



UNIwersytet
PRZYRODNICZY
W POZNANIU

Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu
Wydział Medycyny Weterynaryjnej i Nauk o Zwierzętach

Dziedzina: *Nauki Rolnicze*
Dyscyplina naukowa: *Zootechnika i Rybactwo*

mgr Anna Buzek

**Ocena efektywności mieszanek paszowych opartych
na krajowych surowcach białkowych
z dodatkiem enzymu fitazy w żywieniu tuczników**

Evaluation of the effectiveness of feed mixtures based on local
protein feedwith the addition of the phytase enzyme of growing pigs

Praca doktorska wykonana w Katedrze Żywienia Zwierząt
pod kierunkiem dr hab. Małgorzaty Kasprowicz-Potockiej
i dr inż. Anity Zaworskiej-Zakrzewskiej

Poznań 2023

Składam serdeczne podziękowania

*moim Promotorkom **Pani dr hab. Małgorzacie Kasprowicz-Potockiej** oraz **Pani dr inż. Anicie Zaworskiej-Zakrzewskiej** za cenne uwagi merytoryczne, opiekę naukową, nieocenioną pomoc oraz wyrozumiałość, cierpliwość i zaufanie. Dziękuję także za wsparcie i ogromną możliwość rozwoju.*

*Chciałabym także podziękować Pani Dziekan - **prof. dr hab. Małgorzacie Szumacher** za wiarę we mnie i dodawanie otuchy w trudnych chwilach, bez wsparcia której prawdopodobnie ta praca nigdy by nie powstała.*

*Składam również wyrazy podziękowania dla wszystkich pracowników i doktorantów **Katedry Żywienia Zwierząt UPP**, którzy przyczynili się do powstania niniejszej pracy.*

Autorka

*Pracę tę dedykuję Rodzicom,
za to, że nigdy we mnie nie wątpią.*

Wykaz prac naukowych wchodzących w skład cyklu

1. **Buzek A.**, Zaworska-Zakrzewska A., Muzolf-Panek M., Kasproicz-Potocka M. (2023). Microbial Phytase in a Diet with Lupine and Extruded Full-Fat Soya Seeds Affects the Performance, Carcass Characteristics, Meat Quality, and Bone Mineralization of Fatteners. *Animals*, 13(10), 1655. <https://doi.org/10.3390/ani13101655>

- **IF₂₀₂₂₋₂₀₂₃ = 3,231**
- **IF₅ = 2,739**
- **liczba punktów MEiN = 100**

2. **Buzek A.**, Zaworska-Zakrzewska A., Muzolf-Panek M., Łodyga D., Lisiak D., Kasproicz-Potocka M. (2023). Phytase Supplementation of Growing-Finishing Pig Diets with Extruded Soya Seeds and Rapeseed Meal Improves Bone Mineralization and Carcass and Meat Quality. *Life*, 13, 1275. <https://doi.org/10.3390/life13061275>

- **IF₂₀₂₁ = 3,253**
- **IF₅ = 3,728**
- **liczba punktów MEiN = 70**

Źródło finansowania badań

Podstawą niniejszej dysertacji są wyniki badań finansowanych w ramach Programu Wieloletniego ustanowionego Uchwałą Rady Ministrów nr 222/2015 pt.: „Zwiększenie wykorzystania krajowego białka paszowego dla produkcji wysokiej jakości produktów zwierzęcych w warunkach zrównoważonego rozwoju” i Obszaru 4 pt.: „Zwiększenie wykorzystania krajowego białka paszowego dla drobiu i świń poprzez właściwe skarmianie i uzyskanie produktów zwierzęcych wysokiej jakości”, realizowanego w latach 2016-2020.

**KANCELARIA
PREZESA RADY MINISTRÓW**

RM-111-222-15

UCHWAŁA NR 222/2015

RADY MINISTRÓW

z dnia 15 grudnia 2015 r.

w sprawie ustanowienia programu wieloletniego pod nazwą „Zwiększenie wykorzystania krajowego białka paszowego dla produkcji wysokiej jakości produktów zwierzęcych w warunkach zrównoważonego rozwoju”

Na podstawie art. 136 ust. 2 ustawy z dnia 27 sierpnia 2009 r. o finansach publicznych (Dz. U. z 2013 r. poz. 885, z późn. zm.¹⁾) Rada Ministrów uchwala, co następuje:

§ 1. 1. Ustanawia się program wieloletni pod nazwą „Zwiększenie wykorzystania krajowego białka paszowego dla produkcji wysokiej jakości produktów zwierzęcych w warunkach zrównoważonego rozwoju”, zwany dalej „Programem”, stanowiący załącznik nr 1 do uchwały.

2. Okres realizacji Programu ustala się na lata 2016–2020.

§ 2. 1. Program realizuje Instytut Uprawy, Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy w Puławach, Instytut Genetyki Roślin Polskiej Akademii Nauk w Poznaniu, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu oraz Instytut Technologiczno-Przyrodniczy w Falentach.

2. Nadzór nad realizacją Programu sprawuje minister właściwy do spraw rolnictwa.

§ 3. 1. Łączne wydatki z budżetu państwa na realizację Programu wyniosą 33 936 000 zł, z czego kwotę 960 000 zł stanowią wydatki majątkowe.

2. Wydatki z budżetu państwa, o których mowa w ust. 1, zostaną określone zgodnie z harmonogramem ich wydatkowania w ustawach budżetowych na poszczególne lata.

¹⁾ Zmiany tekstu jednolitego wymienionej ustawy zostały ogłoszone w Dz. U. z 2013 r. poz. 938 i 1646, z 2014 r. poz. 379, 911, 1146, 1626 i 1877 oraz z 2015 r. poz. 238, 532, 1045, 1117, 1130, 1189, 1190, 1269, 1358, 1513, 1830, 1854 i 1890.

Spis treści

Wykaz prac naukowych wchodzących w skład cyklu.....	4
Źródło finansowania badań.....	5
Wykaz skrótów.....	8
Streszczenie.....	10
Abstract.....	12
1. Wstęp.....	14
1. 1. Białko z krajowych surowców w paszy.....	16
1. 2. Soja (<i>Glycine Max</i>).....	17
1. 2. 1. Ekstrudowane nasiona soi (ExS).....	18
1. 3. Łubin żółty (<i>Lupinus luteus L.</i>).....	19
1.4. Rzepak (<i>Brassica napus L.</i>).....	21
1. 4. 1. Poekstrakcyjna śruta rzepakowa (RSM).....	21
1. 5. Fosfor i jego udział w paszach pochodzenia roślinnego.....	24
1. 6. Dodatki enzymatyczne i ich działanie.....	25
1. 6. 1. Fitaza w żywieniu zwierząt monogastycznych.....	26
2. Hipoteza.....	28
3. Cel badań.....	29
4. Materiały i metody.....	30
4. 1. Materiał roślinny.....	31
4. 1. 1. Ekstrudowane nasiona soi.....	31
4. 1. 2. Nasiona łubinu żółtego.....	31
4. 1. 3. Poekstrakcyjna śruta rzepakowa.....	32
4. 2. Enzym.....	32
4. 3. Materiał zwierzęcy i warunki doświadczeń.....	32
4. 4. Układ doświadczeń i pasze.....	34
4.5. Badane parametry i pobranie materiału do badań.....	34
4. 5. 1. Wskaźniki produkcyjne i zdrowotność.....	34
4. 5. 2. Badania poubojowe i pobieranie materiału do badań.....	35
4. 6. Analizy chemiczne i pomiary.....	35
4. 6. 1. Badania chemiczne pasz.....	35
4. 6. 2. Analiza mięsa.....	36

4. 6. 3. Analiza profilu kwasów tłuszczowych w mięsie.....	37
4. 6. 4. Analiza kości śródreńcza.....	38
4. 7. Analiza statystyczna.....	38
5. Wyniki badań.....	40
PUBLIKACJA I.....	40
5. 1. Wyniki produkcyjne.....	40
5. 2. Parametry poubojowe i jakość mięsa.....	41
5. 3. Profil kwasów tłuszczowych mięsa.....	41
5. 4. Charakterystyka składu kości śródreńcza.....	42
PUBLIKACJA II.....	43
5. 5. Wyniki produkcyjne.....	43
5. 6. Parametry poubojowe i jakość mięsa.....	43
5. 7. Profil kwasów tłuszczowych mięsa i wskaźniki jakości tłuszczu.....	44
5. 8. Indeksy jakości tłuszczu.....	45
5. 9. Charakterystyka składu kości śródreńcza.....	45
Tabele – PUBLIKACJA I.....	46
Tabele – PUBLIKACJA II.....	51
6. Wykaz analiz.....	56
7. Dyskusja.....	57
8. Stwierdzenia i wnioski.....	65
9. Zalecenia.....	65
10. Spis publikacji cytowanych w opisie rozprawy doktorskiej.....	66
11. Oświadczenia i publikacje.....	79

Wykaz skrótów

ANF – substancje antyodżywcze

ANOVA - analiza wariancji

BWG – przyrosty masy ciała

Con - grupa kontrolna (Doświadczenie II)

DM - sucha masa

ExS – ekstrudowane nasiona soi

F - loszki

FBW – końcowa masa ciała

FCR – współczynnik wykorzystania paszy

FI - spożycie paszy

FTU - jednostka aktywności fitazy

GDA - ogólna analiza dyskryminacji

GMO – genetycznie zmodyfikowany organizm

IBW – początkowa masa ciała

KŻBR- krajowe źródła białka roślinnego

M - wieprzki

MUFA - jednonienasycone kwasy tłuszczowe

NSP - polisacharydy nieskrobiowe

P.R. - współczynnika korelacji rang Spearmana

PCA - analiza podstawowych składowych

P-fit - fosfor fitynowy

Phy0 – grupa kontrolna (Doświadczenie I)

Phy1 - grupa kontrolna + fitaza 100 g/t (Doświadczenie II)

Phy100 - grupa kontrolna + fitaza 100 g/t (Doświadczenie I)

Phy2 - grupa kontrolna + fitaza 400 g/t (Doświadczenie II)

Phy400 - grupa kontrolna + fitaza 400 g/t (Doświadczenie I)

PUFA - wielonienasycone kwasy tłuszczowe

RSM – poekstrakcyjna śruta rzepakowa

SBM – poekstrakcyjna śruta sojowa

SFA - nasycone kwasy tłuszczowe

Streszczenie

Ważną kwestią w rolnictwie jest zapewnienie krajowego bezpieczeństwa białkowego, stąd poszukiwane są możliwości zwiększenia udziału lokalnych pasz białkowych w żywieniu zwierząt. Celem badań było określenie wpływu dwóch dawek fitazy mikrobiologicznej do mieszanek dla tuczników, w których głównym surowcem białkowym były ekstrudowane nasiona soi i nasiona łubinu żółtego lub poekstrakcyjna śruta rzepakowa, na wskaźniki produkcyjne, poubojowe tuszy oraz skład chemiczny mięsa i kości, a także profil kwasów tłuszczowych. Ocenie statystycznej poddano wpływ fitazy i płci na w/w parametry. Przeprowadzono dwa doświadczenia, a każdym wykorzystano po 60 warchlaków (30♂, 30♀) mieszańców o masie ciała ok. 30 kg, które przydzielono do 3 grup. Doświadczenia podzielono na trzy okresy żywieniowe Starter, Grower i Finisher. W Doświadczeniu I jako surowce wysokobiałkowe zastosowano ekstrudowane nasiona soi i nasiona łubinu żółtego, a w Doświadczeniu II ekstrudowane nasiona soi i poekstrakcyjną śrutę rzepakową. Jako dodatek enzymatyczny zastosowano fitazę Quantum Blue 5G w ilości 100 lub 400 g na tonę paszy. Po zakończeniu każdego tuczu, po 12 tuczników z grupy (6♂, 6♀), uśmiercono w celu pobrania materiału biologicznego do dalszych badań i poddano ocenie poubojowej. Wykonano analizy chemiczne mięsa i kości, oraz zbadano profil kwasów tłuszczowych w mięsie. W Doświadczeniu I zastosowanie obu dawek fitazy, wpłynęło istotnie na przyrosty masy ciała i niższy współczynnik wykorzystania paszy w okresie Starter ($p < 0,05$), natomiast w Doświadczeniu II fitaza nie wpłynęła na wyniki produkcyjne, natomiast obniżyła istotnie wykorzystanie paszy w całym okresie tuczu. Dodatek fitazy zwiększył istotnie udział fosforu w mięsie w obu doświadczeniach, a także wapnia w kościach (Doświadczenie I) i fosforu w kościach (Doświadczenie II). W Doświadczeniu I, mięso cechowało się mniejszym udziałem tłuszczu i niższą wodochłonnością ($p < 0,05$) w grupach otrzymujących fitazę, natomiast nie wpłynęła ona na parametry jakości tuszy i pozostałe parametry mięsa. W Doświadczeniu II dodatek enzymu obniżył zawartość kwasu dokozatetraenowego w mięsie, a w Doświadczeniu I nie wpłynął na profil kwasów tłuszczowych. Wieprzki osiągnęły istotnie wyższy przyrost i końcową masę ciała niż loszki, a także zużywały mniej paszy na kilogram przyrostu. W Doświadczeniu I loszki charakteryzowały się większą mięsnością, długością tuszy i grzbietu oraz grubością mięśnia pośladkowego i schabu niż wieprzki ($p < 0,05$). Wieprzki z kolei

miały istotnie grubszą słoninę aniżeli loszki. Analiza statystyczna wykazała interakcję płci i fitazy w odniesieniu do niektórych cech tłuszczu. Wyższa dawka fitazy nie wpłynęła korzystnie na żadne badane wskaźniki. Dawka fitazy w ilości 100g/t może być zalecana jako dodatek do diet zawierających krajowe surowce białkowe jako główne źródła białka w dietach dla tuczników.

Abstract

An important issue in agriculture is to ensure protein security in Poland, so opportunities are sought to increase the share of domestic protein feed in animal nutrition. The aim of the study was to determine the effect of two doses of microbial phytase in mixtures for fattening pigs, in which extruded soybean seeds and post-extraction rapeseed meal or yellow lupine seeds were the main protein raw material, on production indices, carcass post-slaughter parameters and the chemical composition of meat, fat and bones. The influence of phytase and sex on these parameters was also statistically evaluated. Two experiments were carried out, each using 60 hybrid weaners (30♂, 30♀) weighing approx. 30 kg, which were divided into 3 groups. The experiments were divided into three feeding periods: Starter, Grower and Finisher. In Experiment I extruded soybean seeds and yellow lupine seeds and in Experiment II - extruded soybean seeds and post-extraction rapeseed meal were used as high-protein raw materials, and Quantum Blue 5G phytase was used as an enzyme additive in the amount of 100 or 400 g per ton of feed. After finishing fattening, 12 pigs from each group (6♂, 6♀) were slaughtered and subjected to post-slaughter evaluation. In addition, chemical analyzes of meat and bones were performed, and the profile of fatty acids in meat was examined. In Experiment I, the use of both doses of phytase did not significantly affect production results, but it reduced feed conversion throughout the fattening period ($p < 0.05$), and in Experiment II, higher body weight gains and lower feed conversion index were recorded in the starter period ($p < 0.05$). The addition of phytase significantly increased ($p < 0.05$) the share of phosphorus in meat in both experiments, as well as phosphorus in bones (Experiment I) and calcium in bones (Experiment II). In Experiment I meat was characterized by a lower fat content and lower water absorption ($p < 0.05$), while in Experiment II, phytase did not affect carcass quality parameters and other meat parameters. In Experiment II, the addition of the enzyme reduced the content of docosatetraenoic acid in meat, and in Experiment I, it did not affect the fatty acid profile. Hogs achieved significantly higher growth and final body weight than gilts, and consumed less feed per kilogram of gain. In Experiment I gilts were characterized by greater meat content, length of the carcass and back as well as thickness of the gluteal and loin muscles than hogs ($p < 0.05$). Pigs, on the other hand,

had a thicker backfat ($p < 0.05$). Statistical analysis showed an interaction of sex and phytase for some fat characteristics. A higher dose of phytase did not have a positive effect on any of the studied indicators. The dose of phytase in the amount of 100g/t may be recommended as an addition to diets containing domestic protein raw materials as the main sources of protein in diets for fattening pigs.

1. Wstęp

Rolnictwo w Unii Europejskiej boryka się z wieloma problemami o podłożu politycznym, ekonomicznym oraz gospodarczym. Także hodowla trzody chlewnej istotnie zmieniła się na przestrzeni ostatniego dziesięciolecia. Populacja świń, również w Polsce notuje istotne spadki. Aktualnie zarejestrowanych jest ok. 59,2 tys. stad trzody chlewnej (GUS, 2023). Obecna struktura świń w Polsce wskazuje na to, że większość żywca znajduje się w dużych gospodarstwach i na fermach wielkotowarowych, a ich liczba na koniec grudnia 2022 roku nie przekraczała 9,7 mln sztuk (tabela 1) (GUS, 2023). Sytuacja ta jest spowodowana głównie spadkiem opłacalności produkcji w sektorze trzody chlewnej, co najbardziej dotknęło rolników z niewielką liczbą sztuk świń (Kopiński, 2020). Również afrykański pomór świń był istotnym czynnikiem, który przyczynił się do decyzji o rezygnacji z hodowli trzody chlewnej. Przepisy sanitarne zmusiły rolników do przyjęcia zaostrzonej bioasekuracji, utrzymywania dobrostanu i warunków odpowiednich dla określonych grup wiekowych. Aby spełnić wymogi ustalone przez Inspekcję Weterynaryjną i Unię Europejską rolnicy musieli ponieść dodatkowe, duże koszty. Z tych powodów pomór świń obecnie znacznie utrudnia utrzymanie się na rynku, gdyż prowadzi do różnic regionalnych w cenach skupu trzody (Szymańska i Dziewulski, 2022).

Tabela 1. Pogłowie trzody chlewnej w Polsce w latach 2002 – 2022 (GUS, 2023)

Rok	2002	2010	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Ilość sztuk (mln)	18,6	15,3	11,1	11,4	11,8	10,8	11,3	10,3	9,6

Głównym czynnikiem decydującym o opłacalności chowu świń są koszty związane z ich żywieniem. Uważa się, że jest to ok. 70% wszystkich poniesionych kosztów (Ali i in., 2017; Kozera, 2020). Białko jest składnikiem odżywczym niezwykle istotnym dla organizmu, a zarazem bardzo kosztownym. Obecnie najważniejszym źródłem białka w żywieniu zwierząt na całym świecie jest

poekstrakcyjna śruta pozyskiwana z nasion soi (**Davison, 2010**), której duża części jest importowana z Ameryki Północnej i Południowej (**Sieradzki i in., 2018**). Podkreślić należy także kontrowersyjną dla części społeczeństwa kwestię wykorzystania w żywieniu zwierząt i diecie człowieka roślin genetycznie zmodyfikowanych (GMO) (**Tsatsakis i in., 2017; Woźniak i Twardowski, 2018**). W Europie aktualnie dopuszczone są do uprawy jedynie odmiany genetycznie niemodyfikowane (**Dei, 2011**). Wzrastająca niechęć Europejczyków do produktów GM oraz potrzeba zabezpieczenia źródeł surowców do produkcji pasz na wypadek nieoczekiwanej zapaści w handlu globalnym, wymagają wprowadzenia i wykorzystywania w żywieniu zwierząt innych, wysokobiałkowych komponentów (Rozporządzenie (WE) nr 1829/2003 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 22 września 2003 r.).

Wobec powyższego od wielu lat poszukiwane są możliwości zwiększenia udziału krajowych źródeł białka roślinnego (KŻBR) w celu ograniczenia, bądź zastąpienia importowanej poekstrakcyjnej śruty sojowej (SBM), zwłaszcza w świetle planowanego wprowadzenia zakazu stosowania pasz GMO w żywieniu zwierząt w Polsce (1.01.2025) (**Ustawa o paszach, Dz. U. 2006 Nr 144 poz. 1045**). W odpowiedzi na potrzeby rolników przez ponad 15 lat, zespoły badawcze pracowały nad wprowadzeniem ulepszonych odmian roślin białkowych, które pod względem wartości pokarmowej oraz jakości surowca byłyby porównywalne do SBM (**Dzwonkowski i in., 2015; Zaworska i in., 2017**). Ciągłe udoskonalanie roślin bobowatych umożliwiło uzyskanie odmian, charakteryzujących się zwiększonym udziałem białka i jednocześnie niższą zawartością składników antyodżywczych (ANF) (**Sedláková i in., 2016; Sońta i in., 2020**). Całość tych badań ma na celu przede wszystkim zaspokojenie zapotrzebowania na białko do produkcji pasz w Polsce, ale także promocję krajowych nasion roślin bobowatych oraz rozwój polskiego rolnictwa (Uchwała Rady Ministrów nr 222/2015).

Ponadto Europejski Zielony Ład ogłoszony w 2019 r. zawiera plan działań na rzecz zwiększenia efektywnego wykorzystania zasobów poprzez przejście na czystą gospodarkę o obiegu zamkniętym oraz zatrzymanie zmian klimatycznych, utrzymanie różnorodności biologicznej i ograniczenie zanieczyszczeń. Skutki zmian klimatu będą dla produkcji rolnej w Polsce coraz bardziej dotkliwe. Sektor ten stoi przed dwoma

ważnymi wyzwaniem: potrzebą redukcji emisji gazów cieplarnianych oraz prowadzeniem działań adaptacyjnych do zachodzących zmian. Mając na uwadze powyższe, rolnicy zobligowani są efektywnie gospodarować zasobami, w tym wykorzystywać dostępne nawozy organiczne, powstające podczas produkcji zwierzęcej (Czekala, 2015; Case i in., 2017). Azot i fosfor to pierwiastki, które w znacznym udziale trafiają do środowiska wraz z odchodami, a ich nadmiar zaburza funkcjonowanie całego ekosystemu, zanieczyszcza glebę i prowadzi do eutrofizacji wód. Wskazuje się, że ponad 1/3 pobranego przez zwierzęta fosforu nie zostaje strawiona (Skowron i in., 2019; Rashmi i in., 2022). Dodatki paszowe, takie jak enzymy wspomagające dostępność i wchłanianie składników pokarmowych z pasz, stosowane są coraz powszechniej w żywieniu zwierząt monogastycznych. Mają one na celu ograniczenie emisji pierwiastków biogenych, negatywnie wpływających na środowisko, jednocześnie zwiększając wykorzystanie składników pokarmowych z paszy.

1. 1. Białko z krajowych surowców w paszy

Zdecydowana większość (ok. 75%) surowców wysokobiałkowych pochodzących z przemysłu olejarskiego pochodzi z importu (Jerzak i Mikulski, 2017). W sezonie 2021–2022 import SBM wzrósł o 2% w porównaniu z poprzednim sezonem i wyniósł blisko 3,2 mln ton. Nasilające się susze, rosnący popyt na białko w krajach azjatyckich, problemy w globalnych łańcuchach dostaw doprowadzały na przestrzeni ostatnich lat do trudności z dostępem do surowców w kraju i czasowego ograniczenia produkcji żywności (Florek, 2017). Czynniki wyżej wymienione oddziałują na cenę wysokobiałkowych surowców, która nie jest stabilna i ulega ciągłym fluktuacjom, w szczególności ceny rynkowe SBM kształtują ceny pozostałych surowców wysokobiałkowych. Jednocześnie duże zapotrzebowanie na importowany surowiec uzależnia rynek wewnętrzny od zewnętrznego i stwarza zagrożenie dla przyszłej sytuacji żywnościowej w kraju.

Surowcami krajowymi są m.in. nasiona rzepaku, z których przemysł olejarski pozyskuje olej i poekstrakcyjną śrutę rzepakową (RSM), oraz nasiona krajowej soi czy

nasiona łubinów. Zawierają one podobną ilość białka ogólnego jak i aminokwasów co importowane produkty sojowe (**Smulikowska i Rutkowski, 2005; Shi i in., 2016; Kiesz, 2018**). Rośliny bobowate mają ogromny potencjał ekologiczny. Charakteryzują się tym, że potrafią wiązać azot, dzięki czemu pozytywnie wpływają na właściwości fizyko-chemiczne gleby (**Santoyo i in., 2012; Owen i in., 2015; Waraczewska i in., 2017**). W skali światowej, uprawy roślin strączkowych (bobowatych grubonasiennych) zajmują ok. 15% gruntów ornych i zabezpieczają potrzeby żywieniowe człowieka na białko w ok. 33%. Szacuje się, że dzięki symbiozie tych roślin z bakteriami asymilującymi wolny azot z powietrza wiążą one rocznie ok. 120 mln ton N₂. Ze względu na wielostronne oddziaływanie na glebę są nieodzownym ogniwem w zmianowaniu, niezależnie od stosowanego systemu produkcji, a korzystny skład chemiczny nasion sprawia, że stanowią ważny komponent pasz wysokobiałkowych dla zwierząt monogastrycznych i przeżuwających oraz dla człowieka.

Krajowa sytuacja białkowa z roku na rok poprawia się także ze względu na wprowadzenie dopłat do uprawy roślin bobowatych, przeprowadzeniu wielu szkoleń wśród rolników oraz upowszechnianiu materiałów szkoleniowych, monografii, filmów instruktażowych i instrukcji wypracowanych w ramach programów wieloletnich, realizowanych w latach 2011-2020.

