3.	Wyniki produkcyjne kaczek rzeźnych	14
3.2.4.	Skład tuszek oraz jakościowe cechy fizykochemiczne mięsa kaczek rzeźnych	15
3.2.5.	Ekonomika produkcji kaczek rzeźnych.....	17
3.2.6.	Analiza statystyczna.....	17
3.3.	Wyniki	18
3.3.1.	Wyniki produkcyjne kaczek rzeźnych	18
3.3.2.	Wydajność rzeźna i skład tuszek kaczek rzeźnych	19
3.3.3.	Jakościowe cechy fizykochemiczne mięśni piersiowych i nóg kaczek rzeźnych	20
3.3.4.	Ekonomika produkcji kaczek	21
3.4.	Dyskusja.....	22
3.4.1.	Wyniki produkcyjne kaczek rzeźnych	22
3.4.2.	Cechy tuszek i jakość mięsa kaczek rzeźnych	26
3.4.3.	Ekonomika produkcji kaczek rzeźnych.....	29
3.5.	Podsumowanie	30
3.6.	Literatura.....	32
4.	Streszczenie.....	40
5.	Abstract	41
6.	Załączniki	42
6.1.	Kopie artykułów naukowych stanowiących cykl publikacji rozprawy doktorskiej.....	42
6.2.	Oświadczenie autora rozprawy doktorskiej	42
6.3.	Oświadczenia współautorów artykułów naukowych	42

1. WSTĘP

Produkcja kaczek rzeźnych w Unii Europejskiej stanowi ważny sektor produkcji drobiarskiej. Jednak w porównaniu do kurcząt rzeźnych jest nadal niszowa. W roku 2022 stanowiła ona w Unii Europejskiej zaledwie 3,3% całkowitej produkcji mięsa drobiowego. Liderami w produkcji mięsa kaczego w Unii Europejskiej są Francja i Węgry, utrzymujące poziom 115 400 ton masy tuszek kaczyc, a trzecim krajem jest Polska z wynikiem 67 880 ton. Od kilku lat istnieje tendencja wzrostowa krajowej produkcji mięsa kaczego (AVEC, 2023).

Poszukiwanie alternatyw umożliwiających ograniczenie kosztocłonności, przy jednoczesnym zachowaniu wysokiej efektywności produkcji stanowi duże wyzwanie dla producentów żywca (El-Deek i in., 2020). Pozyskiwanie bezpiecznej żywności, o znanym pochodzeniu i według określonych standardów wytwarzania, ściśle powiązane jest z oczekiwaniami związanymi z zachowaniem wymogów dobrostanu drobiu rzeźnego. Efektywna produkcja wymaga podejmowania działań związanych z doskonaleniem warunków utrzymania, a także zapewnieniem wysokiej jakości paszy, która w pełni pokryje zapotrzebowanie bytowe i produkcyjne (Shields i Greger, 2013; Abdollahi i in., 2013).

W Polsce kaczki rzeźne utrzymywane są w systemie intensywnym lub półintensywnym przez okres od 6 do 7, a nawet 8 tygodni (Biesek i in., 2021; Biesiada-Drzazga i in., 2018; Gornowicz i in., 2011) z tendencją do skracania okresu odchowu. Zdaniem Tanwiriaha i in. (2019) żywienie jest kluczowym czynnikiem kształtującym efektywność oraz ekonomikę produkcji, ponieważ może stanowić od 65 – 70% całkowitych kosztów utrzymania drobiu.

Kaczki rzeźne Cherry Valley charakteryzuje dobra odporność na czynniki środowiskowe i szybkie tempo wzrostu, a także optymalny współczynnik wykorzystania paszy na 1 kg przyrostu masy ciała. Zróżnicowane warunki utrzymania stad kaczek w Polsce mają istotne znaczenie dla zdrowotności stada, co przekłada się na wysokie wyniki produkcyjne wynikające z wykorzystywania składników pokarmowych zawartych w paszy (Kokoszyński i in., 2015). W przypadku utrzymywania kaczek w gospodarstwach indywidualnych, gdzie szczególną uwagę zwraca się na kosztocłonność żywienia, zdolność adaptacyjna kaczek rzeźnych umożliwia częściowe zastąpienie zbilansowanej dawki pokarmowej paszami objętościowymi soczystymi. Umożliwia to poszukiwanie alternatywnych, do typowych pasz przemysłowych, sposobów żywienia tych ptaków (Churchil i Jalaludeen, 2022). Zdaniem Ogunnusi i in. (2023), poszukiwanie alternatywnych możliwości żywienia drobiu jest stałym

przedmiotem wielu badań i może przyczynić się do zmniejszenia kosztów produkcji przy jednoczesnym zachowaniu jej wysokiej efektywności.

Specyfika budowy układu pokarmowego kaczek, tj. dobrze rozwinięte jelita ślepe, pozwala na trawienie zwiększonej ilości włókna dzięki enzymom pochodzącym z soku jelit ślepych oraz przy udziale mikrobioty jelitowej (Hao i in., 2021; Jamroz i Rutkowski, 2009). W związku z tym, w żywieniu kaczek mogą mieć zastosowanie pasze objętościowe soczyste. Kiszonki są bogate w składniki odżywcze i pozytywnie wpływają na mikrobiotę jelit, mogą stanowić potencjalną alternatywę dla metod żywienia charakterystycznych w intensywnych systemach odchowu. W przypadku gospodarstw indywidualnych dysponujących odpowiednim arealem, wyprodukowanie kiszonki jest adekwatnie tańsze w stosunku do zakupu komercyjnych mieszanek pełnoporcjowych (Keohavong i Onphachanh, 2015; Ibrahim i in., 2020; Aslan i Öztürk, 2022).

Walory mięsa kaczego są coraz częściej dostrzegane przez konsumentów. Szczególnie wysoką jakością i przydatnością technologiczną mięsa odznaczają się mieszańce towarowe kaczek rzeźnych Cherry Valley, które utrzymywane są zarówno w wyspecjalizowanych fermach wielkotowarowych, jak i gospodarstwach drobnotowarowych (Zhang i in., 2023). Szczególnie ważnymi walorami jakości mięsa kaczego są smakowitość i kruchość, co w przypadku kaczek rzeźnych o szybkim tempie wzrostu stanowi alternatywę dla mięsa pozyskiwanego z kurcząt rzeźnych. Obecność tłuszczu śródmięśniowego i wysoka smakowitość mięsa kaczego wpisuje się w trendy konsumenckie w aspekcie żywności o podwyższonych walorach dietetycznych i odpowiedniej przydatności do obróbki technologicznej (Biswas i in., 2019; Wasilewski i in., 2023).

Istotnym jest, aby sposób żywienia kaczek na etapie produkcji skutkował uzyskaniem dobrej jakości surowca. W ostatnich latach prowadzono badania nad stosowaniem różnych strategii żywieniowych oraz wykorzystaniem materiałów paszowych, zwłaszcza w zakresie źródeł białka paszowego. Banaszak i in. (2020) wykazali wpływ stosowania łubinu żółtego na jakość mięśni piersiowych kaczek rzeźnych, z uwzględnieniem profilu kwasów tłuszczowych. Kuźniacka i in. (2020) przedstawili możliwości stosowania różnych gatunków roślin strączkowych w żywieniu kaczek w aspekcie pozyskiwania jakości surowca.

Badania nad możliwością stosowania kiszonych oraz świeżych pasz objętościowych prowadzono przede wszystkim w chowie gęsi. Arslan i Inal (2002) analizowali wyniki produkcyjne oraz cechy tuszek pozyskanych od gęsi, które żywiono mieszankami z udziałem

pasz objętościowych różnego pochodzenia, w tym lucerny, traw czy wysłodków buraczanych. Cytowani autorzy wykazali, iż żywienie wspomnianymi paszami miało wpływ na wydajność rzeźną gęsi. Stosowanie świeżych liści manioku, jako paszy objętościowej, w żywieniu gęsi (Mao i in., 2019) stanowiło czynnik mający wpływ na wzrost dziennych przyrostów masy ciała gęsi, a także dziennego spożycia paszy czy wydajności rzeźnej. Podobnie, Mao i in. (2020) wykazali korzystny wpływ żywienia w oparciu o liście manioku na strawność składników pokarmowych oraz jakość mięsa gęsi. Öztürk i Aslan (2022) stwierdzili, iż zastąpienie paszy treściowej kiszoną z kukurydzy w dawce pokarmowej dla gęsi nie miało negatywnego wpływu na cechy wydajności rzeźnej, a także pozytywnie wpłynęło na jakość mięsa. Cytowani autorzy wykazali, iż kiszonkę z kukurydzy można stosować nawet w ilości do 40% mieszanki paszowej. Dodatkowo, taki sposób żywienia optymalizował koszty i zwiększył efektywność ekonomiczną produkcji gęsi. Mimo, iż kaczki są, tak jak gęsi, przedstawicielami drobiu wodnego, zadawanie pasz objętościowych kiszonych nie jest powszechnie znane u tego gatunku drobiu (Ibrahim i in., 2020).

Badania z tego zakresu podejmowano sporadycznie poza granicami kraju na kaczkach odmian regionalnych Mojosari Alabio (Ridla i in., 2014) i piżmowych (Keohavong i Onphachanh, 2015), a w warunkach krajowych nieużytkowanych obecnie mieszańców międzyrodowych kaczek Pekin (Bernacki i Kruszyński, 1991; Faruga i in., 1974). W związku z powyższym, wydaje się być uzasadnionym podjęcie badań nad zastosowaniem pasz objętościowych kiszonych w żywieniu obecnie użytkowanych szybko rosnących mieszańców towarowych kaczek Pekin.

2. WYKAZ ARTYKUŁÓW NAUKOWYCH, KTÓRE STANOWIĄ CYKL PUBLIKACJI ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

1. **Zaremba Iwona**, Grabowicz Małgorzata, Biesek Jakub. 2024. Effect of beet pulp silage and various feeding methods on the performance and meat quality of broiler ducks. *Animal Feed Science and Technology* (Elsevier), 308, 115879. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2024.115879>, 200 pkt. MNiSW, *Impact Factor*: 2,500
2. **Zaremba Iwona**, Grabowicz Małgorzata, Biesek Jakub. 2024. Effects of feeding silage of beet pulp or maize silage on the growth performance, meat quality, and production economics of broiler ducks. *Poultry Science* (Elsevier), 103, 103441. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2024.103441>, 140 pkt. MNiSW, *Impact Factor*: 3,800.

3. UZASADNIENIE SPÓJNOŚCI TEMATYCZNEJ CYKLU PUBLIKACJI ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

Produkcja drobiarska uzależniona jest od wielu czynników, zarówno wewnętrznych uwzględniających czynniki genetyczne i środowiskowe czy długo- i krótkoterminowe. Nie mniejsze znaczenie mają także czynniki zewnętrzne, poza produkcyjnymi, do których zaliczyć można szeroko rozumianą sytuację na rynku rolno-spożywczym, konsumenckim czy geopolityczną – w gospodarce krajowej i światowej. W ostatnich 5 latach polskie drobiarstwo stanęło przed wieloma wyzwaniami – od licznych ognisk grypy ptaków czy pandemii COVID-19, po zmiany ekonomiczne, zwłaszcza materiałów paszowych, co związane było z rosnącą inflacją. Producenci drobiu i właściciele gospodarstw wielko- i drobnotowarowych szukali rozwiązań, mających na celu optymalizację produkcji surowców drobiarskich pod względem bezpieczeństwa, dobrostanu, żywienia, aż po ekonomiczne aspekty.

Możliwość stosowania pasz wyprodukowanych z własnych materiałów paszowych a także wykorzystania produktów ubocznych przemysłowych jest szansą dla ograniczenia kosztów żywienia. Popularnie stosowane pasze objętościowe kiszone w żywieniu przeżuwaczy mogą mieć również zastosowanie w produkcji drobiu wodnego. Znanym jest, iż gęsi mają dobrze rozwinięty układ pokarmowy, zwłaszcza jelita ślepe odpowiadające za trawienie frakcji włóknistych. Kaczki również charakteryzuje specyficzna budowa przewodu pokarmowego, a informacje dotyczące stosowania kiszonek jako materiału paszowego w produkcji przedstawicieli ptaków z rodzaju *Anas* są ograniczone. Założono, iż proponowana koncepcja badawcza może być wsparciem zwłaszcza dla gospodarstw drobnotowarowych i w zyskującej na popularności lokalnej sprzedaży bezpośredniej, co również dyktują trendy konsumenckie w ostatnich latach.

Pasze objętościowe kiszone charakteryzuje różny skład odżywczy, przy czym znane one są jako naturalne probiotyki, mające korzystny wpływ na status zdrowotny – zarówno zwierząt jak i ludzi. Jednakże, nie jest poznane czy istnieje realna możliwość stosowania kiszonek w żywieniu kaczek rzeźnych. Problematyka badawcza opisana w cyklu publikacji rozprawy doktorskiej dotyczy omawianego zagadnienia, a artykuły są ze sobą powiązane tematycznie i stanowią następujące po sobie etapy doświadczeń prezentowanych w niniejszej dysertacji.

3.1. HIPOTEZA BADAWCZA, CEL I ZAKRES BADAŃ

Analiza wyników produkcyjnych oraz jakościowych cech fizykochemicznych mięsa kaczek rzeźnych żywionych różnymi metodami z udziałem pasz objętościowych kiszonych, zarówno wysłodków buraczanych, jak i całych roślin kukurydzy poprzedzona była sformułowaniem następującej **hipotezy badawczej**:

Różne metody żywienia oraz zastosowanie kiszonek z wysłodków buraczanych lub całych roślin kukurydzy w dawce pokarmowej dla kaczek rzeźnych ma wpływ na wyniki produkcyjne i jakość surowca z tuszek kaczek.

Hipotezę tę weryfikowano poprzez **główny cel badań**:

Analiza zastosowania różnych metod żywienia z udziałem pasz objętościowych kiszonych w odchowcie kaczek rzeźnych oraz ich wpływ na wyniki produkcyjne i jakość mięsa.

Cel główny zrealizowano poprzez wybór sposobu zadawania kiszonki z wysłodków buraczanych w formie zmieszanej z mieszanką paszową pełnoporcjową lub oddzielnie przy zachowaniu stałego dostępu do kiszonki i ograniczeniu mieszanki paszowej komercyjnej (**doświadczenie 1, publikacja 1, cel 1**). W kolejnym etapie, po wyborze metody żywienia kaczek rzeźnych, porównano wyniki produkcyjne, efektywność ekonomiczną oraz jakość pozyskanych tuszek i mięsa od kaczek rzeźnych żywionych kiszonką z wysłodków buraczanych i całych roślin kukurydzy w porównaniu do standardowego odchowu kaczek żywionych intensywnie mieszanką paszową pełnoporcjową (**doświadczenie 2, publikacja 2, cel 2**).

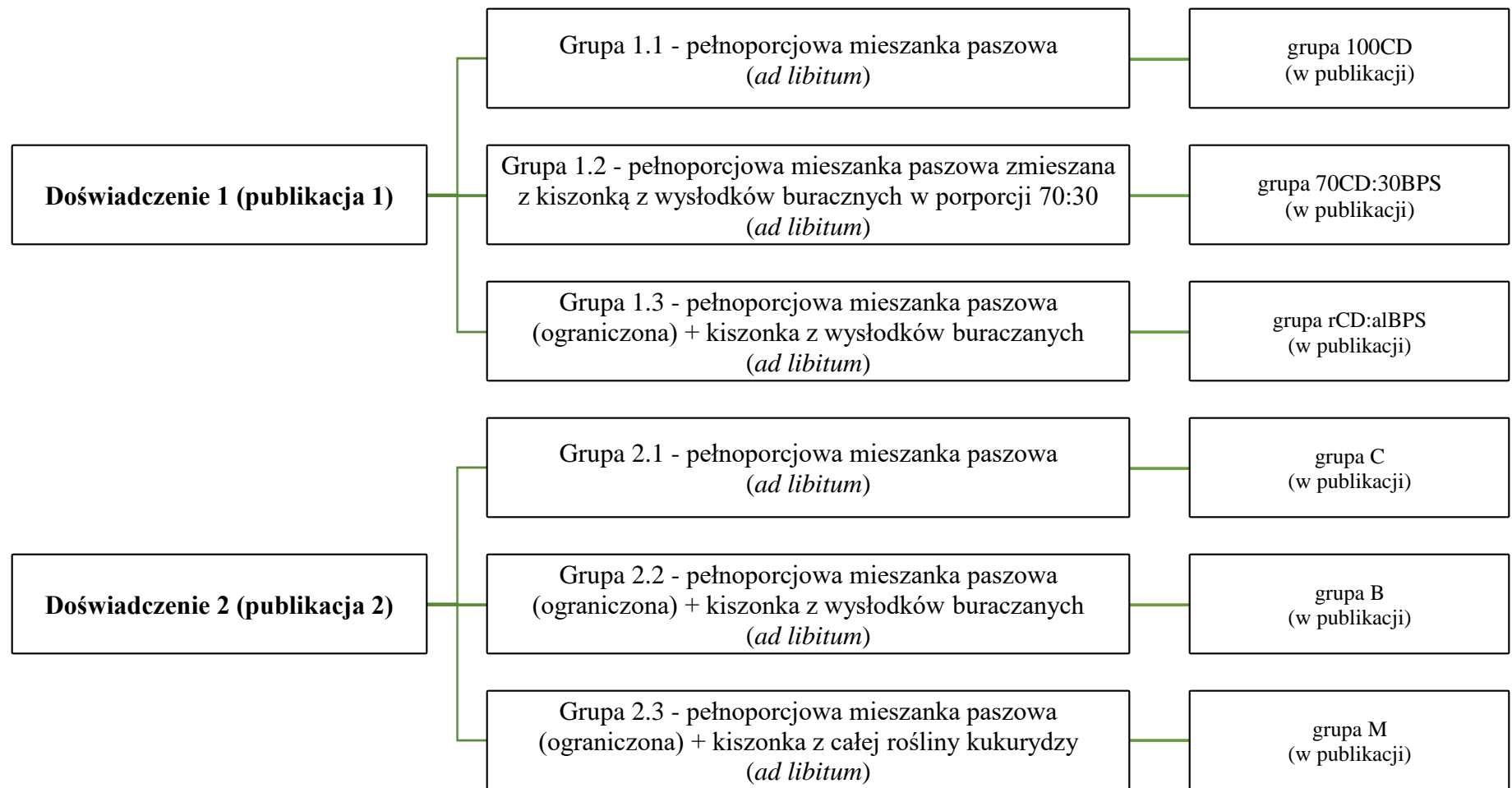
3.2. MATERIAŁY I METODY BADAŃ

Badania przeprowadzono w gospodarstwie rolnym w województwie kujawsko-pomorskim. Zgodnie z rozporządzeniami Krajowej Komisji Etycznej oraz regulacjami prawnymi w zakresie ochrony zwierząt użytkowanych w edukacji i badaniach naukowych, uzyskano zgodę Wydziałowego Zespołu do spraw dobrostanu zwierząt (nr 2/2022), jako organu reprezentującego Lokalną Komisję Etyczną. Ocenę jakości mięsa przeprowadzono w Katedrze Hodowli i Żywienia Zwierząt na Politechnice Bydgoskiej im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich. Analizę składu chemicznego pasz wykorzystanych w doświadczeniach wykonano w Laboratorium Badań Chemicznych i Analiz Instrumentalnych na Wydziale Hodowli i Biologii Zwierząt Politechniki Bydgoskiej. Wykonano dwa doświadczenia w ramach których przeprowadzono odchów kaczek rzeźnych żywionych kiszoną z całych roślin kukurydzy, kiszonymi wysłódkami buraczanymi oraz mieszanką pełnoporcjową.

3.2.1. Układ doświadczenia i warunki odchowu kaczek rzeźnych

W każdym z doświadczeń użyto 180 jednodniowych samców kaczek rzeźnych Cherry Valley. Kaczki utrzymywano w warunkach półintensywnych przez okres 49 dni. W obydwu doświadczeniach ptaki podzielono na 3 grupy żywieniowe. Każdą grupę podzielono na 6 powtórzeń po 10 ptaków w każdej grupie (60 ptaków/grupa). Na wykresie 1. przedstawiono układ doświadczeń oraz podział na grupy żywieniowe.

Metoda ograniczonego żywienia kaczek przy zastosowaniu mieszanki paszowej pełnoporcjowej polegała na restrykcyjnym zadawaniu paszy. Ograniczenie zadawania paszy pełnoporcjowej polegało na zmniejszeniu dawki dziennej o 30% względem badań przeprowadzonych przez Bieska i in. (2022).



Wykres 1. Układ doświadczalny odchowu kaczek żywionych paszami z udziałem kiszonek

Ptaki utrzymywane były w kojcach o powierzchni 2 m² a obsada wynosiła do 17 kg żywca na 1m². Kojce wykonane były z metalowych ram i ocynkowanej siatki. Kaczki utrzymywano na ściółce ze słomy ciętej zbożowej. Warunki środowiskowe były dostosowane do chowu kaczek w systemie intensywnym. Na początku okresu odchowu średnia temperatura w pomieszczeniu wynosiła 26 °C (wykorzystano promienniki zapewniając temperaturę 30 °C), a następnie malała do 20 °C w 4. tygodniu odchowu. Wilgotność względna wynosiła 65%. W każdym kojcu kaczki miały dostęp do świeżej wody i paszy zgodnie z metodyką doświadczenia przedstawioną na wykresie 1. Wodę zadawano przy użyciu poidel smoczkowych (2 na 10 kaczek), natomiast paszę w karmidłach zasypowych o długości 7 cm na sztukę.

Pasza komercyjna pełnoporcjowa podawana była w formie granulowanej. Zgodnie z deklaracją producenta (De Heus, Łęczyca, Polska) w skład mieszanek pełnoporcjowych wchodziły:

- pasza typu starter – kukurydza, pszenica, śruta poekstrakcyjna sojowa, otręby pszenne, śruta poekstrakcyjna paszowa słonecznikowa, śruta poekstrakcyjna paszowa słonecznikowa z obłuszczonych nasion słonecznika, śruta jęczmienna, śruta poekstrakcyjna rzepakowa, gluten paszowy pszenny, węglan wapnia, tłuszcz zwierzęcy, fosforan jednowapniowy, olej i tłuszcz roślinny (słonecznik surowy), chlorek i siarczan sodu;
- pasza typu grower – kukurydza, pszenica, otręby pszenne, śruta poekstrakcyjna sojowa, śruta poekstrakcyjna paszowa słonecznikowa, śruta poekstrakcyjna paszowa słonecznikowa z obłuszczonych nasion słonecznika, pszenżyto, śruta poekstrakcyjna rzepakowa, tłuszcz zwierzęcy, węglan wapnia, fosforan jednowapniowy, chlorek sodu dwuwęglan wapnia.

Pasze typu starter podawano od 1. do 28. dnia życia, natomiast typu grower od 29. dnia do końca odchowu tj. 49. dnia. Obydwie mieszanki pełnoporcjowe pokrywały zapotrzebowanie na aminokwasy, witaminy, mikro- i makroelementy.

Wysłodki buraczane pozyskano z lokalnej wytwórni cukru w województwie kujawsko-pomorskim. Kiszonki zostały wyprodukowane w gospodarstwie. Materiał zakiszono w przyzmach bez udziału dodatków kiszonkarskich.

3.2.2. Analiza składu chemicznego kiszzonek oraz paszy pełnoporcjowej

Analiza składu chemicznego kiszzonek oraz mieszanki paszowej pełnoporcjowej obejmowała oznaczenie zawartości następujących składników pokarmowych:

- sucha masa - metoda wagowa, suszarka POL-EKO, Wodzisław Śląski (PN-ISO 6496:2002),
- popiół surowy – metoda wagowa (PN-ISO 6496:2002),
- włókno surowe - metoda wagowa przy użyciu aparatu Fibertec™ 2010, FOSS (PN-ISO 6496:2002),
- tłuszcz surowy - metoda Soxhleta przy użyciu aparatu SOXTEC SYSTEM HIT 1043 Extraction Unit (PN-EN ISO 6492:2005),
- białko ogólne - metoda Kjeldahla przy użyciu aparatu Kjeltac™ 8400 Analyzer Unit, Kjeltac Sampler 8420, FOSS (PN-EN ISO 20483:2014-02),
- włókno kwaśno detergentowe (ADF) – metoda wagowa przy użyciu aparatu ANKOM 220 (PN-EN ISO 13906:2009),
- włókno neutralno detergentowe (NDF) – metoda wagowa przy użyciu aparatu ANKOM 220 (PN-EN ISO 16472:2007),
- energia brutto (MJ) – przy użyciu kalorymetru KL-21 izoparabolicznego PLUS (PN-EN ISO 9831:2005).

3.2.3. Wyniki produkcyjne kaczek rzeźnych

W trakcie trwania doświadczeń ptaki ważono indywidualnie trzykrotnie w następujących dniach odchowu: 1., 28. i 49.. Rejestrowano brakowania zdrowotne i upadki kaczek, co pozwoliło na obliczenie przeżywalności w poszczególnych grupach. Na podstawie masy ciała obliczano tempo wzrostu (TW):

$$TW = \frac{\text{końcowa masa ciała (g)} - \text{początkowa masa ciała (g)}}{0.5 \times (\text{początkowa masa ciała (g)} + \text{końcowa masa ciała (g)})} \times 100 \%$$

oraz przyrosty masy ciała (BWG):

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

Kontrolowano dzienne pobranie paszy (FI) w każdym powtórzeniu oraz obliczono współczynnik wykorzystania paszy na kg przyrostu masy ciała (FCR):

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

Obliczono wskaźniki efektywności produkcji:

- Europejski współczynnik efektywności produkcji:

$$EPEF = \frac{\text{przeżywalność (\%)} \times BWG (g)}{\text{wiek (dni)} \times FCR \left(\frac{kg}{kg}\right)} \times 100\%$$

- Europejski wskaźnik wydajności rzeźnej:

$$EBI = \frac{\text{przeżywalność (\%)} \times \text{średnie dzienne BWG (kg)}}{FCR \left(\frac{kg}{kg}\right)} \times 100\%$$

3.2.4. Skład tuszek oraz jakościowe cechy fizykochemiczne mięsa kaczek rzeźnych

W każdym z doświadczeń w 49. dniu odchowu wybrano do uboju po 12 ptaków z każdej grupy (2 sztuki na kojec) o masie ciała zbliżonej do średniej masy z kojca. Uboju dokonano poprzez ogłuszenie prądem elektrycznym, a następnie wykonano dekapitację między pierwszym kręgiem szyjnym a kłykiem potylicznym. Procedurę wykonano zgodnie z obowiązującym Rozporządzeniem Rady (WE) nr 1099/2009 z dnia 24 września 2009 r. w sprawie ochrony zwierząt podczas ich uśmiercania.