1. 2. Soja (*Glycine Max*)

W ostatnich latach możemy zauważyć wzrost zainteresowania uprawą soi na terenie Unii Europejskiej i Polski. W okresie od 2010 do 2018 roku powierzchnia uprawy soi w samej Polsce wzrosła ponad trzydziestokrotnie ze 181 do 5 447 ha. W 2019 roku uprawa soi zajęła już 19,5 tys. ha, co świadczy o dużym potencjale tej rośliny w krajowej produkcji roślinnej, a w roku 2022, obszar stanowił ponad już ok. 48 tys. ha (**GUS, 2023**). Krajowe nasiona soi zawierają średnio 34,7% białka ogólnego, jednakże zawartość tego składnika waha się od 25,9 do 42,0%, z czego średnio 75% stanowi białko strawne, podczas gdy udział tłuszczu surowego oscyluje w granicach 20% (**Rutkowski i Zaworska-Zakrzewska, 2020**). Natomiast, stosowanie surowej soi w żywieniu zwierząt monogastrycznych, w tym świń rosnących, jest niewskazane ze

względu na obecność ANF (**Choct i in., 2010; Radcliffe i in., 2019**). Badania realizowane w roku 2016, w ramach programu wieloletniego wykazały, że maksymalny udział surowych nasion soi w mieszance dla rosnących świń może wynosić 5%, choć i on nie jest on rekomendowany (**Zaworska-Zakrzewska i in., 2020b**). Głównymi substancjami o charakterze antyodźwyczym w nasionach soi są: inhibitory trypsyny, fityniany, ureaza, miktotoksyny, taniny i białka antygenowe. Substancje te mają negatywny wpływ na funkcjonowanie układu pokarmowego, pobranie paszy, obniżają strawność a także wartość odżywczą pasz (**Rada i in., 2017; Abbas i Ahmad, 2018; Zaworska-Zakrzewska i in., 2020b**).

1. 2. 1. Ekstrudowane nasiona soi (ExS)

Na wartość pokarmową krajowych źródeł białka roślinnego można wpłynąć poprzez stosowanie zabiegów uszlachetniających. Podstawowym i najczęściej stosowanym w Polsce procesem przetwarzania surowców jest ekstruzja (**Niwińska i in., 2019**). Ekstruzja prowadzi do zmiany w strukturze materiału, podczas którego zachodzi skleikowanie skrobi, co przyczynia się do zwiększenia strawności tego składnika. Dzieje się tak dzięki, przeprowadzeniu w podgrzewanym, strefowo zamkniętym cylindrze materiału paszowego za pomocą podajnika ślimakowego w zakresie temperatur pomiędzy 120 a 200°C i w czasie kilkudziesięciu sekund (**Wójtowicz, 2018**). Ekstruzja nasion roślin bobowatych odbywa się najczęściej w temperaturze 130- 160°C oraz trwa od 30 do 40 s, stąd przyjmuje często miano procesu HTST (z angielskiego od high- temperature - short -time) Odpowiednie ciśnienie i wysoka temperatura pozwala na przejście surowca we wskazanym tempie przez matryce, dezaktywując termolabilne ANF oraz zapewniając higienizację otrzymanego surowca (**Różewicz, 2019**). Podczas ekstruzji materiał jest dokładnie mieszany, zagęszczony oraz uplastyczniony, a następnie wytlaczany na skutek działania wysokiego ciśnienia, dochodzącego do 20 MPa (**Mościcki i in., 2007a, b; Wójtowicz, 2018**). Ekstruzja pełnotłustych nasion soi może powodować nieznaczny wzrost zawartości białka, przy spadku udziału włókna surowego i ANF, takich jak inhibitory proteaz i ureaza, a w mniejszym stopniu także i fityniany (**Milczarek i in.,2017; Ma i in 2018**). W porównaniu do SBM ekstrudowane nasiona zawierają mniej białka i lizyny, ale

istotnie wyższą zawartość tłuszczu ok. 18-19%, a szczególnie nienasyconych kwasów tłuszczowych. Ze względu na jednoczesny wysoki udział białka i tłuszczu, ekstrudowane pełnotłuste nasiona soi mogą być stosowane alternatywnie dla mieszanek z udziałem SBM i dodatkowo natłuszczanych, lub też w różnych kombinacjach z KŻBR, np. z RSM, czy nasionami łubinu, grochu i bobiku. Liczne badania sugerują, że możliwe jest częściowe lub nawet całkowite zastąpienie SBM przez KŻBR w dietach dla rosnących świń (**Kasprowicz-Potocka, 2016; Zaworska i in., 2018; Zaworska-Zakrzewska i in., 2019**). Cena uszlachetnionego surowca jest nieco wyższa, jednak z ekonomicznego punktu widzenia ExS jest ważna w żywieniu rosnących zwierząt, gdyż poza białkiem zabezpiecza sporą część energii zmagazynowaną w tłuszczu (**Milczarek i in., 2017; Różewicz, 2019**).

1. 3. Łubin żółty (*Lupinus luteus* L.)

Najwyższą zawartością białka ogólnego wśród roślin bobowatych cechuje się łubin. W Europie uprawia się głównie trzy gatunki łubinu: łubin biały (*Lupinus albus*), łubin żółty (*Lupinus luteus*) i łubin wąskolistny (*Lupinus angustifolius*). Nasiona łubinu to surowiec, który ma wiele zalet, natomiast w przeciwieństwie do ziaren zbóż czy nasion bobiku oraz grochu, posiada niską zawartość skrobi (**Kaczmarek i in., 2016a**), co wpływa na jego niższą wartość energetyczną. Jednocześnie łubin ma stosunkowo niskie wymagania uprawowe oraz cechuje się dobrą zdolnością do wiązania azotu.

Nasiona łubinu żółtego mają najwyższy procentowy udział białka spośród wszystkich gatunków łubinu uprawianych w kraju (ok. 42-45 % w DM), i znacznie przewyższa ona udział białka w nasionach soi. W porównaniu do nasion soi skład aminokwasowy białka łubinu charakteryzuje się jednakże niższą zawartością metioniny, cysteiny, lizyny, treoniny i tryptofanu, natomiast zawartość argininy jest znacznie wyższa (**Stanek i in., 2006; Suchý i in., 2006a**). Białko nasion łubinu żółtego jest dość dobrze trawione przez świnię, a jego strawność wynosi ok. 89%, co można porównać do strawności SBM (**Sedláková i in., 2016**).

W porównaniu z nasionami soi, nasiona łubinu uprawiane w Europie mają niższą zawartość tłuszczu, którego zakres jest bardzo szeroki i waha się od ok. 5 do 12,5 % (**Straková i in., 2006, Kasprowicz-Potocka i in., 2021**). Olej z nasion łubinu jest bogatym źródłem nienasyconych kwasów tłuszczowych, takich jak kwas oleinowy i linolowy (powyżej 80%). Z żywieniowego punktu widzenia olej łubinowy ma bardzo korzystny stosunek kwasów tłuszczowych n-3 / n-6 (**Sedláková i in., 2016**). Ciekawym składnikiem frakcji lipidowej łubinu jest lupeol, alkohol triterpenowy wykazujący wpływ na szybszą regenerację naskórka (**Msika i in., 2006**).

Podobnie jak u innych bobowatych w nasionach łubinu żółtego występują także ANF, w szczególności takie jak alkaloidy, które odpowiadają za gorzki smak paszy oraz zaburzają pracę układu nerwowego i pokarmowego. Powodują obniżenie pobierania paszy, zahamowanie wzrostu, a nawet drgawki czy problemy oddechowe. Z kolei inne związki z grupy oligocukrów - alfa - galaktozydy z rodziny rafinoz, na skutek braku endogennych enzymów trawiących u zwierząt, fermentują w przewodzie pokarmowym powodując m.in. tworzenie się gazów wzdymających, głównie dwutlenku węgla i wodoru. W porównaniu do odmian gorzkich (wysokoalkaloidowe), udział ANF w nowo wyhodowanych słodkich odmianach łubinu znacznie się zmniejszyła i występują one tam w ilościach śladowych. Dlatego nasiona słodkich odmian i produkty z nich otrzymane mogą być wykorzystane w przemyśle spożywczym, a także w żywieniu zwierząt monogastrycznych (**Aniszewski i in., 2001**). Około połowa udziału fosforu ogólnego zmagazynowana w nasionach łubinu występuje w postaci soli kwasu fitynowego, tworząc kompleksy fitynowo – białkowe i łącząc się z kationami metali dwuwartościowych jak Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} oraz Zn^{2+} . Fosfor występujący w takim połączeniu charakteryzuje się bardzo małą biodostępnością. Wynika to z braku lub niewielkiej ilości, natywnych fitaz w sokach trawiennych zwierząt monogastrycznych. Jednak przyswajalność fosforu można zwiększyć poprzez zastosowanie fitaz, które rozkładają fityniany (**Coban i Demirci, 2017; Kumar i Sinha, 2018; Romano i Kumar, 2018**). Pomimo w/w udoskonaleń, w żywieniu prosiąt odsadzonych i warchlaków proponowana maksymalna zawartość nasion łubinu żółtego w wynosi do 15%.

1.4. Rzepak (*Brassica napus L.*)

Aktualnie rzepak jest jedną z najważniejszych roślin oleistych uprawianych w klimacie umiarkowanym. Według **Rosiaka (2014)** czołowymi producentami rzepaku są Unia Europejska, Kanada, Chiny i Indie. Polska zajmuje 3. miejsce w Europie i 7. miejsce na świecie (95-97% upraw roślin oleistych) w uprawie rzepaku. Ponadto zaraz obok Kanady, Polska jest liderem wśród badań w zakresie jakości tego surowca (**United States Department of Agriculture (USDA), Oilseeds: World's Market and Trade, '04 2018**). W 2019 r. według Polskiego Stowarzyszenia Producentów Oleju (PSPO) w kraju przetworzono 2,96 mln ton nasion rzepaku, dzięki czemu wyprodukowano 1 634 tys. ton poekstrakcyjnej śruty rzepakowej, która jest relatywnie tańsza niż pełnotłuste nasiona rzepaku i jest głównym produktem ubocznym. W 2020 roku po raz pierwszy w historii przerób rzepaku wg PSPO przekroczył próg 3 mln ton, a w roku 2022 wyniósł łącznie 3,27 mln ton (**GUS, 2023**). Stosowanie nasion w formie nieprzetworzonej nie jest jednak upracticznione. Wynika to z wysokiej zawartości ANF oraz znaczącego, bo ok. 40% udziału tłuszczu, co może przyczyniać się do pogorszenia stanu zdrowia zwierząt (**Kaczmarek i in., 2016b**). Obecnie w Polsce uprawia się głównie odmiany podwójnie uszlachetnione („00”) o znacznie obniżonej zawartości kwasu erukowego i glukozyzolanów (do ok. 15 mmol/kg) (**Smulikowska, 2002; Walczak i Kwiatek, 2006; Patyra i in., 2016**).

1. 4. 1. Poekstrakcyjna śruta rzepakowa (RSM)

Rzekpak jest podstawowym surowcem do produkcji oleju i biopaliw w Polsce. Z kolei produktami ubocznymi przy pozyskiwaniu oleju są RSM oraz wylłoki i makuchy, które, tuż po SBM, są jednymi z najczęściej wykorzystywanych komponentów roślinnych w żywieniu zwierząt gospodarskich w kraju.

RSM charakteryzuje się wysoką zawartością białka (ok. 38%) przy stosunkowo dużej stabilności udziału tego składnika pokarmowego oraz wysokiej strawności oscylującej w granicach 72-76%. Biorąc pod uwagę zapotrzebowanie świń, RSM charakteryzuje się wysoką zawartością aminokwasów siarkowych, tj. metioniny

(7,5 g/kg DM) i cystyny (9,2 g/kg DM), wyższą niż w SBM (**Brzóška i in., 2010; Kaczmarek i in., 2016b**). Strawność ogólna aminokwasów wynosi ok. 90% w przypadku metioniny i 78-81% w przypadku lizyny, przy pozornej jelitowej strawności białka dla świń na poziomie 81%, czym nie dorównuje SBM (89%) (**Mazur i in., 2020**). Poza tym należy także podkreślić, że białko RSM ma mniejszą zawartość lizyny niż SBM (**Brzóška i in., 2010**). Rzepakowe produkty uboczne przemysłu olejarskiego, w tym RSM, wytloki i makuchy, w zależności od zastosowanej prasy, czasu i warunków technicznych, zawierają zróżnicowaną ilość tłuszczu surowego w DM na poziomie od 1,4% w RSM do ok. 14,5% w makuchach (**Zhang i in., 2020**). Natomiast na stopień tzw. zaolejenia mogą znacząco wpływać takie czynniki jak: rodzaj i odmiana nasion rzepaku, stopień zanieczyszczenia, technologia przetwarzania, inne czynniki (**Adewole i in., 2016**). Z kolei węglowodany stanowią pomiędzy 25 a 35% DM w RSM i składają się głównie z monosacharydów, sacharozy, oligosacharydów, skrobi i NSP. Zawartość i struktura NSP w RSM różni się w zależności od pochodzenia nasion rzepaku (**Pustjens i in., 2014**). Pasze rzepakowe, w tym RSM są stosunkowo bogatym źródłem minerałów jak wapń, fosfor, potas, żelazo, cynk i selen (**Beyzi i in., 2019**). RSM zawiera także duże ilości biotyny, kwasu foliowego, niacyny, ryboflawiny i tiaminy oraz witaminy E (**Szydłowska-Czeriak, 2011**). Ponadto RSM jest bogata w związki fenolowe i inne związki bioaktywne, takie jak tokoferole i cholina (**Vuorela i in., 2004**).

Istotnym ograniczeniem stosowania pasz rzepakowych w żywieniu świń jest wysoka zawartość czynników antyodżywczych. Zawartość włókna wynosi ok. 12%, tzn. jest ok. 3 razy większa niż w SBM. Jednak odmiany uszlachetnione („000”) zawierają znacznie mniej włókna surowego, które zlokalizowane jest głównie w okrywie nasiennej. Dzięki uszlachetnianiu i innym zabiegom przetwarzania surowca, takim jak obłuszczenie nasion, zawartość włókna można obniżyć nawet do 1,9 % (**Zaborowska, 2016**). Dodatkowo dzięki tym procesom, można również poprawić strawność energii metabolicznej u świń nawet o 17% i uzyskać wartość energetyczną surowca na poziomie zbliżonym do SBM (**Banaszkiewicz, 2005**).

Glukozynolany to duża grupa wtórnych metabolitów roślinnych zawierających siarkę, i powszechnie występujących w roślinach i warzywach. Naturalne

i niehydrolizowane formy glukozyzolanów nie są szkodliwe dla zwierząt i ludzi. Ale glukozyzolany po hydrolizie mogą przechodzić w pochodne, w tym w nityle, tiocyjaniany i izotiocyaniany, które m.in. zakłócają wychwyt jodu przez tarczycę i wywołują działanie goitrogenne u ludzi (**Goyal i in., 2020**). Ponadto glukonapina może wpływać negatywnie na smakowitość RSM ze względu na ostry smak, a produkt degradacji progoitryny może być szkodliwy dla zdrowia i funkcji tarczycy (**Landero i in., 2013; Zhou i in., 2018**). Garbniki spożywcze to związki polifenolowe, które mogą zmniejszać biodostępność składników odżywczych ze względu na zdolność tworzenia z białkami niestrawnych i gorzkich w smaku kompleksów (**Tanwar i in., 2018**). Taniny to także polifenole rozpuszczalne w wodzie i powodujące nadmierną lepkość treści pokarmowej, co ogranicza wchłanianie substancji pokarmowych z paszy. U loch luźnych lub niskoprośnych nie stanowią dużego problemu, gdyż zwierzęta te pobierają spore ilości wody, która rozpuszcza taniny (**Vazquez-Gomez, 2017**). Podobnie jak w nasionach roślin bobowatych, tak i w RSM, znaczna ilość fosforu (nawet 60%) zmagazynowana jest w postaci fitynowej, niedostępnej dla zwierząt monogastycznych.

Dane tabelaryczne Zaleceń Żywieniowych dla Świń (**Grela i Skomial, 2020**) zalecają, by dla prosiąt odsadzonych w mieszance pełnoporcjowej stosować udział RSM nie większy niż 5%. Wynika to z wysokiej zawartości włókna, niskiego poziomu energii metabolicznej i mniejszej smakowitości, która jest szczególnie istotna dla efektywnej produkcji zwierzęcej. Z kolei udział RSM w mieszankach dla warchlaków nie powinien być wyższy niż 8%, natomiast w mieszankach dla tuczników może stanowić maksymalnie 15-20%, a dla loch do 15% (**Brzóska i in., 2010**). Co istotne mieszanki z RSM warto stosować wraz z nasionami roślin bobowatych, m.in. ze względu na uzupełniającą się zawartość aminokwasów siarkowych. Niemniej jednak w praktyce u rolników posiadających małe i średnie gospodarstwa oraz części wytwórni, często o impulsywnym wyborze pasz rzepakowych do produkcji mieszanek decyduje korzystna relacja RSM do SBM.

1. 5. Fosfor i jego udział w paszach pochodzenia roślinnego

Fosfor jest biopierwiastkiem, który w organizmie zwierzęcym uczestniczy w przemianach cukrowców, białek, lipidów oraz energii. Jest niezbędny do prawidłowego rozwoju i wzrostu kośćca, błon komórkowych, jak i narządów (**Humer i in., 2014**). Ponad $\frac{3}{4}$ tego składnika zdeponowane jest w kośćcu, natomiast znaczny udział notowany jest także we krwi. Ponadto pierwiastek ten wchodzi w skład fosfoprotein i fosfolipidów oraz kwasów nukleinowych (**Grela i Skomial, 2020**). Deficyt fosforu może pogorszyć przemianę materii i oddziaływać negatywnie na wyniki rozrodu zwierząt. Ze względu na różnice w jego dostępności, określa się zawartość fosforu ogólnego i dostępnego lub strawnego. Ta druga wartość ma szczególnie istotne znaczenie dla zwierząt monogastrycznych. Wyjątkowo wymagające i trudne jest zapewnienie odpowiedniej zawartości strawnego fosforu w mieszankach pokarmowych dla warchlaków i świń szybko rosnących. Spowodowane jest to faktem, iż ok. 60-70% fosforu w surowcach roślinnych występuje w postaci trudno dostępnych soli kwasu fitynowego (fitynianów- P-fit). Badania wykazały, że w roślinnych komórkach P-fit znajduje się głównie w formie soli magnezowych, potasowych i wapniowych, a także w ciałach białkowych lub ziarnach aleuronowych w postaci globoidów (**Dersjant-Li i in., 2015; Ptak, 2017**). U roślin jednoliściennych najczęściej akumuluje się w warstwie aleuronowej lub w bielmie, natomiast u roślin bobowatych rozmieszczony jest w liścieniu, a wyjątkiem są nasiona soi, gdzie rozlokowany jest równomiernie w całych nasionach (**Ptak, 2017**). Ponadto, zaobserwowana została możliwość powstawania podwójnych i potrójnych kompleksów kwasu fitynowego, węglowodanów i białka. Ogranicza to biodostępność niezbędnych minerałów poprzez interakcję z białkami i kationami, obniżając strawność białek, co może powodować niedobory składników mineralnych w diecie (**Coban i Demirci, 2017; Zaworska i in., 2017; Kumar i Sinha, 2018; Romano i Kumar, 2018**). W żywieniu zwierząt, w celu zredukowania negatywnego działania kwasu fitynowego, stosuje się kilka zabiegów biotechnologicznych w tym: fermentację, kiełkowanie czy moczenie (**Gulewicz i in., 2014; Zaworska i in., 2017**), doprowadzając związek ten do hydrolizy poprzez działanie enzymów degradujących fityniany (natywnych fitaz). Natomiast najpowszechniejszym i najczęściej wykorzystywanym sposobem hydrolizy tego

związku jest zastosowanie egzogenne enzymu w postaci fitazy mikrobiologicznej (**Dersjant-Li i in., 2015; Ptak, 2017**).

1. 6. Dodatki enzymatyczne i ich działanie

W ostatnich kilku dekadach obserwuje się stały wzrost wykorzystania w żywieniu zwierząt dodatków paszowych otrzymywanych w procesach biotechnologicznych. Można dostrzec, że, spośród całej bardzo szerokiej grupy związków, badania nad dodatkami enzymatycznymi prowadzone były najszerzej. Świnie fizjologicznie nie są w stanie w pełni wykorzystać wszystkich niezbędnych składników diety, dlatego badania dotyczące poprawy wykorzystania paszy są szczególnie interesujące jako sposób na zwiększenie zrównowżenia środowiskowego przy jednoczesnym uwzględnieniu aspektów ekonomicznych (**Aarnink i Verstegen, 2007; Clark i Tilman, 2017**). Liczne prace sugerują, iż suplementacja enzymów egzogennych w mieszankach paszowych wykorzystywanych w żywieniu świń to dobra strategia na zwiększenie strawności składników pokarmowych i poprawę wydajności paszy u tuczników (**Kiarie i in., 2013; Dersjant-Li, 2017; Torres-Pitarch, 2019; Grela i Skomial, 2020**). Należy jednak wziąć pod uwagę także fakt, iż skład surowcowy mieszanek paszowych jest jednym z najważniejszych elementów determinujących skuteczność działania enzymów i ostateczne osiągnięte wyniki.

Stosowane enzymy można podzielić na te, które nie są wytwarzane w przewodzie pokarmowym zwierząt (egzogenne) oraz na te syntetyzowane w przewodzie pokarmowym (endogenne), natomiast w surowcach roślinnych dostępne są także enzymy natywne. Enzymy obecnie używane jako dodatki paszowe są produkowane głównie przez grzyby lub bakterie (**Kiarie i in., 2013**), warunkując tym samym mechanizm działania. Badania nad efektywnością enzymów przyniosły jak dotąd zróżnicowane rezultaty (**Bedford, 2000**). W zależności od rodzaju i formy enzymu, każdy z nich działa na określone wiązania chemiczne związków i przekształca je w formy dostępne i trawione przez zwierzęta (**Adeola i Cowieson, 2011**). W przemyśle dostępne są enzymy z grupy m.in. proteaz, lipaz, karbohydraz, czy fitaz, odpowiadające za zwiększenie odpowiednio strawności białka, tłuszczu oraz cukrów

złożonych do związków prostych, a także za rozkładanie ANF (w tym P-fit), udostępniając zwierzęciu pulę składników do wykorzystania (Torres-Pitarch, 2019). Wskazuje się ponadto, że dodatek odpowiedniej grupy enzymów zwiększa wartość energetyczną paszy oraz może istotnie poprawić wykorzystanie skrobi, wapnia, magnezu czy cynku (Gulewicz i in., 2014; Dersjant-Li, 2017; Grela i Skomial 2020; Rosenfelder-Kuon i in., 2019), co pozwala na ograniczenie stosowania drogich form nieorganicznych fosforu i pozostałych wymienionych składników (Dersjant-Li i in., 2015; Humer i in., 2015). Rozwiązanie to pozwala również dbać o środowisko naturalne, m.in. poprzez zmniejszenie emisji biogenych pierwiastków do środowiska (Son i Ravindran, 2011; Gulewicz i in., 2014; Lalpanmawia i in., 2014; Grela i Skomial, 2020).

1. 6. 1. Fitaza w żywieniu zwierząt monogastrycznych

Fitaza (fosfohydrolaza heksafosforanu *mio*-inozytolu) należy do enzymów z klasy hydrolaz, podklasy esteraz, pod podklasy hydrolaz monstrów fosforanowych. Właśnie ten enzym jest najpowszechniej wykorzystywanym w mieszankach dla świń dodatkiem enzymatycznym. Wynika to z faktu, że w układzie pokarmowym zwierząt monogastrycznych pomimo wykrycia aktywności endogennej fitazy w śluzówce jelit, stopień degradacji P-fit przez te zwierzęta jest niewielki (Ptak, 2017). Poprzez zastosowanie dodatku enzymu fitazy w mieszankach dla świń i drobiu, usunięta zostaje grupa fosforanowa z pierścienia *mio*-inozytolu, która obniża siłę wiązania kationów przez kwas fitynowy, zwiększając ich biodostępność w przewodzie pokarmowym zwierząt. Fitazy wykazują zdolność do hydrolizy kwasu fitynowego do mniej ufosforylowanych pochodnych inozytolu i fosforu mineralnego. Najszersze zastosowanie biotechnologiczne znalazły fitazy produkowane przez wyselekcjonowane szczepy grzybów z rodzaju *Aspergillus* (3-fitazy) oraz *Peniphora* czy *Escherichia coli* (6-fitazy) (Kapela, 2007), powstałe na drodze tradycyjnej fermentacji płynnej lub w stanie stałym. Stwierdzono, że fitaza bakteryjna dokonuje częściowej hydrolizy większej liczby cząstek fitynianów, dlatego jest uważana za bardziej efektywną wśród fitaz (Czech, 2007). Badania opisywane w dostępnej literaturze wskazują, że dodatek fitaz do diet ubogich w fosfor zwiększa zawartość dostępnego i przyswajalnego

składnika do takiego stopnia jak w przypadku diet z pokrytym zapotrzebowaniem zwierzęcia na ten pierwiastek (**Adeola i in. 2006; Wiśniewska i in. 2020**).

Dodanie fitazy do paszy dla prosiąt i tuczników zapewnia korzyści produkcyjne i poprawia wchłanianie wapnia, fosforu i innych składników mineralnych. Stwierdza się, że świnie ras wysokomięsnych wydalają do środowiska nawet ponad 50% fosforu pobranego z paszą (**Humer i in., 2015**). Zastosowanie dodatków enzymatycznych – w tym fitazy mikrobiologicznej - w mieszankach z udziałem KŻBR zostało do tej pory zbadane w niewielkim stopniu (**Abd El-Hack i in., 2018; Nega i Woldes, 2018; Huang i in., 2021**).

2. Hipoteza

Mając na uwadze istotną kwestię bezpieczeństwa białkowego, jak i aspekty Zielonego Ładu, zasadne jest zwiększenie wykorzystania w żywieniu świń KŻBR, których wartość pokarmowa jest niższa od SBM. Takie surowce często wymagają zastosowania dodatków paszowych lub zabiegów technologicznych poprawiających ich wartość odżywczą. Liczba praktycznych opracowań nad możliwością wykorzystania takich pasz nadal jest niewielka, a te dostępne, to głównie prace naukowe, w których wiele aspektów, np. takich jak wpływ surowców na wydajność rzeźną, jakość mięsa i skład tłuszczu, czy też wpływ płci na te parametry jest marginalizowany.

Powyższe przesłanki sprawiły, że niniejsza dysertacja jest próbą odpowiedzi na pytanie dotyczące skutków dodania fitazy mikrobiologicznej do mieszanek paszowych dla tuczników utrzymywanych w gospodarstwach indywidualnych, w których jako podstawowe źródło białka zastosowano ekstrudowane pełnotłuste nasiona soi, a także nasiona łubinu lub poekstrakcyjną śrutę rzepakową.

Zakłada się, że dodatek fitazy poprawi parametry tuczu oraz korzystnie wpłynie na budowę kośćca, a także na wskaźniki poubojowe świń. Na podstawie danych literaturowych przypuszcza się ponadto, że zwiększenie dawki fitazy (tzw. superdosing) może poprawić badane wskaźniki u tuczników, w porównaniu z dawką podstawową zalecaną przez producenta. Ze względu także na znaczące zróżnicowanie metabolizmu i w rezultacie uzyskiwanie różnych wskaźników produkcyjnych u loszek i wieprzków, spodziewana jest różna odpowiedź tych zwierząt, na dodatek fitazy do mieszanek paszowych.

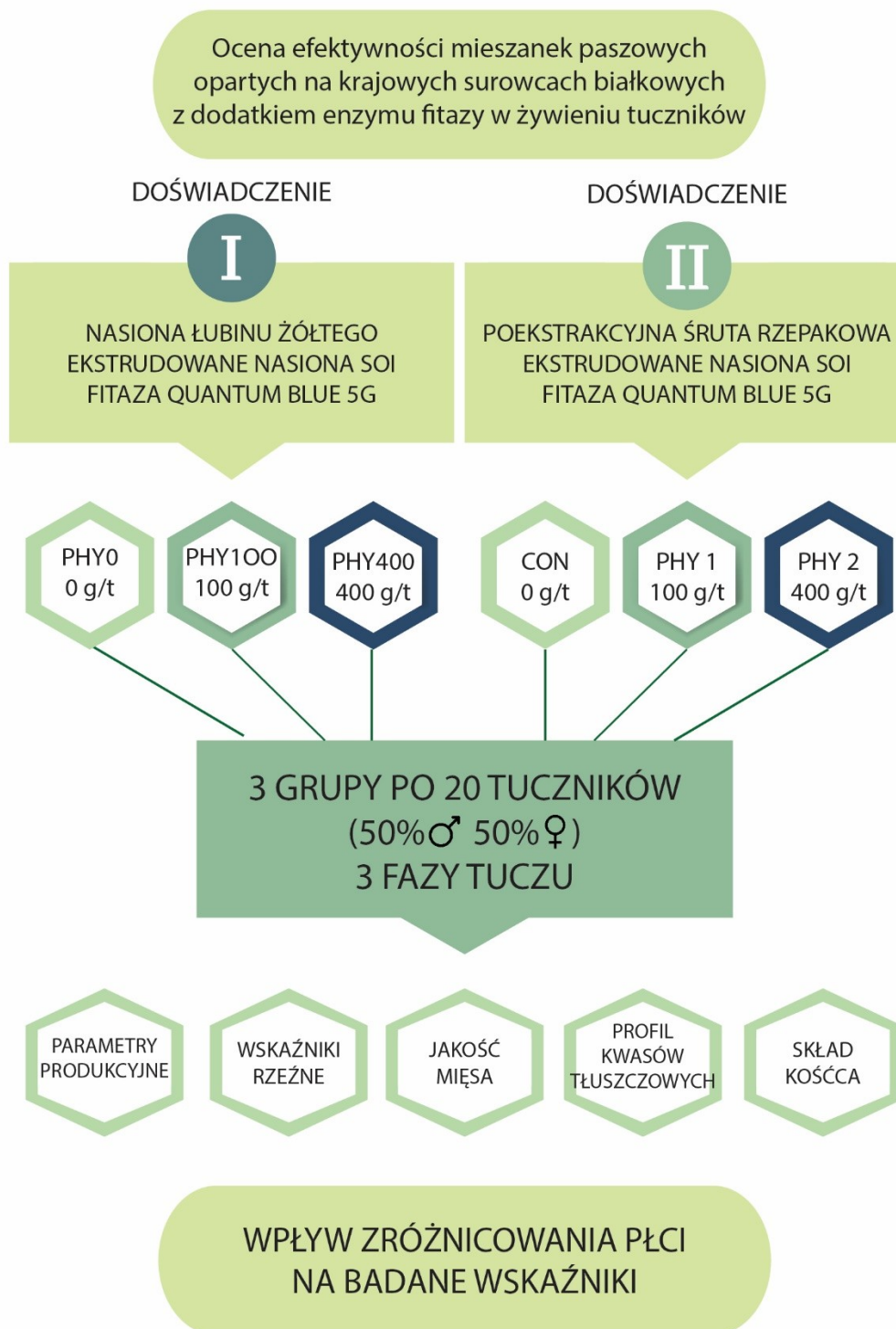
3. Cel badań

Celem badań było:

- (1) Określenie wpływu dodatku fitazy mikrobiologicznej do mieszanek paszowych, w których głównym surowcem białkowym były ekstrudowane pełnotłuste nasiona soi i poekstrakcyjna śruta rzepakowa lub nasiona łubinu żółtego, na wskaźniki produkcyjne tuczników, parametry poubojowe tuszy, a także skład chemiczny mięsa, i kośćca oraz profil kwasów tłuszczowych;
- (2) Ocena wpływu zwiększonej dawki fitazy na badane parametry w porównaniu z dawką podstawową;
- (3) Ocena wpływu płci na efekty produkcyjne zwierząt otrzymujących badane pasze z dodatkiem fitazy.

4. Materiały i metody

Badania wchodzące w skład pracy doktorskiej przeprowadzono zgodnie z układem pracy, który przedstawia poniższy schemat:



4. 1. Materiał roślinny

4. 1. 1. Ekstrudowane nasiona soi

Do badań wykorzystano nasiona soi odmiany Augusta zakupione w Stacji Hodowli Roślin należącej do Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu (HR UP Poznań, Polska). Odmiana została wyhodowana metodami konwencjonalnymi i nie jest modyfikowana genetycznie. Należy do odmian wczesnych, dojrzewających w końcu sierpnia lub pierwszej dekadzie września. Rośliny są średnio wysokie, a nasiona małe (masa tysiąca nasion wynosi 120-140 g). Potencjał plonowania wynosi ok. 3,0 t/ha. Nasiona zawierają ok. 40% białka i 20% tłuszczu w DM, a także ok. 0,44% P-fit, 32 mg/g inhibitorów tripsyny, a aktywność ureazy wynosi ok. 5 mg N/g (**Rutkowski i Zaworska-Zakrzewska, 2020**). Nasiona były ekstrudowane na urządzeniu Farnet FE 250 (Ceská Skalice; Republika Czeska). Po wcześniejszym rozdrobnieniu materiał został podgrzany przez 10s w temperaturze 130°C pod ciśnieniem > 20 MPa.

4. 1. 2. Nasiona łubinu żółtego

Nasiona łubinu nieskoalkaloidowego odmiany Mister zostały zakupione w Poznańskiej Hodowli Roślin oddział Tulce (HR Tulce, Polska). Mister należy do odmian osiągających średnią wysokość, o optymalnym dla krajowych warunków terminie kwitnienia i dojrzewania oraz średniej masie tysiąca nasion na poziomie 143 g. Jest to odmiana o wysokiej wydajności od 1,5 do 2,5 t/ha, równomiernie dojrzewająca, o bardzo wysokiej odporności na wyleganie przed zbiorem. Jest też odporna na suszę, termoneutralna oraz posiada właściwości powodujące niepękanie strąków. Nasiona charakteryzuje wysoka zawartość białka na poziomie ok. 43,3%. Zawartość alkaloidów wynosi ok. 0,01% a zawartość P-fit ok. 0,56%, przy czym P-fit stanowi 69% fosforu ogólnego (**Rutkowski i Zaworska-Zakrzewska, 2020**).

4. 1. 3. Poekstrakcyjna śruta rzepakowa

Poekstrakcyjna śruta rzepakowa została pozyskana z Zakładów Tłuszczowych „Bielmar” Sp.z o.o. (Bielsko-Biała, Polska). Materiał pochodził z polskich odmian rzepaku, w których zawartość glukozyolanów nie przekraczała 15–20 $\mu\text{M/g}$ DM beztłuszczowej.

4. 2. Enzym

Do badań wybrano fitazę Quantum Blue 5G ® (AB Vista, USA), 6-fitaza (EC 3.1.3.26). Produkt jest dopuszczony do stosowania w Unii Europejskiej u wszystkich gatunków ptaków i u świń - numer rejestracyjny: T983371. Jest to termostabilna fitaza otrzymywana z *Trichoderma reesei* (CBS 126897), podczas gdy organizmem donorowym jest *Escherichia coli*. Składniki preparatu: mąka pszenna, ekstrakt fermentacyjny *Trichoderma reesei*, olej roślinny, sorbitol, chlorek sodu. Aktywność fitazy wynosi minimum 5 000 FTU/g. Jedna jednostka fitazy jest zdefiniowana jako ilość enzymu, która uwalnia 1 μmol nieorganicznego fosforanu na minutę z fitynianu sodu w temperaturze 37°C. Dodatek fitazy jest zalecany w mieszance dla świń w ilości 500 FTU/kg tj. przy dozowaniu 100 g na tonę mieszanki. Producent zaleca, aby kondycjonowanie mieszanki paszowej lub granulatu nie przekraczało temperatury 85°C i nie trwało dłużej niż 30 s.

4. 3. Materiał zwierzęcy i warunki doświadczeń

Wszystkie procedury doświadczalne były zgodne z wytycznymi Lokalnej Komisji Etycznej ds. Doświadczeń na Zwierzętach w Poznaniu w zakresie doświadczeń na zwierzętach i opieki nad badanymi zwierzętami (Dyrektywa Unii Europejskiej 2010/63/UE w sprawie doświadczeń na zwierzętach). Indywidualna zgoda nie była wymagana ze względu na standardy i warunki produkcyjne (doświadczenia

wykonywane w gospodarstwach rolnych) zastosowane w tym badaniu. Świnie poddane zostały wszystkim wymagany szczepieniom. Przez cały okres doświadczenia miały nieograniczony dostęp do paszy i wody.

Doświadczenie I przeprowadzono w gospodarstwie należącym do p. Renaty i Stanisława Forszpaniak (gmina Krotoszyn, województwo wielkopolskie). Tucz prowadzony był w trzech kojcach zbiorowych o wymiarach 18 m x 5,5 m (32 m²) na rusztach betonowych. W całym obiekcie wentylacja jest automatyczna z regulowanymi wlotami powietrza, dzięki którym utrzymuje się stałą temperaturę. Zwierzęta miały dostęp do naturalnego światła dziennego w budynku, dzięki znajdującym się 4 oknom o wymiarach 0,9 x 1,2 m, a oprócz tego stosowane było oświetlenie sztuczne w postaci 4 lamp LED. W każdym kojcu znajdowały się 2 poidła a pasza zadawana była *ad libitum* poprzez tubomaty, z czterema stanowiskami wyposażonymi w zraszacze wodne.

Doświadczenie II zostało przeprowadzone w gospodarstwie rolnym należącym do p. Roberta Paździora (gmina Czempień, województwo wielkopolskie). Zwierzęta utrzymywane były w chlewni na głębokiej ściółce ze słomy pszenżytniej. Każdy z kojców miał 51,75 m² przy szerokości 4,5 m i długości 11,5 m. Temperatura w trakcie tuczu wynosiła pomiędzy 18,0 a 19,5°C. W chlewni zastosowano wentylację grawitacyjną przez otwory w ścianach oraz kominy wentylacyjne, a także wentylację mechaniczną sterowaną elektrycznie z utrzymaniem stałej temperatury dzięki wentylatorom (Mulitifan 4E50). W obiekcie oświetlenie dzienne zapewniały okna od strony wschodniej oraz zachodniej, a sztuczne oświetlenie zapewniało 10 lamp o mocy 300 W, po dwie na każdy kojec. W każdym kojcu znajdowały się 2 poidła, a pasza zadawana była *ad libitum* poprzez tubomaty firmy Roger o pojemności 175 kg.

W każdym doświadczeniu wykorzystano po 60 warchlaków (30 ♂, 30 ♀), które podzielone zostały na 3 grupy doświadczalne po 20 osobników w każdej (10 ♂, 10 ♀). W dniu rozpoczęcia doświadczenia zwierzęta zostały zaopatrzone w indywidualne koleczki. W Doświadczeniu I materiał zwierzęcy stanowiło 60 szt. warchlaków (Wielka Biała Polska × (Duroc × Pietrain)) o początkowej masie ciała ok. 27,6 kg, natomiast w Doświadczeniu II materiał doświadczalny stanowiło 60 szt. warchlaków (Naima x Ebx) o początkowej masie ok. 31 kg. Obydwa doświadczenia podzielone były na trzy

okresy żywieniowe, przy czym, Doświadczenie I trwało 93 z czego: Starter, trwał 24 dni, Grower – 35 dni i Finisher – 34 dni, a Doświadczenie II trwało 94 dni: Starter – 25 dni, Grower – 36 dni, i Finisher – 33 dni.

4.4. Układ doświadczeń i pasze

W doświadczeniach wykorzystano mieszanki paszowe pełnoporcjowe, które zostały dostarczone przez wytwórnię pasz Lira w Krzywiniu. Komponenty zostały odpowiednio dobrane i zbilansowane zgodnie z zapotrzebowaniem zwierząt (**GFE, 2006**).

W Doświadczeniu I jako surowce wysokobiałkowe zastosowano ekstrudowane nasiona soi i nasiona łubinu żółtego, natomiast w Doświadczeniu II ekstrudowane nasiona soi i poekstrakcyjną śrutę rzepakową. W obydwóch doświadczeniach zastosowano dodatek fitazy Quantum Blue 5G. W każdym doświadczeniu wyróżniono 3 grupy doświadczalne, które otrzymywały mieszankę kontrolną bez enzymu, mieszankę z dodatkiem 100 g fitazy na tonę lub mieszankę z dodatkiem 400 g fitazy na tonę paszy, jak przedstawiono to w Schemacie 1. W Doświadczeniu I grupy te oznaczono kolejno jako Phy0, Phy100 i Phy400, a w Doświadczeniu II jako grupy Con, Phy1 i Phy2 (nazewnictwo wynika z opisu grup, który został przyjęty w opublikowanych pracach). Skład chemiczny i wartość odżywcza mieszanek w Doświadczeniu I przedstawia Tabela nr 1 na str.3, Publikacja I, natomiast w Doświadczeniu II – także Tabela nr 1 na str. 3, Publikacja II.

4.5. Badane parametry i pobranie materiału do badań

4.5.1. Wskaźniki produkcyjne i zdrowotność

W czasie trwania doświadczeń dwa razy dziennie monitorowany był stan zdrowia i dobrostan zwierząt oraz notowano ilość paszy pobranej przez zwierzęta w grupach. Po zakończeniu każdej fazy tuczu wszystkie osobniki były ważone

indywidualnie na wadze inwentarskiej. Dane te wykorzystano do oszacowania średnich wartości współczynnika wykorzystania paszy (kg/kg) (FCR) przez tuczniki.

4. 5. 2. Badania poubojowe i pobieranie materiału do badań

Po zakończeniu tuczu, na podstawie porównania do średniej wagowej w grupie wybrano po 12 sztuk tuczników z każdej grupy i przewieziono do ubojni w Zakładzie Mięsnym „Waldi” w Ptaszkowie. Zgodnie z wymogami zakładów mięsnych, każda świnia była ubijana według procedur obowiązujących w ubojni oraz poddana klasyfikacji SEUROP. Wszystkie sztuki poddano ocenie poubojowej a informacje o wartości rzeźnej otrzymano od ubojni. Zważono (kg) i zmierzono długość (cm) oraz szerokość tusz (cm), a na podstawie tych danych obliczano wydajność poubojową (%), która jest stosunkiem wagi poubojowej tuszy (kg) do masy żywca (kg). Za pomocą aparatu ultradźwiękowego IM-03 szacowano mięsność (%) oraz przeprowadzono pomiar liniowy grubość słoniny (mm) w trzech punktach – K I na grzbiecie nad łopatką, K II (mm) na wysokości grzbietu oraz K III w części krzyżowej. Dodatkowo zmierzono grubość słoniny nad łopatką oraz na wysokości ostatniego żebra, grubość mięśni pośladkowych (mm) oraz grubość schabu (mm). Poubojowo, za pomocą pH-metru, zmierzono zakwaszenie mięsa na wysokości ostatniego żebra w mięśniu najdłuższym grzbietu oraz przewodność elektryczną mięśnia za pomocą konduktometru. Próby mięsa oraz kości śródreza od każdego osobnika pobrano do dalszych badań.

4. 6. Analizy chemiczne i pomiary

4. 6. 1. Badania chemiczne pasz

Analizę chemiczną mieszanek wykonano w laboratorium Katedry Żywienia Zwierząt, Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu. Każdą analizę wykonano w dwóch powtórzeniach (n=2). Reprezentatywne próbki pasz zmielono w młynku

ultraodśrodkowym Zm 200 (Retsch, Niemcy) na sitach 1,0 mm. Analiza składu podstawowego została wykonana w oparciu o metodykę **AOAC (2016)**.

Suchą masę (DM) oznaczono wagowo (Sartorius CPA2245-OCE) po 6 godzinach suszenia w temp. 103°C. Białko ogólne oznaczono metodą Kjeldahla, na aparacie Kjel-Foss Automatic 16210 (Foss, Szwecja). Włókno surowe oznaczano w aparacie Fibertec System M 1020 Hot Extractor (Tecator, Szwecja), a tłuszcz surowy poprzez ciągłą ekstrakcję w eterze naftowym (Soxtec, Tecator, Szwecja). Fosfor oznaczono poprzez spalenie próbek na mokro, a następnie wykorzystano metodę kolorymetryczną z molibdenianem amonu odczytując absorbancję na spektrofotometrze (Marcel Media, Polska). Wapń oznaczono poprzez spalenie próbki na mokro w kwasie azotowym i oznaczono na MP-AES (Agilent) wobec serii roztworów wzorcowych.

4. 6. 2. Analiza mięsa

Analizę chemiczną mięsa wykonano w Pracowni Badań Surowców i Produkcji Rzeźnianej, Instytut Biotechnologii Przemysłu Rolno-Spożywczego im. prof. Wacława Dąbrowskiego, PIB w Poznaniu. Każdą analizę wykonano w dwóch powtórzeniach (n=2). Zawartość wody oznaczono metodą suszarkową wg **PN ISO 1442:2000**; tłuszczu metodą Soxhletha wg **PN-ISO 1444:2000**; białka metodą Kjeldahla wg **PN 75/A-04018** a fosforu metodą spektrofotometryczną wg **PN/A-820060:1999**. Barwę mięsa, ubytek termiczny, kruchość, wyciek, wodochłonność oznaczono według metody **Lisiaka i in. (2014)**. Przewodnictwo elektryczne w mięśniu mierzono po lewej stronie tuszy pozostawionej wiszącej po 24 godzinach chłodzenia. Wodochłonność analizowano **metodą Grau-Hamma (1998)**; wycieki i straty podczas gotowania – na podstawie różnic w masie próbek; barwę mięsa – kolorymetrem Minolta CR300, a paneliści oceniali gotowane próbki pod kątem kruchości.

4. 6. 3. Analiza profilu kwasów tłuszczowych w mięsie

Frację lipidową ekstrahowano z 3 g homogenizowanej próbki mięsa za pomocą 30 ml roztworu Folcha I (chloroform:metanol = 2:1, v/v). Homogenat przesączono przez papierowy filtr Whatman nr 1. Próbki umieszczono w 17 ml probówkach hodowlanych, zawieszono w 2 ml metanolu, potraktowano 0,5 ml 2M wodnego roztworu wodorotlenku sodu i szczelnie zamknięto. Następnie próbki umieszczono w plastikowych butelkach o pojemności 250 ml, szczelnie zamknięto i umieszczono w kuchence mikrofalowej (AVM 401/1WH, Whirlpool, Szwecja) działającej przy 2450 MHz i maksymalnej mocy 900 W. Próbki naświetlano (370 W) przez 20 s i po ok. 5 min przez dodatkowe 20 s. Po 15 minutach zawartość probówek hodowlanych zubożyłono 1M wodnym roztworem kwasu chlorowodorowego; dodano 2 ml MeOH i przeprowadzono ekstrakcję pentanem (3-4 ml) w probówkach hodowlanych. Połączone ekstrakty pentanowe odparowano do sucha w strumieniu azotu. Następnie ekstrakty metylowano mieszaniną bezwodnego metanolu i kwasu siarkowego (1:5, v/v). Do ekstraktu zawierającego lipidy dodano 0,5 ml metanolu, a następnie dodano mieszaninę 0,15 ml metanolu/kwasu siarkowego (1:5, v/v.). Próbki ogrzewano w temperaturze 70°C przez 15 min. Po ochłodzeniu roztworu dodano 0,5 ml n- heksanu, a następnie dodano wodę w ilości wystarczającej do utworzenia dwóch warstw. Górną warstwę heksanu usunięto i analizowano na chromatografie gazowym (Agilent 5890 II) wyposażonym w detektor płomieniowo-jonizacyjny i w kolumnę Supelcowax 10 (30 mx 0,25 mm I.D., grubość warstwy 0,25 mm). Temperatury dozownika i detektora wynosiły odpowiednio 220°C i 240°C. Temperaturę kolumny zaprogramowano na wzrost od 60°C do 240°C z szybkością 110°C/min. Piki identyfikowano przez porównanie czasów retencji piku próbki z czasami retencji znanych związków metylowanych kwasów tłuszczowych.

Ponadto oznaczony profil kwasów tłuszczowych pozwolił na dokonanie oceny jakościowej lipidów (Doświadczenie II, Publikacja II) poprzez obliczenie 9 indeksów w tym: wskaźnika trombogenności, nasycenia tłuszczów, wskaźnika konsumenckiego, współczynnika desaturacji z kwasu oleinowego do linolowego, stosunek desaturacji kwasu linolowego do linolenowego, wartość utleniająca, indeks pożądanych kwasów

tłuszczowych, suma hipercholesterolemicznych kwasów tłuszczowych. Pełne wzory na podstawie których dokonano obliczeń przedstawiono w Publikacji II w tabeli 2 str. 5.

4. 6. 4. Analiza kości śródreżca

Od 12 świń z każdej grupy pobrano kości trzeciego palca śródreżca z prawej kończyny. Kości śródreżca gotowano w celu usunięcia tkanek i chrząstki, mielono i ekstrahowano w celu usunięcia tłuszczu. Następnie próbki spalono w piecu muflowym (P330, Naber-therm GmbH, Lilienthal, Niemcy) w temperaturze 600°C przez 5 h. Zawartość fosforu i wapnia w popiele kostnym oznaczono zgodnie z procedurami 984.27 i 965.17 (AOAC, 2016).

4. 7. Analiza statystyczna

Obliczenia statystyczne wykonano przy użyciu oprogramowania SAS 9.3 (AS Institute, Cary, NC, USA), zgodnie z opisem w poszczególnych publikacjach. Rozkład normalny badano za pomocą testu W Shapiro, a jednorodność wariancji za pomocą testu Cochran–Hartleya–Bartletta. Hipotezy testowano przy $\alpha = 0,05$. Różnice uznano za istotne przy $p < 0,05$. Otrzymane wyniki poddano analizie statystycznej, obliczając średnią arytmetyczną i \pm SD dla każdej cechy. Istotność różnic między grupami obliczono za pomocą jednoczynnikowej analizy ANOVA z testem post hoc Duncana. Korelację między pobraniem paszy, a dodatkiem fitazy zbadano za pomocą współczynnika korelacji rang Spearmana (P. R). Ponadto w publikacji II do wizualizacji informacji i wykrycia zależności między zmiennymi wykorzystano analizę podstawowych składowych (PCA), a do obliczenia reguł klasyfikacji dla dyskryminacji próbek wykorzystano ogólną analizę dyskryminacji (GDA), zgodnie z metodyką opisaną w artykule II. Ponadto poza publikacjami dokonano oceny wpływu płci i dodatku fitazy na oceniane parametry. Wyniki podano wspólnie w tabelach w poniższym manuskrypcie. W tym celu wykorzystano oprogramowanie Statistica 13.3 (StatSoft, Tulsa, USA). Hipotezy testowano przy $\alpha = 0,05$ a różnice uznano za istotne przy $p < 0,05$. Każda kombinacja czynników obejmowała 6 powtórzeń. Zastosowano

dwukierunkową analizę wariancji (ANOVA) (zmienne niezależne: płeć i dodatek fitazy). Wielowarstwowe porównanie próbek mięsa oparto na teście Duncana w celu określenia istotnych różnic między nimi. Dodatkowo zastosowano test Dunnetta w celu porównania z próbą kontrolną.

5. Wyniki badań

W trakcie prowadzenia obu doświadczeń nie stwierdzono żadnych nieprawidłowości, biegunek i innego negatywnego oddziaływania mieszanek doświadczalnych na zdrowie i dobrostan zwierząt. Nie zanotowano także występowania u osobników ujętych w doświadczeniu kulawizn, przepuklin, biegunek, obgryzania ogonów, ran na ciele i uszach, zewnętrznych pasożytów czy obrzęku stawów, ani innych objawów wskazujących na nieprawidłowości.

PUBLIKACJA I

5. 1. Wyniki produkcyjne

Wyniki tuczu przedstawiono w tabeli 2 str. 5 Publikacja I. Zwierzęta z obu grup doświadczalnych otrzymujących w mieszance dodatek fitazy charakteryzowały się w I okresie doświadczenia istotnie wyższymi przyrostami masy ciała i niższym zużyciem paszy na kg przyrostu masy ciała w porównaniu z grupą kontrolną ($p < 0,05$). Dodatek enzymatyczny nie miał wpływu na wyniki w pozostałych okresach tuczu, jak i w całym doświadczeniu. Zaobserwowano statystycznie potwierdzoną dodatnią korelację między FCR a spożyciem paszy. Współczynnik korelacji R Spearmana wyniósł 0,565 ($p < 0,001$).