Tuszki oparzone w wodzie o temperaturze 65 – 67 °C, usunięto pióra przy pomocy skubarki mechanicznej, wypatroszono i odcięto nogi w stawie skokowym, a następnie schłodzono w chłodni Hendi przez 24 godziny w temperaturze 4 °C.

Przygotowane tuszki oraz podroby jadalne (serce, wątroba, żołądek mięśniowy) zważono i wykonano dysekcję, wyodrębniając szyję bez skóry, mięśnie piersiowe (m. *pectoralis major* i *minor*), odkostnione mięśnie nóg, skórę z tłuszczem podskórnym wraz ze skórą z szyi, tłuszcz sadelkowy, skrzydła ze skórą oraz pozostałości tuszki, uwzględniając korpus i kości nóg. Dysekcję wykonano według zmodyfikowanej metody Zioleckiego i Doruchowskiego (1989). Wszystkie elementy zważono i obliczono wydajność rzeźną tuszki

z podrobami i bez podrobów. Obliczono procentowy udział poszczególnych elementów tuszki oraz udział podrobów w stosunku do masy tuszki z podrobami. Dane przedstawiono jako masa elementu (g) w 100 g tuszki. W celu wykonania analiz jakościowych cech fizykochemicznych mięśni piersiowych oraz nóg, próby gromadzono w czasie dysekcji.

W trakcie ważenia tuszek dokonano pomiaru wartości pH mięśni piersiowych za pomocą pH-metru Elmetron z elektrodą sztyletową ERH12-6N, który uprzednio poddany został skalibrowaniu przy użyciu buforów o znanym pH (4,00; 7,00; 9,00).

W prawym mięśniu piersiowym i mięśniu nogi od strony wewnętrznej wykonano pomiar barwy przy użyciu kalorymetru Konica Minolta CR-410. Dane przedstawiono w skali CIE Lab, gdzie L^* oznacza jasność (wysycenie barwą), a^* – czerwoność (wysycenie barwą czerwoną), b^* – żółtość (wysycenie barwą żółtą) (CIE, 1986). Wyciek swobodny wykonano na mięśniu piersiowym prawym. Mięśnie zważono, umieszczono w podwójnych woreczkach strunowych, przy czym wewnętrzny woreczek został nacięty w celu swobodnego ściekania wody utraconej z mięśni. Przygotowane próby zawieszono w chłodni Hendi w temperaturze 4 °C przez 24 godziny. Po upływie czasu, mięśnie piersiowe ponownie zważono i obliczono procentową utratę wody. Podobnie, wykonano analizę zdolności zatrzymania wody metodą wodochłonności. Lewe mięśnie piersiowe i mięśnie nóg zmielono w podziale na grupy w wilku do mięsa Hendi. Następnie odważano próby o masie 0,295 – 0,305 g. Próby ułożono pomiędzy dwa kawałki bibuły Whatmann 1 i umieszczono pod obciążeniem 2 kg na 5 minut. Po tym czasie próby ponownie ważono. Z różnicy masy obliczono procentową utratę wody.

Za pomocą teksturomierza Texture Analyzer TA.XT plus C Stable Micro Systems wykonano pomiary jędrności mięśni piersiowych surowych i gotowanych. Mięśnie piersiowe przygotowano jako próbki o wymiarach 1 × 1 cm. Próby gotowano w łaźni wodnej W410E Labo Play w temperaturze 80 °C przez 40 minut. Test Warnera-Bratzlera przeprowadzono przy użyciu płaskiego i trójkątnego noża, a prędkość testu wynosiła 1,50 mm/s. Próby umieszczono na wytrzymałej platformie. Za pomocą uchwytów szczękowych Volodkevicha zbadano jędrność gotowanych próbek mięśni piersiowych przy prędkości testu 2,00 mm/s. Urządzenie TA.XT plus C było wyposażone w ogniwo obciążnikowe 50 kg. Analizy wykonano zgodnie z metodą opisaną przez Gornowicz i in. (2018) oraz Guzman i in. (2021).

Zmielone próby mięśni piersiowych oraz nóg poddano analizie składu chemicznego przy użyciu aparatu FoodScan FOSS ze spektrofotometrią transmisyjną w bliskiej podczerwieni. Wykonano analizę zawartości białka, kolagenu, soli, tłuszczu śródmięśniowego oraz wody.

Analizę składu tuszek kaczych oraz jakościowych cech fizykochemicznych wykonano w 12 powtórzeniach w każdej z grup.

3.2.5. Ekonomia produkcji kaczek rzeźnych

W doświadczeniu nr 2 wykonano szacowanie efektywności ekonomicznej produkcji kaczek rzeźnych żywionych w oparciu o kiszonki. Na podstawie danych dotyczących spożycia paszy i masy tuszek kaczych oszacowano ekonomikę produkcji. Koszt pełnoporcjowej mieszanki paszowej oraz kiszonek z wysłodków buraczanych i całych roślin kukurydzy obliczono z uwzględnieniem rzeczywistego ich pobrania przez kaczki. Komercyjna mieszanka paszowa typu starter kosztowała 2,88 zł za 1 kg, a granulatu typu grower – 2,84 zł za 1 kg. Cena kiszonki z wysłodków buraczanych wynosiła 83,39 zł za 1 tonę, a kiszonki z całych roślin kukurydzy 220,00 zł za 1 tonę.

Przyjęto, że koszty paszy w całej produkcji stanowiły 70%. Obliczono poszczególne składowe koszty oraz całkowite koszty produkcji. Na podstawie masy tuszek obliczono cenę za tuszkę kaczą, biorąc pod uwagę cenę w lokalnej sprzedaży bezpośredniej na dzień 24 października 2023 roku – 21,84 zł za 1 kg tuszki kaczki. Cenę wybrano na podstawie ofert z hurtowni spożywczej (<https://hurtownia-spozywcza.pl>). Zysk z produkcji kaczek oszacowano na podstawie różnicy kosztów produkcji i cen tuszek kaczych. Kwoty oszacowane podano w formie brutto zakładając 8 % VAT.

3.2.6. Analiza statystyczna

Do obliczeń statystycznych danych liczbowych pozyskanych w obu doświadczeniach użyto program Statistica, wersja 13.3.0 TIBCO Software. Obliczono wartości średnie i standardowy błąd średniej (SEM). Zastosowano jednoczynnikową analizę wariancji, stosując model statystyczny: $Y_f = \mu + C_f + e_f$,

gdzie Y_f jest zmienną zależną; μ jest średnią ogólną; C_f to zmienna grupująca (f w doświadczeniu 1: mieszanka paszowa pełnoporcjowa – kontrolna *ad libitum*; pełnoporcjowa mieszanka paszowa zmieszana z kiszoną z wysłodków buraczanych w proporcji 70:30 *ad libitum*; mieszanka paszowa pełnoporcjowa + kiszonka z wysłodków buraczanych *ad libitum*; f w doświadczeniu 2: mieszanka paszowa pełnoporcjowa – kontrolna; ograniczona mieszanka paszowa pełnoporcjowa + kiszonka z wysłodków buraczanych *ad*

libitum; ograniczona mieszanka paszowa pełnoporcjowa + kiszonka z całych roślin kukurydzy *ad libitum*; e_f, błąd resztkowy).

Statystycznie istotne różnice między grupami weryfikowano za pomocą testu Tukey'a, przy założeniu wartości $P < 0,05$.

3.3. WYNIKI

3.3.1. Wyniki produkcyjne kaczek rzeźnych

Doświadczenie 1 – Tabela 2., publikacja 1

W 28. dniu odchowu wykazano statystycznie istotnie większą masę ciała kaczek z grupy kontrolnej (1.1) niż w grupach doświadczalnych, w których zadawano kiszonkę. Jednocześnie, w grupie 1.3, gdzie kaczki miały dowolny dostęp do kiszonki z wysłodków buraczanych, stwierdzono najmniejszą masę ciała ($P < 0,001$). Jednakże, końcowa masa ciała była podobna we wszystkich grupach ($P = 0,073$). W pierwszym okresie odchowu (od 1. do 28. dnia) tempo wzrostu kaczek w grupie 1.1 i 1.2 było istotnie większe niż w grupie 1.3 ($P < 0,001$). W drugim okresie odchowu (od 29. do 49. dnia) wykazano statystycznie istotnie większe tempo wzrostu w grupie 1.3 niż w pozostałych grupach ($P < 0,001$). Przyrosty masy ciała kaczek w pierwszym etapie odchowu w grupie 1.1 były istotnie większe niż w pozostałych, a w grupie 1.3 – statystycznie istotnie najmniejsze ($P < 0,001$). W drugim okresie odchowu, podobnie – kaczki z grupy 1.3 charakteryzowały istotnie większe przyrosty masy ciała w porównaniu do pozostałych grup ($P < 0,001$).

Analizując spożycie paszy w pierwszych 28 dniach odchowu, istotnie większy wskaźnik stwierdzono w grupie 1.2, gdzie zadawano zmieszaną paszę pełnoporcjową z kiszonką z wysłodków buraczanych, niż w grupie 1.1 i 1.3 ($P < 0,001$). W kolejnych dwóch tygodniach (dni 29 – 49) kaczki z grupy 1.3 pobierały istotnie mniej paszy ($P < 0,001$), podobnie jak w całym okresie odchowu (od 1. do 49. dnia) w porównaniu do pozostałych grup ($P < 0,001$). Przez 4-tygodniowy okres odchowu (dni 1 – 28), w grupie kontrolnej (1.1) wykazano istotnie mniejszy współczynnik wykorzystania paszy na 1 kg przyrostu masy ciała niż w grupach doświadczalnych ($P < 0,001$). Z kolei w drugim okresie odchowu (od 29. do 49. dnia), jak i za cały okres odchowu mniejszy współczynnik wykorzystania paszy stwierdzono w grupie 1.3. W grupie 1.3 stwierdzono również istotnie większy europejski wskaźnik rzeźny ($P < 0,001$) w porównaniu do pozostałych grup.

Doświadczenie 2 – Tabela 3., publikacja 2

Analogicznie do doświadczenia 1, w 28. dniu odchowu kaczek wykazano istotnie większą masę ciała ($P < 0,001$) w grupie kontrolnej (2.1) niż w grupach doświadczalnych, w których zadawano kiszonkę z wysłodków buraczanych (2.2) i całych roślin kukurydzy (2.3). Tempo wzrostu w pierwszym okresie odchowu (od 1. do 28. dnia) w grupie 2.1 było istotnie większe ($P = 0,001$) niż w grupach doświadczalnych, natomiast w drugim okresie odchowu (od 29. do 49. dnia) było istotnie mniejsze ($P = 0,022$) w porównaniu do grupy 2.3. Obliczając przyrosty masy ciała, w pierwszych czterech tygodniach, stwierdzono istotnie większy wskaźnik ($P < 0,001$) w grupie 2.1 niż w grupach 2.2 i 2.3.

Spożycie paszy w grupie 2.1 było statystycznie istotnie największe, z kolei w grupie 2.3, gdzie stosowano kiszonkę z kukurydzy, wskaźnik ten był istotnie najmniejszy ($P < 0,001$) – w pierwszym okresie odchowu. W drugim okresie odchowu, stwierdzono mniejsze spożycie paszy ($P < 0,001$) w obu grupach doświadczalnych niż w grupie 2.1. Podobne zależności stwierdzono w całym okresie odchowu kaczek tj. od 1. do 49. ($P < 0,001$). Porównując spożycie kiszonki między grupami (2.2 i 2.3), wykazano istotnie mniejsze spożycie paszy pełnoporcjowej ($P < 0,05$) we wszystkich okresach utrzymania w grupie 2.3, a jednocześnie istotnie większe spożycie kiszonki ($P < 0,001$) z kukurydzy w porównaniu do grupy 2.2., gdzie zadawano kiszonkę w wysłodków buraczanych. Współczynnik wykorzystania paszy na 1 kg przyrostu masy ciała w grupie 2.1 był statystycznie istotnie większy niż w grupach doświadczalnych w pierwszych 4 tygodniach odchowu ($P < 0,001$). Od 29. do 49. dnia odchowu stwierdzono istotnie mniejszy współczynnik wykorzystania paszy ($P = 0,020$) w grupie 2.3 w porównaniu do grupy 2.1. Biorąc pod uwagę cały okres odchowu, istotnie mniejszy współczynnik wykorzystania paszy ($P = 0,002$) charakteryzował obie grupy kaczek żywionych paszą pełnoporcjową i kiszonką (2.2 i 2.3) w porównaniu do grupy, która otrzymywała wyłącznie komercyjną mieszankę pełnoporcjową (2.1). Efektywność produkcji wyrażona europejskim współczynnikiem efektywności produkcji oraz europejskim wskaźnikiem wydajności rzeźnej był istotnie większy ($P = 0,009$; $0,030$, kolejno) w grupie 2.3, w której zadawano kiszonkę z całych roślin kukurydzy, w porównaniu do grupy kontrolnej.

3.3.2. Wydajność rzeźna i skład tuszek kaczek rzeźnych

Doświadczenie 1 – Tabela 3., publikacja 1

Wydajność rzeźna kaczek była podobna ($P > 0,05$) we wszystkich grupach i wynosiła od 67,99% do 70,35% - bez podrobów oraz od 73,73% do 75,86% z podrobami. Masa żołądka

mięśniowego, wyrażona w 100 g masy tuszki z podrobami, w grupie 1.3, w której zadawano oddzielnie kiszonkę z wysłodków buraczanych była istotnie mniejsza ($P=0,033$) w porównaniu do grupy 1.2, która otrzymywała mieszankę pełnoporcjową zmieszaną z kiszonką z wysłodków buraczanych. Wykazano istotnie większą masę szyi ($P=0,045$) w grupach 1.1 i 1.2 w porównaniu do grupy 1.3. Istotnie większa masa skóry z tłuszczem podskórnym ($P=0,009$) charakteryzowała grupę 1.3 w porównaniu do pozostałych grup. Stwierdzono istotnie większą masę skrzydeł ze skórą ($P=0,011$) w grupie 1.2 w porównaniu do grupy 1.3.

Doświadczenie 2 – Tabela 4., publikacja 2

Wydajność rzeźna kaczek we wszystkich grupach wynosiła od 67,96% do 68,80% - z podrobami i 73,53 – 75,76% bez podrobów ($P>0,05$). Masa wątroby, wyrażona w 100 g masy tuszki z podrobami, była statystycznie istotnie większa ($P=0,046$) w grupie kontrolnej (2.1) w porównaniu do grup doświadczalnych (2.2 i 2.3), w których kaczki żywiono z udziałem kiszonki z wysłodków buraczanych lub całych roślin kukurydzy. Pozostałe cechy nie różniły się statystycznie istotnie ($P>0,05$).

3.3.3. Jakościowe cechy fizykochemiczne mięśni piersiowych i nóg kaczek rzeźnych

Doświadczenie 1 – Tabela 4., publikacja 1

Cechy jakościowe mięśni piersiowych, wyrażone wartością pH, zdolnością utrzymania wody, barwą oraz teksturą, nie różniły się statystycznie istotnie między grupami ($P>0,05$). Wykazano istotnie większą zawartość białka ($P<0,001$) i tłuszczu śródmięśniowego ($P=0,002$) w mięśniach piersiowych z grupy 1.1 w porównaniu do grup 1.2 i 1.3. Zawartość soli w mięśniach piersiowych z grupy 1.1 była istotnie większa ($P=0,017$) niż w grupie 1.3. Jednocześnie, stwierdzono mniejszą zawartość wody ($P<0,001$) w grupie 1.1 niż w grupach doświadczalnych.

W mięśniach nóg kaczek z grupy 1.1 stwierdzono istotnie mniejszą wodochłonność ($P<0,001$) w porównaniu do grup 1.2 i 1.3, natomiast nie stwierdzono statystycznie istotnych różnic w barwie ($P>0,05$). Analizując skład chemiczny mięśni nóg, wykazano istotnie mniejszą zawartość białka ($P<0,001$) i większą soli ($P<0,001$) w grupie 1.2 w porównaniu do pozostałych grup. W grupie 1.1 stwierdzono większą zawartość kolagenu ($P<0,001$) niż w pozostałych grupach. Grupa 1.3 charakteryzowała się istotnie mniejszą zawartością tłuszczu śródmięśniowego ($P<0,001$) i większą zawartością wody ($P<0,001$) w mięśniach nóg w porównaniu do grup 1.1 i 1.2.

Doświadczenie 2 – Tabela 5., publikacja 2

Podobnie jak w doświadczeniu 1., w przypadku wartości pH, barwy i zdolności utrzymania wody w mięśniach piersiowych kaczek, stwierdzono taką samą zależność ($P > 0,05$). Z kolei, w mięśniach nóg kaczek z grupy 1.1 wykazano istotnie mniejsze wysycenie barwą ($P = 0,045$) w porównaniu do grupy 1.3. Korzystnie, mniejszą utratę wody ($P < 0,001$) w mięśniach nóg stwierdzono w grupach doświadczalnych w porównaniu do grupy 1.1.

3.3.4. Ekonomika produkcji kaczek

Doświadczenie 2 – Tabela 6., publikacja 2

W grupie 2.1 stwierdzono, iż koszt zakupu pełnoporcjowej mieszanki paszowej typu starter i grower był istotnie większy ($P < 0,001$) niż w grupach doświadczalnych, przy czym najniższe koszty wykazano w grupie 2.3. Koszty żywienia kiszoną z całych roślin kukurydzy były istotnie większe ($P < 0,001$) w grupie 2.3 niż w grupie 2.2, w której zadawano kiszone wysłodki buraczane. Wykazano istotnie większy całkowity koszt paszy ($P < 0,001$) zadawanej kaczkom z grupy 2.1 w porównaniu do grup doświadczalnych żywionych z udziałem kiszonek, uwzględniając najmniejszy koszt w grupie 2.3 w porównaniu z grupami 2.1 i 2.2. Podobne zależności oszacowano i stwierdzono istotne różnice w przypadku pozostałych kosztów ($P < 0,001$) przyjmując, iż 70% kosztów ogółem stanowiły koszty zakupu paszy. Wykazano, istotnie większy zysk ($P < 0,001$) z potencjalnej sprzedaży tuszek kaczyc dla grupy 2.3 w porównaniu do pozostałych grup. Jednocześnie w grupie kontrolnej 2.1 stwierdzono istotnie najmniejszy zysk ($P < 0,001$) w porównaniu do grup 2.2 i 2.3.

3.4. DYSKUSJA

3.4.1. Wyniki produkcyjne kaczek rzeźnych

Śmiertelność ptaków, w badaniach własnych, była na poziomie 3,33 – 5,00% w poszczególnych grupach. Na brakowania zdrowotne i upadki w pierwszym tygodniu odchowu miała wpływ jakość piskląt, co zapewne było wynikiem czynników okołolęgowych.

Skład chemiczny mieszanek paszowych przedstawionych w **publikacji 1**, które zadawano kaczkom rzeźnym, był zbliżony do tych, opisanych w zaleceniach żywieniowych dla kaczek (Adamski i Rutkowski, 2018). W przypadku mieszanki paszowej pełnoporcjowej stwierdzono większą zawartość białka w porównaniu do mieszanej paszy z grupy 1.2. Różnica ta wynikała z zastąpienia 30% komercyjnego granulatu kiszonką z wysłodków buraczanych, które charakteryzowały się zawartością białka na poziomie około 11% w 1 kg suchej masy. Wpływ kiszonki był również związany ze zwiększoną zawartością włókna surowego. Zgodnie z zaleceniami, kaczki rzeźne powinny otrzymywać paszę zawierającą minimalnie 18% białka w paszy typu starter lub nawet 15% w paszy typu grower, w przeliczeniu na 1 kg paszy o zawartości suchej masy wynoszącej 88%.

W badaniach własnych, prezentowanych w **publikacji 2**, stwierdzono, że kiszone wysłodki buraczane wyróżniały się wysoką zawartością białka i niską zawartością tłuszczu w porównaniu do kiszonki z całych roślin kukurydzy. Skład chemiczny kiszonek może różnić się w zależności od wielu czynników, takich jak metoda zakiszania, stosowanie inokulantów bakteryjnych związanych z fermentacją czy termin zbioru materiału wyjściowego (Hameleers i in., 1999). Dlatego też, stosowanie kiszonek w żywieniu drobiu wymaga rozważnego podejścia z uwagi na zmienność składników odżywczych tych pasz objętościowych i konieczność dostosowania technologii do ich jakości i powtarzalności.

W **publikacji 1** wykazano istotny wpływ stosowania kiszonki z wysłodków buraczanych na wyniki produkcyjne kaczek. W 28. dniu odchowu kaczki z grupy 1.1 charakteryzowała istotnie większa masa ciała, co było spowodowane istotnie większą ilością białka (223,80 g/kg suchej masy) w komercyjnej paszy granulowanej niż w pozostałych grupach. W grupie 1.3, pasza pełnoporcjowa była zadawana ilościowo w ograniczony sposób, co również uzasadnia uzyskane wyniki. Również, pobranie białka z paszy pełnoporcjowej było większe w grupie 1.1 niż w 1.2, a w grupie 1.3 pobranie wynosiło 539,85 g/kg suchej masy – nawiązując do ograniczonego zadawania paszy. W badaniach Kokoszyńskiego i in. (2014), gęsi żywiono mieszanką paszową metodą ograniczoną, a także kiszonką z kukurydzy. Cytowani

autorzy wykazali również mniejsze przyrosty masy ciała. Podobne wyniki uzyskali Bochno i Brzozowski (1992), którzy żywili gęsi białe włoskie metodami żywienia ograniczonego lub *ad libitum*.

W prezentowanych badaniach (**publikacja 1**), wykazano korzystny wpływ żywienia ograniczonego paszą pełnoporcjową i dowolnego kiszonką z wysłodków buraczanych (grupa 1.3) na spożycie paszy oraz jej współczynnik wykorzystania w stosunku do przyrostów masy ciała. Było to związane z ograniczeniem zadawania paszy oraz potencjalnie mniejszym jej rozsypywaniem i pozostawianiem niedojadów. Kaczki po wyjedzeniu komercyjnej paszy granulowanej pobierały kiszonkę z wysłodków buraczanych. Stwierdzono proporcjonalne pobranie paszy do kiszonki: w dniach 1 - 28 proporcja wynosiła 70,38:29,62%, a w dniach 29 - 49: 72,89:27,11%. W całym odchowcie proporcja pobrania mieszanki pełnoporcjowej i kiszonki wynosiła 72,03:27,97. Wyniki te były zbliżone do wyników w grupie 1.2, gdzie zastosowano 70% paszy pełnoporcjowej i 30% kiszonki. Jednakże, porównując wyniki grupy 1.2 z 1.3, wykazano, że ograniczone zadawanie granulatu i możliwość wyboru rodzaju paszy przez kaczki, miało korzystny wpływ na mniejsze o 2,23 kg pobranie paszy, a także mniejszy współczynnik wykorzystania paszy o 0,89 kg/kg przyrostu masy ciała. Kaczki uzupełniały zapotrzebowanie w składniki pokarmowe poprzez spożycie kiszonki z wysłodków buraczanych.

W pierwszym okresie odchowu w **doświadczeniu 1**, wykazano większy wskaźnik konwersji paszy oraz mniejsze przyrosty masy ciała kaczek. Stwierdzono, iż mogło być to spowodowane nadmierną ilością włókna w paszy u młodych kaczek, które, jak stwierdzili Jamroz i in. (2001), może mieć negatywny wpływ na aktywność perystaltyczną układu pokarmowego. W drugim okresie odchowu, w badaniach własnych, wykazano poprawę wyników produkcyjnych kaczek żywionych z udziałem kiszonki. Może być to związane z tym, że kaczki w grupie 1.3 były przyzwyczajone do spożywania większej ilości kiszonek, a tym samym włókna (z racji ograniczonej dostępności paszy pełnoporcjowej). Dong i Thu (2021) ocenili strawność aminokwasów u kaczek różnych ras żywionych paszą z młótem browarnianym. W badaniach prowadzono odchów mieszańców towarowych kaczek Super-Meat i kaczek piżmowych. Cytowani autorzy wykazali istotnie większą strawność włókna, w tym NDF. Wnioskowano, iż mieszańce kaczek piżmowych spożywały więcej paszy objętościowej co miało wpływ na dostosowanie trawienia błonnika i paszy, którą charakteryzowała niższa jakość, w porównaniu do mieszańców kaczek Super-Meat.

Tien i in. (2013) analizowali możliwość zastąpienia paszy skomponowanej z otrąb ryżowych poprzez zastosowanie kiszonki z pseudołodyg banana (liście i osłonki ułożone

w formie pnia) i kolokazji jadalnej (taro) w żywieniu kaczek. Autorzy wykazali mniejsze spożycie suchej masy. Konwersja suchej masy paszy i przyrosty masy ciała kaczek uległy poprawie, na skutek zastąpienia paszy z otrębami ryżowymi kiszonką z roślin banana i taro do poziomu 30-40% w dawce pokarmowej kaczek. Również, Ty i in. (2011) stwierdzili korzystny wpływ zastąpienia otrębów ryżowych i rzęsy przez kiszone liście taro. W badaniach tych, wykazano mniejsze pobranie suchej masy, przy czym zarejestrowano większe przyrosty masy ciała i poprawę wykorzystania paszy przez ptaki. W badaniach stwierdzono także, że stosowanie kiszonki zapewniło wyższą wartość odżywczą niż standardowa mieszanka paszowa zbilansowana w oparciu o otręby ryżowe i liście rzęsy. Podobnie, w badaniach prezentowanych w **publikacji 1**, pobranie suchej masy zmalało w grupach żywionych z kiszonką, wykazano również poprawę wskaźników produkcyjnych.