Wyniki uzupełniające

Analiza dwuczynnikowa została przedstawiona w tabeli 2a/I, str. 46. W okresie Starter, Grower, jak i w całym okresie doświadczenia wieprzki przyrastały szybciej i uzyskiwały istotnie wyższą masę ciała niż loszki ($p < 0,05$), a także zużywały mniej paszy na przyrost ($p < 0,05$). Dodatek fitazy wpływał z kolei korzystnie na przyrosty masy ciała i FCR tylko w okresie Starter. Nie stwierdzono interakcji między czynnikami.

5. 2. Parametry poubojowe i jakość mięsa

Charakterystykę jakościową mięsa przedstawiono w tabeli 3 str. 6 a wyniki oceny poubojowej w tabeli 4 str. 6 w Publikacji I. Mięso pochodzące od świń otrzymujących paszę z mikrobiologiczną fitazą (grupy Phy 100 i Phy400) charakteryzowało się istotnie niższą zawartością tłuszczu i niższą wodochłonnością, ale wyższą zawartością fosforu niż w grupie kontrolnej ($p < 0,05$). Stwierdzono także tendencję do wyższej zawartości białka w mięsie z obu grup doświadczalnych ($p = 0,097$). Mięso we wszystkich grupach charakteryzowało się podobnym i prawidłowym zakwaszeniem, barwą i kruchością, ubytkiem podczas gotowania i naturalnym wyciekaniem. Nie stwierdzono istotnych różnic w parametrach poubojowych pomiędzy trzema analizowanymi grupami ($p > 0,05$) poza grubością mięśnia pośladkowego, który to parametr był istotnie niższy ($p < 0,05$) u zwierząt z obu grup otrzymujących fitazę w diecie.

Wyniki uzupełniające

Zależność jakości mięsa oraz parametrów poubojowych tuszy od płci i dodatku fitazy przedstawia tabela 3a/I str. 47-48 i 4a/I str. 48. Zawartość wody w mięsie uzyskanym od loszek z grupy Phy100, była niższa niż u wieprzków z grupy Phy400 ($p = 0,028$). Zauważono także tendencję do wyższego poziomu tłuszczu w mięsie pochodzącym od loszek. W grupie kontrolnej wieprzki cechowała istotnie wyższa mięsność i grubość mięśnia pośladkowego w porównaniu do loszek ($p < 0,05$). Potwierdzono istotny wpływ dodatku fitazy na wzrost zawartości fosforu w mięsie oraz spadek wodochłonności i tłuszczu w mięsie ($p < 0,05$). Jednoczynnikowa analiza wariancji wykazała znaczący wpływ fitazy na obniżenie grubości mięśnia pośladkowego u zwierząt doświadczalnych. Stwierdzono także interakcję pomiędzy płcią i fitazą na grubość mięśnia pośladkowego.

5. 3. Profil kwasów tłuszczowych mięsa

Profil kwasów tłuszczowych przedstawia tabela 5 str. 7 (Publikacja I). Grupy nie różniły się istotnie pod względem profilu kwasów tłuszczowych w mięsie ($p > 0,05$).

Zaobserwowano jedynie tendencję do wzrostu zawartości C22:5 n-3 ($p = 0,076$) w mięsie zwierząt z grupy Phy400 oraz do wzrostu zawartości C18:2 n-6 ($p = 0,098$) w mięsie zwierząt z grupy Phy100.

Wyniki uzupełniające

Stwierdzono istotnie wyższą zawartość kwasu C20:2 n-6 w mięsie pochodzącym od wieprzków niż loszek ($p = 0,046$) (tabela 5a/I, str. 49-50). Dodatek fitazy nie wpłynął na profil kwasów tłuszczowych, natomiast stwierdzono interakcje pomiędzy tymi czynnikami dla kwasu C18:1, C18:2 n-6, MUFA, PUFA oraz sumy kwasów z grupy n-6.

5. 4. Charakterystyka składu kości śródreżca

Zawartość popiołu, Ca i P w kościach śródreżca przedstawiono w tabeli 6 str. 7 (Publikacja I). Dieta z wyższym poziomem fitazy spowodowała istotny wzrost zawartości Ca w porównaniu z grupą kontrolną ($p = 0,025$). Stwierdzono także tendencję do wyższej zawartości P w kościach świń z obu grup doświadczalnych ($p = 0,093$), a także do wyższej zawartości popiołu w kościach świń z grupy Phy 400 w stosunku do pozostałych.

Wyniki uzupełniające

Wpływ płci i fitazy na skład kości śródreżca przedstawiono w tabeli 6a/I, str. 50. Potwierdzono istotne zwiększenie zawartości wapnia w kościach zwierząt żywionych dietą z fitazą ($p = 0,016$), a także interakcję pomiędzy fitazą a płcią w przypadku zawartości tego minerału w kośćcu.

PUBLIKACJA II

5. 5. Wyniki produkcyjne

Wyniki tuczu zestawiono w tabeli 3 str. 6 (Publikacja II). Stwierdzono, że dodatek fitazy nie wpłynął na zwiększenie przyrostów masy ciała w poszczególnych okresach odchowu natomiast, zanotowano tendencję do zwiększania masy ciała zwierząt w grupach otrzymujących w mieszance enzym (p = 0,100). W całym okresie tuczu FCR w obu grupach eksperymentalnych był istotnie niższy w porównaniu z grupą kontrolną (p = 0,049), natomiast nie różnił się w poszczególnych fazach wzrostu. Dawka fitazy była istotnie ujemnie skorelowana z pobraniem paszy, o czym świadczy współczynnik korelacji Spearmana (R = -0,51; p < 0,01).

Wyniki uzupełniające

Wyniki tuczu z uwzględnieniem efektu płci i fitazy przedstawiono w tabeli 3a/II, str. 51. W okresie Grower wieprzki osiągnęły istotnie większy przyrost i wyższą końcową masę ciała niż loszki (p = 0,032), ale spożycie paszy nie różniło się. W okresie Finisher i w całym okresie tuczu zanotowano jednakże tylko tendencję do uzyskania wyższej końcowej masy ciała przez wieprzki. W okresie Grower FCR był istotnie lepszy u zwierząt otrzymujących dodatek fitazy (p = 0,005). Tendencje do poprawy FCR stwierdzono także w całym okresie doświadczenia, a ponadto potwierdzono tendencję do zwiększania przyrostów masy ciała w okresie Grower przy dodatku do paszy fitazy (p = 0,054). Dodatkowo, jednoczynnikowa analiza wariancji ujawniła znaczący wpływ najwyższej dawki fitazy u loszek na przyrosty masy ciała (p = 0,004). Nie stwierdzono natomiast interakcji między płcią, a dodatkiem enzymu w żadnym z badanych okresów.

5. 6. Parametry poubojowe i jakość mięsa

Wskaźniki poubojowe przedstawia tabela 4 str. 6 a skład chemiczny mięsa tabela 5 str. 7 (Publikacja II). Nie stwierdzono istotnych różnic w badanych parametrach jakości tuszy i składu mięsa pomiędzy grupami (p > 0,05). W mięsie zwierząt

otrzymujących dodatek fitazy w paszy (Phy 1 i Phy2) istotnie wzrosła ($p < 0,001$) zawartość fosforu w porównaniu ze świniami żywionymi dietą bez fitazy. Jednokierunkowa ANOVA wykazała tendencję ($p = 0,054$) wpływu fitazy na żółtą barwę wieprzowiny (b*).

Wyniki uzupełniające

Wyniki oceny poubojowej i jakości mięsa w zależności od płci i dawki fitazy przedstawiono w tabelach 4a/II i 5a/II, str. 52-53. Nie stwierdzono, żadnego wpływu fitazy na oceniane parametry ($p > 0,05$), natomiast zanotowano istotnie większą mięsność, długość tuszy, długość grzbietu i grubość mięśnia pośladkowego u loszek niż u wieprzków ($p < 0,05$). Podobne tendencje wykazano dla grubości schabu ($p = 0,06$). Mięso loszek zawierało więcej tłuszczu niż mięso wieprzków w grupach żywionych z dodatkiem fitazy ($p = 0,026$). Wieprzki z kolei charakteryzowały się większą grubością słoniny niż loszki ($p < 0,05$) przy jednoczesnej tendencji do zwiększenia masy tuszy ($p = 0,084$). Stwierdzono interakcję pomiędzy dodatkiem fitazy a płcią w przypadku zawartości tłuszczu, jak i barwy mięsa (a*) ($p = 0,05$).

5. 7. Profil kwasów tłuszczowych mięsa i wskaźniki jakości tłuszczu

Profil kwasów tłuszczowych w mięsie przedstawia tabela 6 str. 7, a wskaźniki jakości tłuszczu tabela 7 str. 8 (Publikacja II). Udział jednonienasyconych kwasów tłuszczowych (MUFA) ogółem wynosił ok. 47%, kwasów nasyconych (SFA) ok. 39%, a kwasów wielonienasyconych (PUFA) około 14%. Zanotowano obniżenie zawartości kwasu C22:4n6 ($p = 0,008$) w grupach z udziałem fitazy (Phy1 i Phy 2) w porównaniu z grupą Con, natomiast udział innych kwasów nie różnił się ($p > 0,05$). Nie stwierdzono także różnic pomiędzy wskaźnikami jakości tłuszczu w poszczególnych grupach ($p > 0,05$). Z kolei analiza PCA dla profilu kwasów tłuszczowych (Rycina 1, 2 i 3 str. 9- 0, Publikacja II) wykazała, że C18:1 było silnie skorelowane z MUFA, podczas gdy C16:0 było skorelowane z SFA. PUFA były silnie skorelowane z C18:2 n-6. W celu rozróżnienia próbek i utworzenia klastrów zastosowano analizę skupień k-średnich. Wszystkie próbki poddane działaniu fitazy w dawce 400 g/t (Phy2) włączone zostały do

skupienia 2, natomiast próby z grupy kontrolnej włączono do skupienia 1. Z kolei utworzone skupiska 3 i 4 obejmowały próbki potraktowane fitazą w dawce 100 g/t (Phy1).

Wyniki uzupełniające

Wpływ płci i fitazy na profil kwasów tłuszczowych przedstawia tabela 6a/II, str. 54-55. Nie wykazano istotnego wpływu płci na żaden z ocenianych parametrów, natomiast potwierdzono, że dodatek fitazy obniżył koncentrację C22:4n-6 w mięsie zwierząt doświadczalnych ($p = 0,008$). Stwierdzono jedynie tendencje do różnicowania się zawartości kwasu C20:1, którego poziom różnił się pomiędzy wieprzkami i loszkami z grupy Phy2 ($p = 0,082$). Wystąpiła także interakcja pomiędzy badanymi czynnikami (płeć i fitaza) w przypadku zawartości kwasu C20:0 ($p = 0,036$) i C20:1 ($p = 0,006$).

5. 8. Indeksy jakości tłuszczu

Fitaza nie wpłynęła na żaden z ocenianych wskaźników jakości tłuszczu (tabela 7, str. 8, Publikacja II).

5. 9. Charakterystyka składu kości śródreża

Zawartość popiołu, wapnia i fosforu w kościach przedstawiono w tabeli 8 str. 8 Publikacja II. Stwierdzono istotnie wyższą zawartość fosforu w kościach śródreża świń z obu grup otrzymujących w diecie dodatek enzymu ($p < 0,0001$).

Wyniki uzupełniające

Wpływ płci i fitazy na skład kości śródreża przedstawiono w tabeli 7a/II, str. 55. Nie stwierdzono istotnego wpływu tych czynników ani ich interakcji na zawartość popiołu, wapnia czy fosforu w kości ($p > 0,05$).

Tabele uzupełniające zamieszczono na stronach 46 - 55

Tabele – PUBLIKACJA I

Tabela 2a/I Wyniki tuczu świń z uwzględnieniem dawki fitazy i płci. -

Faza tuszu / zmienna	Phy0			Phy100			Phy400			Ogólne	Płeć	Dodatek fitazy	Płeć x fitaza
	F+M	F	M	F+M	F	M	F+M	F	M				
Starter													
IBW (kg)	27,66	29,07	26,24	27,72	28,56	26,88	27,55	28,64	26,46	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05
FBW (kg)	46,67	47,71	45,63	49,81	49,56	50,05	48,92	49,43	48,41	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05
BWG (kg)	19,01 ^a	18,64 ^a	19,39 ^{ab}	22,09 ^b	21,00 ^{bcd}	23,17 ^d	21,37 ^b	20,79 ^{abc}	21,95 ^{cd}	0,001	0,046	<0,001	> 0,05
FCR (kg/kg)	2,58 ^a	2,64 ^c	2,51 ^{bc}	2,22 ^b	2,32 ^{ab}	2,12 ^a	2,27 ^b	2,34 ^{ab}	2,20 ^a	0,004	0,038	<0,001	> 0,05
Grower													
FBW (kg)	83,20	81,80	84,5	86,80	84,70	89,00	85,00	83,60	86,5	> 0,05	0,035	> 0,05	> 0,05
BWG (kg)	36,52	34,14 ^a	38,91 ^c	37,04	35,10 ^{ab}	38,97 ^c	36,09	34,13 ^a	38,05 ^{bc}	> 0,05	<0,001	> 0,05	> 0,05
FCR (kg/kg)	2,73	2,91 ^c	2,56 ^a	2,69	2,84 ^{bc}	2,54 ^a	2,80	2,95 ^c	2,64 ^{ab}	> 0,05	<0,001	> 0,05	> 0,05
Finisher													
FBW (kg)	119,11	116,12	122,10	123,24	121,48	125,00	120,68	118,88	122,48	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05
BWG (kg)	35,92	34,28	37,56	36,4	36,82	35,98	35,67	35,32	36,02	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05
FCR (kg/kg)	3,44	3,60	3,28	3,35	3,31	3,39	3,43	3,47	3,39	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05
Starter-Finisher													
BWG (kg)	91,46	87,05 ^a	95,86 ^{bc}	95,52	92,92 ^{bc}	98,12 ^c	93,13	90,24 ^b	96,02 ^{bc}	> 0,05	<0,001	> 0,05	> 0,05
FCR (kg/kg)	2,96	3,11 ^c	2,82 ^{ab}	2,82	2,90 ^{ab}	2,74 ^a	2,93	3,00 ^{bc}	2,81 ^a	> 0,05	<0,001	> 0,05	> 0,05

Phy0 – grupa kontrolna; Phy100- grupa kontrolna + fitaza 100 g/t; Phy400- grupa kontrolna + fitaza 400 g/t; F- loszki; M – wieprzki; IBW – początkowa masa ciała; FBW – końcowa masa ciała; BWG – przyrosty masy ciała; FI - spożycie paszy; FCR- współczynnik wykorzystania paszy; ^{a,b,c,d} - średnie z odmiennymi indeksami górnymi w wierszu różnią się pomiędzy sobą ($p \leq 0,05$)

Tabela 3a/I. Analiza rzeźna tuszy

Faza tuszy / zmienna	Phy0			Phy100			Phy400			Ogólne	Pleć	Dodatek fitazy	Pleć x fitaza
	F+M	F	M	F+M	F	M	F+M	F	M				
Masa tuszy (kg)	92,95	94,96	90,93	96,55	98,61	94,48	94,81	94,24	95,38	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05
Mięsność (%)	56,41	54,35 ^a	58,46 ^b	55,46	54,44 ^{ab}	56,48 ^{ab}	56,56	56,00 ^{ab}	57,12 ^{ab}	> 0,05	0,002	> 0,05	> 0,05
Wydajność rzeźna (%)	77,95	77,70	78,21	78,38	78,92	77,84	78,68	76,96	80,39	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05
Długość tuszy (cm)	86,54	86,86	86,17	86,00	86,67	85,33	86,31	86,57	86,00	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05
Szerokość tuszy (cm)	36,85	37,29	36,33	38,08	37,67	38,50	37,15	37,71	36,50	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05
Długość grzbietu (cm)	25,77	26,86	24,50	23,92	25,83	22,00	25,15	26,00	24,17	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05
Długość ramienia(cm)	44,85	45,14	44,50	41,00	44,50	37,50	40,46	42,14	38,50	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05
Średnia grubość schabu (mm)	69,14	66,34	71,94	70,35	70,62	70,08	71,86	70,42	73,30	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05
Średnia grubość słoniny (mm)	19,14	21,89 ^b	16,39 ^a	20,86	22,54 ^b	19,18 ^{ab}	19,40	20,03 ^{ab}	18,77 ^{ab}	> 0,05	0,004	> 0,05	> 0,05
pH	6,68	6,64	6,73	6,52	6,43	6,62	6,50	6,51	6,48	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05
Grubość słoniny K III (mm)	21,69	22,14	21,17	19,17	21,50	16,83	19,38	19,86	18,83	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05
Grubość słoniny KII (mm)	16,69	17,29	16,00	16,33	18,33	14,33	16,77	17,29	16,17	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05
Grubość słoniny K I (mm)	28,00	28,29	27,67	26,25	28,50	24,00	25,85	25,14	26,67	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05
Grubość mięśnia pośladkowego (mm)	76,77 ^b	73,00 ^a	81,17 ^b	72,67 ^a	74,17 ^a	71,17 ^a	71,77 ^a	69,71 ^a	74,17 ^a	0,003	0,044	0,019	0,018

Przewodność elektryczna (mS/cm)	3,73	3,81	3,63	4,24	4,17	4,32	3,88	3,84	3,92	> 0,05	> 0,05	> 0,05	>0,05
--	------	------	------	------	------	------	------	------	------	--------	--------	--------	-------

Phy0 – grupa kontrolna; Phy100- grupa kontrolna + fitaza 100 g/t; Phy400- grupa kontrolna + fitaza 400 g/t; F- loszki; M – wieprzki; ^{a,b,c} - średnie z odmiennymi indeksami górnymi w wierszu różnią się pomiędzy sobą ($p \leq 0,05$);

Tabela 4a/I. Ocena jakości mięsa

Faza tuszu / zmienna	Phy0			Phy100			Phy400			Ogólne	Płeć	Dodatek fitazy	Płeć x fitaza
	F+M	F	M	F+M	F	M	F+M	F	M				
Tłuszcz (%)	3,23 ^a	3,414 ^c	3,07 ^{bc}	2,59 ^b	2,80 ^{abc}	2,40 ^a	2,58 ^b	2,734 ^{abc}	2,422 ^{ab}	0,017	0,072	0,011	> 0,05
Białko (%)	23,67	23,74	23,62	24,28	24,41	24,16	24,12	24,34	23,90	0,097	> 0,05	> 0,05	> 0,05
Woda (%)	72,00	71,81 ^{ab}	72,16 ^{ab}	71,94	71,59 ^a	72,25 ^{ab}	72,13	71,73 ^{ab}	72,52 ^b	> 0,05	0,028	> 0,05	> 0,05
pH 24 min.	5,48	5,45	5,50	5,50	5,55	5,46	5,54	5,53	5,56	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05
L *	49,93	50,77	49,24	50,13	50,10	50,16	49,51	49,23	49,79	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05
a *	5,81	5,96 ^b	5,69 ^{ab}	5,58	4,98 ^a	6,10 ^b	5,29	5,23 ^{ab}	5,34 ^{ab}	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05
b*	3,20	3,42	3,02	2,88	2,96	2,81	2,66	2,67	2,65	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05
Ubytek termiczny (%)	28,68	28,84	28,54	28,12	27,41	28,73	28,04	26,75	29,32	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05
Kruchość (%)	21,72	22,37	21,18	20,88	20,26	21,41	22,78	23,77	21,79	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05
Wyciek swobodny (%)	6,54	6,77	6,36	6,70	7,08	6,39	5,84	4,99	6,68	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05
Wodochłonność (%)	32,18 ^b	32,53 ^c	31,89 ^{bc}	28,50 ^a	28,32 ^a	28,64 ^{ab}	29,09 ^a	27,70 ^a	30,48 ^{abc}	0,011	> 0,05	0,013	> 0,05
Fosfor (%)	1,07 ^a	1,032 ^a	1,103 ^b	1,19 ^b	1,202 ^c	1,187 ^c	1,18 ^b	1,196 ^c	1,162 ^{bc}	<0,001	> 0,05	<0,001	> 0,05

Phy0 – grupa kontrolna; Phy100- grupa kontrolna + fitaza 100 g/t; Phy400- grupa kontrolna + fitaza 400 g/t; F- loszki; M – wieprzki; ^{a,b,c} - średnie z odmiennymi indeksami górnymi w wierszu różnią się pomiędzy sobą ($p \leq 0,05$);

Tabela 5a/I. Profil kwasów tłuszczowych w mięsie

Faza tuszu / zmienna	Phy0			Phy100			Phy400			Ogólne	Płeć	Dodatek fitazy	Płeć x fitaza
	F+M	F	M	F+M	F	M	F+M	F	M				
C14:0	1,13	1,11	1,14	1,15	1,17	1,14	1,18	1,21	1,14	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05
C16:0	22,53	22,60	22,48	22,12	22,18	22,08	22,89	23,23	22,55	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05
C17:0	0,22	0,21	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,22	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05
C18:0	13,07	12,86	13,25	13,06	13,36	12,81	13,16	13,36	12,95	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05
C20:0	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,22	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05
C16:1	2,56	2,52	2,60	2,52	2,52	2,52	2,58	2,52	2,63	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05
C17:1	0,25	0,26	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,26	0,25	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05
C18:1	41,88	41,20	42,44	41,14	41,29	41,02	41,43	41,87	40,98	> 0,05	> 0,05	> 0,05	0,011
C20:1	0,99	1,00	0,98	1,02	1,02	1,01	1,00	1,00	0,99	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05
C18:3 n-3	1,48	1,40	1,55	1,51	1,49	1,53	1,39	1,23	1,55	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05
C20:5 n-3	0,39	0,39	0,39	0,36	0,34	0,38	0,36	0,34	0,37	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05
C22:5 n-3	0,42	0,43	0,40	0,40	0,39	0,41	0,44	0,43	0,44	0,076	> 0,05	> 0,05	> 0,05
C22:6 n-3	0,43	0,460	0,403	0,43	0,428	0,429	0,40	0,392	0,406	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05
C18:2 n-6	12,60	13,54	11,82	13,76	13,27	14,18	12,61	11,89	13,33	0,098	> 0,05	> 0,05	0,023
C20:2 n-6	0,34	0,33 ^a	0,35 ^{ab}	0,34	0,34 ^{ab}	0,34 ^a	0,36	0,33 ^a	0,38 ^b	> 0,05	0,046	> 0,05	> 0,05
C20:3 n-6	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,25	0,27	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05
C20:4 n-6	1,13	1,12	1,13	1,12	1,15	1,09	1,15	1,10	1,19	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05
C22:4 n-6	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,11	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05
SFA	37,16	36,98	37,31	36,78	37,14	36,46	37,66	38,24	37,08	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05

MUFA	45,68	44,98	46,26	44,93	45,07	44,80	45,25	45,65	44,85	> 0,05	> 0,05	> 0,05	0,015
PUFA	17,16	18,04	16,43	18,30	17,78	18,74	17,08	16,11	18,06	> 0,05	> 0,05	> 0,05	0,017
Σ n-3	2,71	2,68	2,75	2,70	2,65	2,75	2,59	2,40	2,78	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05
Σ n-6	14,45	15,36	13,69	15,60	15,14	15,99	14,49	13,70	15,28	> 0,05	> 0,05	> 0,05	0,024
Σ n-6/Σ n-3	5,40	5,83	5,04	5,86	5,82	5,90	5,66	5,76	5,57	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05

Phy0 – grupa kontrolna; Phy100- grupa kontrolna + fitaza 100 g/t; Phy400- grupa kontrolna + fitaza 400 g/t; F- loszki; M – wieprzki; SFA – nasycone kwasy tłuszczowe, MUFA – jednonienasycone kwasy tłuszczowe; PUFA – wielonienasycone kwasy tłuszczowe; ^{a,b,c} - średnie z odmiennymi indeksami górnymi w wierszu różnią się pomiędzy sobą ($p \leq 0,05$);

Tabela 6a/I. Analiza popiołu oraz wapnia i fosforu w kości śródreżca

Faza tuszu / zmienna	Phy0			Phy100			Phy400			Ogólne	Płeć	Dodatek fitazy	Płeć x fitaza
	F+M	F	M	F+M	F	M	F+M	F	M				
Popiół surowy (%)	6,31	6,44	6,21	6,24	6,23	6,25	6,68	6,39	6,97	0,074	> 0,05	> 0,05	> 0,05
Wapń (%)	33,35 ^a	33,36	33,34	33,89 ^{ab}	34,29	33,55	34,55 ^b	33,89	35,22	0,025	> 0,05	0,016	0,033
Fosfor (%)	16,96	16,97	16,96	17,14	17,00	17,26	17,14	17,08	17,19	0,093	0,088	> 0,05	> 0,05

Phy0 – grupa kontrolna; Phy100- grupa kontrolna + fitaza 100 g/t; Phy400- grupa kontrolna + fitaza 400 g/t; F- loszki; M – wieprzki; ^{a,b} - średnie z odmiennymi indeksami górnymi w wierszu różnią się pomiędzy sobą ($p \leq 0,05$).

Tabele – PUBLIKACJA II

Tabela 3a/II. Wyniki tuczu świń z uwzględnieniem dawki fitazy i płci.