Martin i in. (2020) stwierdzili, iż różne strategie żywieniowe mają istotny wpływ na wyniki produkcyjne kaczek. Porównując żywienie restrykcyjne i metodę *ad libitum*, wykazano proporcjonalne przyrosty masy ciała kaczek oraz wskaźniki pobrania paszy. Metoda ograniczonego żywienia może mieć wpływ na efektywne wykorzystanie składników odżywczych przez kaczki. W związku z tym stwierdzono, że ograniczenie dostępu do komercyjnej paszy dla kaczek w badaniach własnych (**publikacja 1**) przyczyniło się do uzyskania korzystnego współczynnika wykorzystania paszy na 1 kg przyrostu masy ciała. Jednocześnie wykazano brak negatywnego wpływu na masę ciała kaczek poprzez umożliwienie im swobodnego dostępu do kiszonki z wysłodków buraczanych przy użyciu metody do woli. Sugeruje się, iż korzystny efekt był rezultatem żywienia w sposób umożliwiający kaczkom wybór. Arroyo i in. (2014) analizowali wpływ żywienia metodą wolnego wyboru i rodzaju zboża na wyniki produkcyjne kaczek. Autorzy wykazali, że żywienie metodą wolnego wyboru z użyciem kukurydzy miało wpływ na obniżenie kosztów produkcji paszy, uwzględniając lokalne możliwości upraw rolnych, a także miało to pozytywny wpływ na środowisko poprzez minimalizację transportu materiałów paszowych i procesów przetwarzania pasz.

W **doświadczeniu 2** wykazano korzystny wpływ stosowania kiszonek, zarówno z wysłodków buraczanych i całych roślin kukurydzy, na wskaźniki produkcyjne. Efekt ten był zwłaszcza zauważalny w wykorzystaniu paszy względem przyrostów masy ciała kaczek, które żywiono mieszanką paszową w sposób ograniczony oraz dowolną metodą zadawania kiszonki z całych roślin kukurydzy (grupa 2.3). Kokoszyński i in. (2014) stosując żywienie gęsi Białej Kołodzkiej® w oparciu o ilościowe ograniczanie komercyjnej paszy i nieograniczoną ilość kiszonki z kukurydzy, wykazali mniejszą masę ciała na końcu odchowu. Jednakże gęsi

zrekompensowały ją w czasie 3-tygodniowego tuczu całym ziarnem owsa. Aslan i Öztürk, (2022) zaproponowali stosowanie pełnoporcjowej mieszanki paszowej z kiszonką z kukurydzy na poziomie 10%, 20%, 30% i 40% w produkcji krajowych gęsi tureckich. Cytowani autorzy wykazali brak negatywnego wpływu proponowanego żywienia na wyniki produkcyjne gęsi. Z kolei gęsi Holdobaki żywione mieszanką pełnoporcjową z kiszonką z całych roślin kukurydzy na poziomie 15%, 30% i 50% charakteryzowały się mniejszą końcową masą ciała oraz dziennymi jej przyrostami, a współczynnik wykorzystania paszy na 1 kg przyrostu masy ciała istotnie zmalał (Wang i in., 2023a). Podobne badania wykonali Wang i in. (2023b), gdzie zastosowano 15% i 30% kiszonki z całej rośliny kukurydzy w żywieniu gęsi Holdobagy. Wykazano istotnie większy wskaźnik pasza – przyrosty w grupie z 15% udziałem kiszonki w dawce pokarmowej oraz istotnie większe spożycie paszy w obu grupach doświadczalnych. Zdaniem cytowanych autorów było to spowodowane zwiększonym apetytem gęsi i smakowitością paszy.

Ridla i in. (2014) analizowali wpływ żywienia kaczek Mojosari Alabio w oparciu o kiszone otręby ryżowe, które zawierały od 30 do 60% zawartości wody. Stwierdzono, że kiszonka z 50% zawartością wody miała wpływ na większe przyrosty masy ciała i mniejsze spożycie wody, jednocześnie nie mając wpływu na wskaźniki pobrania paszy. Badania w zakresie stosowania kiszonek w produkcji kaczek prowadzono również przy użyciu kiszonych ziemniaków (Faruga i in., 1974; Bernacki i Kruszyński, 1991). W badaniach własnych przedstawionych w **publikacji 2**, wykazano istotnie mniejszą masę ciała kaczek żywionych z kiszonką w pierwszym okresie odchowu. Jednakże końcowa masa ciała była wyrównana we wszystkich grupach, co stanowi o zjawisku rekompensacji wzrostu. Na podstawie cytowanej wcześniej literatury, można stwierdzić, że kaczki w wieku 4 tygodni zrekompensowały swoją masę ciała, co potwierdzają wyniki w zakresie istotnie większego tempa wzrostu w drugim okresie odchowu.

Mniejsze spożycie paszy związane jest z większą zawartością włókna w dawce pokarmowej. Zdaniem Mateos i in. (2012) jest to uzależnione od ilości nierozpuszczalnego włókna i przystosowania układu pokarmowego różnych gatunków drobiu. Cytowani autorzy wykazali, iż 5% zawartość łusek owsa lub wysłodków buraczanych, jako źródła włókna, w paszy miało istotny wpływ na mniejszy współczynnik wykorzystania paszy na 1 kg przyrostu masy ciała kurcząt rzeźnych. Koresponduje to z wynikami badań własnych z **publikacji 2**, gdzie głównym źródłem włókna były kiszonki z wysłodków buraczanych lub całych roślin kukurydzy. Sugeruje się, iż pobranie paszy zawierającej dużą ilość włókna ma wpływ na dłuższe jej trawienie w układzie pokarmowym ptaków, a jednocześnie poprawę strawności

składników odżywczych. Podobnie, Kheravii i in. (2017) stwierdzili, iż kurczęta rzeźne żywione granulowaną paszą zawierającą grubo mieloną kukurydzę charakteryzował mniejszy współczynnik wykorzystania paszy i wyższa strawność składników pokarmowych.

Z kolei, mniejsze wskaźniki masy ciała kaczek żywionych z udziałem kiszonek (**publikacja 2**) w pierwszych czterech tygodniach odchowu mogły być spowodowane nieprzystosowanym jeszcze układem pokarmowym do trawienia wysokiej zawartości włókna. Zdaniem Jha i Mishra (2021) adaptacja układu pokarmowego do zwiększonej zawartości włókna paszowego wzrasta wraz z jego wielkością i rozwojem – wraz z wiekiem ptaków. Jednakże, w badaniach Hana i in. (2017) wykazano mniejszą masę ciała kaczek żywionych mieszanką paszową zawierającą 1,46% i 9,03% włókna surowego w porównaniu do grup, w których udział włókna w paszy wynosił od 3,09 do 7,52%. Cytowani autorzy stwierdzili, iż kaczki mają zdolność do adaptacji w szerokim zakresie zawartości włókna surowego w dawce pokarmowej.

3.4.2. Cechy tuszek i jakość mięsa kaczek rzeźnych

W **doświadczeniu 1** wykazano, że żywienie z możliwością dowolnego pobierania kiszonki przez kaczki z grupy 1.3 miało wpływ na większy udział i masę skóry z tłuszczem podskórnym oraz tłuszczu sadełkowego, jednocześnie mniejszy udział skrzydeł i żołądka mięśniowego w porównaniu z grupą 1.2. Stwierdzono, że efekt ten związany był z większym spożyciem tłuszczu – o 24,75 g/kg suchej masy paszy typu starter i o 54,43 g/kg suchej masy paszy typu grower. Puchajda i in. (1997) stwierdzili, że gęsi biłgorajskie i białe włoskie żywione kiszoną z trawy charakteryzował mniejszy udział skóry z tłuszczem podskórnym w porównaniu do gęsi żywionych kiszoną z koniczyny czerwonej. Cytowani autorzy sugerowali, że gęsi różnych ras lub pochodzenia mogą odmiennie wykorzystywać składniki pokarmowe zawarte w różnych paszach. Większy udział mięśni piersiowych i nóg oraz mniejszy udział skóry z tłuszczem podskórnym u 8-tygodniowych kaczek w typie Pekin stwierdzono w badaniach Bernackiego i Kruszyńskiego (1991), gdzie stosowano mieszankę paszową składającą się z 600 g komercyjnej paszy granulowanej, 300 g kiszonki z parowanych ziemniaków oraz 100 g suszonej trawy na 1 kg paszy, od 4. tygodnia odchowu. Cechy tuszek porównano z grupą kaczek, którym zadawano 800 g paszy dostępnej na rynku, 100 g kiszonki i 100 g suchej trawy lub pełnoporcjową mieszankę paszową.

Żywienie kaczek Pekin w oparciu o 5-, 10- 15- i 20% udział kiszonki z rdzenia rośliny sagownicy sagowej jako zamiennika dla otrębów ryżowych nie miało negatywnego wpływu na

wydajność rzeźną oraz jakość tuszek, a 20% kiszonki w dawce pokarmowej skutkowało większą ilością tłuszczu sadełkowego w tuszce, co opisano w badaniach Sulaimana i in. (2022). W badaniach własnych, prezentowanych w **publikacji 2**, wydajność rzeźna i cechy tuszek kaczek były podobne we wszystkich grupach, z wyjątkiem względnej masy wątroby w 100 g tuszki. Na mniejszą masę wątroby mogła wpływać kiszonka lub ograniczenie paszy pełnoporcjowej. Potencjalnie jest to związane z ilością paszy pobieranej przez kaczki. Wątroba odpowiada za wiele procesów metabolicznych, a jej wielkość jest proporcjonalna do aktywności enzymów wydzielanych przez komórki wątrobowe, tj. hepatocyty (Zaefarian i in., 2019).

Palo i in. (1995) porównywali metody żywienia, do woli i restrykcyjną, w odchowie kurcząt rzeźnych. Brojlery kurze mające stały dostęp do paszy charakteryzowała większa masa wątroby, trzustki, żołądka mięśniowego i jelit w porównaniu z kurczętami, u których zastosowano metodę żywienia ograniczonego. Zdaniem Mohiti-Asli i in. (2012) zawartość błonnika wpływa na mniejszą masę wątroby, szczególnie błonnika bogatego w celulozę, która jest jednym z głównych składników frakcji NDF i ADF. Koreponduje to do badań prowadzonych przez Akibę i Matsumoto (1978), Theandera i Amana (1980) oraz Rønna i in. (2022). Anugwa i in. (1989) stwierdzili również, że spożycie białka może wpływać na masę wątroby. W **doświadczeniu 2**, kaczki żywione z udziałem kiszonki, zarówno z wysłodków buraczanych, jak i całych roślin kukurydzy spożywały o około 2 kg mniej paszy niż kaczki z grupy kontrolnej, którą żywiono komercyjną mieszanką pełnoporcjową. Dodatkowo kaczki spożywały więcej ADF i NDF, co było zgodne z powyższymi ustaleniami i mogło skutkować niższą masą wątroby. Sugeruje się, iż może być to spowodowane większym spożyciem włókna i strukturą kiszzonek.

Analizując jakościowe cechy fizykochemiczne mięśni, przedstawione w **publikacji 2**, wykazano, że grupę 2.3. charakteryzowało mniejsze wysycenie barwą, wyrażone parametrem L^* w mięśniach nóg. Natomiast grupy 2.2 i 2.3. charakteryzowała mniejsza utrata wody z mięśni nóg w porównaniu do grupy 2.1. Umagiliya i in. (2022) ocenili, iż wysycenie barwą czerwoną (a^*) i żółtą (b^*) mięśni kaczek piżmowych były uzależnione od systemu chowu. Kaczki utrzymywane w systemie ekstensywnym charakteryzowały większe wartości a^* i mniejsze wartości b^* w porównaniu z kaczkami utrzymywanymi w grupie odchovu półintensywnego. Cytowani autorzy wskazali, że na barwę mięsa wpływa przede wszystkim zawartość barwników. Świeża pasza objętościowa jest bogata w karotenoidy, co może prowadzić do zmian w aspekcie wysycenia barwą, w tym żółtą. W **doświadczeniu 2**, spożycie kiszonki mogło mieć wpływ na jaśniejszą barwę mięśni.

Utrata wody – wodochłonność, którą wyrażono masą mięśni w czasie, w badaniach Umagiliya i in. (2022), była mniejsza w grupie kaczek w utrzymywanych systemie półintensywnym. Różnice w WHC mogły wynikać ze zróżnicowanego składu chemicznego tkanek mięśniowych. W cytowanych badaniach stwierdzono dodatnią liniową zależność między zawartością tłuszczu w mięsie a wodochłonnością, która stanowi krytyczny parametr jakości mięsa i wpływa na jego kruchość oraz soczystość, co jest związane z uwalnianiem wody z przestrzeni międzykomórkowych i denaturacją białek. W związku z wielowymiarowym współdziałaniem wielu czynników i zmiennością jakości mięsa, jak stwierdzili Oswell i in. (2021) oraz Jung i in. (2022), należy rozpatrywać cechy mięsa z uwzględnieniem czynników długoterminowych, takich jak żywienie czy cechy genetyczne oraz czynników krótkoterminowych związanych z okresem okołoubojowym.

Wyniki badań przedstawione w **publikacji 1** wskazują na istotne różnice między grupami pod względem zawartości białka, kolagenu, soli, tłuszczu śródmięśniowego i wody w mięśniach kaczek rzeźnych. Zdaniem Kokoszyńskiego i in. (2022) różnice w zawartości białka, tłuszczu i kolagenu mogą wpływać na wartość odżywczą i technologiczną mięsa kaczego. Sugeruje to różną efektywność przekształcania białka paszowego w białko mięśni. Jak stwierdzili Huo i in. (2021) pochodzenie kaczek wydaje się być najważniejszym czynnikiem wpływającym na zawartość białka w mięsie. Biesek i in. (2021) stwierdzili, że skład paszy wpływa na skład chemiczny mięsa, co można przypisać strawności poszczególnych składników odżywczych.

Zawartość kolagenu może służyć jako wskaźnik degradacji miofibryli w mięśniach, jak opisano w badaniach Starkey'a i in. (2017). Cytowani autorzy stwierdzili, że jest to związane z kruchością mięsa. Podobnie, Wang i in. (2022) wykazali, iż większa zawartość tłuszczu śródmięśniowego w mięśniach może również wpływać na kruchość mięsa. W badaniach własnych, prowadzonych w ramach **doświadczenia 1**, wykazano różnice między grupami pod względem zawartości tłuszczu śródmięśniowego w mięśniach kaczek. Różnice te nie były jednak statystycznie powiązane z teksturą mięsa. Dodatkowo nie zaobserwowano związku między spożyciem włókna z paszy a poziomem tłuszczu śródmięśniowego w mięśniach. Wyniki te sugerują, że strawność tłuszczu, jak wspomniano powyżej, była zróżnicowana w zależności od materiału paszowego.

3.4.3. Ekonomia produkcji kaczek rzeźnych

Sposób zarządzania stadem, zwłaszcza żywieniem drobiu, determinuje opłacalność produkcji, a udział kosztów żywienia stanowi od 65 do 70% (Ogunnusi i in., 2023). Cytowani autorzy stwierdzili, iż ograniczona metoda żywienia drobiu jest istotna w aspekcie optymalizacji pobierania białka przez ptaki oraz kontrolowania bilansu energetycznego pasz. W badaniach prezentowanych w **publikacji 2**, oszacowano, iż spożycie białka z paszy pełnoporcjowej w okresie 49-dniowego odchovu kaczek w grupie 2.1 wynosiło ponad 2,24 kg białka, w grupie 2.2 – 1,83 kg, a w grupie 2.3 – 1,66 kg. Jednocześnie, wykazano, iż najbardziej kaloryczną paszą była kiszonka z całych roślin kukurydzy. Zeng i in. (2015) stwierdzili, iż żywienie mieszanką paszową o najwyższej wartości energetycznej miało wpływ na przyrosty masy ciała i współczynnik wykorzystania paszy. Sugerowano, że jest to związane ze stosunkowo wysokim wykorzystaniem składników pokarmowych oraz wnioskowano, że optymalizacja zawartości białka czy kaloryczności mieszanek paszowych jest kluczowym zagadnieniem.

Wnioski uzyskane z **doświadczenia 2** wskazują, iż żywienie kaczek metodą opartą na ograniczaniu komercyjnej mieszanki pełnoporcjowej i zastosowaniu kiszonek z wysłodków buraczanych lub całych roślin kukurydzy metodą *ad libitum* miało korzystny wpływ na potencjalne obniżenie kosztów produkcji i zwiększenie zysku. Szacowany zysk dla grup doświadczalnych żywionych kiszonkami był większy o 7,94 – 10,68 zł na 1 sztukę w porównaniu do grupy kontrolnej. Wang i in. (2023a) oszacowali dochód z produkcji gęsi Holdobagy żywionych kiszonką z całej kukurydzy, przy proporcji 30% do 70% koncentratu paszowego na poziomie 1,92 \$ na 1 sztukę, a w grupie gęsi żywionych standardową paszą – 0,86 \$. Biesek i in. (2022a) wykazali, iż częściowe zastąpienie komercyjnej mieszanki paszowej ziarnem pszenicy miało wpływ na większy zysk ze sprzedaży tuszek kurcząt rzeźnych. Podobne wnioski w aspekcie ekonomiki wykazano po zakończonym odchowie kaczek (Biesek i in., 2022b). Niemniej jednak, zdaniem Różewicza i in. (2018) oraz Escobedo del Bosque'a i in. (2021), sposób żywienia i opłacalność produkcji, uwzględniając możliwość stosowania pasz objętościowych zielonych czy kiszonych, zależy od aktualnej sytuacji na rynku rolno-spożywczym związanej z restrukturyzacją sektora rolnego oraz zmianami w zakresie specjalizacji i koncentracji gospodarstw. W ostatnich latach można zauważyć trend wśród konsumentów, gdzie zyskiwała na popularności sprzedaż bezpośrednia surowców w lokalnych gospodarstwach.

3.5. PODSUMOWANIE

Na podstawie obu doświadczeń, można stwierdzić, iż stosowanie kiszonych wysłodków buraczanych i kiszonek z całych roślin kukurydzy w żywieniu kaczek rzeźnych jest uzasadnione.

Doświadczenie 1 (publikacja 1)

Wykazano korzystny wpływ zadawania komercyjnej mieszanki paszowej metodą ograniczoną oraz kiszunki z wysłodków buraczanych *ad libitum* na efektywność produkcji 7-tygodniowych kaczek rzeźnych Cherry Valley. Mniejszy współczynnik wykorzystania paszy, który stwierdzono w tej grupie wskazuje na bardziej efektywne wykorzystanie składników odżywczych w porównaniu z innymi grupami żywionymi tylko paszą pełnoporcjową lub mieszanką komercyjną zmieszaną z kiszunką z wysłodków buraczanych w proporcji 70:30. Stwierdzono, że metoda swobodnego wyboru obu rodzajów pasz, przy ograniczeniu paszy granulowanej, umożliwiła kaczkom lepsze dostosowanie układu pokarmowego do zawartości błonnika w pobieranej paszy, co potwierdzono istotnie wysokimi przyrostami masy ciała.

Sposób żywienia nie miał negatywnego wpływu na większość cech tuszek i jakościowych cech fizykochemicznych mięśni, za wyjątkiem zdolności zatrzymywania wody w mięśniach nóg. Badania te wskazują na potencjał strategii żywienia obejmującej zarówno mieszankę paszową komercyjną, jak i kiszunkę z wysłodków buraczanych dla kaczek. W praktyce, przyjęcie takiego sposobu żywienia mogłoby przynieść gospodarstwom korzyści ekonomiczne i wpływać na wykorzystanie materiałów paszowych pochodzących z gospodarstwa albo z lokalnych zakładów przetwórstwa rolno-spożywczego. Uzyskane wyniki wskazują na potencjalne korzyści wynikające z włączenia kiszunki z wysłodków buraczanych do żywienia kaczek rzeźnych, wspierając w ten sposób zarówno przemysł rolniczy, jak i zrównoważony rozwój.

Doświadczenie 2 (publikacja 2)

Podobnie jak w pierwszym doświadczeniu, żywienie kaczek rzeźnych mieszanką paszową pełnoporcjową metodą ograniczoną oraz kiszunką z wysłodków buraczanych lub z całych roślin kukurydzy miało korzystny wpływ w produkcji kaczek rzeźnych. W szczególności, stwierdzono niższy współczynnik wykorzystania paszy, bez negatywnego wpływu na wydajność rzeźną i jakość mięsa. Sugeruje się, iż większa masa wątroby kaczek żywionych paszą z udziałem kiszonek związana jest z sposobem żywienia, strukturą paszy

i zawartością błonnika. Z ekonomicznego punktu widzenia ta zróżnicowana metoda żywienia kaczek wykazała znaczne korzyści, w szczególności zmniejszenie potencjalnych kosztów produkcji o 22,71-28,85% i zwiększenie zysków ze sprzedaży tuszek kaczyc o 48,41-65,12%. Podejście to jest zgodne ze zrównoważonymi praktykami i preferencjami konsumentów, dlatego też można rekomendować zadawanie kiszzonek szczególnie dla gospodarstw drobnotowarowych. W drugim doświadczeniu, stwierdzono, że kiszzonka z całych roślin kukurydzy jest najbardziej optymalnym rozwiązaniem, ze względu na uzyskane wyniki produkcyjne. Niemniej jednak, żywienie kaczek rzeźnych z udziałem kiszonych wysłodków buraczanych również wpłynęło korzystnie na produkcję, w porównaniu do standardowego żywienia kaczek mieszanką paszową pełnoporcjową.

Prezentowane badania mogą stanowić praktyczne informacje dla producentów drobiu. Ponadto, analiza ekonomiczna pozwoliła ocenić opłacalność wdrożenia proponowanych praktyk żywieniowych w kontekście zrównoważonej produkcji drobiu. Wyniki mogą posłużyć jako podstawa do opracowania nowych wytycznych dotyczących żywienia kaczek rzeźnych, z korzyścią dla całego sektora drobiarskiego.

3.6. LITERATURA

- [1] Abdollahi M.R., Ravindran V., Svihus B., 2013. Pelleting of broiler diets: An overview with emphasis on pellet quality and nutritional value. *Animal Feed Science and Technology*, 179-1, 1-4, 1-23. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2012.10.011>
- [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] Akiba Y., Matsumoto T., 1978. Effects of force-feeding and dietary cellulose on liver lipid accumulation and lipid composition of liver and plasma in growing chicks. *The Journal of Nutrition*. 108(5), 739-748.
- [4] Anugwa F.O.I., Varel H.V., Dickson J.S., Pond W.G., Krook P., 1989. Effects of dietary fiber and protein concentration on growth, feed efficiency, visceral organ weights and large intestine microbial populations of swine. *The Journal of Nutrition*. 119(6), 879-886.
- [5] Arroyo J., Fortun-Lamothe L., Dubois J.P., Lavigne F., Bijja M., Molette C., 2014. The influence of choice feeding and cereal type (corn or triticale) during the finishing period on performance of mule ducks. *Poultry Science*. 93(9), 2220-2226. <https://doi.org/10.3382/ps.2013-03669>
- [6] Arslan C., İnal F., 2002. The Effects of Different Roughage Sources on Growth Performance and Carcass Properties in Native Geese *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*. 26(1), 91-96.
- [7] Aslan R., Öztürk E., 2022. Effects of maize silage feeding on growth performance, carcass characteristics, digestive system length, chemical composition, and meat quality of domestic geese. *Tropical Animal Health and Production*. 54, 325. <https://doi.org/10.1007/s11250-022-03313-5>
- [8] AVEC, 2023. Annual Report. <https://www.avec-poultry.eu/> (dostęp w dniu 26.09.2023).
- [9] Banaszak M., Kuźniacka J., Biesek J., Maiorano G., Adamski M., 2020. Meat quality traits and fatty acid composition of breast muscles from ducks fed with yellow lupin. *Animal*. 14(9), 1969-1975. <https://doi.org/10.1017/S1751731120000610>
- [10] Bernacki Z., Kruszyński J., 1991. The results of growing and slaughter of duck broilers due to potato silage rations. *ATR Bydgoszcz. Zeszyty Naukowe Zootechnika*. 19, 93-103.

- [11] Biesek J., Banaszak M., Adamski M., 2021. Ducks Growth, Meat Quality, Bone Strength and Jejunum Strength Depend on Zeolite in Feed and Long-Term Factors. *Animals*. 11(4), 1015. <https://doi.org/10.3390/ani11041015>
- [12] Biesek J., Banaszak M., Grabowicz M., Właźlak S., Adamski M., 2022b. Production Efficiency and Utility Features of Broiler Ducks Fed with Feed Thinned with Wheat Grain. *Animals*. 12(33), 3427. <https://doi.org/10.3390/ani12233427>
- [13] 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. *Poultry Science*. 100(7), 101170. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101170>
- [14] Biesek J., Banaszak M., Właźlak S., Adamski M. 2022a. The effect of partial replacement of milled finisher feed with wheat grains on the production efficiency and meat quality in broiler chickens. *Poultry Science*. 101(5), 101817. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2022.101817>
- [15] Biesiada-Drzazga B., Brodzik U., Wencsek E., 2018. Użytkowanie kaczek rzeźnych w Polsce. Cz. I. Cechy produkcyjne i czynniki je kształtujące. *Przegląd Hodowlany*. 2, 19-22.
- [16] Biswas S., Banerjee R., Bhattacharyya D., Patra G., Das A.K., Das S.K., 2019. Technological investigation into duck meat and its products - a potential alternative to chicken. *World's Poultry Science Journal*. 75(4), 1-12. <https://doi.org/10.1017/S004393391900062X>
- [17] Bochno R., Brzozowski W., 1992. The influence of quantitative limitation of diet in various growing periods on feed utilization and carcass yield of White Italian geese. *Acta Academiae Agriculturae Technicae Olstenensis*. 37, 131-140.
- [18] Churchil R.R., Jalaludeen A., 2022. Duck Farming: Opportunities, Constraints and Policy Recommendations. *Duck Production and Management Strategies*. 617–657.
- [19] CIE, Commission Internationale de l’Eclairage, 1986. Colorimetry. Publication CIE 15.2. Vienna, AU: Central Bureau of CIE.
- [20] Dong N.T.K., Thu N.V., 2021. Effect of breed and cecectomy on apparent amino acid digestibility in ducks fed diets containing brewers’ spent grains. *Livestock Research for Rural Development*. 33(1), 12.
- [21] El-Deek A.A., Abdel-Wareth A.A.A., Osman M., El-Shafey M., Khalifah A.M., Elkomy A.E., Lohakare J., 2020. Alternative feed ingredients in the finisher diets for sustainable broiler production. *Scientific Reports*. 17743. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-74950-9>

- [22] Escobedo del Bosuque C.I., Spiller A., Risius A., 2021. Who want schicken? Uncovering consumer preferences for produce of alternative chicken product methods. *Sustainability*.13(5), 2440. <https://doi.org/10.3390/su13052440>
- [23] Faruga A., Kozłowski M., Kozłowska H., 1974. Rapeseed oilmeal and potato silage in feeding duck broiler. *Roczniki Nauk Rolniczych*. B96, 61-73.
- [24] Gornowicz E., Lewko L., Pietrzak M., 2011. Kształtowanie się cech jakościowych mięsa kaczek w zależności od pochodzenia i metody chowu. *Postępy Nauk i Technologii Przemysłu Rolno-Spożywczego*. 66(1), 32-43.
- [25] Gornowicz E., Lewko L., Zwierzyński R., 2018. Goose meat texture analysis. *Wiadomości Zootechniczne*. LVI, 1, 42-52.
- [26] Guzman A.P., Trocino A., Susta L., Barbut S., 2021. Comparing three textural measurements of chicken pectoral fillets affected by severe wooden pectoral and spaghetti meat. *Italian Journal Animal Science*. 20(1), 465-471. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2021.1893134>
- [27] Hameleers A., Leach K.A., Offer N.W., Roberts D.J., 1999. The effects of incorporating sugar beet pulp with forage maize at ensiling on silage fermentation and effluent output using drum silos. *Grass and Forage Science*. 54(2), 322-335. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2494.1999.00184.x>
- [28] 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. *Poultry Science*. 96(12), 4333-4341. <https://doi.org/10.3382/ps/pex268>
- [29] Hao Y., Ji Z., Shen Z., Wu Y., Zhang B., Tang J., Hou S., Xie M., 2021. Effects of Total Dietary Fiber on Cecal Microbial Community and Intestinal Morphology of Growing White Pekin Duck. *Frontiers in Microbiology*. 12, 1-12. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.727200>
- [30] Huo W., Weng K., Gu T., Zhang Y., Zhang Y., Chen G., Xu Q., 2021. Effect of muscle fiber characteristics on meat quality in fast- and slow-growing ducks. *Poultry Science*. 100(8), 101264. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101264>
- [31] Ibrahim D., Abdelfattah-Hassan A., Arisha A.H., Abd El-Aziz R.M., Sherief W.R.I.A., Adli S.H., El Sayed R., Metwally A.E., 2020. Impact of feeding anaerobically fermented feed supplemented with acidifiers on its quality and growth performance, intestinal villi and enteric pathogens of mulard ducks. *Livestock Science*. 242, 104299. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2020.104299>

- [32] Jamroz D., Jakobsen K., Orda J., Skorupinska J., Wiliczekiewicz A., 2001. Development of the gastrointestinal tract and digestibility of dietary fibre and amino acids in young chicken, ducks, and geese fed diets with high amounts of barley. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*. 130(4), 643-652. [https://doi.org/10.1016/S1095-6433\(01\)00386-5](https://doi.org/10.1016/S1095-6433(01)00386-5)
- [33] Jamroz D., Rutkowski A., 2009. Physiological and environmental aspects in the nutrition of breeding ducks and geese. 17th European Symposium on Poultry Nutrition. World Poultry Science Association (WPSA). 115-124.
- [34] Jha R., Mishra P., 2021. Dietary fiber in poultry nutrition and their effects on nutrient utilization, performance, gut health, and on the environment: a review. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 12, 51. <https://doi.org/10.1186/s40104-021-00576-0>
- [35] Jung D.Y., Lee D., Lee H.J., Kim H.J., Jung J.H., Jang A., Jo C., 2022. Comparison of chicken breast quality characteristics and metabolites due to different rearing environments and refrigerated storage. *Poultry Science* 101(7), 101953. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2022.101953>
- [36] Keohavong B., Onphachanh X., 2015. Growth Performance of Muscovy Ducks fed Duckweed, Taro Silage and Water Hyacinth. *Souphanouvong Journal*. 1, 26-30.
- [37] Kheravii S.K., Swick R.A., Choct M., Wu S.B., 2017. Coarse particle inclusion and lignocellulose-rich fiber addition in feed benefit performance and health of broiler chickens. *Poultry Science*. 96(9), 3272-3281. <https://doi.org/10.3382/ps/pex123>
- [38] Kokoszyński D., Bernacki Z., Grabowicz M., Stańczak K., 2014. Effect of corn silage and quantitative feed restriction on growth performance, body measurements, and carcass tissue composition in White Kołuda W31 geese. *Poultry Science*. 93(8), 1993-1999. <https://doi.org/10.3382/ps.2013-03833>
- [39] Kokoszyński D., Wasilewski R., Stęczny K., Bernacki Z., Kaczmarek K., Saleh M., Wasilewski P.D., Biegniewska M., 2015. Comparison of growth performance and meat traits in Pekin ducks from different genotypes. *European Poultry Science*. 79. DOI: 10.1399/eps.2015.110
- [40] Kokoszyński D., Żochowska-Kujawska J., Kotowicz M., Skoneczny G., Kostenko S., Włodarczyk K., Stęczny K., Saleh M., Wegner M., 2022. The Composition of the Carcass, Physicochemical Properties, Texture and Microstructure of the Meat of D11 Dwarka and P9 Pekin Ducks. *Animals*. 12(13), 1714. <https://doi.org/10.3390/ani12131714>
- [41] Kuźniacka J., Biesek J., Banaszak M., Rutkowski A., Kaczmarek S., Adamski M., Hejdysz M., 2020. Effect of Dietary Protein Sources Substituting Soybean Meal on Growth

- Performance and Meat Quality in Ducks. *Animal*. 10(1), 133. <https://doi.org/10.3390/ani10010133>
- [42] Mao L., Hanlin Z., Tieshan X., Xuejuan Z., 2019. Effect of cassava foliage on the performance, carcass characteristics and gastrointestinal tract development of geese. *Poultry Science*. 98(5), 2133-2138. <https://doi.org/10.3382/ps/pey567>
- [43] Mao L., Xuejuan Z., Jun T., Tieshan X., Lihong G., Hanlin Z., 2020. Effects of cassava foliage on feed digestion, meat quality, and antioxidative status of geese. *Poultry Science*. 99(1), 423-429. <https://doi.org/10.3382/ps/pez522>
- [44] Martin E.A., Rafael E.J., Juan J.J., Velasco V.V., Valdez M.A.T., 2020. Feeding system and floor space on the growth, egg production, and reproductive performances of Itik Pinas Kayumanggi (*Anas platyrhynchos* L.) under semi-confinement system. *Philippine Journal of Veterinary and Animal Science*. 46(1), 20-30.
- [45] Mateos G.G., Jimenez-Moreno E., Serrano M.P., Lazaro R.P., 2012. Poultry response to high levels of dietary fiber sources varying in physical and chemical characteristics. *Journal of Applied Poultry Research*. 21(1), 156-174. <https://doi.org/10.3382/japr.2011-00477>
- [46] Mohiti-Asli M., Shivazad M., Zaghari M., Aminzadeh S., Rezaian M., Mateos G.G., 2012. Dietary fibers and crude protein content alleviate hepatic fat deposition and obesity in broiler breeder hens. *Poultry Science*. 91(12), 3107-3114. <https://doi.org/10.3382/ps.2011-02040>
- [47] Ogunnusi O.J., Toye C.O., Akinwemoye A.A., 2023. Feed management as a paradigm for profitable poultry enterprise. *Animal Research International*. 20(1), 4684-4693.
- [48] Oswell N.J., Gilstrap O.P., Pegg R.B., 2021. Variation in the terminology and methodologies applied to the analysis of water holding capacity in meat research. *Meat Science*. 178, 108510. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2021.108510>
- [49] Öztürk E., Aslan R., 2022. Effects of Maize Silage Feeding on Growth Performance, Carcass Characteristics, Digestive System Weight, Chemical Composition and Meat Quality of Domestic Geese. *Research Square*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1219522/v1>
- [50] Palo P.P., Sell J.L., Piquer F.J., Soto-Salanova M.F., Vilaseca L., 1995. Effect of early nutrient restriction on broiler chickens. 1. Performance and development of the gastrointestinal tract. *Poultry Science*. 74(1), 88-101. <https://doi.org/10.3382/ps.0740088>
- [51] Polski Komitet Normalizacyjny, 2002. PN-ISO 6496:2002. Pasze - Oznaczenie wilgotności i zawartości innych substancji lotnych. <https://www.pkn.pl/en> (dostęp wrzesień 2023).

- [52] Polski Komitet Normalizacyjny, 2002. PN-ISO 6865:2002. Pasze - Oznaczanie zawartości włókna surowego - Metoda z pośrednią filtracją. <https://www.pkn.pl/en> (dostęp wrzesień 2023).
- [53] Polski Komitet Normalizacyjny, 2005. PN-EN ISO 9831:2005. Pasze, produkty zwierzęce, kał i mocz - Oznaczanie wartości energetycznej brutto - Metoda bomby kalorymetrycznej. <https://www.pkn.pl/en> (dostęp wrzesień 2023).
- [54] Polski Komitet Normalizacyjny, 2005. PN-ISO 6492:2005. Pasze - Oznaczanie zawartości tłuszczu. <https://www.pkn.pl/en> (dostęp wrzesień 2023).
- [55] Polski Komitet Normalizacyjny, 2007. PN-EN ISO 16472:2007. Pasze - Oznaczanie zawartości włókna obojętnodetergentowego po traktowaniu amylazą (aNDF). <https://www.pkn.pl/en> (dostęp wrzesień 2023).
- [56] Polski Komitet Normalizacyjny, 2009. PN-EN ISO 13906:2009. Pasze - Oznaczanie zawartości włókna kwaśnodetergentowego (ADF) i ligniny kwaśnodetergentowej (ADL). <https://www.pkn.pl/en> (dostęp wrzesień 2023).
- [57] Polski Komitet Normalizacyjny, 2015. PN-EN ISO 20483:2014-02. Ziarno zbóż i nasiona roślin strączkowych - Oznaczanie zawartości azotu i przeliczanie na zawartość białka - Metoda Kjeldahla. <https://www.pkn.pl/en> (dostęp wrzesień 2023).
- [58] Puchajda H., Faruga A., Pudyszak K., 1997. Effect of silages on the yield and quality of meat from two lines of goose. *Polish Journal of Food and Nutrition Science*. 47(4), 141-147.
- [59] Ridla M., Allaily A., Nikmah F.K., Ramli N., 2014. Performance of Mojosari Alabio males ducks fed complete ration silage. *Animal Production*. 16(3), 176-182.
- [60] Rønn M., Bach Knudsen M.E., Kristensen N.B., Weisbjerg M.R., 2022. Can lignin and monomer composition of fibre describe the variation in iNDF in forages? *Animal Feed Science and Technology*. 284, 115157. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2021.115157>
- [61] Rozporządzenie Rady (WE) nr 1099/2009 z dnia 24 września 2009 r. w sprawie ochrony zwierząt podczas ich uśmiercania.
- [62] Różewicz M., Grabiński J., Sułek A., 2018. Possibilities and limitations in the use of legumes from domestic cultivation in poultry feed in the context of fodder protein deficit. *Polish Journal of Agronomy*. 35, 32-44. <https://doi.org/10.26114/pja.iung.364.2018.35.04>
- [63] Shields S., Greger M., 2013. Animal Welfare and Food Safety Aspects of Confining Broiler Chickens. *Animals*. 3(2), 386-400. <https://doi.org/10.3390/ani3020386>
- [64] Starkey C.P., Geesink G.H., Van den Ven R., Hopkins D.L., 2017. The relationship between shear force, compression, collagen characteristics, desmin degradation and

- sarcomere length in lamb biceps femoris. *Meat Science*. 126, 18-21. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.12.006>
- [65] Statistica 13.3.0. 2017. TIBCO StatSoft Polska, Kraków.
- [66] Sulaiman A., Wijayanto H., Anwar K., Sumantri E., Biyatmoko D., 2022. Performance and carcasses percentage of Pekin duck supplied with sago pith silage as an Energy source. *Tropical Wetland Journal*. 8(1), 22-28. <https://doi.org/10.20527/twj.v8i1.108>
- [67] Tanwiriah W., Nurlin J., Garnida D., Sujana E., 2019. Performance and Income Over Feed Cost of Rambon Duck that Given the Ration Containing Gold Snail (*Pomacea canaliculate*) and Noni Fruit (*Morinda citrifolia L*) Flour. *IOP Conference Series, Earth and Environmental Science*. 334, 012009. <http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/334/1/012009>
- [68] Theander O., Aman P., 1980. Chemical composition of some forages and various residues from feeding value determinations. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 31, 31-37. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740310106>
- [69] Tien D.T.M., Tran N.T.B., Hang B.P.T., Preston T.R., 2013. Silage of banana pseudo-stem and taro foliage as replacement for rice bran fed to common ducks. *Livestock Research of Rural Development*. 25-56.
- [70] Ty C., Borin K., Chanpheakdey S., Sina V., Buntho H., Preston T.R., 2011. Replacing rice bran and duckweed with ensiled Taro leaf-stem foliage (*Colocasia esculenta*) in diets of growing ducks. *Livestock Research of Rural Development*, 23(4), 92.
- [71] Umagiliya M.D., Bandara N., Jayasena D.D., Macelline S.P., Nawarathne S.R., Manjula P., 2022. Comparison of meat quality traits in Muscovy ducks reared under two different management systems. *Animal Industry and Technology*. 9(2), 65-77. <https://doi.org/10.5187/ait.2022.9.2.65>
- [72] Wang X., Li G., Liu Y., Yang Y., Wang C., Gong S., Zhu L., Lei H., Wang H., He D., 2023a. The effects of whole-plant silage maize as replacement commercial feed on the growth performance, carcass yield, relatively organ weight, blood biochemical, and economical traits in Holdobaki Goose. *Cogent Food and Agriculture*. 9(1), 2236825. <https://doi.org/10.1080/23311932.2023.2236825>
- [73] Wang X., Li G., Wang H., Liu Y., Yang Y., Wang C., Gong S., He D., 2023b. Feeding whole-plant ensiled corn stover affects growth performance, blood parameters, and Cecal microbiota of Holdobagy goose. *Frontiers in Veterinary Science*. 10, 1210706. <https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1210706>

- [74] Wang Y., Xia K., Wang X.N., Lin X., Liu J., Li Y.J., Lium X.L., Zhao W.J., Zhang Y.G., Guo J.H., 2022. Improvement of feed intake, digestibility, plasma metabolites, and lactation performance of dairy cows fed mixed silage of sugar beet pulp and rice straw inoculated with lactic acid bacteria. *Journal of Dairy Science*. 105(1), 269-280. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-20494>
- [75] Wasilewski R., Kokoszyński D., Włodarczyk K., 2023. Fatty Acid Profile, Health Lipid Indices, and Sensory Properties of Meat from Pekin Ducks of Different Origins. *Animals*. 13(13), 2066. <https://doi.org/10.3390/ani13132066>
- [76] Zaefarian F., Abdollahi M.R., Cowieson A., Ravidran V., 2019. Avian liver the forgotten organ. *Animals*. 9(2), 63. <https://doi.org/10.3390/ani9020063>
- [77] 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. *Poultry Science*. 94(3), 384-394. <https://doi.org/10.3382/ps/peu069>
- [78] Zhang Y., Qi S., Bao Q., Xu X., Cao Z., Bian Y., Wang Z., Zhang Y., Chen G., Xu Q., 2023. Analysis of growth performance and carcass and meat quality of different crossbreeds of Cherry Valley duck. *British Poultry Science*. 64(4), 476-482. <https://doi.org/10.1080/00071668.2023.2213652>
- [79] Ziółcki J., Doruchowski W., 1989. *Methods for the Evaluation of Meat Quality and Yield*. COBRD, Poznań, 1-12.

4. STRESZCZENIE

Zastosowanie kiszonek w żywieniu kaczek rzeźnych w aspekcie efektywności produkcji i jakości mięsa

mgr inż. Iwona Zaremba

Słowa kluczowe: kiszonka, kaczka, efektywność produkcji, mięso, jakość

Celem badań była ocena efektywności produkcji oraz składu tuszek i jakości mięsa kaczek rzeźnych Cherry Valley żywionych różnymi metodami przy zastosowaniu kiszonek z wysłodków buraczanych i całych roślin kukurydzy. Przeprowadzono 2 odchowu kaczek trwające 49 dni. W każdym doświadczeniu użyto 180 ptaków, które podzielono na 3 grupy, z uwzględnieniem 6 powtórzeń. W grupach kontrolnych zadawano mieszankę pełnoporcjową do woli. W doświadczeniu 1., grupy doświadczalne żywiono paszą komercyjną wymieszaną z kiszonymi wysłodkami buraczanymi w proporcji 70:30 lub ograniczoną mieszanką pełnoporcjową i kiszoną z wysłodków buraczanych metodą do woli. W doświadczeniu 2., kaczki w grupach doświadczalnych żywiono ograniczoną paszą i dowolną ilością kiszonki z wysłodków buraczanych lub całych roślin kukurydzy. Analizowano skład chemiczny pasz. Analizowano przyrosty masy ciała oraz wskaźniki spożycia paszy. W 49. dobie odchowu, do uboju wybrano po 12 ptaków z każdej z grupy. Wykonano dysekcję i analizowano cechy fizykochemiczne mięśni piersiowych i nóg, uwzględniając wartość pH, barwę, zdolność utrzymania wody i skład chemiczny mięsa. W doświadczeniu 2. obliczono wskaźniki ekonomiczne produkcji. Wykazano wpływ żywienia z udziałem kiszonych wysłodków buraczanych lub całych roślin kukurydzy na wyniki produkcyjne kaczek, a także na wybrane cechy tuszek i mięsa. Metoda żywienia ograniczonego paszą pełnoporcjową i kiszoną systemem do woli, miała istotnie korzystny wpływ na mniejsze wykorzystanie paszy na 1 kg przyrostów masy ciała kaczek. Podobnie, w drugim etapie badań, wykazano istotnie mniejsze spożycie paszy a także jej zużycia na 1 kg przyrostów masy ciała, przy czym zastosowanie kiszonki z kukurydzy miało korzystny wpływ na europejskie wskaźniki produkcji i wydajności rzeźnej. Obniżono potencjalne koszty produkcji kaczek średnio o 25,78%. Zwiększono potencjalny zysk ze sprzedaży bezpośredniej tuszek średnio o 56,77%. Kiszonki z całych roślin kukurydzy oraz wysłodków buraczanych, mogłyby być rekomendowane w odchowu kaczek rzeźnych, co również wpisuje się w aktualne trendy zrównoważonego rozwoju na rynku rolno-spożywczym.

5. ABSTRACT

The use of silage in broiler duck feeding in terms of production efficiency and meat quality

Iwona Zaremba, M.Eng.

Key words: silage, duck, production efficiency, meat, quality

The study aimed to assess the production efficiency, carcass composition and meat quality of Cherry Valley ducks fed with silage from beet pulp or whole maize plants. Two rearings of ducks lasting 49 days were carried out. In each experiment, 180 birds were used, divided into 3 groups with 6 repetitions. In the control groups, the *ad libitum* commercial diet was administered. In experiment 1, experimental groups were fed a 70:30 mix of commercial diet and silaged beet pulp or a restricted commercial diet and beet pulp silage *ad libitum*. In experiment 2, ducks in experimental groups were fed a restricted commercial diet and *ad libitum* beet pulp or whole maize plant silage. The chemical composition of feed was analyzed. Body weight gains and feed indicators were analyzed. On the 49th rearing day, 12 birds from each group were selected for slaughter. The carcasses were dissected, and the physicochemical characteristics of the pectoral and leg muscles were analyzed, considering the meat's pH value, color, water-holding capacity, and chemical composition. In experiment 2, economic indicators of production were calculated. The influence of feeding with ensiled beet pulp or whole maize plants on the production results of ducks and selected characteristics of carcasses and meat was demonstrated. The restricted feeding method of commercial diet and silage in an *ad libitum* system significantly affected lower feed utilization per 1 kg of duck body weight gain. Similarly, in the second stage of the research, significantly lower feed consumption and intake per 1 kg of body weight gain were demonstrated. At the same time, maize silage had a beneficial effect on European production and slaughter yield indicators. Production costs were reduced by an average of 25.78%. The profit from direct sales of carcasses increased by an average of 56.77%. Silage from whole maize plants and beet pulp could be recommended for broiler ducks, which is also in line with current trends in sustainable development in the agri-food market.

6. ZAŁĄCZNIKI

**6.1. KOPIE ARTYKUŁÓW NAUKOWYCH STANOWIĄCYCH CYKL PUBLIKACJI
ROZPRAWY DOKTORSKIEJ**

6.2. OŚWIADCZENIE AUTORA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

6.3. OŚWIADCZENIA WSPÓLAUTORÓW ARTYKUŁÓW NAUKOWYCH



Effect of beet pulp silage and various feeding methods on the performance and meat quality of broiler ducks

Iwona Zaremba, Małgorzata Grabowicz, Jakub Biesek*

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

ARTICLE INFO

Keywords:

Waterfowl
Semi-intensive system
Ensilage
Growth
Carcass composition

ABSTRACT

The study aimed to assess the growth performance and meat quality of ducks when fed diets either with or without beet pulp silage (BPS). A total of 180 Cherry Valley male ducks were reared for 49 days across two feeding periods (days 1–28 and 29–49) and were divided into three groups, each having six replicates. Group 100CD received a commercial diet (CD) *ad libitum*. Group 70CD:30BPS was given a mixture of CD and BPS in a 70:30 ratio, also *ad libitum*. Group rCD:alBPS followed a free-choice feeding approach, with a restricted CD (30% lower than the standard dose) and *ad libitum* access to BPS (double feeders). Slaughter yield and meat quality (pH, color, drip loss, water-holding capacity, texture, and chemical composition) were analyzed (12 birds per group). Group 100CD exhibited the highest body weight up to day 28, while rCD:alBPS had the lowest. During the first 28 days, rCD:alBPS showed a lower growth rate and weight gain, but from day 29 onwards, their growth rate surpassed that of the other two groups. Group 70CD:30BPS had the highest starter feed intake, while both 100CD and 70CD:30BPS showed the highest grower feed intake. Interestingly, rCD:alBPS demonstrated the lowest feed conversion rate since day 29 and throughout the entire rearing period, indicating efficient feed utilization. Additionally, the European Broiler Index was higher in the rCD:alBPS group, further supporting the benefits of this particular feeding regimen. As for carcass characteristics, rCD:alBPS showed higher relative weight of skin with subcutaneous and abdominal fat. Conversely, these ducks had lower weights for both gizzard and wings. The pectoral muscles from 100CD had higher protein, salt, and fat content but lower water content compared to the other groups. The water-holding capacity in leg muscles was lower in 100CD than in 70CD:30BPS and rCD:alBPS. Protein content in 100CD and rCD:alBPS was higher than in 70CD:30BPS. Collagen content was highest in 100CD, salt in 70CD:30BPS, fat in both 100CD and 70CD:30BPS, and water in rCD:alBPS. Overall, a free-choice feeding approach with a restricted diet and *ad libitum* access to BPS positively impacted feed conversion. The use of a limited diet led to better feed utilization. Moreover, the lack of negative effects on body weight gain and carcass characteristics suggests that ducks efficiently utilize nutrients from both feed and silage. This feeding method, which incorporates roughage, can be recommended for rearing ducks.

Abbreviations: ADF, acid detergent fiber; BW, body weight; BWG, body weight gain; CA, crude ash; CD, commercial (control) diet; CP, crude protein; DM, dry matter; EBI, European Broiler Index; EE, crude fat; EPEF, European Production Efficiency Factor; FCR, feed conversion ratio; FI, feed intake; GE, gross energy; GR, growth rate; IMF, intramuscular fat; NDF, neutral detergent fiber; BPS, beet pulp silage; SD, standard deviation; WHC, water holding capacity.

* Corresponding author.

E-mail address: jakub.biesek@pbs.edu.pl (J. Biesek).

<https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2024.115879>

Received 27 February 2023; Received in revised form 5 January 2024; Accepted 6 January 2024

Available online 11 January 2024

0377-8401/© 2024 The Author(s). Published by Elsevier B.V. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

1. Introduction

Beet pulp, a by-product of the sugar refining industry, is produced on a substantial scale, necessitating efficient management strategies from sugar producers. Over the years, continuous improvements have been made in the pulp production process, facilitating its use in animal nutrition (Sumińska and Sierakowska, 2019). Dry beet pulp contains between 9.7 and 11.2 MJ of metabolic energy, as well as 102.7 g of protein. Furthermore, its sweet taste has a positive impact on animal feed intake. While Kelly (1983) acknowledged the high nutritive value of beet pulp, he cautioned against its use for pigs or poultry due to its high crude fiber content. However, recent advancements in the understanding of dietary fiber's functionality and nature suggest that this issue is worth assessing. To explore the potential of beet pulp, Koschayev et al. (2019) added 20–50 g of dry beet pulp/kg, as fed, to a broiler chicken diet and observed positive effects on both growth performance and meat quality. Sumińska and Sierakowska (2019) also noted that beet pulp silage serves as valuable animal feed. Previous research has focused on the use of beet pulp silage in the diets of cattle (Castle et al., 1981; Wang et al., 2022a) and pigs (Scipioni and Martelli, 2001).