Faza tuszu / zmienna	Con			Phy1			Phy2			Ogólne	Płeć	Dodatek fitazy	Płeć x fitaza
	F+M	F	M	F+M	F	M	F+M	F	M				
Starter													
IBW (kg)	30,84	30,50	31,22	31,33	30,50	32,15	31,35	30,75	31,95	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05
FBW (kg)	51,37	51,55	51,17	53,20	51,55	54,85	53,80	52,25	55,35	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05
BWG (kg)	20,53	21,05	19,94	21,88	21,05	22,70	22,45	21,50	23,40	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05
FCR (kg/kg)	2,38	2,32	2,44	2,32	2,36	2,34	2,25	2,34	2,13	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05
Grower													
FBW (kg)	90,58	87,60 ^a	93,50 ^{ab}	95,40	90,40 ^{ab}	97,40 ^{ab}	97,28	95,60 ^{ab}	101,06 ^b	> 0,05	0,032	> 0,05	> 0,05
BWG (kg)	39,21	36,05 ^a	42,85 ^b	42,20	38,85 ^{ab}	45,45 ^b	43,48	43,35 ^b	44,78 ^b	> 0,05	0,004	0,054	> 0,05
FCR (kg/kg)	2,60	2,86 ^b	2,31 ^a	2,43	2,64 ^{ab}	2,22 ^a	2,38	2,37 ^a	2,30 ^a	> 0,05	> 0,05	0,005	> 0,05
Finisher													
FBW (kg)	124,05	121,00	127,44	131,35	125,60	137,10	131,55	130,80	132,30	> 0,05	0,071	> 0,05	> 0,05
BWG (kg)	33,47	33,40	33,56	35,95	35,20	36,70	34,28	35,20	33,35	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05
FCR (kg/kg)	4,97	4,59	5,40	4,04	4,10	3,99	4,31	4,33	4,29	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05
Starter-Finisher													
BWG (kg)	93,21	90,50	97,40	100,03	95,10	102,00	100,20	98,05	102,78	0,100	0,058	> 0,05	> 0,05
FCR (kg/kg)	3,25 ^a	3,34	3,16	2,96 ^b	3,11	2,82	2,98 ^b	2,98	2,98	0,049	> 0,05	0,070	> 0,05

Con – grupa kontrolna; Phy1- grupa kontrolna + fitaza 100 g/t; Phy2- grupa kontrolna + fitaza 400 g/t; F- loszki; M – wieprzki; IBW – początkowa masa ciała; FBW – końcowa masa ciała; BWG– przyrosty masy ciała; FI - spożycie paszy; FCR- współczynnik wykorzystania paszy; ^{a,b}- średnie z odmiennymi indeksami górnymi w wierszu różnią się pomiędzy sobą ($p \leq 0,05$)

Tabela 4a/II. Analiza rzeźna tuszy

Faza tuszu / zmienna	Con			Phy1			Phy2			Ogólne	Pleć	Dodatek fitazy	Pleć x fitaza
	F+M	F	M	F+M	F	M	F+M	F	M				
Masa tuszy (kg)	97,91	95,32	100,78	102,24	97,89	106,59	102,83	101,79	103,87	> 0,05	0,084	> 0,05	> 0,05
Mięsność (%)	57,30	58,42 ^{bc}	56,17 ^{ab}	57,640	58,90 ^c	56,19 ^{ab}	56,350	57,51 ^{abc}	55,17 ^a	> 0,05	0,001	> 0,05	> 0,05
Wydajność rzeźna (%)	78,85	78,66	79,06	77,80	77,92	77,67	78,14	77,91	78,38	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05
Długość tuszy (cm)	89,67	90,84 ^b	88,50 ^a	89,08	91,00 ^b	87,17 ^a	88,92	91,20 ^b	87,29 ^a	> 0,05	0,001	> 0,05	> 0,05
Szerokość tuszy (cm)	39,34	39,00	39,67	38,08	38,50	37,67	38,67	38,60	38,71	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05
Długość grzbietu (cm)	21,00	19,84	22,17	20,00	18,50	21,50	22,17	19,80	23,86	> 0,05	0,029	> 0,05	> 0,05
Długość ramienia(cm)	43,08	45,34	40,84	43,67	43,00	44,34	47,00	44,60	48,71	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05
Średnia grubość schabu (mm)	66,90	67,70	66,00	66,10	67,20	64,90	66,30	69,30	63,40	> 0,05	0,060	> 0,05	> 0,05
Średnia grubość słoniny (mm)	17,32	15,68 ^{ab}	18,98 ^{bc}	16,62	14,81 ^a	18,55 ^{bc}	18,72	17,42 ^{abc}	20,14 ^c	> 0,05	0,001	> 0,05	> 0,05
pH	6,47	6,42	6,53	6,57	6,63	6,50	6,45	6,47	6,44	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05
Grubość słoniny K III (mm)	20,50	18,17 ^a	22,84 ^b	20,50	17,84 ^a	23,17 ^b	22,84	19,60 ^a	25,14 ^b	> 0,05	0,011	> 0,05	> 0,05
Grubość słoniny KII(mm)	17,75	16,00 ^a	19,50 ^b	16,67	13,84 ^a	19,50 ^b	18,42	16,20 ^a	20,00 ^b	> 0,05	0,014	> 0,05	> 0,05
Grubość słoniny K I (mm)	24,67	23,34 ^a	26,00 ^b	23,00	19,84 ^a	26,17 ^b	25,25	22,80 ^a	27,00 ^b	> 0,05	0,014	> 0,05	> 0,05
Grubość mięśnia pośladowego (mm)	72,67	77,83 ^b	67,50 ^a	71,42	72,17 ^{ab}	70,67 ^{ab}	74,17	75,50 ^{ab}	72,83 ^{ab}	> 0,05	0,022	> 0,05	> 0,05
Przewodność elektryczna (mS/cm)	4,54	4,60	4,48	4,79	4,80	4,78	4,32	4,740	4,01	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05

Con – grupa kontrolna; Phy1- grupa kontrolna + fitaza 100 g/t; Phy2- grupa kontrolna + fitaza 400 g/t; F- loszki; M – wieprzki; ^{a,b} - średnie z odmiennymi indeksami górnymi w wierszu różnią się pomiędzy sobą ($p \leq 0,05$)

Tabela 5a/II. Ocena jakości mięsa

Zmienna	Con			Phy1			Phy2			Ogólne	Płeć	Dodatek fitazy	Płeć x fitaza
	F+M	F	M	F+M	F	M	F+M	F	M				
Tłuszcz (%)	1,81	1,40 ^b	2,23 ^a	2,31	2,13 ^a	2,46 ^a	2,19	2,21 ^a	2,17 ^a	> 0,05	0,026	> 0,05	0,05
Białko (%)	24,21	24,55	23,88	23,54	23,52	23,57	24,21	24,49	24,01	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05
Woda (%)	72,76	72,82	72,70	72,82	72,86	72,78	72,42	72,14	72,61	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05
Sucha masa (%)	27,24	27,19	27,30	27,18	27,14	27,22	27,59	27,86	27,39	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05
pH 24 min.	5,53	5,48	5,59	5,53	5,56	5,50	5,48	5,50	5,46	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05
L *	46,83	47,34	46,33	46,42	45,96	46,88	47,86	45,23	49,74	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05
a *	5,12	5,50	4,74	5,48	5,11	5,85	5,57	5,04	5,95	> 0,05	> 0,05	> 0,05	0,05
b*	1,96	2,19	1,36	1,79	1,69	2,37	2,56	1,65	3,01	0,054	> 0,05	> 0,05	> 0,05
Ubytek termiczny (%)	26,38	27,47	25,28	26,12	25,73	26,52	28,16	30,88	26,21	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05
Kruchość (%)	27,09	27,81	26,37	26,04	26,38	25,70	26,31	26,80	25,96	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05
Wyciek swobodny (%)	5,21	5,45	4,97	5,10	5,08	5,12	6,15	5,56	6,57	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05
Wodochłonność (%)	28,07	26,95	29,20	28,26	29,29	27,24	28,36	27,95	28,65	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05

Con – grupa kontrolna; Phy1- grupa kontrolna + fitaza 100 g/t; Phy2- grupa kontrolna + fitaza 400 g/t; F- loszki; M – wieprzki; ^{a,b} - średnie z odmiennymi indeksami górnymi w wierszu różnią się pomiędzy sobą ($p \leq 0,05$)

Tabela 6a/II. Profil kwasów tłuszczowych w mięsie

Zmienna	Con			Phy1			Phy2			Ogólne	Płeć	Dodatek fitazy	Płeć x fitaza
	F+M	F	M	F+M	F	M	F+M	F	M	<i>p</i>			
C14:0	1,32	1,27	1,37	1,32	1,28	1,36	1,26	1,29	1,24	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05
C16:0	23,78	23,80	23,76	23,68	23,89	23,47	23,67	23,40	23,86	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05
C17:0	0,22	0,22	0,23	0,23	0,24	0,22	0,21	0,22	0,21	0,087	> 0,05	> 0,05	> 0,05
C18:0	13,36	13,61	13,12	13,27	13,26	13,28	13,72	13,28	14,03	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05
C20:0	0,21	0,21	0,22	0,21	0,21	0,22	0,22	0,22	0,21	> 0,05	> 0,05	> 0,05	0,036
C16:1	2,32	2,36	2,28	2,36	2,37	2,36	2,37	2,38	2,37	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05
C18:1	43,59	43,36	43,81	43,77	43,68	43,87	43,50	44,22	42,97	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05
C20:1	1,12	1,10 ^{ab}	1,13 ^b	1,09	1,10 ^{ab}	1,08 ^{ab}	1,08	1,13 ^b	1,05 ^a	> 0,05	0,082	> 0,05	0,006
C22:4 n-6	0,12 ^b	0,12 ^b	0,11 ^a	0,11 ^a	0,11 ^a	0,11 ^a	0,11 ^a	0,11 ^a	0,11 ^a	0,008	> 0,05	0,008	> 0,05
C18:2 n-6	10,89	10,78	10,96	10,90	10,84	10,96	10,86	10,76	10,93	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05
C20:2 n-6	0,33	0,34	0,31	0,34	0,32	0,37	0,33	0,34	0,33	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05
C20:3 n-6	0,21	0,25	0,17	0,21	0,21	0,21	0,20	0,20	0,20	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05
C20:4 n-6	0,14	0,15	0,13	0,15	0,16	0,15	0,13	0,13	0,14	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05
C18:3 n-3	0,92	0,93	0,90	0,92	0,94	0,91	0,89	0,89	0,88	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05
C20:5 n-3	0,42	0,42	0,42	0,38	0,40	0,36	0,39	0,35	0,42	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05
C22:5 n-3	0,44	0,43	0,46	0,42	0,41	0,44	0,453	0,46	0,45	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05
C22:6 n-3	0,49	0,53	0,46	0,51	0,49	0,52	0,49	0,50	0,49	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05
SFA	38,91	39,12	38,70	38,72	38,87	38,56	39,08	38,41	39,56	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05
MUFA	47,14	46,94	47,35	47,35	47,27	47,43	47,06	47,85	46,50	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05

PUFA	13,95	13,94	13,96	13,94	13,86	14,01	13,85	13,74	13,94	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05
Σ n-3	2,28	2,30	2,25	2,24	2,24	2,24	2,22	2,19	2,24	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05
Σ n-6	11,77	11,64	11,71	11,70	11,63	11,78	11,64	11,54	11,70	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05
Σ n-6/Σ n-3	5,14	5,06	5,20	5,20	5,21	5,28	5,26	5,27	5,26	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05

Con – grupa kontrolna; Phy1- grupa kontrolna + fitaza 100 g/t; Phy2- grupa kontrolna + fitaza 400 g/t; F- loszki; M – wieprzki; SFA – nasycone kwasy tłuszczowe, MUFA – jednonienasycone kwasy tłuszczowe; PUFA – wielonienasycone kwasy tłuszczowe; ; ^{a,b} - średnie z odmiennymi indeksami górnymi w wierszu różnią się pomiędzy sobą ($p \leq 0,05$);

Tabela 7a/II. Analiza popiołu oraz wapnia i fosforu w kości śródrezcza

Zmienna	Con			Phy1			Phy2			Ogólne	Płeć	Dodatek fitazy	Płeć x fitaza
	F+M	F	M	F+M	F	M	F+M	F	M				
Popiół surowy (%)	52,47	53,20	51,74	53,90	53,80	54,01	52,60	53,54	51,83	> 0,05	>0,05	>0,05	>0,05
Wapń (%)	33,89	33,57	34,212	33,27	33,93	32,62	33,25	32,97	33,45	> 0,05	>0,05	>0,05	>0,05
Fosfor (%)	16,71 ^a	16,82	16,61	17,28 ^b	17,29	17,27	17,14 ^b	17,19	17,13	<0,0001	>0,05	>0,05	>0,05

Con – grupa kontrolna; Phy1- grupa kontrolna + fitaza 100 g/t; Phy2- grupa kontrolna + fitaza 400 g/t; F- loszki; M – wieprzki; ^{a,b} - średnie z odmiennymi indeksami górnymi w wierszu różnią się pomiędzy sobą ($p \leq 0,05$);

6. Wykaz analiz

**przeprowadzonych samodzielnie przez Doktoranta oraz prac wykonanych przez inne osoby
(w tym analizy zlecone) •**

Analizy wykonane przez mgr Annę Buzek

Ważenia i pomiary zwierząt

Badania chemiczne pasz

Analizy przygotowawcze kośćca i analiza składu mineralnego

Zestawienie analityczne danych

Analizy wykonane przez dr hab. Małgorzatę Kasprovicz-Potocką

Badanie chemiczne pasz

Zestawienie analityczne danych

Analizy wykonane przez dr inż. Anitę Zaworską-Zakrzewską

Ważenia i pomiary zwierząt

Zestawienie i interpretacja danych i analiza statystyczna

Analizy wykonane przez dr inż. Małgorzatę Muzolf-Panek

Zestawienie i interpretacja danych i analiza statystyczna

Analizy wykonane przez dr hab. Dariusza Lisiaka, prof. IBRS

Analiza rzeźna tuszy

Analiza ocena jakości mięsa

Analizy wykonane na zlecenie

Analiza profilu kwasów tłuszczowych

7. Dyskusja

W produkcji zwierzęcej około 60-70% kosztów stanowi pasza. Najdroższym składnikiem paszowym jest białko, które wprowadzane jest do diet w postaci surowców wysokobiałkowych, jak powszechnie stosowana SBM, pochodząca głównie z upraw GMO. Aktualnie ceny tego surowca są wysokie i podlegają częstym fluktuacjom, spowodowanym zmieniającą się podażą i popytem na światowych rynkach. Jeszcze mniej korzystna sytuacja występuje w przypadku stosowania w żywieniu zwierząt surowców niemodyfikowanych genetycznie, których ceny są zwykle wyższe, a dostępność niższa. W związku z niestabilną sytuacją białkową na świecie i z zakazem uprawy roślin GMO, w Europie dąży się do uzyskania jak największej niezależności od surowców importowanych, zastępując je, w miarę możliwości, surowcami krajowymi. W Polsce należą do nich, m.in. rzepak, łubin i soja. Nieprzetworzone nasiona soi i rzepaku nie znajdują szerszego wykorzystania w praktyce ze względu na ich działanie antyodżywcze, nieatrakcyjną formę fizyczną lub smak (**Rutkowski i Zaworska-Zakrzewska i in., 2020**). Mając to na uwadze, w przeprowadzonych w ramach dysertacji doświadczeniach przygotowano diety, w których głównym źródłem białka były ekstrudowane pełnotłuste nasiona krajowej soi i nasiona łubinu żółtego (Doświadczenie I) oraz ekstrudowane pełnotłuste nasiona soi i poekstrakcyjna śruta rzepakowa (Doświadczenie II). W obu doświadczeniach ExS stanowiły od 5 do 10% diety, nasiona łubinu od 8 do 10% diety, natomiast RSM - od 11,5 do 15% diety. Z kolei pozostałą część, tj. 75 do 83% diet (w zależności od fazy wzrostu) stanowiły zboża i produkty ich przetworzenia (pszenica, żyto, jęczmień, kukurydza, otręby pszenne).

Surowe nasiona soi zawierają około 2,8 do 5,0 g P-fit/kg, jednakże badania wykazały, że w wyniku ekstruzji jego zawartość w nasionach ulega obniżeniu do około 0,5-0,6 g P fit/kg (**Rutkowski i Zaworska-Zakrzewska, 2020**). Podczas tłoczenia nasion przez matrycę, cząsteczki heksafosforanu inozytolu mogą ulegać hydrolizie do penta-, tetra- i trifosforanów, jednak ma to miejsce w przypadku dużej wilgotności procesu. Zmniejszenie zawartości kwasu fitynowego w nasionach roślin bobowatych podczas obróbki cieplnej może być także częściowo spowodowane niestabilnym termicznie charakterem kwasu fitynowego i tworzeniem nierozpuszczalnych kompleksów między fitynianem a innymi składnikami (**Kaur i in., 2013**). Nieprzetworzone nasiona zbóż i łubinu a także RSM są natomiast bogatym źródłem fitynianów. Nasiona różnych odmian łubinu żółtego mogą zawierać od 4,2 do 8,4 g P-fit/kg (**Rutkowski i Zaworska-Zakrzewska, 2020**), natomiast RSM od 7,0 do 9,4 P-fit/kg (**Tahir i in., 2012**). Według danych z literatury, ziarno kukurydzy zawiera od 1,8 do

2,2 g P-fit/kg, ziarno pszenicy i innych zbóż od ok. 2,5 do 3,0, a otręby od 7,2 do 8,6 g P-fit/kg (Tahir i in., 2012). Wyliczona średnia zawartość P-fit w dietach w Doświadczeniu I zawierała od 3,4 do 3,7 g/kg, z kolei w Doświadczeniu II od 3,3 do 3,5 g/kg. Jeżeli składniki będące źródłem fitynianów stanowią ponad 90% mieszanek paszowych dla trzody, dodatek enzymu fitazy może być uzasadniony, dlatego że podstawowym warunkiem działania fitaz jest dostępność substratów. Działanie fitazy mikrobiologicznej zależy, jednakże nie tylko od koncentracji fitynianu w diecie, ale także od jego źródła i od pochodzenia fitazy oraz od jej dawki (Guggenbuhl i in., 2016; Dersjant-Li i in., 2017).

W dietach doświadczalnych zastosowano fitazę mikrobiologiczną Quantum Blue 5G w dwóch dawkach - zalecanej przez producenta - 100 g/t, i zwiększonej (tzw. superdosing) do 400 g/t mieszanki. W Doświadczeniu I świnie otrzymujące fitazę w obu dawkach cechowały się od 12 do 16% wyższymi przyrostami masy ciała i od 12 do 14% niższym FCR, ale tylko w okresie Starter. W Doświadczeniu II natomiast zastosowanie obu dawek fitazy, nie wpłynęło istotnie na przyrost masy ciała, choć odnotowano tendencję, ale istotnie obniżyło FCR w całym okresie tuczu, aż o 8-9%. Może to oznaczać, że wykorzystanie fosforu i innych składników uwolnionych przez fitazę jest bardziej efektywne we wcześniejszych okresach wzrostu, kiedy zwierzęta rosną szybciej i mają większe zapotrzebowanie na składniki pokarmowe. W obu doświadczeniach zaobserwowano poprawę FCR, co wynika z większej strawności składników pokarmowych na skutek rozkładu struktury fitynianu i w wyniku zwiększenia dostępności cukrów i białek, które wcześniej były związane z kwasem fitynowym (Selle i in., 2006; Cervantes i in., 2011). Mogą to potwierdzać wyniki badań minerałów w tkankach, gdyż w Doświadczeniu I stwierdzono istotne zwiększenie depozycji wapnia (ale także popiołu i fosforu - tendencja) w kościach śródreżca w grupie otrzymującej wyższą dawkę fitazy, oraz większą depozycję P w mięsie, a w Doświadczeniu II stwierdzono istotne zwiększenie depozycji fosforu w mięsie i kościach śródreżca u świń, którym podawano fitazę. W obu doświadczeniach uzyskano zatem wzrost udziału fosforu w mięsie, co pośrednio świadczy o większej retencji fosforu. Jeśli dieta zawiera stosunkowo dużą ilość fitynianów, wchłanianie wapnia może być upośledzone i spowodować kulawizny i inne nieprawidłowości szkieletu, stanowiąc często podstawę do wykluczenia osobników z kojca czy zastosowania leczenia, lub nie rzadko przymusowego przedwczesnego uboju. Kasprowicz-Potocka i in. (2020) stwierdzili, że dodatek fitazy zwiększył dostępność fosforu o 14% a wapnia o 4%, a Grela i in. (2020), że podanie 500 FTU fitazy/kg paszy zwiększyło wytrzymałość kości. Prawidłowy poziom fosforu i wapnia w diecie jest niezbędny do właściwej mineralizacji kości, i we wszystkich przygotowanych mieszankach obliczony

stosunek wapnia do fosforu ogólnego był podobny i mieścił się w zalecanym zakresie 1,2-1,4. W doświadczeniu I, dodatek fitazy nie zwiększył natomiast istotnie zawartości fosforu w kości, czego oczekiwano, zwiększył natomiast odkładanie wapnia. **Tsai i in. (2020)** stwierdzili, że fosfor uwalniany przez fitazę jest wchłaniany i przyczynia się do poprawy wzrostu kości, lepszego tempa przyrostu tkanki i zwiększenia masy ciała, jednak nie zmienia stężenia P w tkankach. **Wiśniewska i in. (2020)** oraz **Wu i in. (2020)** zauważyli natomiast dodatnią korelację między procentową poprawą wykorzystania paszy w odpowiedzi na zawartość fitazy i fitynianów w dietach opartych m.in. na nasionach roślin strączkowych. **Grela i in. (2020)** zaobserwowali, że fitaza w dawce 500-1000 FTU/kg paszy istotnie zwiększyła BWG i FCR, jednak pobranie paszy nie uległo zmianie. **Da Silva i in. (2019)** nie stwierdzili natomiast wpływu fitazy na FCR. Inne badania także wykazały, że fitaza może zwiększyć wykorzystanie niektórych składników odżywczych, ale nie zawsze przekłada się to na lepsze efekty produkcyjne (**Guggenbuhl i in., 2016**).

Parametry poubojowe zwierząt w obu doświadczeniach były satysfakcjonujące i nie stwierdzono różnic między grupami. W Doświadczeniu I, mięso pochodzące od świń otrzymujących paszę z fitazą charakteryzowało się istotnie niższą zawartością tłuszczu i niższą wodochłonnością, a także zawierało więcej fosforu. U tych zwierząt stwierdzono też mniejszą grubość mięśnia pośladkowego. W Doświadczeniu II fitaza nie miała wpływu na parametry jakości tuszy i skład chemiczny mięsa, za wyjątkiem zwiększonej zawartości fosforu oraz wykazanej tendencji do pogłębiania żółtej barwy wieprzowiny (b*) przy wyższej dawce enzymu. Mniejsza zawartość tłuszczu w mięsie z jednej strony może być atrakcyjna dla tych konsumentów, którzy preferują dietę niskotłuszczową, ale może również negatywnie wpływać na właściwości sensoryczne mięsa (**Gebert i in., 1998; Grela i in., 2020**). Z kolei wodochłonność to zdolność mięsa do zatrzymywania całości lub części wody, i jest jedną z najważniejszych cech jakości mięsa. Utrata wagi spowodowana wyciekami oznacza wyższe koszty ekonomiczne dla przetwórców mięsa i sprzedawców detalicznych. Mechanizmy tych zmian i różnice pomiędzy doświadczeniami nie są jasne i wynikają prawdopodobnie z materiału genetycznego zwierząt wykorzystanych w tuczu, jednak należy dodać, że są to zmiany zarówno negatywne, jak i pozytywne. **Gebert i in. (1998)** stosując 1200 FTU fitazy/kg paszy nie stwierdzili wpływu enzymu na wydajność rzeźną, mięsność, zawartość słoniny czy grubość mięśnia pośladkowego. Suplementacja fitazą wpłynęła jednak na jasność i teksturę mięsa, co również stwierdzono w Doświadczeniu II (tendencja). Na barwę mięsa mają wpływ różne czynniki, takie jak zawartość barwnika (białka hemowe, zwłaszcza mioglobina), forma chemiczna mioglobiny (forma utlenienia żelaza hemowego), czy

szybkość glikolizy w mięsie. Dodatek fitazy do paszy zwiększa dostępność pierwiastków śladowych, takich jak żelazo i miedź, które to pierwiastki prawdopodobnie katalizują autoutlenianie mioglobiny poprzez stymulację powstawania nadtlenu wodoru, który jest początkowym produktem utleniania lipidów, co ma wpływ na barwę mięsa. Co więcej, mioglobina jest łatwo utleniana do metmioglobiny, co nie ma większego wpływu na głębię koloru, ale struktura mięśnia jest „otwarta” i rozprasza światło (**Cauble i in., 2020**).

Fracja lipidowa w opracowanych dietach świń pochodzi głównie z pełnotłustych nasion soi oraz nasion łubinu lub RSM. Są to tłuszcze bogate w PUFA n-6 i dzięki szerokim stosunkom n-6 do n-3 mają działanie prozdrowotne a ich zawartość w paszy wpływa na jakość tłuszczu w mięsie. **Sońta i in. (2020)** twierdzą, że potrzebna jest analiza porównawcza dotycząca ważnych żywieniowo kwasów tłuszczowych w mięsie świń żywionych mieszankami paszowymi zawierającymi białko pochodzące z różnych źródeł roślinnych, w tym roślin strączkowych. W mięsie świń z Doświadczenia I udział MUFA wynosił około 45%, SFA około 37%, a PUFA około 18%, a w Doświadczeniu II - odpowiednio: 47%, 39% i 14%, co wynikało zarówno z nieco innego składu diety, jak i innej genetyki świń. Głównymi PUFA były C18:2n6 i C18:3n3, które, jak wiadomo zapobiegają chorobie niedokrwiennej serca. W obu doświadczeniach wpływ fitazy na skład kwasów tłuszczowych był jednak stosunkowo niewielki. W Doświadczeniu I zaobserwowano tendencję do wzrostu zawartości jedynie C22:5n-3 w mięsie zwierząt z grupy otrzymującej wyższy poziom fitazy oraz do wzrostu zawartości C18:2n-6 w mięsie zwierząt z grupy otrzymującej niższy poziom fitazy w diecie. Poziom C18:2n6 związany jest z mniejszą zawartością lipidów endogennych w mięsie. Zjawisko to niekorzystnie wpływa na tkankę tłuszczową podczas obróbki, obniżając temperaturę topnienia tłuszczu. Z kolei kwas dokozapentaenowy (C22:5n-3) ma korzystny wpływ na zdrowie i wykazuje dużą skuteczność w hamowaniu agregacji płytek krwi, a także posiada 10-krotnie większą zdolność migracji komórek śródbłonka niż kwas eikozapentaenowy, co jest ważne w procesach gojenia się ran i może odgrywać ważną rolę w łagodzeniu związanego z wiekiem spadku zdolności do uczenia się (**Kaur i in., 2011**). W Doświadczeniu II dodatek enzymu obniżył zawartość kwasu dokozatetraenowego w mięsie, ale mechanizm tych zmian nie jest jasny. Wiadomo natomiast, że stosunek C18:3n6/C22:4n6 jest dobrym markerem lipidowym zmian w przewlekłych chorobach nerek (**Szczuko i in., 2020**). Zmniejszenie koncentracji C22:4n6 wiąże się ze wzrostem tego stosunku, co jest korzystne dla zdrowia zwierząt i ludzi. **Cauble i in. (2020)** stwierdzili, że fitaza w diecie może być potencjalnym modulatorem profilu kwasów tłuszczowych w mięśniach, ale zostało to tylko częściowo zaobserwowane w prezentowanych badaniach.