Kokoszyński et al. (2014) used restricted feed along with *ad libitum* maize silage in goose feeding and observed a beneficial effect on both the production and characteristics of the goose carcass. Similar conclusions were reported by Aslan and Ozturk (2022) and Karwowska et al. (2017), who focused on goose rearing using either maize silage or beet pulp. Ducks and geese possess a well-developed cecum, strong proventriculus, and gizzard, as well as highly active intestinal microbiota in both the cecum and large intestine. These features are associated with a greater capacity for fiber utilization from their diet (Zhang et al., 2013; Kokoszyński et al., 2014). Hao et al. (2021) indicated that ducks could also adapt to consuming higher levels of crude fiber in their feed (30.9–75.2 g/kg, as fed).

The literature regarding silage feeding to ducks is currently limited, making the presented research highly justified. Exploring the potential use of by-products like beet pulp has significant implications for sustainable development within the agri-food sector, particularly in duck rearing. Accordingly, this study aimed to conduct a comprehensive analysis of the chemical composition of beet pulp and various diets. It also sought to examine the effects of different feeding methods, including complete feed and beet pulp silage, on the performance characteristics of broiler ducks. Additionally, the study assessed the actual intake of ingredients from various feeds to provide valuable insights for optimizing feeding practices for these ducks.

2. Material and methods

The experiment was conducted in accordance with applicable regulations for the protection of animals used for scientific or educational purposes (EU, 2010; Polish Act, 2015). The study and its methods were carried out after obtaining approval from the Departmental Animal Welfare Team as well as obtaining permission from the Experimental Unit of the Bydgoszcz University of Science and Technology (No. 2/2022) (Bydgoszcz, Poland). All methods were carried out following the ARRIVE guidelines (Percie du Sert et al., 2020).

2.1. Animals and experimental design

A total of 180 one-day-old Cherry Valley male broiler ducklings, which lasted 49 days under semi-intensive conditions, were used for the study. The ducklings were divided into three groups, each containing six replicate pens with 10 birds in each pen (60 birds per treatment). These groups were randomly placed into each pen. Stocking density per 1 m² of the floor was up to 17 kg of livestock. The size of each pen covered an area of 2 m². All pens were constructed identically, featuring metal frames and stainless steel mesh. At the beginning of the rearing period, the ambient temperature—measured at the level of the ducks—averaged 26 °C and was lowered to

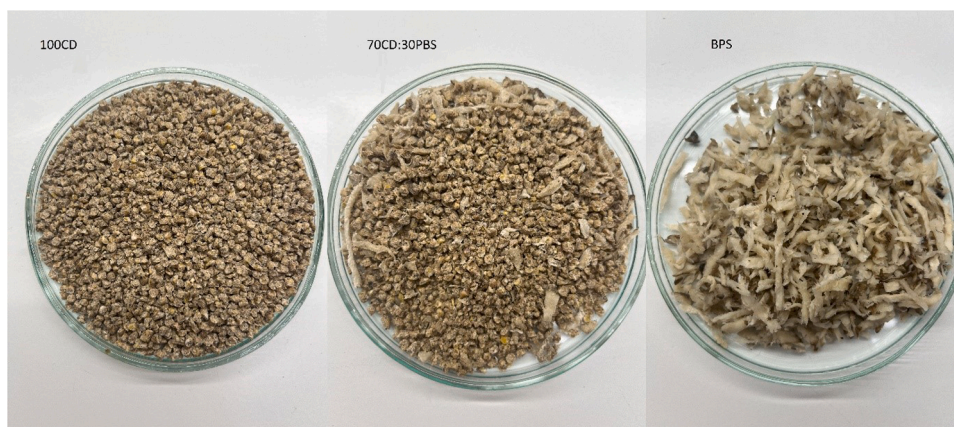


Fig. 1. Commercial diet (100CD), 70% commercial diet + 30% beet pulp silage mixed (70CD:30PBS), and beet pulp silage (BPS) used in the experiment.

20 °C by the end of the study. Up to week 4, the ducks had access to an additional heat source (30 °C, decreasing). The ducks were kept on bedding made of wheat straw. The environmental conditions had been previously described (Biesek et al., 2022).

The ducks had access to fresh water and feed throughout the study. Nipple drinkers (2/10 ducks) and feeders (with 7 cm of length allocated per duck) were provided. The feeding regimen was divided into two periods: a starter feed was given from day 1 to day 28, and a grower feed was administered from days 29 to 49. The commercial diet was in granulated form (isonitrogenous and isocaloric). Three feeding groups were established: Group 100CD received 100% commercial diet *ad libitum* (+ 0% beet pulp silage *ad libitum*); Group 70CD:30BPS had a mix of 70% commercial diet and 30% beet pulp silage, both provided *ad libitum*; and Group rCD:alBPS had a restricted commercial diet along with *ad libitum* beet pulp silage. The beet pulp silage was similar in size to the commercial feed pellets (Fig. 1). For Group rCD:alBPS, a free-choice feeding method was implemented, using double feeders. One feeder supplied the daily dose of commercial diet, while the other provided silage *ad libitum*. The restriction of the commercial diet was determined based on data from previous duck-rearing studies (Biesek et al., 2022). Accordingly, lower doses were calculated based on a diet intake of 300 g/kg, as fed. In this group, for the first three days, both the complete diet and silage were provided *ad libitum*. Starting from day 4, the daily commercial diet ration per pen averaged approximately 246 g at day 7, 602 g at day 14, 1077 g at day 21, 1947 g at day 28, 2244 g at day 35, 2351 g at day 42, and 2377 g at day 49. The beet pulp silage used in the study was obtained from a farm of a sugar producer (Kuyavian-Pomeranian Voivodship, Poland).

2.2. Chemical composition of feed

Dry matter (DM) analysis was conducted using the gravimetric method, specifically with a POL-EKO dryer (Włodzisław Śląski, Poland) in accordance with PN-ISO 6496:2002 standards (Polish Committee for Standardization, 2002). Crude ash (CA) was also analyzed through the gravimetric method as per PN-ISO 6496:2002 (Polish Committee for Standardization, 2002). Crude fat (EE) was assessed using the Soxhlet method with the SOXTEC SYSTEM HIT 1043 Extraction apparatus unit (Gemini BV, Apeldoorn, Netherlands), conforming to PN-EN ISO 6492:2005 standards (Polish Committee for Standardization, 2005a).

For crude protein (CP) measurement, the Kjeldahl method was employed using the Kjeltect™ 8400 Analyzer Unit and Kjeltect Sampler 8420 (FOSS, Hilleroed, Denmark). This complied with the PN-EN ISO 20483:2014–02 standards, with the protein value being nitrogen content multiplied by a factor of 6.25 (Polish Committee for Standardization, 2015).

Acid detergent fiber (ADF), inclusive of residual ash, was evaluated by the gravimetric method as stated in PN-EN ISO 13906:2009 (Polish Committee for Standardization, 2009). Neutral detergent fiber (NDF), which includes heat-stable amylase and residual ash, was analyzed using the gravimetric method in line with PN-EN ISO 16472:2007 (Polish Committee for Standardization, 2007) using the ANKOM 220 apparatus (Ankom, Macedon, NY).

Gross energy (GE) was determined using the KL-21 PLUS isoparabolic calorimeter (Precyzja-Bit PPHU Sp. Z o.o. Bydgoszcz, Poland) following the PN-EN ISO 9831:2005 standards (Polish Committee for Standardization, 2005b). The pH levels were assessed through the potentiometric method using the ORION 2 STAR pH meter (Thermo SCIENTIFIC, Waltham, USA).

Table 1

Chemical composition of diets and beet pulp silage.

Nutrients (g/kg DM) ¹	Starter diet (days 1–28)		Grower diet (days 29–49)		Beet pulp silage
	CD	70CD:30BPS	CD	70CD:30BPS	
	Gross energy (MJ/kg)	16.42 ±0.08	17.84 ±0.11	16.64 ±0.06	
Dry matter (g/kg, as fed)	868.06 ±3.12	707.00 ±8.14	877.46 ±1.39	661.36 ±18.72	197.57 ±13.59
Crude protein	223.80 ±2.66	218.53 ±4.80	211.85 ±6.02	203.44 ±2.06	110.65 ±2.47
Crude fat	37.67 ±0.57	33.93 ±1.03	36.43 ±1.07	33.66 ±0.73	2.99 ±0.46
NDF	176.01 ±1.98	234.97 ±2.86	174.13 ±2.25	233.16 ±3.66	470.89 ±2.47
ADF	60.11 ±3.73	76.21 ±2.27	53.57 ±5.06	66.07 ±6.18	248.10 ±6.69
Crude ash	48.84 ±1.01	47.74 ±1.50	62.18 ±2.27	61.64 ±1.46	53.27 ±5.18
pH	5.97 ±0.03	5.83 ±0.07	6.14 ±0.11	5.34 ±0.07	4.38 ±0.14

Results are presented as mean value (starter and grower, n = 12; beet pulp silage, n = 24) and standard deviation (± SD); CD, commercial diet; 70CD:30BPS, 70% of commercial diet and 30% of beet pulp silage mixed¹, ADF, acid detergent fiber; NDF, neutral detergent fiber; Starter feed: 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 sulfate. Grower feed: 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; lysine—9.30, 8.70 g/kg as fed (starter, grower, respectively); methionine—4.20, 3.70 g/kg as fed; threonine—7.20, 6.10 g/kg as fed; calcium—8.50, 8.10 g/kg as fed; total phosphorus—6.90, 6.60 g/kg as fed; sodium—1.70, 1.60 g/kg as fed; vitamin A—10,000 IU (both); vitamin D3—3000 IU (both); and vitamin E—25 IU (both).

Analyses were conducted for commercial diets ($n = 12$), mixtures of commercial diets with beet pulp silage at a 70:30 ratio ($n = 12$), and pure beet pulp silage ($n = 24$). Two rearing periods were considered for these analyses. Samples were collected on day 1 of rearing (starter feed) and day 29 of rearing (grower feed). All nutrient values were calculated per kg of DM, except for GE, calculated in MJ/kg of feed, and pH. The chemical composition of the diets and beet pulp silage are presented in [Table 1](#).

2.3. Growth performance

Ducks were individually weighed using a Radwag scale (Radom, Poland) with an accuracy of ± 0.01 g. Weighing was performed on day 1 of rearing and subsequently on days 28 and 49; these weights are referred to as BW. Feed intake (FI) was controlled by weighing both the provided and uneaten feed. When discussing the FI factor, possible losses in feed should be considered. Duck deaths were recorded. Viability was demonstrated in each group (%). Based on the data, the growth rate was calculated: $(GR = \frac{\text{Final body weight(g)} - \text{initial body weight(g)}}{0.5 \times (\text{initial body weight(g)} + \text{final body weight(g)})} \times 100 \%)$, body weight gain (BWG = Final body weight(g) – Initial body weight(g)), and feed conversion ratio ($FCR = \left(\frac{FI(\text{kg})}{BWG(\text{kg})} \right)$). Production efficiency indicators were calculated:

- the European Production Efficiency Factor ($EPEF = \frac{\text{Viability}(\%) \times \text{BWG}(\text{g})}{\text{Age}(\text{days}) \times \text{FCR} \left(\frac{\text{kg}}{\text{kg}} \right)} \times 100\%$),
- the European Broiler Index ($EBI = \frac{\text{Viability}(\%) \times \text{average daily gain}(\text{kg})}{\text{FCR} \left(\frac{\text{kg}}{\text{kg}} \right)} \times 100\%$).

Growth performance was calculated per pen unit ($n = 6$ replications per treatment).

2.4. Total nutrient intake

Based on the nutrient content per 1 kg of DM in both the starter (days 1–28) and grower (days 29–49) diets, the intake of various nutrients was calculated. These nutrients included DM, CA, EE, CP, NDF, and ADF.

2.5. The carcass composition measurements

After 49 days, male ducks were weighed, and 12 birds were selected from each group, choosing 2 per pen with body weights closely matching the average weight of their respective pens. Slaughter was carried out through decapitation, which was preceded by stunning using an electric device, in accordance with recommended guidelines for killing experimental animals ([EU, 2010](#)). Following this, the carcasses were plucked and eviscerated, and the legs were cut off at the hock joint.

The prepared carcasses, along with edible offals like the heart, liver, and gizzard, were then cooled at 4 °C in a refrigerator (Hendi, Poznań, Poland) for a period of 24 h. Subsequent laboratory analyses were conducted after this cooling period.

The carcasses and offal were weighed, and dissection was performed. The dissection included the neck (without skin), pectoral muscles (m. pectoralis major and minor), leg muscles (boneless drumstick and thigh), skin with subcutaneous fat (including neck skin), abdominal fat, wings with skin, and carcass remains (trunk, leg bones). This was based on the method outlined by [Ziolecki and Doruchowski \(1989\)](#). Slaughter yield, either with or without offal, along with all relative weights, was expressed in g/100 g of pre-slaughter body or carcass weight. The weight of the offal was calculated in relation to the weight of the carcass with the offal included. Pectoral and leg muscles were subjected to qualitative analysis of physicochemical properties ($n = 12$ ducks per treatment).

2.6. Meat quality

During the carcass weighing process, the pH of the muscle tissue, specifically the pectoral muscle, was measured using a pH meter equipped with a dagger electrode (Elmetron, Zabrze, Poland). Prior to use, the device was calibrated with appropriate buffers.

Color measurements were then taken on the right pectoral and leg muscles (interior) using a colorimeter (Konica Minolta, Tokyo, Japan). The data are presented according to the CIE Lab scale, where L* indicates lightness, a* indicates redness, and b* indicates yellowness, as defined by the Commission Internationale de l'Éclairage, [CIE \(1986\)](#).

The right pectoral muscles were collected to assess drip loss. According to the method described by [Honikel \(1987\)](#), the muscles (M1) were weighed and placed in a double-string bag, with the inner bag being cut. These prepared samples were then suspended in a refrigerator for 24 h at a temperature of 4 °C. After this period, the muscles were reweighed (M2). The percentage of water loss was subsequently calculated.

The left pectoral and leg muscles from each group were ground using a meat grinder (Hendi, Poznań, Poland). The water-holding capacity (WHC) was then assessed. A sample weighing 0.300 ± 0.005 g was taken and designated as M1. This sample was placed between two sheets of Whatman paper and covered with a 2 kg load for 5 min. After the load was removed, the samples were taken out and reweighed (M2), following the methodology of [Grau and Hamm \(1953\)](#). Calculations were performed in the same way as in the drip loss analysis. The formula used to calculate both WHC and drip loss: $100 - \left(\frac{M2}{M1} \right) \times 100\%$. The results were expressed in g/100 muscle.

Using a textured device (Texture Analyzer TA.XT plus C, Stable Micro Systems, Cereus Wena, Toruń, Poland), the firmness of both raw and cooked meat (pectoral muscles) was measured. The pectoral muscles were cut into samples measuring 1×1 cm each. For the

cooked samples, preparation was done in a W410E water bath (Labo Play, Bytom, Poland) at a temperature of 80 °C for 40 min. The Warner–Bratzler test was performed using both a flat (rectangular) and a triangular (V-set) knife at a test speed of 1.50 mm/s. These samples were positioned on a platform for testing. Results were presented in terms of meat firmness (N).

For cooked pectoral muscle samples, firmness was assessed using Volodkevich jaw grips at a test speed of 2.00 mm/s. A TA.XT plus C device fitted with a 50 kg load cell was used for this purpose. The analyses were conducted in accordance with the methods described by Gornowicz et al. (2018) and Guzman et al. (2021).

Ground pectoral and leg muscles were weighed, with each group having 80 g samples. Analyses were carried out using a FoodScan apparatus (FOSS, Hilleroed, Denmark) that employs near-infrared transmission spectrophotometry (NIT). The contents of protein, collagen, salt, intramuscular fat (IMF), and water were analyzed.

2.7. Statistical calculation

The data collected were analyzed using Statistica (2017) software. Mean values and standard deviations (\pm SD) were calculated for each feature examined within the groups. Checks for sample homogeneity and normal distribution were conducted. A one-way analysis of variance (ANOVA) was performed to evaluate the data. Statistically significant differences between the groups were identified using Tukey's test, with a significance level set at $P < 0.05$.

For the production results, six repetitions were included in the analysis. The chemical composition of diets, carcass characteristics, and qualitative physicochemical properties were evaluated with 12 repetitions per group. For the analysis of beet pulp silage nutrients, 24 replications were performed. The statistical model was: $Y_i = \mu + D_i + e_i$, where Y_i = the dependent variable; μ , the overall mean; D_i , the effect of feeding method ($i = 100\text{CD}$, $70\text{CD}:30\text{BPS}$, and $\text{rCD}:\text{alBPS}$); e_i , residual error.

3. Results

3.1. Growth performance

Upon analyzing the production results of ducks (Table 2), a higher BW was observed on day 28 in the 100CD group (commercial

Table 2
Growth performance of broiler ducks.

Item ¹	Group ²			SEM	P-value
	100CD	70CD:30BPS	rCD:alBPS		
Viability (%)	96.67	95.00	95.00	1.205	0.827
BW (g)					
Day 1	53.90	54.82	53.87	0.430	0.621
Day 28	1838.22 ^a	1715.14 ^b	1524.58 ^c	35.290	<0.001
Day 49	3352.34	3244.73	3438.75	35.440	0.073
Growth rate (%)					
Days 1–28	188.60 ^a	187.58 ^a	186.33 ^b	0.279	<0.001
Days 29–49	58.28 ^b	61.72 ^b	77.08 ^a	2.233	<0.001
Days 1–49	193.66	193.35	193.82	0.084	0.053
BWG (g)					
Days 1–28	1784.32 ^a	1660.32 ^b	1470.71 ^c	35.308	<0.001
Days 29–49	1514.13 ^b	1529.59 ^b	1914.17 ^a	54.046	<0.001
Days 1–49	3298.44	3189.91	3384.88	35.446	0.070
FI (g)					
Days 1–28	3775.32 ^b	4214.15 ^a	3524.75 ^b	79.297	<0.001
Feed	-	-	2480.76	-	-
Silage	-	-	1043.99	-	-
Days 29–49	9083.47 ^a	8750.36 ^a	7079.81 ^b	237.648	<0.001
Feed	-	-	5160.76	-	-
Silage	-	-	1919.09	-	-
Days 1–49	12,927.60 ^a	12,964.51 ^a	10,732.61 ^b	294.765	<0.001
Feed	-	-	7731.46	-	-
Silage	-	-	3001.18	-	-
FCR (kg/kg)					
Days 1–28	2.12 ^b	2.54 ^a	2.40 ^a	0.049	<0.001
Days 29–49	6.03 ^a	5.74 ^a	3.73 ^b	0.272	<0.001
Days 1–49	3.92 ^a	4.07 ^a	3.18 ^b	0.107	<0.001
EPEF	195.30	164.37	241.29	14.498	0.086
EBI	166.40 ^b	152.62 ^b	209.31 ^a	7.968	<0.001

Results are presented as mean value ($n = 6$ pens per group); ^{a,b}, when mean values are with different letters in the row, statistically significant differences were found ($P < 0.05$); \pm SD, standard deviation; ¹, BW, body weight; BWG, body weight gain; FI, feed intake; FCR, feed conversion ratio; EPEF, European Production Efficiency Factor; EBI, European Broiler Index; ², Group 100CD had 100% commercial diet *ad libitum* (+ 0% silage *ad libitum*), Group 70CD:30BPS had 70% commercial diet + 30% beet pulp silage mixed *ad libitum* and Group rCD:alBPS had restricted commercial diet + beet pulp silage *ad libitum* (free-choice method).

diet), and it was significantly lowest in the rCD:alBPS group (restricted commercial diet and beet pulp silage *ad libitum*, free choice) ($P < 0.001$). The GR of ducks in the 100CD and 70CD:30BPS groups was significantly higher than that of the rCD:alBPS group from day 1 to day 28 ($P < 0.001$). However, during the second period (from day 29 to day 49), the rCD:alBPS group displayed higher GR and BWG characterized group rCD:alBPS than the others ($P < 0.001$). BWG on days 1 and 28 was higher in group 100CD and the lowest in group rCD:alBPS ($P < 0.001$).

In group 70CD:30BPS, higher FI was shown on days 1–28, while on days 29–49, in groups 100CD and 70CD:30BPS, compared to group rCD:alBPS. Similarly, analyzing the entire rearing period, lower FI was found in group rCD:alBPS than in the other groups ($P < 0.001$). In groups 70CD:30BPS and rCD:alBPS groups from 1 to 28 days FCR was higher than in the 100CD group ($P < 0.001$). However, during the second period (29–49 days), higher FCR was found in the 100CD and 70CD:30BPS groups compared to the rCD:alBPS group. For the entire rearing period, the lowest FCR was noted in the rCD:alBPS group ($P < 0.001$). Higher production efficiency, as expressed by the EBI, was observed in the rCD:alBPS group. In this group, ducks had the option to choose their feed while also having restricted access to the commercial diet ($P < 0.001$).

3.2. Total nutrient intake

From day 1 to day 28, higher DM intake was observed in the 100CD group, fed a commercial diet, compared to the other groups ($P = 0.001$). CA and EE intakes in the 100CD and rCD:alBPS groups were significantly higher than in the 70CD:30BPS group ($P < 0.001$). The rCD:alBPS group, which had access to a restricted commercial diet and beet pulp silage *ad libitum* (free choice method), had a higher CP intake than the other groups, with group 70CD:30BPS having the lowest intake compared to groups 100CD and rCD:alBPS ($P < 0.001$). Higher ADF intake was found in group rCD:alBPS than in group 100CD ($P = 0.010$), and NDF in groups 70CD:30BPS and rCD:alBPS than in group 100CD ($P = 0.013$). Similarly, the total intake of nutrients (g/kg DM) from the second feeding period, spanned from day 29 to day 49. In the groups fed with beet pulp silage (70CD:30BPS and rCD:alBPS), lower DM intake than in group 100CD was noticed ($P < 0.001$). The highest intake of CA and EE was found in group 100CD than in the others. At the same time, group 70CD:30BPS showed the lowest intake of both nutrients ($P < 0.001$). CP intake in group 100CD was higher than in groups 70CD:30BPS and rCD:alBPS. CP intake was lower in group 70CD:30BPS than in the other groups ($P < 0.001$).

3.3. Carcass tissue composition and meat quality

The pre-slaughter body weight in the rCD:alBPS group was higher than in the 100CD group ($P = 0.032$). However, the slaughter yield of the carcasses, including or excluding offal, was similar across all groups (Table 3, $P > 0.05$). The 70CD:30BPS group had a significantly higher relative weight for the gizzard than group rCD:alBPS ($P = 0.033$). The rCD:alBPS group also had a lower relative weight of the neck than groups 100CD and 70CD:30BPS ($P = 0.045$). A higher relative weight of skin with subcutaneous fat was found in group rCD:alBPS compared to the other groups ($P = 0.009$). In turn, the higher relative weight of abdominal fat was found in group rCD:alBPS compared to group 70CD:30BPS ($P = 0.014$). However, the weight of wings with skin was lower in the rCD:alBPS group than in the 70CD:30BPS group ($P = 0.001$). Table 4 presents the qualitative physicochemical characteristics of the pectoral muscles. Most characteristics were not significantly affected by the different feeding methods, except muscle chemical composition ($P > 0.05$). The 100CD group had higher protein content and IMF compared to the 70CD:30BPS and rCD:alBPS groups ($P < 0.001$, 0.002). Conversely, salt content was lower in the rCD:alBPS group than in the 100CD group ($P = 0.017$). Meanwhile, the 100CD group had

Table 3
Broiler duck carcass composition.

Item	Group ¹			SEM	P-value
	100CD	70CD:30BPS	rCD:alBPS		
Pre-slaughter body weight (g)	3256.50 ^b	3281.83 ^{ab}	3448.58 ^a	33.21	0.032
<i>g/100 g pre-slaughter body weight</i>					
Slaughter yield	67.99	68.33	70.35	0.544	0.162
Slaughter yield with offal	73.73	74.31	75.86	0.527	0.239
<i>g/100 g carcass weight (with or without offal)</i>					
Heart	0.85	0.86	0.76	0.018	0.051
Liver	3.25	3.21	3.14	0.009	0.901
Gizzard	3.72 ^{ab}	3.98 ^a	3.37 ^b	0.010	0.033
Neck	7.88 ^a	7.81 ^a	6.87 ^b	0.188	0.045
Pectoral muscle	21.97	22.01	21.73	0.291	0.918
Leg muscle	12.65	12.87	12.63	0.175	0.834
Skin with subcutaneous fat	19.06 ^b	18.45 ^b	21.60 ^a	0.461	0.009
Abdominal fat	0.59 ^{ab}	0.50 ^b	0.86 ^a	0.054	0.014
Wings with skin	12.10 ^{ab}	12.55 ^a	11.60 ^b	0.135	0.011
Remains	25.74	25.81	24.72	0.400	0.461

Results are presented as mean value ($n = 12$ ducks per group); ^{a,b}, when mean values are with different letters in the row, statistically significant differences were found ($P < 0.05$); \pm SD, standard deviation; ¹, Group 100CD had 100% commercial diet *ad libitum* (+ 0% silage *ad libitum*), Group 70CD:30BPS had 70% commercial diet + 30% beet pulp silage mixed *ad libitum* and Group rCD:alBPS had restricted commercial diet + beet pulp silage *ad libitum* (free-choice method).

significantly lower water content compared to the other groups ($P < 0.001$). When analyzing the physicochemical characteristics of the leg muscles (Table 4), a higher WHC was observed in the 70CD:30BPS and rCD:alBPS groups compared to the 100CD group ($P < 0.001$). Protein content in leg muscles from groups 100CD and rCD:alBPS was higher than in group 70CD:30BPS. Collagen content was higher in group 100CD than in the others, and salt content was lower in groups 100CD and rCD:alBPS than in group 70CD:30BPS. Higher IMF content and lower water content were found in groups 100CD and 70CD:30BPS compared to group rCD:alBPS ($P < 0.001$).