Analiza PCA wykazała ponadto, że w porównaniu z grupą kontrolną tłuszcz pochodzący z mięsa zwierząt żywionych wyższą dawką fitazy charakteryzował się stosunkowo wysokim udziałem SFA w ogólnej puli kwasów tłuszczowych. **Gebert i in. (1998)** również zaobserwowali takie zjawisko, tłumacząc to faktem, że mikrobiologiczna fitaza pośrednio dokonała niewielkich zmian w profilu kwasów tłuszczowych frakcji lipidowych mięśnia. Jest prawdopodobne, że wpływ fitazy na SFA był spowodowany głównie wyższym spożyciem paszy, a tym samym skutkowało wyższą autosyntezą SFA, lub że wyższy udział SFA mógł być konsekwencją utleniania lipidów nienasyconych. Kwasy tłuszczowe wielonienasycone uległy redukcji do produktów wtórnych lub do kwasów tłuszczowych o mniejszym nienasyceciu, wodoronadtlenków lipidów lub aldehydów. Wartości wskaźników jakości żywieniowej tłuszczu oznaczone w mięsie tuczników w Doświadczeniu II nie różniły się pomiędzy grupami i były korzystne z dietetycznego punktu widzenia.

Wiele badań wskazuje, że działanie fitazy mikrobiologicznej zależy również od dawki fitazy. **Zeng i in. (2015)** i **Dersjant-Li i in. (2017)** zauważyli, że wyższe dawki fitazy skutkują lepszymi wynikami wzrostu świń niż dawki standardowe. Wyższa dawka fitazy nie zwiększyła jednak przyrostów masy ciała zwierząt ani nie obniżyła FCR w żadnym z prezentowanych doświadczeń. W Doświadczeniu I dawka fitazy była istotnie ujemnie skorelowana z pobraniem paszy (współczynnik korelacji Spearmana $R = -0,51$; $p < 0,01$), natomiast w Doświadczeniu II korelacja była dodatnia ($R = 0,565$; $p < 0,001$). Różnice to są trudne do weryfikacji ze względu na grupowe utrzymanie zwierząt, a więc także grupowe szacowanie FI. Według **Lalpanmawia i in. (2014)** wyższe dawki fitazy zwiększają dostępność strawnych składników pokarmowych, co stymuluje pobieranie paszy, ponieważ fityniany mogą działać hamująco na apetyt. **Zeng i in. (2015)** stwierdzili, że w porównaniu z dawką podstawową 500 FTU/kg, bardzo wysokie dawki fitazy (20 000 FTU/kg) zwiększyły dzienne przyrosty masy ciała, jak również strawność wapnia i fosforu. W badaniach własnych wyższa dawka fitazy nie miała jednak wpływu na odkładanie wapnia i fosforu w kości śródrezcza u świń w porównaniu z dawką zalecaną przez producenta. W żadnym z przeprowadzonych doświadczeń nie potwierdzono także pozytywnego wpływu wyższej dawki fitazy na badane parametry tuszy, skład chemiczny i cechy mięsa oraz na profil kwasów tłuszczowych. W Doświadczeniu I jednoczynnikowa analiza wariancji ujawniła jedynie, że najwyższa dawka fitazy wpłynęła na zwiększenie BWG loszek w porównaniu z dietą bez fitazy. Natomiast **Holloway i in. (2019)** stwierdzili, że wyższe dawki fitazy pozytywnie wpływają na tempo wzrostu zwierząt, FI i wydajność tuszy ($P > 0,10$), a **Dang**

i in. (2021) zanotowali, że suplementacja diety wyższymi dawkami fitazy miała wpływ na zmniejszenie grubości słoniny u tuczników.

W praktyce raczej nie utrzymuje się tuczników w grupach z podziałem na płęć, ale też niezwykle rzadko prowadzi się w tym kierunku porównawcze badania naukowe. Tymczasem efekty tuczu w istotny sposób są determinowane zarówno przez zastosowaną dietę, jak i przez genotyp zwierzęcia i jego płęć. Czynniki te wpływają na cechy produkcyjne, takie jak: BWG, FCR, czas trwania tuczu, wartość rzeźna czy jakość mięsa, dlatego oddzielny tucz wieprzków i loszek, pozwala na uzyskanie lepszej mięsności tusz, i bardziej racjonalne żywienie. Ze względu na stwierdzone braki w literaturze odnośnie wyników produkcyjnych, a szczególnie danych powiązanych z charakterystyką tuszy i mięsa, i z uwzględnieniem zarówno płci tuczników, jak i diet zawierających KŻBR, wykonano dodatkowe statystyczne analizy porównawcze. Warto wspomnieć, że w poszczególnych okresach doświadczeń diety były izoenergetyczne i zostały zoptymalizowane pod względem składu aminokwasowego. W Doświadczeniu, w którym zastosowano nasiona łubinu, zarówno w okresie Starter, Grower, jak i w całym okresie tuczu wieprzki przyrastały szybciej i uzyskiwały istotnie wyższą masę ciała niż loszki, a także zużywały mniej paszy na kilogram przyrostu. Z kolei w Doświadczeniu II, gdzie zwierzęta oprócz ExS otrzymywały także RSM, w okresie Grower wieprzki osiągnęły istotnie większy BWG i FBM niż loszki natomiast w okresie Finisher i w całym okresie tuczu zanotowano już tylko tendencję. Z kolei **Thomas i Cornegay (1981)** stwierdzili, że wieprzki jadły więcej paszy i rosły szybciej niż loszki. Wieprzki charakteryzują się generalnie większą żernością, co przejawia się wyższym FCR, jednakże ze względu na grupowe utrzymanie zwierząt taka analiza porównawcza nie była możliwa. W Doświadczeniu I tylko w grupie kontrolnej tusze wieprzków cechowała wyższa mięsność i grubość mięśnia pośladkowego w porównaniu do loszek, natomiast w Doświadczeniu II loszki charakteryzowały się istotnie większą mięsnością, długością tuszy i grzbietu oraz grubością mięśnia pośladkowego i schabu niż wieprzki. Wieprzki z kolei charakteryzowały się większą grubością słoniny. Wykazane różnice nie są raczej związane z dietą, ale ze zróżnicowanym genotypem zwierząt w obu doświadczeniach. **Xia i in. (2022)** u loszek rasy Duroc zaobserwowali wyższą masę i wydajność tuszy, oraz większą powierzchnię schabu. **Bąk i in. (2003)** zauważyli natomiast, że niezależnie od klasy (SEUROP) loszki posiadały cieńszą słoninę grzbietową we wszystkich punktach pomiarowych, a tusze wieprzków były bardziej otluszczone i gorzej umięśnione w porównaniu z loszkami. Tusze wieprzków wykazują zwykle większe otluszczenie podskórne, co jest bezpośrednią przyczyną niższej mięsności poubojowej. W obu doświadczeniach w dysertacji to mięso loszek zawierało

jednak więcej tłuszczu, choć zwykle to mięso wieprzków jest bardziej przetłuszczone śródmięśniowo, na co wpływ mógł mieć skład diety. Zawartość tłuszczu w tuszy decyduje o wartości handlowej tusz. **Bak i in. (2003)** potwierdzili jednoznacznie, że wieprzki mają grubszą słoninę grzbietową w porównaniu z loszkami. **Kondracki i Żebrowski (1991)** stwierdzili również, że tusze wieprzków zawierają więcej tłuszczu niż tusze loszek, we wszystkich punktach pomiarowych. Wieprzki, bowiem mają więcej tłuszczu pod skórą, między mięśniami, a także więcej sadła. Niektórzy praktycy zwracają jednak coraz większą uwagę nie na grubość słoniny, lecz na skład tłuszczu mięśniowego. To płęć świń determinuje zmienność składu tłuszczu mięśniowego. W Doświadczeniu I wykazano, że mięso loszek z grup doświadczalnych zawierało mniej kwasu dokozaetnaenowego niż mięso wieprzków. Według **Xia i in. (2022)** w składzie tłuszczu loszek było natomiast więcej kwasu eikozenowego, nienasyconych kwasów tłuszczowych i wolnych kwasów tłuszczowych, natomiast w mięsie wieprzków było więcej wody, kwasu stearynowego i nasyconych kwasów tłuszczowych, a mięso było jaśniejsze. W przypadku zastosowania w diecie fitazy zaobserwowane różnice między loszkami a wieprzkami pod względem zawartości mięsa i tłuszczu w organizmie nie wynikają jednak prawdopodobnie bezpośrednio z dodatku fitazy, ale raczej z różnic w metabolizmie energetycznym. Ewentualne różnice mogą dotyczyć efektywności wykorzystania uwalnianego fosforu, ale nie było to bezpośrednio przedmiotem badań w tej dysertacji. **Holloway i in. (2018)**, którzy zastosowali w badaniach wyższe dawki fitazy (1000, 1750 i 2500 FTU/kg), stwierdzili, że wieprzki rosły szybciej niż loszki, były cięższe i miały wyższą mięsność. Z wyżej omówionych jak i własnych badań wynika natomiast, że zarówno loszki, jak i wieprzki pozytywnie reagują na dodatek fitazy, np. poprzez większą depozycję fosforu w kościach. **Vötterl i in. (2023)** stwierdzili znaczący wpływ płci na ekspresję genów związanych z homeostazą wapnia i fosforu w jelitach i nerkach. Także według **Thomas i Kornegay (1981)** sucha masa i wytrzymałość kości śródreza u wieprzków była wyższa, a zawartość popiołu niższa niż u loszek. Analiza statystyczna wykazała również jednoczesny wpływ płci i dodatku fitazy na takie parametry jak: grubość mięśnia pośladowego, zawartość wapnia w kośćcu i zawartość kwasów C18:1, C18:2 n-6, MUFA, PUFA oraz sumy kwasów z grupy n-6 w tłuszczu mięsa (Doświadczenie I) oraz zawartość tłuszczu w mięsie, barwę mięsa (a*) i zawartości kwasu C20:1 i C20:0 (Doświadczenie II). Wskazuje to na istnienie interakcji głównie w obrębie jakości mięsa i tłuszczu.

Porównując oba doświadczenia warto jeszcze zauważyć, że, praktycznie w takim samym okresie tuczu w Doświadczeniu I tuczniaki przyrosły od 91-95 kg w zależności

od grupy (loszki przyrosły średnio 90 kg a wieprzki 96 kg) przy spożyciu około 270 kg paszy na sztukę, podczas gdy w Doświadczeniu II tuczniki przyrosły od 93-100 kg z zależności od grupy (loszki średnio przyrosły 98 kg a wieprzki 102 kg) przy spożyciu ok. 300 kg paszy/szt. Zaobserwowane różnice mogą być związane zarówno z rasą zwierząt i ich zdolnością do wykorzystania pasz, z warunkami dobrostanu w gospodarstwach i z różnicami w składzie pasz, a także z ich smakowitością. Jeśli chodzi o zastosowane w dietach surowce to zróżnicowanie dotyczyło w zasadzie zastosowania nasion łubinu żółtego w Doświadczeniu I lub RSM w Doświadczeniu II. Nasiona łubinu nie były poddawane żadnym zabiegom uszlachetniającym, więc zawarte w nich substancje o charakterze antyodżywczym (polisacharydy, oligosacharydy, alkaloidy) mogły wpłynąć na uzyskanie przez zwierzęta nieco niższej końcowej masy ciała niż w przypadku zwierząt otrzymujących w dietach RSM, która dodatkowo poddawana jest działaniu temperatury podczas procesu odolejania.

Należy podkreślić, że obydwa doświadczenia przeprowadzono w gospodarstwach komercyjnych w typowych warunkach produkcyjnych. Zwierzęta w obu doświadczeniach różnił genotyp, warunki utrzymania w różnych gospodarstwach i otrzymywane diety, ale podobnie wykorzystywały paszę (FCR ok. 3 kg/kg). W całym okresie (sumarycznie wszystkie fazy) każdego z doświadczeń nie stwierdzono istotnych różnic w parametrach produkcyjnych, za wyjątkiem FCR w Doświadczeniu II. Jednak świnie z grup z zalecanym dawkowaniem fitazy osiągnęły o około 4 kg większy całkowity przyrost masy ciała w Doświadczeniu I, i o około 7kg w Doświadczeniu II, niż w grupie kontrolnej, co może być korzystne dla hodowców świń, biorąc pod uwagę skalę produkcji. Co więcej, w obu doświadczeniach dodatek fitazy podawano „na tzw. górkę”, podobnie jak ma to miejsce na większości ferm trzody chlewnej, nie uwzględniając dodatkowego wpływu fitazy (matryca enzymu). Zatem badania te można jeszcze udoskonalić, obniżając zawartość wapnia i fosforu w diecie przez ograniczenie w niej fosforanów paszowych, co może także istotnie obniżyć koszty żywienia. Należałoby również rozważyć zastosowanie mikrobiologicznej fitazy hydrolizującej wszystkie wiązania fosforanowe w pierścieniu inozytolu. Z badań przeprowadzonych w obu gospodarstwach wynika natomiast jednoznacznie, że zastosowanie wyższych dawek fitazy przy dietach opartych na ekstrudowanych pełnotłustych nasionach soi z nasionami łubinu lub poekstrakcyjną śrutą rzepakową jest nieefektywne, przez co jest ekonomicznie nieuzasadnione.

8. Stwierdzenia i wnioski

1. Zastosowanie fitazy Quantum Blue 5G w dietach zawierających jako główne surowce wysokobiałkowe ekstrudowane pełnotłuste nasiona soi i śrutę rzepakową lub ekstrudowane pełnotłuste nasiona soi i nasiona łubinu żółtego nie poprawiło istotnie wzrostu tuczników w całym okresie tuczu;
2. Zastosowanie w mieszankach dodatku fitazy obniżyło zużycie paszy; zwiększyło depozycję wapnia i fosforu w kośćcu.
3. Dodatek fitazy wpłynął pozytywnie na zawartość fosforu i niektórych kwasów tłuszczowych w mięsie a niekorzystnie oddziaływał na zawartość tłuszczu i wodochłonność mięsa;
4. Zwierzęta otrzymujące podstawową dawkę fitazy przyrastały więcej przy niższym wskaźniku zużycia paszy. Zastosowanie wyższej dawki fitazy nie wpłynęło korzystnie na wskaźniki produkcyjne, poubojowe, jakość mięsa i profil kwasów tłuszczowych, oraz skład mineralny kośćca w porównaniu z dawką podstawową.
5. Płeć wpływała istotnie na parametry produkcyjne zwierząt. Loszki charakteryzowały się większą mięsnością, a ich tusze były dłuższe niż u wieprzków, natomiast wieprzki charakteryzowały się większą grubością słoniny niż loszki.

9. Zalecenia

1. Zalecana przez producenta dawka fitazy w ilości 100g/t może być rekomendowana do diet zawierających krajowe surowce białkowe w mieszankach dla tuczników.
2. W celu efektywniejszego wykorzystania składników pokarmowych wchodzących w skład lokalnych źródeł białka, zaleca się wprowadzenie do mieszanek paszowych matrycy enzymatycznej

10. Spis publikacji cytowanych w opisie rozprawy doktorskiej

- Aarnink, A. J. A., & Verstegen, M. W. A. (2007). Nutrition, key factor to reduce environmental load from pig production. *Livestock Science*, 109(1–3), 194–203. doi:10.1016/j.livsci.2007.01.112
- Abbas, Y., & Ahmad, A. (2018). Impact of processing on nutritional and antinutritional factors of legumes: a review. *Annals. Food Science and Technology*, 19(2), 199–215.
- Abd El-Hack, M. E., Alagawany, M., Arif, M., Emam, M., Saeed, M., Arain, M. A., & Khan, R. U. (2018). The uses of microbial phytase as a feed additive in Poultry Nutrition – A Review. *Annals of Animal Science*, 18(3), 639–658. doi:10.2478/aoas-2018-0009
- Adeola, O., Olukosi, O. A., Jendza, J. A., Dilger, R. N., & Bedford, M. R. (2006). Response of growing pigs to *Peniophora lycii*-and *Escherichia coli*-derived phytases or varying ratios of calcium to total phosphorus. *Animal Science*, 82(5), 637–644.
- Adeola, O., & Cowieson, A. J. (2011). Board-invited review: Opportunities and challenges in using exogenous enzymes to improve nonruminant animal production. *Journal of Animal Science*, 89(10), 3189–3218. doi:10.2527/jas.2010-3715
- Adewole, D. I., Rogiewicz, A., Dyck, B., & Slominski, B. A. (2016). Chemical and nutritive characteristics of canola meal from Canadian Processing Facilities. *Animal Feed Science and Technology*, 222, 17–30. doi:10.1016/j.anifeedsci.2016.09.012
- Ali, B. M., van Zanten, H. H. E., Berentsen, P., Bastiaansen, J. W. M., Bikker, P., & Lansink, A. O. (2017). Environmental and economic impacts of using co-products in the diets of finishing pigs in Brazil. *Journal of Cleaner Production*, 162, 247–259. doi:10.1016/j.jclepro.2017.06.041
- Aniszewski, T., Ciesiołka, D., & Gulewicz, K. (2001). Equilibrium between basic nitrogen compounds in lupin seeds with differentiated alkaloid content. *Phytochemistry*, 57(1), 43–50. doi:10.1016/s0031-9422(00)00498-2
- AOAC. (2016). Official Methods of Analysis of AOAC International. Association of Official Analysis Chemists International, 3172.
- Banaszkiewicz, T. (2005). Wpływ zabiegu obłuszczenia nasion rzepaku na wartość

pokarmową diet z udziałem makuchów w żywieniu kurcząt brojlerów. *Rośliny Oleiste-Oilseed Crops*, 26(2), 499–510.

Bąk, T., Denaburski, J., & Kondratowicz, J. (2003). Płec a umięśnienie i otłuszczenie tusz tuczników sklasyfikowanych w wyższych klasach systemu europ. *Żywność Nauka Technologia Jakość. Supplement*, 10(4).

Bedford, M. R. (2000). Exogenous enzymes in monogastric nutrition — their current value and future benefits. *Animal Feed Science and Technology*, 86(1–2), 1–13. doi:10.1016/s0377-8401(00)00155-3

Beyzi, E., Gunes, A., Buyukkilic Beyzi, S., & Konca, Y. (2019). Changes in fatty acid and mineral composition of rapeseed (*brassica napus ssp. oleifera L.*) oil with seed sizes. *Industrial Crops and Products*, 129, 10–14. doi:10.1016/j.indcrop.2018.11.064

Brzóska, F., Śliwiński, B., & Michalik-Rutkowska, O. (2010). Pasze rzepakowe -miejsce w bilansie białkowym kraju oraz wartość pokarmowa. Cz. 1. *Wiadomości Zootechniczne*, 48(2–3).

Case, S. D. C., Oelofse, M., Hou, Y., Oenema, O., & Jensen, L. S. (2017). Farmer perceptions and use of organic waste products as fertilisers – A survey study of potential benefits and barriers. *Agricultural Systems*, 151, 84–95. doi:10.1016/j.agsy.2016.11.012

Cauble, R. N., Greene, E. S., Orlowski, S., Walk, C., Bedford, M., Apple, J., & Dridi, S. (2020). Research note: Dietary phytase reduces broiler woody breast severity via potential modulation of breast muscle fatty acid profiles. *Poultry Science*, 99(8), 4009–4015. doi:10.1016/j.psj.2020.05.005

Cervantes, M., Gómez, R., Fierro, S., Barrera, M. A., Morales, A., Araiza, B. A., ... & Sauer, W. C. (2011). Ileal digestibility of amino acids, phosphorus, phytate and energy in pigs fed sorghum-based diets supplemented with phytase and Pancreatin®. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 95(2), 179-186.

Choct, M., Dersjant-Li, Y., McLeish, J., & Peisker, M. (2010). Soy oligosaccharides and soluble non-starch polysaccharides: A review of digestion, nutritive and anti-nutritive effects in pigs and poultry. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 23(10), 1386–1398. doi:10.5713/ajas.2010.90222

Clark, M., & Tilman, D. (2017). Comparative analysis of environmental impacts of

agricultural production systems, agricultural input efficiency, and Food Choice. *Environmental Research Letters*, 12(6), 064016. doi:10.1088/1748-9326/aa6cd5

Coban, H. B., & Demirci, A. (2017). Phytase as a diet ingredient: From microbial production to its applications in food and feed industry. *Microbial Production of Food Ingredients and Additives*, 33–55. doi:10.1016/b978-0-12-811520-6.00002-7

Czech, A. (2007). Efektywność fitazy w żywieniu zwierząt. *Medycyna Weterynaryjna*, 63(9), 1034-1039.

Czekała, W. (2015). Current situation and future trends on management of natural fertilizers in Poland. *Archives of Waste Management and Environmental Protection*, 17(1).

da Silva, C. A., Callegari, M. A., Dias, C. P., Bridi, A. M., Pierozan, C. R., Foppa, L., & Hermes, R. (2019). Increasing doses of phytase from *Citrobacter braakii* in diets with reduced inorganic phosphorus and calcium improve growth performance and lean meat of growing and finishing pigs. *PLOS ONE*, 14(5). doi:10.1371/journal.pone.0217490

Dang, D.X., & Kim I.H. (2021). Effects of supplementation of high-dosing *Trichoderma reesei* phytase in the corn-wheat-soybean meal-based diets on growth performance, nutrient digestibility, carcass traits, faecal gas emission, and meat quality in growing-finishing pigs. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 105.3 485-492.

Davison, J. (2010). GM plants: Science, politics and EC Regulations. *Plant Science*, 178(2), 94–98. doi:10.1016/j.plantsci.2009.12.005

Dei, H. K. (2011). Soybean as a feed ingredient for livestock and poultry. *Recent Trends for Enhancing the Diversity and Quality of Soybean Products*. Doi:10.5772/17601

Dersjant-Li, Y., Awati, A., Schulze, H., & Partridge, G. (2015). Phytase in non-ruminant animal nutrition: a critical review on phytase activities in the gastrointestinal tract and influencing factors. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(5), 878-896.

Dersjant-Li, Y., Wealleans, A. L., Barnard, L. P., & Lane, S. (2017). Effect of increasing *Buttiauxella* phytase dose on nutrient digestibility and performance in weaned piglets fed corn or wheat based diets. *Animal Feed Science and Technology*, 234, 101-109.

Dzwonkowski, W., Rola, K., Hanczakowska, E., Niwińska, B., Świątkiewicz, S. (2015). Raport o sytuacji na światowym rynku roślin GMO i możliwościach substytucji genetycznie

zmodyfikowanej soi krajowymi roślinami białkowymi w aspekcie bilansu paszowego. *Wyd. IERiGZ-PIB*, Warszawa, 138; ISBN 978-83-7658-569-7.

Florek, J. (2017). Możliwości wykorzystania roślin strączkowych do produkcji pasz w Polsce. *Roczniki Naukowe Stowarzyszenia Ekonomistów Rolnictwa i Agrobiznesu*, 19(4), 40-45. doi: 10.5604/01.3001.0010.5162

Gebert, S. (1998). Effects of microbial phytase and vitamin E in fat supplemented diets for growing pigs and laying hens on performance, nutrient utilization and product stability against oxidative alterations (*Doctoral dissertation*, ETH Zurich).

GfE, (2006). Gesellschaft für Ernährungs physiologie. Society of nutrition physiology, recommendations for the supply of energy and nutrients to pigs. Energy and nutrients requirements for livestock. DLG-Verlags GmbH, Committee for Requirement Standards of the Society of Nutrition Physiology, Frankfurt am Main.

Goyal, A., Tanwar, B., Sihag, M. K., Kumar, V., Sharma, V., & Soni, S. (2020). Rapeseed/canola (*Brassica napus*) seed. *Oilseeds: Health Attributes and Food Applications*, 47–71. doi:10.1007/978-981-15-4194-0_2

Grela, E. R., & Skomiał, J. (2020). Zalecenia żywieniowe i wartość pokarmowa pasz dla świń. *Instytut Fizjologii i Żywienia Zwierząt PAN, Jabłonna 124*.

Guggenbuhl, P., Calvo, E. P., & Fru, F. (2016). Effect of high dietary doses of a bacterial 6-phytase in piglets fed a corn–soybean meal diet. *Journal of Animal Science*, 94, 307-309.

Gulewicz, P., Martinez-Villaluenga, C., Kasproicz-Potocka, M., & Frias, J. (2014). Non-nutritive compounds in Fabaceae family seeds and the improvement of their nutritional quality by traditional processing – a review. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 64(2), 75–89. doi:10.2478/v10222-012-0098-9

Grau-Hamma, R. (1956). Die Bestimmung der Wasserbindung des Fleisches mittels der Pre- β methode. *Fleischwirtschaft*, 8, 733-734.

GUS (2023) <https://stat.gov.pl>.