4. Discussion

The mortality rate of birds in our study ranged from 3.33 to 5.00% in each group. The death of the birds was associated with the weak ducklings in the first days of rearing.

The chemical composition of the feed in our research was similar to the nutritional recommendations for ducks specified in the nutritional recommendations and nutritional values of feed for poultry (Adamski and Rutkowski, 2018). The commercial diet showed a higher CP content than the mixed diet used in the 70CD:30BPS group. This was because 30% of the commercial diet in this group was replaced by beet pulp silage, which has a CP content of approximately 110 g/1 kg of DM. Our findings align with those of Koschayev et al. (2019), demonstrating that the inclusion of silage led to increased levels of ADF and NDF. According to current guidelines, broiler ducks should have access to feed containing a minimum of 180 g of CP (starter feed) or 150 g/1 kg (grower feed), with a DM content of 880 g.

Our research demonstrated a significant impact of beet pulp silage on duck production outcomes. After 28 days, ducks in the 100CD group exhibited significantly higher body weight and gains, potentially attributable to the notably higher content of CP in their feed

Table 4
Physicochemical properties of the pectoral and leg muscles.

Item ¹	Group ²			SEM	P-value
	100CD	70CD:30BPS	rCD:alBPS		
Pectoral muscle					
pH _{24h}	6.02	6.03	5.99	0.021	0.774
g/100 g muscle					
Drip loss	1.10	0.93	1.39	0.155	0.485
WHC	35.34	35.87	34.69	0.549	0.693
Color					
L*	37.81	40.18	37.62	0.582	0.134
a*	14.90	14.73	15.21	0.259	0.763
b*	1.50	2.81	2.03	0.226	0.054
g/100 g muscle					
Protein	21.87 ^a	21.52 ^b	21.53 ^b	0.043	<0.001
Collagen	1.00	1.10	1.10	0.044	0.597
Salt	0.32 ^a	0.29 ^{ab}	0.24 ^b	0.011	0.017
IMF	2.25 ^a	2.13 ^b	2.17 ^b	0.016	0.002
Water	75.60 ^b	76.33 ^a	76.28 ^a	0.066	<0.001
Raw meat, firmness (N)					
Rectangular slot blade	47.78	45.19	60.55	3.660	0.191
V slot blade	22.68	22.80	24.67	1.222	0.780
Volodkevich jaw grips	4.51	3.64	3.50	0.314	0.386
Cooked meat, firmness (N)					
Rectangular slot blade	36.11	33.11	39.77	2.085	0.453
V slot blade	13.77	22.54	19.58	1.587	0.062
Volodkevich jaw grips	7.60	9.34	6.67	0.825	0.434
Leg muscle					
g/100 g muscle					
WHC	31.45 ^b	38.25 ^a	35.42 ^a	0.744	<0.001
Color					
L*	35.86	36.14	39.73	0.608	0.429
a*	15.91	15.28	17.35	0.370	0.493
b*	2.87	2.57	1.29	0.232	0.311
g/100 g muscle					
Protein	18.58 ^a	18.15 ^b	18.69 ^a	0.054	<0.001
Collagen	1.69 ^a	1.43 ^b	1.49 ^b	0.028	<0.001
Salt	0.64 ^b	0.63 ^a	0.53 ^b	0.011	<0.001
IMF	6.82 ^a	7.03 ^a	6.22 ^b	0.077	<0.001
Water	72.62 ^b	72.90 ^b	73.72 ^a	0.098	<0.001

Results are presented as mean value (n = 12 ducks per group); ^{a,b}, when mean values are with different letters in the row, statistically significant differences were found ($P < 0.05$); ¹, WHC, water holding capacity; L*, lightness; a*, redness; b*, yellowness; IMF, intramuscular fat; firmness was expressed by three methods: with rectangular and V slot blades and the chewing simulation was done by the Volodkevich jaw grips (texture analyzer, TA.XT Plus C) ², Group 100CD had 100% commercial diet *ad libitum* (+ 0% silage *ad libitum*), Group 70CD:30BPS had 70% commercial diet + 30% beet pulp silage mixed *ad libitum* and Group rCD:alBPS had restricted commercial diet + beet pulp silage *ad libitum* (free-choice method).

(223.80 g/kg DM) compared to other groups. Additionally, feed was restricted in the AC group, lending further justification to the observed results. Moreover, CP intake from the complete feed was higher in the 100CD group than in the 70CD:30BPS group. In the rCD:alBPS group, intake was recorded at 539.85 g/kg DM, corresponding to restricted feed consumption. Similar findings were reported by Kokoszyński et al. (2014), where geese fed a diet using the restricted method with maize silage also experienced lower weight gains. Comparable results were obtained in the study by Bochno and Brzozowski (1992), which focused on White Italian geese fed with either restricted or *ad libitum* diets.

The current study also revealed the advantageous effects of restricted feeding using a commercial diet, along with *ad libitum* silage (via the free-choice method), on FI and FCR. This was linked to a reduction in feed distribution and potentially less wastage. After consuming granulated feed, ducks had the option to intake beet pulp silage. We observed a proportional uptake of the commercial diet into the silage (starter, 70.38: 29.62%; grower, 72.89:27.11%, and total, 72.03: 27.97%), aligning closely with the experimental mixture in group 70CD:30BPS, where 700 g/kg, as fed, was commercial diet and 300 g/kg, as fed, was beet pulp silage.

However, when comparing group 70CD:30BPS to group rCD:alBPS, it was found that restricted feeding of a commercial diet—coupled with the ducks' freedom to choose their type of feed—had a beneficial impact on reducing FI (by 2.23 kg) and FCR (by 0.89 kg/kg). Ducks in this group supplemented their nutritional needs with beet pulp silage. During the initial rearing period, a higher FCR and lower body weight gains were observed, possibly due to an excess amount of fiber in the young ducks' diet. This could adversely affect peristaltic activity (Jamroz et al., 2001).

The research by Martin et al. (2020) showed that different feeding methods have distinct impacts on production performance. When comparing restrictive to *ad libitum* feeding, the research revealed that weight gains and FI rates in ducks were proportional, suggesting efficient utilization of the additional nutrients provided. In our research, as it was mentioned above, reducing feed for the ducks enabled us to achieve a favorable FCR while simultaneously maintaining high body weight levels. This was likely due to the option of *ad libitum* intake of beet pulp silage, revealing a beneficial effect that would be attributable to free-choice feeding.

In the later stages of rearing, our study showed favorable production results. Ducks in group rCD:alBPS became more accustomed to consuming increased amounts of silage—and therefore more fiber—due to limited access to a commercial diet. Dong and Thu (2021) assessed amino acid digestibility in various duck breeds fed grain-based diets. The study involved crossbred Super-Meat and Muscovy ducks and found significantly higher digestibility of nitrogen-free extract, ether extract, and NDF. The findings suggested that Muscovy duck hybrids consumed more roughage, which influenced fiber digestion and resulted in a lower-quality diet compared to Super-Meat hybrids.

Tien et al. (2013) analyzed the possibility of replacing rice bran-based diets with banana pseudo-stem and taro foliage in duck nutrition. They found that DM intake decreased while feed DM conversion and weight gains improved when banana-taro stem silage replaced rice bran to the extent of 300–400 g/kg, as fed, in the duck diet. Similarly, Ty et al. (2011) revealed positive effects of substituting rice bran and duckweed with taro leaf-stem silage. The authors reported lower DM intake but increased weight gain and better feed conversion. The research also suggested that silage had a higher nutritional value than a standard mix of rice bran and duckweed. In line with this, our study showed a decrease in DM intake in the groups fed silage, with an improvement in production results. The final body weights across groups were comparable.

Arroyo et al. (2014) analyzed the impact of nutritional choice and grain type on duck performance. The authors showed that free-choice feeding with maize effectively reduced feed production costs, taking into account local crop availability and environmental impact.

Bernacki and Kruszyński (1991) investigated the impact of feeding Pekin ducks with a specific diet—comprising 600 g/kg commercial feed, 300 g/kg steamed potato silage, and 100 g/kg dried grass—from the 4th to the 8th week of rearing on carcass characteristics. They found a higher proportion of pectoral and leg muscles and a lower proportion of skin with subcutaneous fat in 8-week-old ducks. This was in comparison to ducks fed either 800 g of commercial diet, 100 g of silage, and 100 g of dry grass/1 kg, as fed, or ducks fed solely a commercial diet. Kokoszyński et al. (2014) yielded similar findings regarding the weight and proportion of various elements in goose carcasses.

In our study, we observed that silage feeding (in group rCD:alBPS) resulted in a higher weight and share of skin with both subcutaneous and abdominal fat, and a lower share of wings and gizzard, compared to group 70CD:30BPS. This effect is believed to be related to a higher EE intake from the feed (by 24.75 g/kg DM in the starter diet and by 54.43 g/kg DM in the grower diet). Puchajda et al. (1997) found that geese fed grass silage had less skin with subcutaneous fat compared to those fed red clover silage. In their study, Biłgorajska and White Italian geese were used, leading to the suggestion that birds of different breeds or origins may respond differently to various feeds.

Our study revealed significant differences between the groups in the muscle content of protein, collagen, salt, IMF, and water. According to research by Kokoszyński et al. (2022), variations in protein, fat, and collagen content can influence the nutritional and technological value of duck meat. This suggests varying efficiencies in converting feed protein into Pekin duck meat protein. However, the origin of the ducks appears to be the most critical factor affecting meat protein content (Huo et al., 2021). Biesek et al. (2021) also found that dietary composition influences the chemical composition of meat, which is attributable to the different degrees of nutrient utilization by birds.

Furthermore, collagen content may serve as an indicator of myofibril degradation in muscles, which is associated with meat tenderness (Starkey et al., 2017). An increase in IMF content within the muscles can also affect the tenderness of the meat (Wang et al., 2022b). Our study did find differences between groups in terms of IMF content in the muscles. However, these differences did not correlate with the texture of the meat ($P > 0.05$). Additionally, no relationship was observed between fiber intake from the feed and IMF levels in the muscles. These observations suggest that the utilization of fat, as mentioned above, occurred at different efficiencies across groups, thereby influencing the results.

5. Conclusion

Our study demonstrated the beneficial impact of free-choice feeding, which combined a restricted commercial diet with *ad libitum* beet pulp silage, on the performance of 7-week-old Cherry Valley broiler ducks. The lower feed conversion ratio noted in this group points to more efficient nutrient utilization compared to other groups fed either a commercial diet or a diet with a 70:30 beet pulp silage ratio. The presented feeding method enabled a substantial intake of protein from the feed. It appears that offering both feed types in a free-choice manner, while limiting the commercial diet, enabled the ducks to better adapt their digestive systems to the fiber content in the diet. This was evidenced by the significant weight gains observed.

Moreover, the feeding approach had no adverse effects on most carcass and qualitative physicochemical characteristics of the muscles, except water-holding capacity in leg muscles. These findings indicate the practicality of adopting a feeding strategy that includes both a commercial diet and beet pulp silage for ducks. In practical terms, adopting such a feeding approach could yield economic benefits for farms and facilitate the use of feed components sourced either from the farm itself or local agri-food processing plants. Overall, our study highlights the potential advantages of incorporating beet pulp silage into broiler duck diets, thereby supporting both the agriculture industry and sustainability efforts.

Ethics approval

The experiment followed the applicable regulations for the protection of animals used for scientific or educational purposes (EU, 2010; Polish Act, 2015). The study and its methods were carried out after obtaining the opinion from the Departmental Animal Welfare Team and the permission of the Experimental Unit of the Bydgoszcz University of Science and Technology (No. 2/2022) (Bydgoszcz, Poland). All methods were carried out in accordance with the ARRIVE guidelines (Percie du Sert et al., 2020).

CRedit authorship contribution statement

Zaremba Iwona: Conceptualization, Data curation, Formal analysis, Methodology, Resources, Software, Visualization, Writing – original draft. **Grabowicz Małgorzata:** Conceptualization, Formal analysis, Funding acquisition, Methodology, Validation, Writing – review & editing. **Biesek Jakub:** Conceptualization, Data curation, Formal analysis, Methodology, Project administration, Supervision, Validation, Writing – review & editing.

Declaration of Competing Interest

The authors of manuscript entitled “Effect of beet pulp silage and various feeding methods on the performance and meat quality of broiler ducks” declare no potential competing interests.

Acknowledgments

The research was carried out as part of scientific research financed by the Faculty of Animal Breeding and Biology, Bydgoszcz University of Science and Technology (BN-WHiBZ-1/2022, Bydgoszcz, Poland). Financially supported by the Minister of Science under the program "Regional Initiative of Excellence" (RID/SP/0017/2024/01). The authors would like to thank the Laboratory of Chemical Research and Instrumental Analyses for technical assistance in the chemical analyses, as well as a team of technicians from the Department of Animal Breeding and Nutrition (Bydgoszcz University of Science and Technology, Bydgoszcz, Poland). The authors thank Transmed Publishing Group for professional proofreading.

References

- Adamski, M., Rutkowski, A., 2018. Feeding recommendations for ducks. In: Smulikowska, S., Rutkowski, A. (Eds.), *Nutritional Recommendations and Nutritional Value of Feeds for Poultry*. 5th Edition Revised and Supplemented. Institute of Physiology and Animal Nutrition of Jan Kielanowski, Polish Academy of Sciences (Jablonna), Polish Branch of the World's Poultry Science Association PB WPSA (Poznań). APRA Publisher, Osielesko, pp. 66–74 in Polish.
- Alsan, R., Ozturk, E., 2022. 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.* 54, 325 <https://doi.org/10.1007/s11250-022-03313-5>.
- Arroyo, J., Fortun-Lamothe, L., Dubois, J.P., Lavigne, F., Bijja, M., Molette, C., 2014. The influence of choice feeding and cereal type (corn or triticale) during the finishing period on performance of mule ducks. *Poult. Sci.* 93, 2220–2226. <https://doi.org/10.3382/ps.2013-03669>.
- Bernacki, Z., Kruszyński, J., 1991. The results of growing and slaughter of duck broilers due to potato silage rations. *Zesz. Nauk. ATR Bydgoszcz. Zootech.* 19, 93–103.
- 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, 101170 <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101170>.
- Biesek, J., Banaszak, M., Grabowicz, M., Wlazlak, S., Adamski, M., 2022. Production efficiency and utility features of broiler ducks fed with feed thinned with wheat grain. *Animals* 12, 3427. <https://doi.org/10.3390/ani12233427>.
- Bochno, R., Brzozowski, W., 1992. The influence of quantitative limitation of diet in various growing periods on feed utilization and carcass yield of White Italian geese. *Acta Acad. Agric. Tech. Olszt.* 37, 131–140.
- Castle, M.E., Gill, M.S., Watson, J.N., 1981. Silage and milk production: a comparison between barley and dried sugar-beet pulp as silage supplements. *Grass. Forage Sci.* 36, 319–324. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.1981.tb01569.x>.
- CIE, 1986. CIE Colorimetry. Commission Internationale de l'Éclairage, Publication CIE 15.2, second ed. Central Bureau of CIE, Vienna, AU.
- Dong, N.T.K., Thu, N.V., 2021. Effect of breed and cecectomy on apparent amino acid digestibility in ducks fed diets containing brewers' spent grains. *Livest. Res. Rural Dev.* 33, 12.
- EU, 2010. 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. 2010. EUR-Lex. Official Journal of the European Union.

- Gornowicz, E., Lewko, L., Zwierzyński, R., 2018. Goose meat texture analysis. *Wiad. Zoot. LVI* 42–52 in Polish.
- Grau, R., Hamm, R., 1953. Eine einfache methode zur bestimmung der wasserbindung in fleischwurt (in English: A simple method for determining water binding in muscles). *Fleischwirtschaft* 4, 295–297.
- Guzman, A.P., Trocino, A., Susta, L., Barbut, S., 2021. Comparing three textural measurements of chicken pectoral fillets affected by severe wooden pectoral and spaghetti meat. *Ital. J. Anim. Sci.* 20, 465–471. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2021.1893134>.
- Hao, Y., Ji, Z., Shen, Z., Wu, Y., Zhang, B., Tang, J., Hou, S., Xie, M., 2021. Effects of total dietary fiber on cecal microbial community and intestinal morphology of growing white pekin duck. *Front. Microbiol.* 12, 727200 <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.727200>.
- Honikel, K.O., 1987. The water binding of meat. *Fleischwirtschaft* 67, 1098–1102.
- Huo, W., Weng, K., Gu, T., Zhang, Y., Zhang, Y., Chen, G., Xu, Q., 2021. Effect of muscle fiber characteristics on meat quality in fast- and slow-growing ducks. *Poult. Sci.* 100, 101264 <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101264>.
- Jamroz, D., Jakobsen, K., Orda, J., Skorupinska, J., Wiliczekiewicz, A., 2001. Development of the gastrointestinal tract and digestibility of dietary fibre and amino acids in young chicken, ducks, and geese fed diets with high amounts of barley. *Comp. Biochem. Physiol. Part A* 130, 643–652. [https://doi.org/10.1016/s1095-6433\(01\)00386-5](https://doi.org/10.1016/s1095-6433(01)00386-5).
- Karwowska, M., Grabowicz, M., Stadnik, J., Sztark, P., Bernacki, Z., Dolatowski, Z.J., 2017. The effect of corn or beet pulp silage supplemented diet on production parameters, oxidative stability of muscles and fatty acid composition of abdominal fat in geese. *Ann. Anim. Sci.* 17, 887–902. <https://doi.org/10.1515/a0as-2016-0075>.
- Kelly, P., 1983. Sugar beet pulp – a review. *Anim. Feed. Sci. Technol.* 8, 1–18. [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(83\)90038-X](https://doi.org/10.1016/0377-8401(83)90038-X).
- Kokoszynski, D., Bernacki, Z., Grabowicz, M., Stańczak, K., 2014. Effect of corn silage and quantitative feed restriction on growth performance, body measurements, and carcass tissue composition in White Kołuda W31 geese. *Poult. Sci.* 93, 1993–1999. <https://doi.org/10.3382/ps.2013-03833>.
- Kokoszynski, D., Zochowska-Kujawska, J., Kotowicz, M., Skoneczny, G., Kostenko, S., Włodarczyk, K., Stęczyński, K., Saleh, M., Wegner, M., 2022. The composition of the carcass, physicochemical properties, texture and microstructure of the meat of d11 Dworka and P9 pekin ducks. *Animals* 12, 1714. <https://doi.org/10.3390/ani12131714>.
- Koschayev, I., Boiko, I., Kornienko, S., Tatiyanicheva, O., Sein, O., Zdanovich, S., Popova, O., 2019. Feeding efficiency of dry beet pulp to broiler chickens. *Adv. Biol. Sci. Res.* 7, 167–170. <https://doi.org/10.2991/isils-19.2019.40>.
- Martin, E.A., Rafael, E.J., Juan, J.J., Velasco, V.V., Valdez, M.A.T., 2020. Feeding system and floor space on the growth, egg production, and reproductive performances of Itik Pinas Kayumanggi (*Anas platyrhynchos* L.) under semi-confinement system. *Philipp. J. Vet. Anim. Sci.* 46, 20–30.
- 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., Ronney, K., Sena, E.S., Silberberg, S.D., Steckler, T., Würbel, H., 2020. The ARRIVE guidelines 2.0: updated guidelines for reporting animal research. *BMC Vet. Res.* 16, 242. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3000410>.
- Polish Act, 2015. Act of 15 January 2015 on the protection of animals used for scientific or educational purposes. 2015. *Journal of Laws of the Republic of Poland*. 2015. pos. 266.
- Polish Committee for Standardization, 2002. PN-ISO 6496:2002. Feed – Determination of moisture and other volatile substances (in Polish). <https://www.pkn.pl/en>. (Accessed December 2022 - January 2023).
- Polish Committee for Standardization, 2005a. PN-ISO 6492:2005. Feed – Determination of fat content (in Polish). <https://www.pkn.pl/en>. (Accessed December 2022 - January 2023).
- Polish Committee for Standardization, 2005b. PN-EN ISO 9831:2005. Feeding stuffs, animal products, faeces and urine – Determination of gross energy – Bomb calorimetric method (in Polish). <https://www.pkn.pl/en>. (Accessed December 2022 - January 2023).
- Polish Committee for Standardization, 2007. PN-EN ISO 16472:2007. Determination of neutral detergent fiber content after amylase treatment (aNDF) (in Polish). <https://www.pkn.pl/en>. (Accessed December 2022 - January 2023).
- Polish Committee for Standardization, 2009. PN-EN ISO 13906:2009. Determination of acid detergent fiber (ADF) and acid detergent lignin (ADL) content (in Polish). <https://www.pkn.pl/en>. (Accessed December 2022 - January 2023).
- Polish Committee for Standardization, 2015. PN-EN ISO 20483:2014-02. Cereal grains and pulses - Determination of nitrogen content and conversion to protein content - Kjeldahl method (in Polish). <https://www.pkn.pl/en>. (Accessed December 2022 - January 2023).
- Puchajda, H., Faruga, A., Pudyszak, K., 1997. Effect of silages on the yield and quality of meat from two lines of goose. *Pol. J. Food Nutri. Sci.* 6, 141–147.
- Scipioni, R., Martelli, G., 2001. Consequences of the use of ensiled sugar beet-pulp in the diet of heavy pigs on performances, carcass characteristics and nitrogen balance: a review. *Anim. Feed. Sci. Technol.* 90, 81–91. [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(01\)00198-5](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(01)00198-5).
- Starkey, C.P., Geesink, G.H., Van den Ven, R., Hopkins, D.L., 2017. The relationship between shear force, compression, collagen characteristics, desmin degradation and sarcomere length in lamb biceps femoris. *Meat. Sci.* 126, 18–21. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.12.006>.
- Statistica, 2017. Statsoft TIBCO Software Inc., Palo Alto, CA, USA, Cracow, Poland, ver. 13.3.0. <https://www.statsoft.pl/>.
- Sumińska, T., Sierakowska, M., 2019. Beet pulp as a valuable animal feed. *Postepy Nauk. Technol. Przem. Rol. Spozyw.* 74, 48–59 in Polish.
- Tien, D.T.M., Tran, N.T.B., Hang, B.P.T., Preston, T.R., 2013. Silage of banana pseudo-stem and taro foliage as replacement for rice bran fed to common ducks. *Livest. Res. Rural Dev.* 25, 56.
- Ty, C., Borin, K., Chanpheakdey, S., Sina, V., Buntho, H., Preston, T.R., 2011. Replacing rice bran and duckweed with ensiled taro leaf-stem foliage (*Colocasia esculenta*) in diets of growing ducks. *Livest. Res. Rural Dev.* 23, 92.
- Wang, X., Liu, G., Xie, S., Pan, L., Tan, Q., 2022b. Growth and Meat Quality of Grass Carp (*Ctenopharyngodon idellus*) Responded to Dietary Protein (Soybean Meal) Level Through the Muscle Metabolism and Gene Expression of Myosin Heavy Chains. *Front. Nutr.* 9, 833924. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.833924>.
- Wang, Y., Xia, K., Wang, X.N., Lin, X., Liu, J., Li, Y.J., Liu, X.L., Zhao, W.J., Zhang, Y.G., Guo, J.H., 2022a. Improvement of feed intake, digestibility, plasma metabolites, and lactation performance of dairy cows fed mixed silage of sugar beet pulp and rice straw inoculated with lactic acid bacteria. *J. Dairy Sci.* 105, 269–280. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-20494>.
- Zhang, S.J., Zhu, C.H., Guo, J., Tang, Q.P., Li, H.F., Zou, J.M., 2013. Metabolizable energy and fiber digestibility of uncommon feedstuffs for geese. *Poult. Sci.* 92, 1812–1817. <https://doi.org/10.3382/ps.2012-02515>.
- Ziolecki, J., Doruchowski, W., 1989. Methods for the Analysis of Meat Traits. COBRD Publishing, Poznań, Poland (in Polish).

Effects of feeding silage of beet pulp or maize on the growth performance, meat quality, and production economics of broiler ducks

Iwona Zaremba, Małgorzata Grabowicz, and Jakub Biesek ¹

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

ABSTRACT The present study aimed to compare the growth, meat quality, and production economics of Cherry Valley broiler ducks fed with a commercial diet along with silage from beet pulp or maize. In this study, 180 male Cherry Valley ducks were reared for 49 d. The control group (group C) was fed a commercial diet *ad libitum*. The experimental groups were fed a restricted amount of commercial diet and *ad libitum* beet pulp silage (group B) or maize silage (group M). For all groups, the growth performance and meat quality were analyzed, and their production costs were estimated. The beneficial effects of feeding maize silage on the growth rate were observed on d 29 to 49 in group M; moreover, both experimental groups showed lower feed intake than group C ($P < 0.05$). The feed conversion ratio was lower in the first rearing stage and during the entire experimental period in groups B and M than that in group C. Group M showed a higher European

Production Efficiency Factor and European Broiler Index than group C ($P < 0.05$). The relative weight of the liver was higher in group C than that in the experimental groups ($P < 0.05$). Group M showed a higher L* value of leg muscles than group C ($P < 0.05$). Water-holding capacity was higher in leg muscles from ducks fed with silages ($P < 0.05$). The experimental groups had lower costs of commercial diets. Higher costs were observed for maize silage than for beet pulp silage. Carcass sales yielded the highest profit for group M and the lowest one for group C. Compared with the control group, the silage-fed groups showed a higher estimated profit by PLN 7.94 to 10.68 per duck ($P < 0.05$). Based on the beneficial production results, notably lower feed conversion ratio, no negative effects on carcass characteristics, and lower production costs, especially maize or even beet pulp silage in broiler duck rearing, could be recommended.

Key words: carcass characteristic, Cherry Valley duck, ensilage, feed conversion ratio, feed cost

2024 Poultry Science 103:103441
<https://doi.org/10.1016/j.psj.2024.103441>

INTRODUCTION

The production of broiler ducks in the European Union (EU) is still niche as compared with that of chickens; however, it remains a crucial poultry production sector. In 2022, EU production of broiler ducks was 445,000 tons based on carcass weight, which is only approximately 3.30% of the total poultry meat production (including chickens, turkeys, and ducks). France and Hungary are the leading nations in duck production (115,400 tons each), followed by Poland (67,800 tons) (AVEC, 2023). In Poland, broiler duck housing lasts 6 to 8 wk, typically using intensive or semi-intensive systems, and is closely tied to the poultry feeding approach,

crucial as it constitutes 65 to 70% of maintaining broilers' costs (Gornowicz et al., 2011; Biesiada-Drzazga et al., 2018; Tanwiriah et al., 2019; Biesek et al., 2021; Banday et al., 2023). Because of increasing inflation, production costs related to the poultry industry are still increasing, particularly for feed components. Many factors have contributed to the lack of stability in production costs, including the recent COVID-19 pandemic, war situations in Eastern Europe, and geopolitical crises (Belarmino et al., 2023; Chowdhury et al., 2023).

Research into alternative poultry feeding methods is a primary focus, and diverse feeding approaches and alternative ingredients aim to impact production efficiency, meat quality, and economic gains (Ogunnusi et al., 2023). Exploring these alternatives might reduce production costs without compromising effectiveness.

Ducks (and geese) possess a well-developed organ in the digestive tract, that is, the cecum, which enables these birds to digest higher amounts of crude fiber in roughage, including silage (Jamroz and Rutkowski, 2009; Kokoszyński et al., 2014; Hao et al., 2022). Dietary

© 2024 The Authors. 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/>).

Received November 16, 2023.

Accepted January 4, 2024.

¹Corresponding author: jakub.biesek@pbs.edu.pl

fiber can directly affect the digestive tract development and growth performance of broilers. Both soluble and insoluble polysaccharides (NSP) are considered when analyzing intestinal morphology (Han et al., 2017). Hao et al. (2022) concluded that increasing the total dietary fiber level beneficially affected the duck's cecal morphology and functioning. Silage is used primarily to feed ruminants (Givens and Rulquin, 2004; Dunière et al., 2013). Some studies have investigated and also implemented (in semi-intensive and extensive farming) the use of silage to feed waterfowl poultry, and it has been shown beneficial and does not negatively affect production yield (Kokoszyński et al., 2014; Ridla et al., 2014; Keohavong and Onphanh, 2015; Aslan and Öztürk, 2022). However, fermented feed (silage) for ducks is not popular despite known wet mash diet feeding methods, which could be efficient feed utilization (Ibrahim et al., 2020). Based on the above, silage has many advantages, including low price, good nutritional content, and probiotic properties (presence of lactic acid bacteria). Silage can be mono- or multi-ingredient, and the commonly used silage is derived from maize and beet pulp. These components are obtained from other industries, for example, sugar factories or farms.

Compared with starch-rich feed such as maize, beet pulp contains a high amount of pectin, which could minimize the risk of digestive tract disorders (Boguhn et al., 2010). Maize silage is composed of grain or a mixture of grain and plant (whole plant) (Klopfenstein et al., 2013) and has a high nutritional value and fiber content (Dunière et al., 2013). Therefore, these silages could also be used for feeding ducks, as they form a staple diet for other farm animals. However, the high content of dietary fiber, NSP, lignin, and other plant-based carbohydrates in these silages may impede their application in poultry feeding, as birds lack endogenous enzymes for degrading NSP (Singh and Kim, 2021).

The tested hypothesis is as follows: Ducks feeding based on a restricted commercial diet and ad libitum silage from beet pulp or maize affects the growth performance, carcass and meat quality, and production economics. Thus, the present study aimed to compare and analyze growth performance, quantitative and qualitative carcass and meat characteristics, and production economics for Cherry Valley broiler ducks fed with a restricted amount of commercial diet and ad libitum silage from beet pulp or maize.

MATERIALS AND METHODS

The present research was approved by the Committee for the Care of Animals (Local Ethics Committee) of the Bydgoszcz University of Science and Technology, Poland (approval number: 2/2022). This study was conducted following the applicable regulations.

Experimental Design and Animal Rearing

The study involved 180 one-day-old male Cherry Valley broiler ducks (commercial crossbreed). The rearing of

these ducks lasted for 49 d. The ducks were divided into 3 groups of 60 birds each. In the control group (group C), the birds were fed a commercial diet purchased from a feed factory (commercial diet ad libitum). The experimental groups were fed a restricted commercial diet and ad libitum silage from beet pulp (group B) (restricted commercial diet + beet pulp silage ad libitum) or silage from whole maize plants (group M) (restricted commercial diet + whole-plant maize silage ad libitum). The silage was purchased from a farm (Kuyavian-Pomeranian Voivodeship, Poland). The silage was prepared using the prism method without any silage additives (according to the farmer's declaration). The birds were housed in pens (6 repetitions/group of 10 birds) with an area of 2 m² (stocking density: up to 17 kg of livestock/m² of surface area). The pens were fabricated using a tin-plated metal mesh. The following environmental conditions were maintained according to the standards: temperature (average 26°C at the beginning of the rearing period + heating up to 30°C using an additional heater and constantly decreasing to 20°C in the fourth week of rearing) and relative humidity (65%). The ducks were kept on chopped wheat straw bedding. Environmental conditions for duck rearing were described previously (Biesek et al., 2022a).

The ducks were given access to fresh water and fed in each pen according to the experimental methods. Water was supplied using nipple drinkers (2 per 10 ducks). The feeding of ducks was divided into two stages. Commercial starter diets were administered from d 1 to 28, while commercial grower diets were administered from d 29 to 49. The feed was in the form of granules, and its composition, according to the manufacturer (De Heus, Łęczyca, Poland), included all the necessary nutrients based on the feeding standards for broiler ducks (isocaloric and isoprotein). Based on the manufacturer's declaration, 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 sulfate; 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; respective starter and grower concentrations for lysine—9.30 and 8.70 g/kg as fed; methionine—4.20 and 3.70 g/kg as fed; threonine—7.20 and 6.10 g/kg as fed; calcium—8.50 and 8.10 g/kg as fed; total phosphorus—6.90 and 6.60 g/kg as fed; sodium—1.70 and 1.60 g/kg as fed; vitamin A—10 000 IU; vitamin D₃—3000 IU; and vitamin E—25 IU. In groups B and M, the ducks were fed a restricted amount of commercial diet as compared with previous rearing performed on farms, as shown in Table 1. Restricted feeding was applied after the third day of rearing because, in the beginning, the ducklings were adapting themselves to feed intake (FI). Silage was provided in separate feeders by using the ad libitum method from the first day of rearing.

Table 1. Experimental setup of commercial diet and silage (beet pulp or maize) given per pen.

Period	Group ¹		
	C	B	M
Commercial diet (g)			
d 1–3	ad libitum	ad libitum	
d 4–7		251.75	
d 8–14		528.00	
d 15–21		1,020.00	
d 22–28		1,735.71	
d 29–35		2,201.86	
d 36–42		2,337.14	
d 43–49		2,447.71	
Silage (d 1–49)	–	Beet pulp silage ad libitum	Maize silage (whole plant) ad libitum

Values are presented per pen (10 ducks) as a weekly average.

¹C, ducks fed with a commercial diet; B, ducks fed with a restricted amount of commercial diet and ad libitum beet pulp silage; M, ducks fed with a restricted amount of commercial diet and ad libitum maize silage.

Analytical Composition of the Commercial Diets and Silages

The analytical composition of the commercial diets (starter and grower feeds) and silages from beet pulp and maize is presented in Table 2. Control analytical tests were conducted to determine the chemical composition of commercial diets and silages, including dry matter (DM): PN-ISO 6496:2002 (Polish Committee for Standardization, 2002; POL-EKO dryer, Wodzisław Śląski, Poland); crude ash (CA): PN-ISO 6496:2002 (Polish Committee for Standardization, 2002, gravimetric method); crude fat (EE): PN-EN ISO 6492:2005 (Polish Committee for Standardization, 2005b, Soxhlet method, SOXTEC SYSTEM HIT 1043, Gemini BV, Apeldoorn, Netherlands); crude protein (CP): PN-EN ISO 20483:2014-02 (Polish Committee for Standardization, 2015; Kjeldahl method; Kjeltec 8400 Analyzer Unit and Kjeltec Sampler 8420; FOSS, Hilleroed, Denmark); acid detergent fiber (ADF, expressed inclusive of residual ash): PN-EN ISO 13906:2009 (Polish Committee for Standardization, 2009); neutral detergent fiber (NDF,

with heat-stable amylase, expressed inclusive of residual ash): PN-EN ISO 16472:2007 (Polish Committee for Standardization, 2007) with ANKOM 220 apparatus (Ankom, Macedon, NY); gross energy (GE): PN-EN ISO 9831:2005 (Polish Committee for Standardization, 2005a; KL-21 PLUS isoparabolic calorimeter; Precyzja-Bit PPHU Sp. Z o.o. Bydgoszcz, Poland); and pH: potentiometric method using the ORION 2 STAR pH meter (Thermo Scientific, Waltham, USA). The methods of analyzing the feed chemical composition were similar to those described by Perz et al. (2023). The content of the ingredients was calculated relative to 1 kg of DM.

Growth Performance

Duck deaths were recorded during rearing, and viability was accordingly calculated. On d 1, 28, and 49, the birds were weighed, and growth rate ($\frac{\text{final body weight (g)} - \text{initial body weight (g)}}{0.5 \times (\text{initial body weight (g)} + \text{final body weight (g)})} \times 100\%$) and body weight gain (BWG, final body weight (g) – initial body weight (g)) were calculated based on body weight (BW). Feed intake was monitored daily, and the feed conversion ratio per kg of BWG ($\text{FCR}, \frac{\text{FI (kg)}}{\text{BWG (kg)}}$) was calculated. Production efficiency indicators were estimated, including the European Production Efficiency Factor (EPEF, $\frac{\text{viability (\%)} \times \text{BWG (g)}}{\text{Age (days)} \times \text{FCR (kg/kg)}} / 10$) and the European Broiler Index (EBI, $\frac{\text{viability (\%)} \times \text{average daily gain (kg)}}{\text{FCR (kg/kg)}} / 10$).

Carcass Characteristics and Meat Quality

After rearing, 12 ducks were selected from each group with a BW similar to the average weight within each pen (2 ducks per pen). The ducks were slaughtered by stunning with an electric current or by decapitation between the first cervical vertebra and the occipital condyle. The procedure was performed in accordance with the applicable act: Council Regulation (EC) No. 1099/2009 of 24 September 2009 on the protection of animals at the time of killing (Council Regulation, 2009). The

Table 2. Analytical composition of the commercial diet, beet pulp silage, and maize silage.

Nutrients (n = 6)	Starter feed (d 1–28)	Grower feed (d 29–49)	Beet pulp silage	Maize silage
Dry matter (g/kg of feed)	885.25	883.45	186.04	332.56
(g/kg of DM)				
Crude protein	229.26	224.74	127.44	80.30
Crude ash	61.00	58.46	49.84	38.16
Crude fat	38.72	40.69	8.18	35.72
ADF	52.59	46.80	223.17	251.61
NDF	138.15	142.45	490.41	521.26
Gross energy (MJ/kg)	16.76	16.66	16.19	16.68
pH	7.14	6.54	7.16	7.26

Based on the manufacturer's declaration, 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 sulfate; 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; respective starter and grower concentrations for lysine—9.30 and 8.70 g/kg as fed; methionine—4.20 and 3.70 g/kg as fed; threonine—7.20 and 6.10 g/kg as fed; calcium—8.50 and 8.10 g/kg as fed; total phosphorus—6.90 and 6.60 g/kg as fed; sodium—1.70 and 1.60 g/kg as fed; vitamin A—10,000 IU (both); vitamin D₃—3,000 IU (both); and vitamin E—25 IU; beet pulp and maize were ensiled using the prism method (without silage additives).

carcasses were scalded, feathers were removed (automatically) and eviscerated, the legs were excised at the hock, and the carcasses were prepared for cooling in the fridge for 24 h at 4°C (Hendi, Poznań, Poland). The carcasses and edible offal (heart, liver, and gizzard) were weighed using a weighing balance (Radwag, Radom, Poland). While weighing the carcasses, the pH of the pectoral muscle was measured using a pH meter with a dagger electrode. A dissection was performed (Ziołocki and Doruchowski, 1989) to separate the neck (without skin), pectoral muscles (m. pectoralis major and minor), leg muscles (thigh and drumstick; deboned), skin with subcutaneous fat (together with the skin from the neck), abdominal fat, wings with skin, and carcass remains (trunk and leg bones). All carcass elements were weighed using the weighing balance (Radwag, Radom, Polska). The slaughter yields of the carcass and carcass with offal were calculated. Based on the collected data, the relative weight of the carcass elements per 100 g of the carcass was determined.

The color of the pectoral and leg muscles was assessed using the CIELab color scale, where L* - brightness, a* - redness, and b* - yellowness were estimated using the colorimetric method (Konica Minolta, Tokyo, Japan). The measurement was performed on the inner side of the pectoral and leg muscles. Drip loss was measured for the right pectoral muscle. The muscles were weighed, placed in double bags, and suspended in a refrigerator at 4°C for 24 h. Next, the pectoral muscles were re-weighed, and the percentage of water loss was calculated as follows: $\left(100 - \left(\frac{\text{final sample weight (g)}}{\text{initial sample weight (g)}}\right) \times 100\%\right)$. Similarly, water-holding capacity was determined as follows: $\text{WHC} = 100 - \left(\frac{\text{final sample weight (g)}}{\text{initial sample weight (g)}}\right) \times 100\%$. The left pectoral and leg muscles were grounded into groups in a meat grinder (Hendi, Poznań, Polska). The samples were weighed (0.295–0.305 g), kept between two pieces of a Whatmann No. 1 tissue paper, and placed under a load of 2 kg for 5 min. After 5 min, the samples were weighed again, and the percentage of water loss was calculated.

Estimation of Production Economics

Production economics were estimated based on FI parameters and carcass weight. The prices of commercial diets and silage were calculated according to the actual consumption. The commercial starter diet costs PLN 2.88/kg, and the grower diet costs PLN 2.84/kg. The prices of beet pulp and maize silage were PLN 83.39/ton and PLN 220/ton, respectively. The feed cost for the entire production was 70%, and the cost of the remaining components for production was 30%. The cost of individual components and total production costs were calculated. Based on the weight of the carcasses, the price per carcass was determined, considering the current price in direct (local) sales as of October 24, 2023: PLN 21.84/kg of carcass (based on the offer from <https://hurtownia-spozywca.pl>). The profit from

duck production was estimated based on the difference in production costs and carcass prices. The amounts are expressed as gross prices.

Statistical analysis

Statistica ver. 13.3.0 (TIBCO Software, Kraków, Poland, 2017) was used for statistical calculations. Mean values and pooled standard error of 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; restricted commercial diet + beet pulp silage ad libitum; restricted commercial diet + maize silage ad libitum); e_f , residual error). Significant differences were validated using Tukey's test, with a P -value of < 0.05 .

RESULTS

Growth Performance

On d 28, ducks in group C had a significantly higher BW than those fed with silage ($P < 0.001$). The growth rate in the first period of rearing (d 1–28) was higher in group C than in groups B and M ($P = 0.001$), while that in the second period (29–49 d) was higher in group M than that in group C ($P = 0.022$). Despite the indicated differences in BW, group C showed significantly higher BWG than the other groups in the first period of rearing ($P < 0.001$). FI was significantly higher in group C than that in groups B and M in each rearing period ($P < 0.001$). Moreover, until d 28, group M showed significantly the lowest FI compared with the other groups ($P < 0.001$). Additionally, a comparison of FI for commercial diets and silage between the experimental groups revealed that FI for commercial diets was significantly higher in group B, while silage intake was significantly lower than that in group M ($P < 0.05$). Group C exhibited significantly higher FCR than groups B and M on d 1 to 28 and for the entire rearing period ($P < 0.001$ and $P = 0.002$, respectively), while in the second period (d 29–49), FCR was higher in group C than in group M ($P = 0.020$). Furthermore, group M showed significantly higher values for the production efficiency indices (EPEF and EBI) than group C ($P = 0.009$ and $P = 0.030$, respectively) (Table 3).

Carcass Characteristics and Meat Quality

Group C exhibited a significantly higher relative liver weight than groups B and M ($P = 0.046$). The remaining characteristics, including slaughter yield, were similar in all 3 groups ($P > 0.05$). The other characteristics, including muscles and fatness, were similar in each group ($P > 0.05$) (Table 4). The leg muscles showed a significantly higher value of the L* parameter in group M than that in group C ($P = 0.045$). Moreover, a higher water loss based on WHC was observed in group C than in groups

Table 3. Growth performance of broiler.

Item ¹ (n = 6)	Group ²			SEM	P-value
	C	B	M		
Viability (%)	95.00	95.00	100.00	1.143	0.116
BW (g)					
d 1	59.63	58.47	57.92	0.448	0.295
d 28	1,994.48 ^a	1,757.06 ^b	1,784.52 ^b	30.321	<0.001
d 49	3,713.32	3,476.37	3,675.06	51.359	0.127
Growth rate (%)					
d 1–28	188.38 ^a	187.11 ^b	187.41 ^b	0.166	0.001
d 29–49	60.01 ^b	65.73 ^{ab}	69.17 ^a	1.454	0.022
Total	193.65	193.38	193.78	0.094	0.213
BWG (g)					
d 1–28	1,934.84 ^a	1,698.59 ^b	1,726.60 ^b	30.094	<0.001
d 29–49	1,718.84	1,719.31	1,890.54	46.709	0.234
Total	3,653.69	3,417.90	3,617.14	51.330	0.128
FI (g)					
d 1–28	3,601.15 ^a	2,796.70 ^b	2,571.98 ^c	110.179	<0.001
Feed	-	2,612.57 ^a	2,298.95 ^b	56.67	<0.001
Silage	-	230.03 ^b	273.03 ^a	7.27	<0.001
d 29–49	6,300.10 ^a	5,482.79 ^b	5,402.32 ^b	116.353	<0.001
Feed	-	5,019.69 ^a	4,673.50 ^b	73.82	0.010
Silage	-	549.65 ^b	728.82 ^a	28.63	<0.001
Total	10,102.63 ^a	8,329.60 ^b	7,974.30 ^b	247.369	<0.001
Feed	-	7,632.27 ^a	6,972.45 ^b	126.53	0.002
Silage	-	779.62 ^b	1,001.85 ^a	34.99	<0.001
FCR (kg/kg)					
d 1–28	1.86 ^a	1.65 ^b	1.49 ^b	0.044	<0.001
d 29–49	3.75 ^a	3.20 ^{ab}	2.88 ^b	0.137	0.020
Total	2.78 ^a	2.44 ^b	2.21 ^b	0.076	0.002
EPEF	303.82 ^b	320.19 ^{ab}	391.56 ^a	17.165	0.009
EBI	260.42 ^b	274.45 ^{ab}	335.62 ^a	12.943	0.030

Results are expressed as a mean value.

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

¹BW: body weight; BWG: body weight gain; FI: feed intake; FCR: feed conversion ratio; EPEF: European Production Efficiency Factor; EBI: European Broiler Index.

²C, ducks fed with a commercial diet; B, ducks fed with a restricted amount of commercial diet and ad libitum beet pulp silage; M, ducks fed with a restricted amount of commercial diet and ad libitum maize silage.

B and M ($P < 0.001$). The pH, color, drip loss, WHC in pectoral muscle, and redness and yellowness in leg muscles were not statistically different ($P > 0.05$) (Table 5).

Table 4. Relative weight of broiler duck carcass elements.

Item (n = 6) (g/100 g)	Group ¹			SEM	P-value
	C	B	M		
Slaughter yield	68.55	67.96	68.80	0.528	0.809
Slaughter yield with offal	75.76	73.53	74.15	0.805	0.521
Heart	0.74	0.75	0.70	0.015	0.359
Liver	5.13 ^a	3.49 ^b	3.39 ^b	0.519	0.046
Gizzard	3.25	3.35	3.15	0.082	0.616
Neck	7.02	7.17	6.87	0.137	0.668
Pectoral muscle	22.30	20.90	22.27	0.299	0.089
Leg muscle	12.10	13.10	13.09	0.203	0.064
Skin with subcutaneous fat	20.37	20.61	21.27	0.419	0.674
Abdominal fat	0.63	0.81	0.70	0.047	0.287
Wings with skin	12.46	12.27	12.47	0.182	0.879
Carcass remains	21.88	22.04	20.35	0.398	0.162

Results are expressed as mean values.

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

¹C, ducks fed with a commercial diet; B, ducks fed with a restricted amount of commercial diet and ad libitum beet pulp silage; M, ducks fed with a restricted amount of commercial diet and ad libitum maize silage.

Table 5. Physicochemical features of pectoral and leg muscles of broiler ducks.

Item ¹ (n = 12)	Group ²			SEM	P-value
	C	B	M		
Pectoral muscle					
pH _{24 h}	5.68	5.65	5.64	0.014	0.535
L*	38.52	39.13	38.08	0.376	0.533
a*	16.35	16.10	16.29	0.242	0.908
b*	2.78	1.94	2.02	0.227	0.257
Drip loss (%)	0.97	1.32	1.21	0.118	0.490
WHC (%)	31.80	29.26	30.66	0.470	0.084
Leg muscle					
L*	36.16 ^b	38.77 ^{ab}	39.29 ^a	0.559	0.045
a*	16.25	15.88	15.24	0.299	0.387
b*	2.76	3.93	5.57	0.856	0.416
WHC (%)	31.32 ^a	23.62 ^b	25.93 ^b	0.681	<0.001

Results are expressed as mean values.

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

¹L*, lightness; a*, redness; b*, yellowness; WHC, water-holding capacity

²C, ducks fed with a commercial diet; B, ducks fed with a restricted amount of commercial diet and ad libitum beet pulp silage; M, ducks fed with a restricted amount of commercial diet and ad libitum maize silage.

Estimation Results of Production Economics

In group C, the costs of commercial starter and grower diets were significantly higher than those for the other groups, with group M fed with maize silage showing the lowest costs ($P < 0.001$, both). The costs of silage feeding were significantly higher for group M than for group B ($P < 0.001$). The total feed costs for group C were significantly higher than those for the experimental groups, with the lowest costs observed for group M compared with groups C and B ($P < 0.001$). Similar relationships were recorded in the case of other costs, with feed costs as 70% of the total costs ($P < 0.001$). The sale of carcasses was a significantly higher estimated profit for group M than for the other groups, and group C showed the lowest profit compared with groups M and B ($P < 0.001$) (Table 6).

DISCUSSION

In the present study, beet pulp silage showed higher CP and lower EE contents than maize silage. The chemical composition of silages may vary depending on many factors, including the ensiling method, the use of bacterial inoculants associated with fermentation, and the harvest date of the feed raw material (Hameleers et al., 1999). Therefore, the use of silage in poultry feeding should be carefully considered based on the nutritional variability of these roughages and the need to adapt the technology according to the quality and repeatability.

Our study demonstrated a beneficial effect of silage on production indicators, primarily FCR, in terms of BWG of ducks, particularly for group M fed with maize silage. Previous research has investigated the influence of feeding maize silage on the growth performance of geese. Biała Kołodzka geese were fed with restricted amounts of commercial diets and ad libitum amounts of maize silage (Kokoszyński et al., 2014). The authors found

Table 6. Estimated economics of broiler duck production.

Item (n = 12)	Group ¹			SEM	P-value
	C	B	M		
Starter feed (2.88 PLN gross/kg)	10.37 ^a	7.52 ^b	6.62 ^c	0.275	<0.001
Grower feed (2.84 PLN gross/kg)	17.89 ^a	14.26 ^b	13.27 ^c	0.354	<0.001
Beet pulp (83.39 PLN gross/t) or maize (220 PLN gross/t) silage	-	0.07 ^b	0.22 ^a	0.016	<0.001
Total feed costs (70% of production costs) (PLN)	28.26 ^a	21.85 ^b	20.11 ^c	0.610	<0.001
Other costs (30% of production costs) (PLN)	12.11 ^a	9.36 ^b	8.62 ^c	0.262	<0.001
Total production costs (PLN)	40.38 ^a	31.21 ^b	28.73 ^c	0.872	<0.001
Carcass price (21.84 PLN gross/kg) ²	56.78	55.55	55.81	0.686	0.754
Profit from direct sales of the carcass (PLN)	16.40 ^c	24.34 ^b	27.08 ^a	1.076	<0.001

Results are expressed as mean values within the group (costs per duck).
^{a,b,c}Mean values with different letters in a row indicate statistically significant differences ($P < 0.05$).

¹C, ducks fed with a commercial diet; B, ducks fed with a restricted amount of commercial diet and ad libitum beet pulp silage; M, ducks fed with a restricted amount of commercial diet and ad libitum maize silage.

²Price in direct (local) sales as of October 24, 2023: PLN 21.84/kg of duck carcass (based on the offer from <https://hurtownia-spozywcza.pl>); Prices of commercial diet and silages were calculated based on the data of real costs in the last week of August 2023.

decreased BW at the end of the rearing period; however, the geese compensated for this effect during oat fattening (14–17 wk of maintenance). In another study, a mixture of 10, 20, 30, and 40% maize silage with a commercial diet was used for rearing domestic Turkish geese (Aslan and Öztürk, 2022). The proposed feeding method showed no negative impact on the growth performance of geese. However, Holdobagy geese fed with a commercial diet mixed with whole-plant maize silage at the levels of 15, 30, and 50% exhibited decreased final BW and daily gains, with a significant decrease in FCR (Wang et al., 2023a). Wang et al. (2023b) conducted a similar study wherein 15% and 30% of whole-plant maize silage was used for feeding Holdobagy geese. Both experimental groups showed a significantly higher FI, with a significantly higher feed-to-gain ratio in the group fed with 15% silage. These findings suggested increased goose appetite and high palatability of the diet.