Holloway, C. L., Boyd, R. D., Koehler, D., Gould, S. A., Li, Q., & Patience, J. F. (2018). The impact of “super-dosing” phytase in pig diets on growth performance during the nursery and grow-out periods. *Translational Animal Science*, 3(1), 419–428. doi:10.1093/tas/txy148

- Huang, Y.-K., Zhao, L., Sun, H., Xu, X.-M., Maamer, J., Preynat, A., & Qi, D.-S. (2021). A multicarbohydrase and phytase complex is able to compensate a nutrient-deficiency in growing-finishing pigs. *Animals*, *11*(4), 1129. doi:10.3390/ani11041129
- Humer, E., Schwarz, C., & Schedle, K. (2014). Phytate in pig and poultry nutrition. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, *99*(4), 605–625. doi:10.1111/jpn.12258
- Humer, E., & Zebeli, Q. (2015). Phytate in feed ingredients and potentials for improving the utilization of phosphorus in ruminant nutrition. *Animal Feed Science and Technology*, *209*, 1–15. doi:10.1016/j.anifeedsci.2015.07.028
- Jerzak, M., & Mikulski, W. (2017). Znaczenie dopłat do produkcji roślin strączkowych w odbudowie rynku rodzimych surowców białkowych pochodzenia roślinnego w Polsce. *Problems of Agricultural Economics*, *351*(2), 153–164. doi:10.30858/zer/83026
- Kaczmarek, S. A., Hejdysz, M., Kubis, M., Kasproicz-Potocka, M., & Rutkowski, A. (2016a). The nutritional value of yellow lupin (*Lupinus luteus L.*) for broilers. *Animal Feed Science and Technology*, *222*, 43–53. doi:10.1016/j.anifeedsci.2016.10.001
- Kaczmarek, P., Korniewicz, D., Lipiński, K., & Mazur, M. (2016b). Chemical composition of rapeseed products and their use in pig nutrition. *Polish Journal of Natural Sciences*, *31*, 545–562.
- Kapela, T. (2007). Perspektywy wykorzystania fitazy w gorzelnictwie. *Biotechnologia*, *2* (77), 54-62.
- Kasproicz-Potocka, M., Zaworska, A., Kaczmarek, S. A., & Rutkowski, A. (2016). The nutritional value of narrow-leafed lupine (*Lupinus angustifolius*) for fattening pigs. *Archives of Animal Nutrition*, *70*(3), 209–223. doi:10.1080/1745039x.2016.1150238
- Kasproicz-Potocka, M., Zaworska-Zakrzewska, A., & Rutkowski, A. (2020). Effect of phytase on digestibility and performance of growing and finishing pigs fed diets with lupins and rapeseed meal. *Journal of Agricultural Science and Technology A*, *10*(4). doi:10.17265/2161-6256/2020.04.005
- Kasproicz-Potocka, M., Zaworska-Zakrzewska, A., Taciak, M., & Frankiewicz, A. (2021). The effect of yeast fermentation of two lupine species on the digestibility of protein and amino acids, microflora composition and metabolites production in the ileum of growing pigs. *Animals*, *11*(10), 2894. doi:10.3390/ani11102894

- Kaur, G., Cameron-Smith, D., Garg, M., & Sinclair, A. J. (2011). Docosapentaenoic acid (22:5n-3): a review of its biological effects. *Progress in lipid research*, 50(1), 28-34.
- Kaur, S., Sharma, S., Singh, B., & Dar, B. N. (2013). Effect of extrusion variables (temperature, moisture) on the antinutrient components of Cereal Brans. *Journal of Food Science and Technology*, 52(3), 1670–1676. doi:10.1007/s13197-013-1118-4
- Kiarie, E., Owusu-Asiedu, A., Péron, A., Simmins, P. H., & Nyachoti, C. M. (2013). Efficacy of xylanase and β -glucanase blend in mixed grains and grain co-products-based diets for fattening pigs. *Livestock Science*, 148(1–2), 129–133. doi:10.1016/j.livsci.2012.05.020
- Kiesz, M. (2018). *Efektywność stosowania fermentowanych pasz białkowych na wyniki produkcyjne oraz status zdrowotny świń* (dissertation). Lublin, Poland.
- Kondracki, S., & Żebrowski, Z. (1991). Rozmieszczenie tłuszczu w półtuszcach świń w zależności od rasy, płci i masy ciała. *Roczniki Naukowe Zootechniki. Monografie*, 29, 181–198.
- Kopiński, J. (2020). Kierunki rozwoju produkcji zwierzęcej w Polsce w aspekcie gospodarki nawozowej. *Studia i Raporty UING - PIB*, 62(16), 71–101.
- Kozera, W. (2020). Aktualne problemy i nowe wyzwania w zakresie żywienia świń. *Podstawowe Zagadnienia w Zakresie Chowu i Hodowli Trzody Chlewnej - Aktualne Problemy i Nowe Wyzwania*, 61–80.
- Kumar, V., & Sinha, A. K. (2018). General aspects of phytases. *Enzymes in Human and Animal Nutrition*, chapter 3, 53–72. doi:10.1016/b978-0-12-805419-2.00003-4
- Lalpanmawia, H., Elangovan, A. V., Sridhar, M., Shet, D., Ajith, S., & Pal, D. T. (2014). Efficacy of phytase on growth performance, nutrient utilization and bone mineralization in Broiler Chicken. *Animal Feed Science and Technology*, 192, 81–89. doi:10.1016/j.anifeedsci.2014.03.004
- Landero, J. L., Beltranena, E., & Zijlstra, R. T. (2013). Diet nutrient digestibility and growth performance of weaned pigs fed solvent-extracted *Brassica juncea* canola meal. *Animal Feed Science and Technology*, 180(1–4), 64–72. doi:10.1016/j.anifeedsci.2013.01.003
- Lisiak, D., Janiszewski, P., Blicharski, T., Borzuta, K., Grześkowiak, E., Lisiak, B., & Hammermeister, A. (2014). Effect of selenium supplementation in pig feed on slaughter value

and physicochemical and sensory characteristics of meat. *Annals of Animal Science*, 14(1), 213–222. doi:10.2478/aoas-2013-0063

Ma, W., Qi, B., Sami, R., Jiang, L., Li, Y., & Wang, H. (2018). Conformational and functional properties of soybean proteins produced by extrusion-hydrolysis approach. *International Journal of Analytical Chemistry*, 1–11. doi:10.1155/2018/9182508

Mazur, M., Bietolini, S., Bellardini, D., Lussi, A., Corridore, D., Maruotti, A., Ottolenghi, L., Vozza, I., & Guerra F. (2020). Oral health in a cohort of individuals on a plant-based diet: a pilot study. *Clinical Therapeutics*, 171(2):e142-e148.

Milczarek, A., Osek, M., Kwiecień, M., & Pachnik, M. (2017). Influence of raw or extruded soybean seeds in broiler chicken mixtures on rearing parameters, slaughter value and liver histological image. *Medycyna Weterynaryjna*, 73(12), 764–769. doi:10.21521/mw.5823

Mościcki, L., Mitrus, M., & Wójtowicz, A. (2007). Technika ekstruzji w przemyśle rolno-spożywczym. *Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne*. ISBN: 978-83-09-01027-2

Msika, P., Piccirilli, A., & Paul, F. (2006). U.S. Patent No. 7,029,713. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

Nega, T., & Woldes, Y. (2018). Review on Nutritional Limitations and Opportunities of using Rapeseed Meal and other Rape Seed By-Products in Animal Feeding. *Journal of Nutritional Health & Food Engineering*, 8(1), 43-48. doi:10.15406/jnhfe.2018.08.00254

Niwińska, B., Szymczyk, B., & Szczurek, W. (2019). Perspektywy krajowej produkcji pasz dla zwierząt gospodarskich oraz żywności pochodzenia zwierzęcego bez GMO. *Wiadomości Zootechniczne R*, 57(4), 107–120.

Owen, D., Williams, A. P., Griffith, G. W., & Withers, P. J. A. (2015). Use of commercial bio-inoculants to increase agricultural production through improved phosphorous acquisition. *Applied Soil Ecology*, 86, 41–54. doi:10.1016/j.apsoil.2014.09.012

Patyra, E., Kowalczyk, E., & Kwiatek, K. (2016). Antyżywniowe i prozdrowotne właściwości glukozynolanów. *Życie Weterynaryjne*, 91(7).

PN-ISO 1442:2000. Mięso i przetwory mięsne. Oznaczanie zawartości wody.

PN-ISO 1444:2000. Mięso i przetwory mięsne. Oznaczanie zawartości tłuszczu

PN-75-A-04018. Produkty rolno-spożywcze. Oznaczanie zawartości azotu metodą Kjeldahla i przeliczanie na białko.

PN-A 820060:1999. Mięso i przetwory mięsne. Oznaczanie zawartości fosforu.

Ptak A. (2017). Wpływ dodatku fitazy w żywieniu kurcząt rzeźnych na wskaźniki produkcyjne, dobrostan i przemiany metaboliczne. Praca doktorska, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, s. 110.

Pustjens, A. M., de Vries, S., Schols, H. A., Gruppen, H., Gerrits, W. J. J., & Kabel, M. A. (2014). Understanding carbohydrate structures fermented or resistant to fermentation in broilers fed rapeseed (*Brassica napus*) meal to evaluate the effect of acid treatment and enzyme addition. *Poultry Science*, 93(4), 926–934. doi:10.3382/ps.2013-03519

Rada, V., Lichovnikova, M., & Safarik, I. (2016). The effect of soybean meal replacement with raw full-fat soybean in diets for broiler chickens. *Journal of Applied Animal Research*, 45(1), 112–117. doi:10.1080/09712119.2015.1124337

Radcliffe, J. S., Brito, L. F., Reddivari, L., Schmidt, M., Herman, E. M., & Schinckel, A. P. (2019). A swine model of soy protein-induced food allergenicity: Implications in human and swine nutrition. *Animal Frontiers*, 9(3), 52–59. doi:10.1093/af/vfz025

Rashmi, I., Karthika, K. S., Roy, T., Shinoji, K. C., Kumawat, A., Kala, S., & Pal, R. (2022). Soil Erosion and sediments: A source of contamination and impact on agriculture productivity. *Agrochemicals in Soil and Environment*, 313–345. doi:10.1007/978-981-16-9310-6_14

Romano, N., & Kumar, V. (2018). Phytase in animal feed. In *Enzymes in human and Animal Nutrition: Principles and Perspectives* (pp. 73–88). London, United Kingdom: Academic Press, an imprint of Elsevier.

Rosenfelder-Kuon, P., Siegert, W., & Rodehutschord, M. (2019). Effect of microbial phytase supplementation on P digestibility in pigs: A meta-analysis. *Archives of Animal Nutrition*, 74(1), 1–18. doi:10.1080/1745039x.2019.1687249

Rosiak, E. (2014). Krajowy Rynek Rzepaku Na Tle Rynku światowego. *Zeszyty Naukowe SGGW w Warszawie - Problemy Rolnictwa Światowego*, 14(1), 86–96. doi:10.22630/prs.2014.14.1.9

- Różewicz, M. (2019). Uprawa, wartość paszowa i efektywność stosowania nasion roślin bobowatych w mieszankach dla drobiu. *Wiadomości Zootechniczne*, 57(2).
- Rutkowski A., Zaworska-Zakrzewska A. (2020). Praca zbiorowa red. Zalecenia dotyczące stosowania krajowych pasz białkowych pochodzenia roślinnego w żywieniu świń i drobiu. Wyd. APRA sp. z o.o. Bydgoszcz; ISBN 978-83-954732-3-4. s. 323
- Santoyo, G., Orozco-Mosqueda, Ma. del, & Govindappa, M. (2012). Mechanisms of biocontrol and plant growth-promoting activity in soil bacterial species of *bacillus* and *pseudomonas*: A review. *Biocontrol Science and Technology*, 22(8), 855–872. doi:10.1080/09583157.2012.694413
- Sedláková, K., Straková, E., Suchý, P., Krejcarová, J., & Herzig, I. (2016). Lupin as a perspective protein plant for animal and human nutrition – A Review. *Acta Veterinaria Brno*, 85(2), 165–175. doi:10.2754/avb201685020165
- Selle, P. H., Creswell, D. C., Cadogan, D. J., Partridge, G. G., & Scott, T. (2006). Phytase supplementation of wheat-based broiler diets reduces dependence on meat-and-bone meal. *Journal of Poultry Science*, 43(4), 330-338.
- Son, J.H., & Ravindran, V. (2011). Feed enzyme technology: Present status and future developments. *Recent Patents on Food, Nutrition & Agriculture*, 3(2), 102–109. doi:10.2174/2212798411103020102
- Shi, C., He, J., Wang, J., Yu, J., Yu, B., Mao, X., & Chen, D. (2015). Effects of *Aspergillus niger* fermented rapeseed meal on nutrient digestibility, growth performance and serum parameters in growing pigs. *Animal Science Journal*, 87(4), 557–563. doi:10.1111/asj.12457
- Sieradzki, Z., Mazur, M., Król, B., & Kwiatek, K. (2018). Stosowanie pasz genetycznie zmodyfikowanych w odniesieniu do trzech modeli produkcji-ekologicznej, tradycyjnej i wolnej od GMO. *Pasze Przemysłowe*, 27(3).
- Skowron, P., Wach, D., & Jadczyzyn, T. (2019). Analiza zmienności składu chemicznego nawozów naturalnych w rejonie środkowo-wschodniej Polski. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 59, 41–57. doi:10.26114/sir.iung.2019.59.04
- Smulikowska, S. (2002). Brązowe zabarwienie skorupy jaj ogranicza stosowanie pasz rzepakowych w żywieniu niosek. *Polskie Drobiarstwo*, 12, 18–19.

- Smulikowska, S., & Rutkowski, A. (2005). Normy żywienia drobiu. *IFiŻŻ PAN*, 5–6.
- Sońta, M., Rekiel, A., Więcek, J., & Batorska, M. (2020). Efektywność ekonomiczna produkcji tuczników żywionych mieszankami z udziałem krajowych źródeł białka jako zamienników poekstrakcyjnej śrutu sojowej GMO. *Roczniki Naukowe Zootechniki*, 47(1), 123–135.
- Stanek, M., Sobotka, W., Bieniaszewski, T., & Bogusz, J. (2006). Nutritive Value of New Varieties of Yellow Lupinus (*Lupinus luteus*) and narrow Leaved Lupine (*Lupinus angustifolius*). *Annals of Animal Science*, 2(1), 207-213.
- Straková, E., Suchý, P., Večerek, V., Šerman, V., Mas, N., & Jůzl, M. (2006). Nutritional composition of seeds of the genus Lupinus. *Acta Veterinaria Brno*, 75(4), 489–493. doi:10.2754/avb200675040489
- Suchý, P., Straková, E., Večerek, V., Šerman, V., & Mas, N. (2006). Testing of two varieties of Lupin seeds as substitutes for soya extracted meal in vegetable diets designed for young broilers. *Acta Veterinaria Brno*, 75(4), 495–500. doi:10.2754/avb200675040495
- Szydłowska-Czerniak, A. (2011). Rapeseed and its products—sources of bioactive compounds: A review of their characteristics and analysis. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 53(4), 307–330. doi:10.1080/10408398.2010.529959
- Szymańska, E. J., & Dziwulski, M. (2022). Development of African swine fever in Poland. *Agriculture*, 12(1), 119. doi:10.3390/agriculture12010119
- Szczuko, M., Kaczkan, M., Małgorzewicz, S., Rutkowski, P., Dębska-Ślizień, A., & Stachowska, E. (2020). The C18:3N6/C22:4N6 ratio is a good lipid marker of chronic kidney disease (CKD) progression. *Lipids in Health and Disease*, 19(1),77. doi:10.1186/s12944-020-01258-y
- Tahir, M., Shim, M. Y., Ward, N. E., Smith, C., Foster, E., Guney, A. C., & Pesti, G. M. (2012). Phytate and other nutrient components of feed ingredients for poultry. *Poultry Science*, 91(4), 928–935. doi:10.3382/ps.2011-01893
- Tanwar, B., Modgil, R., & Goyal, A. (2018). Antinutritional factors and hypocholesterolemic effect of wild apricot kernel (*Prunus armeniaca* L.) as affected by detoxification. *Food & Function*, 9(4), 2121–2135. doi:10.1039/c8fo00044a

- Thomas, H. R., & Kornegay, E. T. (1981). Phosphorus in swine. influence of dietary calcium and phosphorus levels and growth rate on feedlot performance of barrows, gilts and boars. *Journal of Animal Science*, *52*(5), 1041–1048. doi:10.2527/jas1981.5251041x
- Torres-Pitarch, A., Manzanilla, E. G., Gardiner, G. E., O'Doherty, J. V., & Lawlor, P. G. (2019). Systematic Review and meta-analysis of the effect of feed enzymes on growth and nutrient digestibility in grow-finisher pigs: Effect of enzyme type and cereal source. *Animal Feed Science and Technology*, *251*, 153–165. doi:10.1016/j.anifeedsci.2018.12.007
- Tsai, T. C., Dove, R., Bedford, M. R., & Azain, M. J. (2020). Effect of phytase on phosphorous balance in 20-kg barrows fed low or adequate phosphorous diets. *Animal Nutrition*, *6*(1), 9–15. doi:10.1016/j.aninu.2019.11.002
- Tsatsakis, A. M., Nawaz, M. A., Tutelyan, V. A., Golokhvast, K. S., Kalantzi, O.-I., Chung, D. H., & Chung, G. (2017). Impact on environment, ecosystem, diversity and health from culturing and using gmos as feed and food. *Food and Chemical Toxicology*, *107*, 108–121. doi:10.1016/j.fct.2017.06.033
- Vazquez-Gomez, M., Garcia-Contreras, C., Torres-Rovira, L., Pesantez, J. L., Gonzalez-Añover, P., Gomez-Fidalgo, E., ... Gonzalez-Bulnes, A. (2017). Polyphenols and IUGR pregnancies: Maternal hydroxytyrosol supplementation improves prenatal and early-postnatal growth and metabolism of The offspring. *PLOS ONE*, *12*(5). doi:10.1371/journal.pone.0177593
- Vötterl, J. C., Klinsoda, J., Koger, S., Hennig-Pauka, I., Verhovsek, D., & Metzler-Zebeli, B. U. (2023). Available phosphorus levels modulate gene expression related to intestinal calcium and phosphorus absorption and bone parameters differently in gilts and barrows. *Animal Bioscience*, *36*(5), 740–752. doi:10.5713/ab.22.0251
- Vuorela, S., Meyer, A. S., & Heinonen, M. (2004). Impact of isolation method on the antioxidant activity of rapeseed meal phenolics. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *52*(26), 8202–8207. doi:10.1021/jf0487046
- Walczak, M., & Kwiatek, K. (2006). Wybrane aspekty uprawy i wykorzystania rzepaku w Polsce. *Pasze Przemysłowe*, *15*(05–06), 7–9.
- Waraczewska, Z., Niewiadomska, A., & Kosicka-Dziechciarek, D. (2017). Zastosowanie drobnoustrojów o działaniu synergistycznym w procesie biologicznego wiązania azotu.

Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie, 17(2), 157–168.

Wiśniewska, Z., Nollet, L., Lanckriet, A., Vanderbeke, E., Petkov, S., Outchkourov, N., ... Kaczmarek, S. A. (2020). Effect of phytase derived from the E. coli APPA gene on weaned piglet performance, apparent total tract digestibility and Bone Mineralization. *Animals*, 10(1), 121. doi:10.3390/ani10010121

Woźniak, E., & Twardowski, T. (2018). GMO–czy w Polsce możliwa jest hodowla zwierząt gospodarskich bez pasz GM. *Nauka*, 3, 155–173.

Wójtowicz, A. (2018). Ekstruzja – Wybrane Aspekty Techniczne I Technologiczne. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 595, 131–144. doi:10.22630/zppnr.2018.595.42

Xia, J. Q., Liu, D. Y., Liu, J., Jiang, X. P., Wang, L., Yang, S., & Liu, D. (2022). Sex effects on carcass characteristics, meat quality traits and meat amino acid and fatty acid compositions in a novel Duroc Line pig. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 107(1), 129–135. doi:10.1111/jpn.13680

Wu, S.E., Hashimoto-Hill, S., Woo, V., Eshleman, E.M., Whitt, J., Engleman, L., Karns, R., Denson, L.A., Haslam, D.B., & Alenghat, T. (2020). Microbiota-derived metabolite promotes HDAC3 activity in the gut. *Nature*, 586(7827):108-112. doi: 10.1038/s41586-020-2604-2.

Zaborowska, Z. (2016). Wpływ procesu obłuszczenia nasion rzepaku na jakość i wartość odżywczą olejów rzepakowych tłoczonych na zimno. *Postępy Nauki i Technologii Przemysłu Rolno-Spożywczego*, 71(2), 46–57.

Zaworska, A., Frankiewicz, A., & Kasproicz-Potocka, M. (2017). The influence of narrow-leaved lupin seed fermentation on their chemical composition and Ileal digestibility and microbiota in growing pigs. *Archives of Animal Nutrition*, 71(4), 285–296. doi:10.1080/1745039x.2017.1329130

Zaworska A., Kasproicz-Potocka M., Rutkowski A., Jamroz D. (2018). The influence of dietary raw and extruded field peas (*Pisum sativum* L.) on nutrients digestibility and performance of weaned and fattening pigs. *Journal of Animal and Feed Sciences*, 27, 123–130

Zaworska-Zakrzewska A., Kasproicz-Potocka M., Nowak P., Wiśniewska Z., Rutkowski A. (2019). The nutritional value of yellow lupine (*Lupinus luteus*) for growing pigs. *Journal of Agricultural Science and Technology A*, 9, 351-363; doi: 10.17265/2161-6256/2019.06.004

Zaworska-Zakrzewska, A., Kasproicz-Potocka, M., Mikuła, R., Taciak, M., Pruszyńska-Oszmałek, E., & Frankiewicz, A. (2020a). Growth performance, gut environment and physiology of the gastrointestinal tract in weaned piglets fed a diet supplemented with raw and fermented narrow-leaved lupine seeds. *Animals*, *10*(11), 2084. doi:10.3390/ani10112084

Zaworska-Zakrzewska, A., Kasproicz-Potocka, M., Wiśniewska, Z., Rutkowski, A., Hejdysz, M., Kaczmarek, S. & Banaszak, M. (2020b). The chemical composition of domestic soybean seeds and the effects of partial substitution of soybean meal by raw soybean seeds in the diet on pigs' growth performance and Pork Quality (*M. Longissimus Lumborum*). *Annals of Animal Science*, *20*(2), 521–533. doi:10.2478/aoas-2019-0078

Zeng, Z., Zhang, S., Wang, H., & Piao, X. (2015). Essential oil and aromatic plants as feed additives in non-ruminant nutrition: A Review. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, *6*(1). doi:10.1186/s40104-015-0004-5

Zhang, Z., Li, P., Liu, L., Zhang, S., Li, J., Zhang, L., & Li, D. (2020). Ether extract and acid detergent fibre but not glucosinolates are determinants of the digestible and metabolizable energy of rapeseed meal in growing pigs. *Journal of Applied Animal Research*, *48*(1), 384–389. doi:10.1080/09712119.2020.1806072

Zhou, Q., Tang, H., Jia, X., Zheng, C., Huang, F., & Zhang, M. (2018). Distribution of glucosinolate and pungent odors in rapeseed oils from raw and microwaved seeds. *International Journal of Food Properties*, *21*(1), 2296–2308. doi:10.1080/10942912.2018.1514632

Article

Microbial Phytase in a Diet with Lupine and Extruded Full-Fat Soya Seeds Affects the Performance, Carcass Characteristics, Meat Quality, and Bone Mineralization of Fatteners

Anna Buzek ¹, Anita Zaworska-Zakrzewska ^{1,*} , Małgorzata Muzolf-Panek ² 
and Małgorzata Kasprowicz-Potocka ¹ 

¹ Department of Animal Nutrition, Faculty of Veterinary Medicine and Animal Science, Poznan University of Life Sciences, Wołyńska 33, 60-637 Poznań, Poland; anna.buzek@up.poznan.pl (A.B.); malgorzata.potocka@up.poznan.pl (M.K.-P.)

² Department of Food Quality and Safety Management, Faculty of Food Science and Nutrition, Poznan University of Life Sciences, Wojska Polskiego 31, 60-637 Poznań, Poland; malgorzata.muzolf-panek@up.poznan.pl

* Correspondence: anita.zaworska-zakrzewska@up.poznan.pl

Simple Summary: Plants store phosphorus mainly in phytate form, which is slightly digestible by pigs due to the lack of native phytase. Some thermal processes, such as extrusion and exogenous phytase additives, can reduce phytate content in the diet, but the effectivity of the enzyme in diets including processed and unprocessed legume seeds needs to be better recognized. This study aims to investigate the effect of the addition of two phytase dosages to a diet containing raw lupine seeds and full-fat extruded soya seeds on the performance of growing pigs in terms of their carcasses, pork quality, and bone mineralization. Phytase significantly improved the pigs' growth and feed utilization in the starter period and affected some meat, fat, and bone parameters. Higher phytase dosages did not improve the pigs' performance, but only increased calcium deposition in their bones.



Citation: Buzek, A.; Zaworska-Zakrzewska, A.; Muzolf-Panek, M.; Kasprowicz-Potocka, M. Microbial Phytase in a Diet with Lupine and Extruded Full-Fat Soya Seeds Affects the Performance, Carcass Characteristics, Meat Quality, and Bone Mineralization of Fatteners. *Animals* **2023**, *13*, 1655. <https://doi.org/10.3390/ani13101655>

Academic Editor: Guillermo Ripoll

Received: 18 April 2023

Revised: 12 May 2023

Accepted: 15 May 2023

Published: 16 May 2023

Abstract: This study aims to determine how different doses of phytase in diets including extruded soya and lupine seeds affect fatteners' performance, meat quality, bone mineralization, and fatty acid profile. Sixty pigs were divided into three treatment groups. The control group was offered a diet without phytase, whereas the Phy100 and Phy400 groups were provided with 100 g and 400 g of phytase per ton of their diet, respectively. The animals from both experimental groups were characterized by a significantly ($p < 0.05$) higher body weight gain and lower feed efficiency in the starter period than the control group. Unfortunately, their meat had lower ($p < 0.05$) fat content, gluteal muscle thickness, and water-holding capacity. In the meat, a higher phosphorus content ($p < 0.05$) was found, and in the bones, a higher calcium (for Phy400) content was found when phytase was added to the pigs' diet. The pigs from the Phy100 group tended to have higher mean backfat thickness and C18:2 n-6 content in their fat, but lower C22:5 n-3 content, than the other groups. A higher dosage of phytase is not necessary for the diets of fatteners with extruded full-fat soya and lupin seeds.