Silage-based diets for ducks are less popular, and the related literature on this topic is limited. Ridla et al. (2014) analyzed the effect of feeding rice bran silage (with 30–60% water content) on Mojosari Alabio ducks. The authors found that silage with 50% water content significantly increased BWG and reduced water intake but did not affect FI. Replacing rice bran with banana stem silage and taro in duck feeding impacted BWG (Tien et al., 2013). Previous studies reported duck feeding with rapeseed oil meal and potato silage, which affected higher body weight (Faruga et al., 1974) and potato silage, where the effect of silage on the weight and carcass composition was found (Bernacki and Kruszyński, 1991). Our present study showed a significantly lower BW of ducks fed with silage in the first rearing

period (d 1–28); however, the final BW was similar in all groups. Based on the abovementioned cited literature, we concluded that 4-wk-old ducks (until the end of the rearing period) compensated for BW, which is confirmed by the results of a significantly higher growth rate in the second rearing period.

Lower FI is associated with a higher dietary fiber content and depends on the amount of insoluble fiber and the adaptation of the digestive tract of different poultry species (Mateos et al., 2012). Mateos et al. (2012) showed that the content of 5% oat husks or beet pulp as a fiber source significantly influenced the reduction in FCR in the feeding of broiler chickens. These results agreed with the findings of our study, where the fiber source was silage. The consumption of feed rich in fiber could influence its longer retention in the digestive tract of ducks and simultaneously improve the utilization of ingredients. Kheravia et al. (2017) also concluded that broiler chickens fed granulated feed with coarsely ground maize had lower FCR and increased digestibility of ingredients.

Lower BW of ducks fed with silage in the first 4 wk of rearing might be because the digestive tract was not yet adapted to digest high fiber content. Adaptation to increased dietary fiber content increases with the size and development of the digestive tract (Jha and Mishra, 2021) and with the age of the birds. However, ducks fed with a crude fiber content of 1.46% and 9.03% demonstrated lower BW than the other groups (3.09–7.52% crude fiber). The authors found that ducks can adapt to a wide range of dietary crude fiber content (Han et al., 2017). In our study, ducks consumed significantly more fiber (combined ADF and NDF). Based on the estimation results from Tables 2 and 3, ducks from group B, group M, and group C consumed 2,004.62, 2,087.26, and 1,879.18 g of fiber per kg DM in feed, respectively.

Sulaiman et al. (2022) showed no negative effects on the performance and carcass quality of Pekin ducks fed with sago pith silage as a replacement for rice bran at levels 5, 10, 15, and 20%. When 20% of sago pith silage was used, the abdominal fat increased. In our research, the slaughter yield of ducks was similar in all groups, except for the relative weight of liver in 100 g of carcass. The lower liver weight could be attributed to either silage or limited feeding with a commercial diet, potentially correlating with the amount of feed intake by ducks. The liver is responsible for many metabolic processes, and its size is proportional to the activity of hepatocyte enzymes (Zaefarian et al., 2019). Palo et al. (1995) compared ad libitum and restrictive feeding of broiler chickens. Birds having constant access to feed had significantly higher weights of the liver, pancreas, gizzard, and intestines than those with restricted access to feed. Mohiti-Asli et al. (2012) observed that fiber content reduced liver weight, particularly fiber rich in cellulose, which is one of the main components of the NDF and ADF fractions (Theander and Aman, 1980; Rønn et al., 2022). Similar findings were reported by Akiba and Matsumoto (1978). Protein intake may also influence liver weight (Anugwa et al., 1989). In our study, ducks fed with silage (beet

pulp or maize) along with a restricted commercial diet consumed approximately 2 kg less feed than those in the control group. Additionally, ducks consumed more ADF and NDF, which corresponded to the above-mentioned findings and could have resulted in lower liver weight. Thus, it might be due to higher fiber consumption and feed (silage) structure.

The analysis of the physicochemical characteristics of the muscles revealed that group M had a lower L^* value in leg muscles, and groups B and M exhibited lower water loss from the leg muscles than group C. The assessment of the qualitative characteristics of Muscovy duck meat showed that the rearing system influenced the color parameters (a^* , b^*). Ducks maintained in an extensive system showed higher a^* and lower b^* values than those maintained in the semi-intensive rearing group. Water loss (WHC, expressed as muscle weight over time) was lower in the group of ducks in the semi-intensive system (Umagiliya et al., 2022). The cited authors indicated that the color of meat is influenced mainly by the content of dyes; for example, fresh roughage is rich in carotenoids, which may lead to higher color intensity (including yellowness). In our study, silage may have contributed to the lighter color of the muscles.

Differences in WHC may have resulted from the varying chemical composition of muscle tissues. Umagiliya et al. (2022) noted a positive linear relationship between fat content in meat and WHC. Water-holding capacity, a critical parameter of meat quality, affects the tenderness and juiciness of the meat. It is associated with the release of water from intercellular spaces and protein denaturation. Therefore, meat characteristics should be considered with long-term factors (including nutrition and genetic characteristics) and short-term factors (including slaughter) (Oswell et al., 2021; Jung et al., 2022).

As previously mentioned, 65 to 70% of production costs involve the costs of feed provided to birds. Therefore, poultry feeding management and its various methods determine the profitability of production (Ogunnusi et al., 2023). Our present study analyzed the feeding method of a restrictive commercial diet with ad libitum silage consumption. According to Ogunnusi et al. (2023), restrictive feeding is useful in growing poultry to support optimal energy and protein intake. All these aspects are essential for production economics and for strengthening the profitability of production. In our research, when estimating the protein intake in group C, ducks have an intake of over 2.24 kg of protein, in group B – 1.83 kg, and in group M – 1.66 kg during the 49 d. The most caloric feed was maize silage. Zeng et al. (2015) studied the influence of dietary energy and protein concentrations on the growth and carcass features of Pekin ducks and discussed that feeding with the highest energy diets affected BWG and FCR, which was related to the relatively high nutrient utilization, and concluded that the manipulation with dietary protein or energy content in diets and its balance is crucial.

In the present study, a notable finding was that the proposed feeding system of a restricted commercial diet

and ad libitum silage from beet pulp or the whole maize plant showed a beneficial effect on reducing production costs and increasing profit. The estimated profit for the experimental groups fed with silage was higher by PLN 7.94 to 10.68 per duck than for the control group. Wang et al. (2023a) analyzed the impact of feeding whole maize plant silage to Holdobagy geese on production economics. The authors showed that a feed based on 30% silage and 70% concentrate was profitable based on economic benefits. The estimated revenue was \$1.92 and \$0.86 per item for the experimental and control groups, respectively.

Nutrition and its impact on production aspects were also analyzed in other poultry species or with other feed components. Diluting the commercial diet with wheat grain led to significantly higher profits from the sale of carcasses of broiler chickens (Biesek et al., 2022a) and duck carcasses (Biesek et al., 2022b). The use of roughage (including fresh green fodder and silage) depends on the farm's resources, which may have a more crucial positive effect on production economics. This usage largely depends on the current market situation, including restructuring in the agricultural sector due to the transition of small-scale farms to specialized large-scale poultry farms. In recent years, several trends have been noted wherein consumers prefer to obtain raw materials from local farms (Rózewicz et al., 2018; Escobedo del Bosque et al., 2021).

To sum up, a commercial diet alongside beet pulp or whole maize plant silage proved advantageous for broiler duck production, particularly improving feed conversion ratio without negatively impacting slaughter yield or meat quality. Liver weight could be related to feeding method, structure, and fiber content in feeds. Economically, this diverse feeding method showed significant advantages, notably reducing production costs, and increasing profits from duck carcass sales. This approach aligns with sustainable practices and consumer preferences, making it a recommendation, especially for small-scale farms.

Further research is needed to standardize silage feeding due to variability in raw materials influenced by some factors like plant harvest dates and processing methods. Silage from the whole maize plant could be recommended based on efficiency indicators, growth rates, and estimated profits. Beet pulp also showed benefits compared with the standard commercial diet for broiler ducks.

ACKNOWLEDGMENTS

This research was funded by the Bydgoszcz University of Science and Technology as part of the subsidy BN-WHiBZ-1/2022 to the Department of Animal Breeding and Nutrition. Financially supported by the Minister of Science under the program “Regional Initiative of Excellence” (RID/SP/0017/2024/01).

DISCLOSURES

The authors of the manuscript entitled “Effects of feeding silage of beet pulp or maize on the growth

performance, meat quality, and production economics of broiler ducks” declare no potential competing interests.

REFERENCES

- Akiba, Y., and T. Matsumoto. 1978. Effects of force-feeding and dietary cellulose on liver lipid accumulation and lipid composition of liver and plasma in growing chicks. *J. Nutr.* 108:739–748.
- Anugwa, F. O. I., H. V. Varel, J. S. Dickson, W. G. Pond, and L. P. Krook. 1989. Effects of dietary fiber and protein concentration on growth, feed efficiency, visceral organ weights and large intestine microbial populations of swine. *J. Nutr.* 119:879–886.
- Aslan, R., and E. Öztürk. 2022. 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.* 54:325.
- AVEC. 2023. Annual report. <https://www.avec-poultry.eu/> (accessed on Oct. 26, 2023).
- Banday, M. T., S. Adil, I. U. Sheikh, H. Hamadani, F. I. Qadri, M. E. Sahfi, H. S. A. W. Sait, T. A. Abd El-Mageed, H. M. Salem, A. E. Taha, M. T. El-Saadony, and M. E. Abd El-Hack. 2023. The use of silkworm pupae (*Bombyx mori*) meal as an alternative protein source for poultry. *World Poul. Sci. J.* 79:119–134.
- Belarmino, L. C., M. N. Navarro Pabsdorf, and A. D. Padula. 2023. Impacts of the COVID-19 pandemic on the production costs and competitiveness of the Brazilian chicken meat chain. *Economic.* 11:238.
- Bernacki, Z., and J. Kruszyński. 1991. The results of growing and slaughter of duck broilers due to potato silage rations. *Zesz. Nauk. ATR Bydgoszcz. Zoot.* 19:93–103.
- Biesek, J., M. Banaszak, and M. Adamski. 2021. Ducks’ growth, meat quality, bone strength, and jejunum strength depend on zeolite in feed and long-term factors. *Animals* 11:1015.
- Biesek, J., M. Banaszak, M. Grabowicz, S. Właźlak, and M. Adamski. 2022b. Production efficiency and utility features of broiler ducks fed with feed thinned with wheat grain. *Animals* 12:3427.
- Biesek, J., M. Banaszak, S. Właźlak, and M. Adamski. 2022a. The effect of partial replacement of milled finisher feed with wheat grains on the production efficiency and meat quality in broiler chickens. *Poult. Sci.* 101:101817.
- Biesiada-Drzazga, B., U. Brodzik, and E. Wencek. 2018. The use of meat ducks in Poland. Part I. Performance features and factors influencing them. *Przegl. Hod.* 2:19–22 in Polish.
- Boguhn, J., H. Kluth, M. Bulang, T. Engelhard, and M. Rodehutsord. 2010. Effects of pressed beet pulp silage inclusion in maize-based rations on performance of high-yielding dairy cows and parameters of rumen fermentation. *Animal* 4:30–39.
- Chowdhury, P. R., H. Medhi, K. G. Bhattacharyya, and C. M. Hussain. 2023. Severe deterioration in food-energy-ecosystem nexus due to ongoing Russia-Ukraine war: A critical review. *Environ* 902:166131.
- Council Regulation. 2009. (EC) No. 1099/2009 of 24 September 2009 on the protection of animals at the time of killing. *Off. J. Eur. Union L* 303(1099/2009).
- Dunière, L., J. Sindou, F. Chaucheyras-Durand, I. Chevallier, and D. Thèvenot-Sergentet. 2013. Silage processing and strategies to prevent persistence of undesirable microorganisms. *Anim. Feed Sci. Technol.* 182:1–15.
- Escobedo del Bosuqe, C. I., A. Spiller, and A. Risius. 2021. Who wants chicken? Uncovering consumer preferences for produce of alternative chicken product methods. *Sustainability.* 13:2440.
- Faruga, A., M. Kozłowski, and H. Kozłowska. 1974. Rapeseed oilmeal and potato silage in feeding duck broiler. *Rocz. Nauk. Rol.* 61–73 B96.
- Givens, D. I., and H. Rulquin. 2004. Utilisation by ruminants of nitrogen compounds in silage-based diets. *Anim. Feed Sci. Technol.* 114:1–18.
- Gornowicz, E., L. Lewko, and M. Pietrzak. 2011. Kształtowanie się cech jakościowych mięsa kaczek w zależności od pochodzenia i metody chowu. *Post. Nauk. Technol. Przem. Rol.-Spożyw.* 66:32–43 (in Polish).
- Hameleers, A., K. A. A. Offer, and D. J. Roberts. 1999. The effects of incorporating sugar beet pulp with forage maize at ensiling on silage fermentation and effluent output using drum silos. *Grass Forage Sci.* 54:322–335.
- Han, H. Y., K. Y. Zhang, X. M. Ding, S. P. Bai, Y. H. Luo, J. P. Wang, and Q. F. Zeng. 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.* 96:4333–4341.
- Hao, Y., Z. Ji, Z. Shen, Y. Xue, B. Zhang, D. Yu, T. Liu, D. Luo, G. Xing, J. Tang, S. Hou, and M. Xie. 2022. Increase dietary fiber intake ameliorates cecal morphology and drives cecal species-specific of short-chain fatty acids in white Pekin ducks. *Front. Microbiol.* 13:853797.
- Ibrahim, D., A. Abdelfattah-Hassan, A. H. Arisha, R. M. Abd El-Aziz, W. R. I. A. Sherief, S. H. Adli, R. El Sayed, and A. E. Metwally. 2020. Impact of feeding anaerobically fermented feed supplemented with acidifiers on its quality and growth performance, intestinal villi and enteric pathogens of Mulard ducks. *Livest. Sci.* 242:104299.
- Jamroz, D., and A. Rutkowski. 2009. Physiological and environmental aspects in the nutrition of breeding ducks and geese. Pages 115–124 in 17th European Symposium on Poultry Nutrition. World Poultry Science Association (WPSA).
- Jha, R., and P. Mishra. 2021. Dietary fiber in poultry nutrition and their effects on nutrient utilization, performance, gut health, and on the environment: a review. *J. Anim. Sci. Biotechnol.* 12:51.
- Jung, D. Y., D. Lee, H. J. Lee, H.-J. Kim, J. H. Jung, A. Jang, and C. Jo. 2022. Comparison of chicken breast quality characteristics and metabolites due to different rearing environments and refrigerated storage. *Poult. Sci.* 101:101953.
- Keohavong, B., and X. Onphachanh. 2015. Growth performance of Muscovy ducks fed duckweed, taro silage, and water hyacinth. *Souphanouvong J* 1:26–30.
- Kheravii, S. K., R. A. Swick, M. Choct, and S.-B. Wu. 2017. Coarse particle inclusion and lignocellulose-rich fiber addition in feed benefit performance and health of broiler chickens. *Poult. Sci.* 96:3272–3281.
- Klopfenstein, T. J., G. E. Erickson, and L. L. Berger. 2013. Maize is critically important source of food, feed, energy and forage in the USA. *Field Crop. Res.* 153:5–11.
- Kokoszynski, D., Z. Bernacki, M. Grabowicz, and K. Stańczak. 2014. Effect of corn Silage and quantitative feed restriction on growth performance, body measurements, and carcass tissue composition in White Kołuda W31 geese. *Poult. Sci.* 93:1993–1999.
- Mateos, G. G., E. Jimenez-Moreno, M. P. Serrano, and R. P. Lazaro. 2012. Poultry response to high levels of dietary fiber sources varying in physical and chemical characteristics. *J. Appl. Poult. Res.* 21:156–174.
- Mohiti-Asli, M., M. Shivazad, M. Zaghari, S. Aminzadeh, M. Rezaian, and G. G. Mateos. 2012. Dietary fibers and crude protein content alleviate hepatic fat deposition and obesity in broiler breeder hens. *Poult. Sci.* 91:3107–3114, doi:10.3382/ps.2011-02040.
- Ogunnusi, O. J., C. O. Toyé, and A. A. Akinwemoye. 2023. Feed management as a paradigm for profitable poultry enterprise. *Anim. Res. Int.* 20:4684–4693.
- Oswell, N. J., O. P. Gilstrap, and R. B. Pegg. 2021. Variation in the terminology and methodologies applied to the analysis of water holding capacity in meat research. *Meat Sci* 178:108510.
- Palo, P. P., J. L. Sell, F. J. Piquer, M. F. Soto-Salanova, and L. Vilaseca. 1995. Effect of early nutrient restriction on broiler chickens. 1. Performance and development of the gastrointestinal tract. *Poult. Sci.* 74:88–101.
- Perz, K., S. A. Kacznarek, S. Nowaczewski, A. J. Cowieson, Ł. Jarosz, A. Ciszewski, and M. Hejdysz. 2023. The effect of reduction of resistant starch content of faba bean and pea by amylase supplementation on performance, nutrient digestibility, and sialic acid excretion of broiler chickens. *Anim. Feed Sci. Technol.* 298:115621.
- Polish Committee for Standardization, 2002. PN-ISO 6496:2002. Feed – Determination of moisture and other volatile substances. (in Polish) <https://www.pkn.pl/en> (Accessed Sept. 2023)
- Polish Committee for Standardization, 2005a. PN-EN ISO 9831:2005. Feeding stuffs, animal products, faeces and urine – Determination of gross energy – Bomb calorimetric method. (in Polish) <https://www.pkn.pl/en> (Accessed Sept. 2023)
- Polish Committee for Standardization, 2005b. PN-ISO 6492:2005. Feed – Determination of fat content. (in Polish) <https://www.pkn.pl/en> (Accessed September 2023)

- Polish Committee for Standardization, 2007. PN-EN ISO 16472:2007. Determination of neutral detergent fiber content after amylase treatment (aNDF). (in Polish) <https://www.pkn.pl/en> (Accessed Sept. 2023)
- Polish Committee for Standardization, 2009. PN-EN ISO 13906:2009. Determination of acid detergent fiber (ADF) and acid detergent lignin (ADL) content. (in Polish) <https://www.pkn.pl/en> (Accessed Sept. 2023)
- Polish Committee for Standardization, 2015. PN-EN ISO 20483:2014-02. Cereal grains and pulses - determination of nitrogen content and conversion to protein content - Kjeldahl method. (in Polish) <https://www.pkn.pl/en> (Accessed Sept. 2023)
- Ridla, M., F. K. Nikmah, and N. Ramli. 2014. Performance of Mojosari Alabio males ducks fed complete ration silage. *Anim. Prod.* 16:176–182.
- Rønn, M., K. E. Bach Knudsen, N. B. Kristensen, and M. R. Weisbjerg. 2022. Can lignin and monomer composition of fibre describe the variation in iNDF in forages? *Anim. Feed Sci. Technol.* 284:115157.
- Różewicz, M., J. Grabiński, and A. Sulek. 2018. Possibilities and limitations in the use of legumes from domestic cultivation in poultry feed in the context of fodder protein deficit. *Polish J. Agron.* 35:32–44.
- Singh, A. K., and W. K. Kim. 2021. Effects of dietary fiber on nutrients utilization and gut health of poultry: a review of challenges and opportunities. *Animals* 11:181.
- Sulaiman, A., H. Wijayanto, K. Anwar, E. Sumantri, and D. Biyatmoko. 2022. Performance and carcasses percentage of Pekin duck supplied with sago pith silage as an energy source. *Trop. Wetland J.* 8:22–28.
- Tanwiriah, W., J. Nurlin, D. Garnida, and E. Sujana. 2019. Performance and income over feed cost of Rambon duck that given the ration containing gold snail (*Pomaceae canaliculate*) and noni fruit (*Morinda citrifolia L*) flour. *IOP Conf. Series: Earth Environ. Sci.* 334:012009.
- Theander, O., and P. Aman. 1980. Chemical composition of some forages and various residues from feeding value determinations. *J. Sci. Food Agric.* 31:31–37.
- Tien, D. T. M., N. T. B. Tran, B. P. T. Hang, and T. R. Preston. 2013. Silage of banana pseudo-stem and taro foliage as replacement for rice bran fed to common ducks. *Livest. Res. Rural Dev.* 25:56.
- Umagiliya, M. D., N. Bandara, D. D. Jayasena, S. P. Macelline, S. R. Nawarathne, and P. Manjula. 2022. Comparison of meat quality traits in Muscovy ducks reared under two different management systems. *Anim. Ind. Technol.* 9:65–77.
- Wang, X., G. Li, Y. Liu, Y. Yang, C. Wang, S. Gong, L. Zhu, H. Lei, H. Wang, and D. He. 2023a. The effects of whole-plant silage maize as replacement commercial feed on the growth performance, carcass yield, relatively organ weight, blood biochemical, and economical traits in Holdobaki Goose. *Cogent Food Agric* 9:2236825.
- Wang, X., G. Li, H. Wang, Y. Liu, Y. Yang, C. Wang, S. Gong, and D. He. 2023b. Feeding whole-plant ensiled corn stover affects growth performance, blood parameters, and cecal microbiota of Holdobagy goose. *Front. Vet. Sci.* 10:1210706.
- Zaefarian, F., M. R. Abdollahi, A. Cowieson, and V. Ravidran. 2019. Avian liver: the forgotten organ. *Animals.* 9:63.
- Zeng, Q. F., P. Cherry, A. Doster, R. Murdoch, O. Adeola, and T. J. Applegate. 2015. Effect of dietary energy and protein content on growth and carcass traits of Pekin ducks. *Poult. Sci.* 94:384–394.
- Ziołocki, J., and W. Doruchowski. 1989. Methods for the Evaluation of Meat Quality and Yield. COBRD Publisher, Poznań, Poland, 1–12 in Polish.

Oświadczenie autora rozprawy doktorskiej

mgr inż. Iwona Zaremba

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. **Zaremba Iwona**, Grabowicz Małgorzata, Biesek Jakub. 2024. Effect of beet pulp silage and various feeding methods on the performance and meat quality of broiler ducks. *Animal Feed Science and Technology* (Elsevier), 308, 115879. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2024.115879>, 200 pkt. MNiSW, *Impact Factor*: 2,500

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

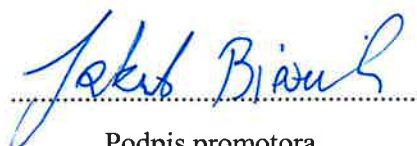
2. **Zaremba Iwona**, Grabowicz Małgorzata, Biesek Jakub. 2024. Effects of feeding silage of beet pulp or maize silage on the growth performance, meat quality, and production economics of broiler ducks. *Poultry Science* (Elsevier), 103, 103441. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2024.103441>, 140 pkt. MNiSW, *Impact Factor*: 3,800

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

Bydgoszcz, 04.10.2024
miejsowość, data



Podpis autora rozprawy doktorskiej



Podpis promotora

Oświadczenie współautora

dr hab. inż. Małgorzata Grabowicz, prof. PBS

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. Zaremba Iwona, **Grabowicz Małgorzata**, Biesek Jakub. 2024. Effect of beet pulp silage and various feeding methods on the performance and meat quality of broiler ducks. *Animal Feed Science and Technology* (Elsevier), 308, 115879. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2024.115879>, 200 pkt. MNiSW, *Impact Factor*: 2,500

Wykonane zadania w ramach artykułu: konceptualizacja badań, nadzór nad doświadczeniami, weryfikacja danych, metodyka, przygotowanie manuskryptu.

3. Zaremba Iwona, **Grabowicz Małgorzata**, Biesek Jakub. 2024. Effects of feeding silage of beet pulp or maize silage on the growth performance, meat quality, and production economics of broiler ducks. *Poultry Science* (Elsevier), 103, 103441. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2024.103441>, 140 pkt. MNiSW, *Impact Factor*: 3,800

Wykonane zadania w ramach artykułu: konceptualizacja badań, nadzór nad doświadczeniami, weryfikacja danych, metodyka, przygotowanie manuskryptu.

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

Bydgoszcz, 06.09.2024

miejsce, data

M. Grabowicz

podpis współautora

Oświadczenie współautora

dr hab. inż. Jakub Biesek, prof. PBS

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 artykule/artykułach naukowym/naukowych był następujący:

1. Zaremba Iwona, Grabowicz Małgorzata, **Biesek Jakub**. 2024. Effect of beet pulp silage and various feeding methods on the performance and meat quality of broiler ducks. *Animal Feed Science and Technology* (Elsevier), 308, 115879. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2024.115879>, 200 pkt. MNiSW, *Impact Factor*: 2,500

Wykonane zadania w ramach artykułu: konceptualizacja badań, nadzór nad doświadczeniami, analizy laboratoryjne, weryfikacja danych, metodyka, przygotowanie manuskryptu, autor korespondencyjny.

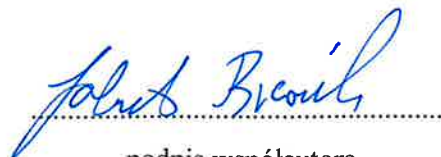
2. Zaremba Iwona, Grabowicz Małgorzata, **Biesek Jakub**. 2024. Effects of feeding silage of beet pulp or maize silage on the growth performance, meat quality, and production economics of broiler ducks. *Poultry Science* (Elsevier), 103, 103441. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2024.103441>, 140 pkt. MNiSW, *Impact Factor*: 3,800

Wykonane zadania w ramach artykułu: konceptualizacja badań, nadzór nad doświadczeniami, analizy laboratoryjne, weryfikacja danych, metodyka, przygotowanie manuskryptu, autor korespondencyjny.

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

Bydgoszcz 04.10.24

miejsowość, data



podpis współautora