Keywords: pigs; phytase; performance; fatty acid profile; meat quality; bone mineralization



Copyright: © 2023 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Introduction

Feed is the costliest element of livestock production. Modern farm animal nutrition standards are based on protein-rich components, mainly soybean meal (80% GMO) [1,2]. In May 2020, as part of the Green Deal, the European Commission proposed a “Farm to Fork Strategy” for a “fair, healthy, and environmentally friendly food system”. This strategy aims to achieve a range of goals: cutting the overall use of and risk posed by chemical pesticides by 50%, farming 25% of the EU's agricultural land organically, reducing

nutrient losses (especially nitrogen and phosphorus) by at least half, lowering the use of fertilizers, and halving food waste. The Commission intends to reduce the EU's dependency on imported feed, such as GMO soybean meal (SBM). It aims to achieve this by promoting plant protein grown in Europe. For the aforementioned reasons, there is a need to focus on other local protein sources which could be safely implemented in pigs' diets. This would also be in line with the "From Farm to Fork" strategy. This concept implies a series of values for agricultural products: food safety, quality, taste, nutritional and health aspects, diversity, animal welfare, and respect for the environment.

In recent years, increased interest in soybean cultivation has been observed in Europe [3–5]. The main product of soya is oil, but expensive equipment is needed to remove the fat from the seeds. On the other hand, full-fat seeds have a high oil content (>20%), which may be beneficial as an energy source in the diets of animals, especially when the prices of energy sources are extremely high. Legumes such as European non-GMO soya and sweet lupine seeds may be essential alternatives to imported SBM [4]. Yellow lupine has the highest protein content among all of the legumes, with an average value of 42% in dry matter (DM), of which more than 85% is digestible [6]. Full-fat soya seeds contain about 25–30% protein and about 20–25% fat in the DM of the seeds [5]. The nutritional value of raw lupin and soya seeds is lower, however, than SBM because of the presence of several anti-nutrient compounds, such as protein inhibitors, lectins, urease, and phytate. The use of legumes in animals' diets could be improved by thermal processing (i.e., extrusion), which can reduce the amount of thermolabile anti-nutrients. In addition, some enzymes, such as proteases, phytases, and carboxylases, can reduce anti-nutrients and/or improve seed utilization. It is commonly known that the content of phytate is quite high in raw soya seeds (0.3–0.4% DM), lupine seeds (0.40% to 0.9% DM), and all of the grains (0.5–2% DM) [7]. The addition of phytase increases the energy value of the feed, and it can significantly improve its digestibility, including the dry matter, amino acids, total protein, and minerals (e.g., phosphorus (P)) [8–11]. Moreover, phytase additives can reduce the cost of feeding by reducing phosphates from non-renewable sources in the diet as well as the number of nutrients released into the environment [12]. The use of microbial phytase in feed mixtures with legume seeds has been evaluated in only a few nutritional tests so far, but the current research focuses on examining the effectiveness of the use of phytase in fatteners under typical commercial production conditions [9]. Some studies have shown that phytase in higher doses results in more advantageous growth performances in pigs than when using standard phytase doses (usually levels well over 500 FTU/kg and up to 2500 FTU/kg) [13–16]. On the other hand, feed mixtures with higher enzyme doses can be more expensive. Based on the literature, it is also clear that the use of high-dose phytase additives in feed mixtures for fatteners with processed sources of vegetable protein has been insufficiently assessed, but it could have beneficial effects on some parameters of carcass quality [13,17–19]. This is why this study aimed to determine the effect of adding phytase to diets containing lupine seeds and extruded full-fat soybeans seeds on the growing pigs' performance, slaughter efficiency, and post-slaughter parameters.

2. Materials and Methods

2.1. Plant Material

Low alkaloid yellow lupine seeds (*Lupinus luteus* var. Mister) obtained from the Plant Breeding Station in Tulce (Wielkopolska, Poland) were used in the experiment. The soya seeds, cv. Augusta, were obtained from Plant Breeding Stations (HR UP Poznań, Poland).

The seeds were crushed, ground, and heated. The extrusion process was conducted for 10 s at a temperature of 130 °C and a pressure of >20 MPa using a Farmet FE 250 extruder (Ceská Skalice; Czech Republic).

2.2. Phytase

The experiment used Phytase Quantum Blue 5G[®] (AB Vista Feed) produced by *E. coli*. According to the producer's recommendations, the conditioning of the feed mixture or

granulation should not exceed a temperature of 90 °C and should last no longer than 30 s. The minimum phytase activity is 500 FTU/g, and the recommended dose is 100 g of the phytase per ton of the mixture.

2.3. Ethical Statement

The experimental procedure complied with the guidelines of the Local Ethical Committee for Experiments on Animals in Poznań regarding animal experimentation and care of the animals under study (European Union (EU) directive 2010/63/EU for animal experiments) [20]. Individual approval for this trial was not required because of the production standards used in this study. The pigs were vaccinated and had unlimited access to feed and water. All of the samples were collected after slaughter.

2.4. Animals, Diets, and Experimental Design

Sixty weaners (Polish Large White × (Duroc × Pietrain)) of about 27.6 ± 4.2 kg were divided into 2 groups of 20 animals and kept within the assigned group in 1 pen (10 ♂, 10 ♀). Each pig was marked with an earring with a unique number. The experiment lasted 93 days and was divided into three phases: period 1–24 days, period 2–35 days, and period 3–34 days. Yellow lupine (YL) seeds and full-fat extruded soya seeds (ExS) were the primary protein sources in the feed mixtures given to all groups of animals. The control group (Phy0) was offered a diet without phytase. In group Phy100 and group Phy 400, 100 g and 400 g of phytase per ton of the mixture were added, respectively. The phytate content and native phytase activity in the pigs' diets were not measured. The complete diets were formulated according to the GfE [21] recommendations, as shown in Table 1.

Table 1. The composition and content of nutrients in the experimental diets (g/kg of feed).

Components/Group	Period 1			Period 2			Period 3		
	Phy0	Phy100	Phy400	Phy0	Phy100	Phy400	Phy0	Phy100	Phy400
Wheat	250.0	250.0	250.0	-	-	-	-	-	-
Maize	180.6	180.5	180.2	413.3	413.2	412.9	383.3	383.2	382.9
Wheat bran	150.0	150.0	150.0	180.0	180.0	180.0	200.0	200.0	200.0
ExS	100.0	100.0	100.0	75.0	75.0	75.0	50.0	50.0	50.0
Rye	100.0	100.0	100.0	200.0	200.0	200.0	250.0	250.0	250.0
Barley	100.0	100.0	100.0	-	-	-	-	-	-
YL	80.0	80.0	80.0	100.0	100.0	100.0	90.0	90.0	90.0
Limestone	14.5	14.5	14.5	14.0	14.0	14.0	13.0	13.0	13.0
HCL-Lysine 78.5%	5.6	5.6	5.6	4.4	4.4	4.4	4.2	4.2	4.2
Sodium chloride	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
Liquid acidifier **	3.5	3.5	3.5	-	-	-	-	-	-
1-calcium phosphate	3.0	3.0	3.0	2.5	2.5	2.5	-	-	-
DL-methionine 99%	2.8	2.8	2.8	1.0	1.0	1.0	0.7	0.7	0.7
Premix *	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.5	1.5	1.5
Magnesium oxide	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
L-threonine 98.5%	1.1	1.1	1.1	1.3	1.3	1.3	0.8	0.8	0.8
L-tryptophan 98%	0.5	0.5	0.5	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Choline chloride	0.4	0.4	0.4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Quantum Blue 5G	-	0.1	0.4	-	0.1	0.4	-	0.1	0.4
	Nutritional value (g/kg)								
Crude protein	170.7	171.2	168.7	158.9	157.4	158.7	150.4	149.8	150.2
Crude fiber	52.9	52.6	52.1	54.3	54	53.8	54.1	53.8	53.3
Crude fat	43.7	42.9	44.1	45.1	45.9	44.8	40.3	41.2	40.9
P	5.60	5.70	6.70	5.70	5.60	5.60	4.90	5.00	5.00
Ca	7.90	7.80	7.90	7.40	7.30	7.30	6.40	6.30	6.40
Phytase FTU/kg	0	500	2000	0	500	2000	0	500	2000

DM—dry matter; Phy0—control group; Phy100—control group + phytase 100 g/t; Phy400—control group + phytase 400 g/t; YL—yellow lupine, ExS—extruded soya seeds. Premix *—the mineral and vitamin premix contained the following amounts of components per 1 kg: vitamin A—10,833 mg/kg, vitamin D3—25 mg/kg, vitamin E—50,000 mg/kg, vitamin K3—2000 mg/kg, vitamin B1—1000 mg/kg, vitamin B2—2000 mg/kg, vitamin B6—1500 mg/kg, vitamin B12—15 mg/kg, pantothenic acid—1500 mg, nicotinic acid—1000 mg/kg, biotin—50 mg/kg, folic acid—750 mg/kg, Fe—50,000 mg/kg, Mn—37,000 mg/kg, Zn—50,000 mg/kg, Cu—10,000 mg/kg, I—750 mg/kg, and Se—200 mg/kg. Liquid acidifier **—formic acid—500 g/kg, propionic acid—230 g/kg, ammonium formate—200 g/kg, ammonium propionate—40 g/kg, demineralized water—28 g/kg, glycerol—1 g/kg, and glycol—1 g/kg.

The health and welfare of the animals were monitored twice a day. After the completion of each fattening phase, the body weight gain (BWG) was individually controlled for each pig. The feed intake was measured for each pen (FI) in each phase and the intake was calculated per group. Based on the results in the FI group, the individual BWG feed conversion ratio (FCR) was calculated. All animals were fed until they reached a final body weight of approximately 120 kg. At the end of the experiment, all of the pigs were transported to a local professional abattoir, stunned by electric shock, and killed by exsanguination. The materials for the analysis were investigated in a total of 12 pigs from each group (average 6 ♂ and 6 ♀).

2.5. Analytical Procedures

2.5.1. Feed Analyses

Representative feed samples were taken from the silo and the trough and analyzed in duplicate. The feed material was ground (Retsch Zm 200 ultra-centrifugal mill, Retsch, Haan, Germany) with 1.0 mm sieves and analyzed for crude protein, crude fat, crude fiber, crude ash, and total calcium (Ca) and P according to the AOAC methods 976.05, 920.39, 978.10, 984.27, and 965.17 [22].

2.5.2. Carcasses and Meat Analyses

For the analysis, *m. longissimus thoracis et lumborum* was taken from behind the last thoracic vertebra (T13). From each muscle, in the same place, a 500 g representative sample was taken, frozen, and homogenized. The carcasses were measured and weighed, and the post-mortem yield (%) was calculated. The meatiness (%) and loin depth (mm) were measured using an IM-03 ultrasound apparatus. Moreover, the linear thickness of the back fat at three points, the thickness of the back fat above the shoulder blade and at the last rib (mm), the thickness of the buttock muscles and the loin, and the length (cm) and width of the carcasses (cm) were measured. The slaughter value of the fattened pigs and the meat quality (nutrient content, color, tenderness, drip loss, cooking loss, and water-holding capacity) were analyzed according to the method described by Lisiak et al. [23].

2.5.3. Meat Fatty Acid Profile

A 3 g sample of the homogenized meat was extracted with 30 mL of Folch solution I (chloroform: methanol = 2:1. *v/v*). Then, the homogenate was filtered with a Whatman No.1 paper filter. The extracts were evaporated to dryness in a nitrogen stream and methylated with a mixture of anhydrous methanol and sulfuric acid (1:5. *v/v*). In the next step, 0.5 mL of methanol was added to the extract containing the lipids and a mixture of 0.15 mL methanol/sulfuric acid (1:5. *v/v*) was added. The samples were heated at 70 °C for 15 min and cooled. Next 0.5 mL of n-hexane was added, followed by the addition of a sufficient amount of water to form two layers. The upper hexane layer was removed and analyzed on a gas chromatograph (Agilent 5890 II-5301 Stevens Creek Blvd. Santa Clara, CA 95051, USA) equipped with a flame ionization detector and fitted with a Supelcowax 10 column (30 m × 0.25 mm I.D., 0.25 mm film thickness). Peaks were identified by comparing the sample peak retention times with those of known methylated fatty acid compounds.

2.5.4. Bone Analysis

From the 12 pigs, in each group, the third metacarpals from the right foot were collected, boiled to remove tissues and cartilage caps, ground, and extracted to remove the fat. Following this, the samples were burned in a muffle furnace (P330, Nabertherm GmbH, Lilienthal, Germany) at 600 °C for 5 h [24]. The P and Ca content were determined according to procedures 984.27 and 965.17 of AOAC [22].

2.6. Statistical Analysis

The statistical analysis was performed using SAS 9.3 software (AS Institute, Cary, NC, USA). Normal distribution was tested using the Shapiro–Wilk test and variance

homogeneity was tested using the Cochran–Hartley–Bartlett test. The significance levels of differences among the groups in the experiment on the pigs were calculated using one-way ANOVA with Duncan’s test in post hoc analysis (indication of homogenous groups). The obtained results were analyzed statistically by calculating the arithmetic mean and adding the SD (standard deviation). All analyses were calculated at a confidence level of $\alpha = 0.05$. The correlation between the feed intake (FI) and the addition of phytase was tested using Spearman’s rank correlation coefficient (p. R).

3. Results

All pigs remained healthy and readily consumed their feed throughout the study. No lameness, hernias, or other symptoms affecting their well-being were noticed.

3.1. Performance Parameters

The results for the performance parameters are shown in Table 2. The animals from both experimental groups offered a diet with phytase additives were characterized by significantly higher body weight gain and lower FCR in the starter period compared to the control group ($p < 0.05$). The enzyme additive did not impact the growing pigs’ performance in the other phases or in the experiment as a whole. A statistically significant correlation was observed between the FCR and the FI. The R Spearman’s correlation coefficient equaled 0.565 ($p < 0.001$) when it was calculated for all obtained data (all groups, namely Phy, Phy100, and Phy400).

Table 2. The pigs’ performance parameters.

Phase/Variable	Phy0	Phy100	Phy400	SD	p-Value
Period 1					
IBW (kg)	27.66	27.72	27.55	4.21	0.992
FBW (kg)	46.67	49.81	48.92	5.91	0.227
BWG (kg)	19.01^b	22.09^a	21.37^a	2.90	0.001
FI (kg)	48.35	48.33	47.66	-	-
FCR (kg/kg)	2.58^a	2.22^b	2.27^b	0.09	0.004
Period 2					
FBW (kg)	83.20	86.80	85.00	8.20	0.375
BWG (kg)	36.52	37.04	36.09	0.94	0.756
FI (kg)	98.50	98.65	98.84	-	-
FCR (kg/kg)	2.73	2.69	2.80	0.18	0.546
Period 3					
FBW (kg)	119.11	123.24	120.68	8.82	0.355
BWG (kg)	35.92	36.4	35.67	3.16	0.765
FI (kg)	122.00	121.25	121.75	-	-
FCR (kg/kg)	3.44	3.35	3.43	0.04	0.636
Periods 1–3					
BWG (kg)	91.46	95.52	93.13	7.26	0.208
FI (kg)	268.85	268.23	269.26	-	-
FCR (kg/kg)	2.96	2.82	2.93	0.19	0.145

Phy0—control group; Phy100—control group + phytase 100 g/t; Phy400—control group + phytase 400 g/t; IBW—initial body weight; FBW—final body weight; BWG—body weight gain; FI—feed intake; FCR—feed conversion ratio; SD—standard deviation; SEM—standard error of the mean; ^{a,b}—means with different superscripts in a row are different ($p \leq 0.05$).

3.2. Carcass and Meat Quality

The chemical composition of the meat and some parameters of meat quality are presented in Table 3. The meat derived from the pigs fed mixtures including microbial phytase was characterized by significantly lower fat content and water-holding capacity, but higher phosphorus content, than the control group ($p < 0.05$). A tendency toward a

higher protein content in the meat in both experimental groups was found ($p = 0.097$). The meat in all of the groups was characterized by similar and proper acidification, color, tenderness, cooking loss, and natural drip loss. There were no significant differences between the experimental groups.

Table 3. The chemical composition of the *m. longissimus lumborum* and some parameters of meat quality.

Variable	Phy0	Phy100	Phy400	SD	<i>p</i> -Value
Fat (g/kg)	32.3 ^a	25.9 ^b	25.8 ^b	0.061	0.017
Protein (g/kg)	236.7	242.8	241.2	0.072	0.097
Water (g/kg)	720.0	719.4	721.3	0.075	0.969
Phosphorus (g/kg)	10.7^b	11.9^a	11.8^a	0.080	<0.001
pH 24 min.	5.48	5.50	5.54	0.087	0.197
L*—lightness	49.93	50.13	49.51	1.925	0.681
a*—redness	5.81	5.58	5.29	0.813	0.341
b*—yellowness	3.20	2.88	2.66	0.774	0.334
Cooking loss (%)	28.68	28.12	28.04	4.860	0.954
Tenderness (%)	21.72	20.88	22.78	5.560	0.637
Drip loss (%)	6.54	6.70	5.84	1.685	0.339
Water-holding capacity (%)	32.18 ^a	28.50 ^b	29.09 ^b	3.330	0.011

Phy0—control group; Phy100—control group + phytase 100 g/t; Phy400—control group + phytase 400 g/t; P—phosphorus; SD—standard deviation; SEM—standard error of the mean; ^{a,b}—means with different superscripts in a row are different ($p \leq 0.05$).

The results for the carcass characteristics were not significantly different for most parameters except for the gluteal muscle thickness, which was significantly lower ($p = 0.003$) in both of the groups receiving phytase in their diet (Table 4).

Table 4. The carcass characteristics of the growing pigs.

Variable	Phy0	Phy100	Phy400	SD	<i>p</i> -Value
Carcass weight (kg)	92.95	96.55	94.81	7.90	0.436
Meatiness (%)	56.41	55.46	56.56	3.089	0.483
Cold dressing yield (%)	77.95	78.38	78.68	3.46	0.316
Carcass length (cm)	86.54	86.00	86.31	1.958	0.794
Carcass width (cm)	36.85	38.08	37.15	2.109	0.501
Back (cm)	25.77	23.92	25.15	6.197	0.804
Shoulder (cm)	44.85	41.00	40.46	6.642	0.169
Mean loin depth (mm)	69.14	70.35	71.86	5.592	0.112
Mean backfat thickness (mm)	19.14	20.86	19.40	4.636	0.328
pH	6.68	6.52	6.50	0.239	0.235
Backfat thickness K III (mm)	21.69	19.17	19.38	5.417	0.552
Backfat thickness K II (mm)	16.69	16.33	16.77	3.276	0.374
Backfat thickness K I (mm)	28.00	26.25	25.85	4.337	0.371
GMT (mm)	76.77^a	72.67^b	71.77^b	5.683	0.003
EC (mS/cm)	3.73	4.24	3.88	1.904	0.688

Phy0—control group; Phy100—control group + phytase 100 g/t; Phy400—control group + phytase 400 g/t; GMT—gluteal muscle thickness; EC—electrical conductivity of muscles; SD—standard deviation; SEM—standard error of the mean; ^{a,b}—means with different superscripts in a row are different ($p \leq 0.05$).

3.3. Fatty Acid Profile

None of the groups differed significantly in the level of fatty acids ($p > 0.05$). There was only a tendency toward an increase in C22:5 n-3 content ($p = 0.076$) in the Phy400 group and an increase in C18:2 n-6 ($p = 0.098$) content in the meat of the Phy100 group (Table 5).

Table 5. Profile (% of total FA) of fat from the meat.

Variable	Phy0	Phy100	Phy400	SD	<i>p</i> -Value
Fatty acids					
C14:0	1.13	1.15	1.18	0.103	0.531
C16:0	22.53	22.12	22.89	1.384	0.429
C17:0	0.22	0.23	0.23	0.018	0.166
C18:0	13.07	13.06	13.16	0.599	0.927
C20:0	0.21	0.21	0.21	0.008	0.499
C16:1	2.56	2.52	2.58	0.140	0.587
C17:1	0.25	0.25	0.25	0.014	0.953
C18:1	41.88	41.14	41.43	0.893	0.129
C20:1	0.99	1.02	1.00	0.058	0.429
C18:3 n-3	1.48	1.51	1.39	0.337	0.712
C20:5 n-3	0.39	0.36	0.36	0.044	0.263
C22:5 n-3	0.42	0.40	0.44	0.041	0.076
C22:6 n-3	0.43	0.43	0.40	0.043	0.196
C18:2 n-6	12.60	13.76	12.61	1.523	0.098
C20:2 n-6	0.34	0.34	0.36	0.032	0.466
C20:3 n-6	0.26	0.26	0.26	0.029	0.953
C20:4 n-6	1.13	1.12	1.15	0.077	0.677
C22:4 n-6	0.12	0.12	0.12	0.014	0.652
SFA	37.16	36.78	37.66	1.477	0.372
MUFA	45.68	44.93	45.25	0.911	0.132
PUFA	17.16	18.30	17.08	1.592	0.112
Σ n-3	2.71	2.70	2.59	0.327	0.651
Σ n-6	14.45	15.60	14.49	1.534	0.114
Σ n-6/Σ n-3	5.40	5.86	5.66	0.920	0.481

Phy0—control group; Phy100—control group + phytase 100 g/t; Phy400—control group + phytase 400 g/t; SFA—saturated fatty acids; MUFA—monounsaturated fatty acids; PUFA—polyunsaturated fatty acids; FA—fatty acids; SD—standard deviation; SEM—standard error of the mean.

3.4. Bone Characteristic

The content of Ca, P, and ash in the pigs' metacarpal bones is shown in Table 6. The diet with a higher phytase level significantly increased the Ca content as compared to the control group ($p = 0.025$). A tendency toward higher P content in the bones of the pigs from both experimental groups was found ($p = 0.093$), as well as a tendency toward higher ash content in the Phy400 group.

Table 6. The mineral analysis of the metacarpal bones.

Variable	Phy0	Phy100	Phy400	SD	<i>p</i> -Value
P (g/kg)	169.6	171.4	171.4	0.022	0.093
Ca (g/kg)	333.5 ^b	338.9 ^{ab}	345.5 ^a	1.004	0.025
Crude ash (g/kg)	63.1	62.4	66.8	0.056	0.074

Phy0—control group; Phy100—control group + phytase 100 g/t; Phy400—control group + phytase 400 g/t; P—phosphorus; Ca—calcium; SD—standard deviation; SEM—standard error of the mean; ^{a,b}—means with different superscripts in a row are different ($p \leq 0.05$).

4. Discussion

The effect of microbial phytase depends on the dietary phytate concentration, the source of phytate and phytase, and the phytase dosage [8,25]. Raw soybeans contain about 0.4% phytic phosphorus, and some research has shown that its content is reduced to about 0.05–0.06% by extrusion [26]. As previously stated by Zaworska et al. [27] and Zaworska-Zakrzewska et al. [28], extrusion improved the nutritional quality of pea and faba bean seeds, especially through the decrease in the level of anti-nutritional components, including

phytate-P content. This is probably due to the fact that during extrusion, some molecules of inositol hexaphosphate may hydrolyze to penta-, tetra-, and triphosphates. In contrast, unprocessed cereal and lupine seeds are quite rich in phytate, containing from 0.5 to 2% phytate in their DM. If these components constitute more than 85% of the feed mixture for pigs, the addition of phytase may be justified. In the current experiment, the pigs' diets were based on extruded full-fat soya seeds and lupine seeds, and the animals that consumed diets with phytase had significantly higher body weight gain and lower FCR in the starter period. This means that phytase is especially effective in earlier periods, during which animals grow more quickly and have a greater need for nutrients. Moreover, a significant correlation was observed between the FCR and the FI. This is probably connected to improved nutrient digestibility after the decomposition of phytate structures as well as after being freed of sugars and proteins, which could be bonded to the phytate [9,29]. This has been proven in this study through the observation of higher mineral content in the pigs' metacarpal bones, especially for calcium in the Phy400 group, but also for ash and phosphorus (a tendency for) and higher P deposition in the meat. Correct phosphorus and calcium levels in the diet are necessary for bone mineralization. Interestingly, phytase addition in both groups did not significantly increase the phosphorus content in the bones, which was expected. Other authors have also found that this ability increases with the increase in the enzyme dose [8,16]. Tsai et al. [30] assumed that the P released by phytase is absorbed and contributes to improved bone growth, superior rates of tissue accretion, and increased body weight, but it does not change tissue P concentrations, which was found in the current study. Da Silva et al. [31] noted that phytase treatment did not influence the feed conversion ratio, carcass weight and yield, backfat thickness, loin depth, or lean carcass meat. Some studies have shown that higher phytase dosing results in better growth performance in pigs than standard phytase doses, but this was not proven in this study, which compares both experimental groups. Wiśniewska et al. [10] and Wu et al. [32] found a positive correlation between percentage improvements in feed efficiency in response to phytase and dietary phytate content, including diets based on legume feed components. Grela et al. [33] observed that dietary phytase treatment at 500–1000 FTU per kg significantly influenced daily gains and the FCR, but the FI was unaffected. It should be underlined that there were no significant differences in the production parameters during the entire experimental period. However, pigs from the group with the recommended phytase dose achieved a 4 kg higher total gain than the control group, which could benefit pig farmers. Moreover, in the current study, phytase addition was given "on top", similarly to the practice of most pig farms. This research could be improved by lowering the phosphate content in the pigs' diet, which could reduce feed costs slightly. Possibly, in the future, the use of a microbial phytase that hydrolyzes all phosphate bonds in the inositol ring should be considered.

The current study also found that the meat derived from the pigs fed mixtures with microbial phytase was characterized by a significantly lower fat content, gluteal muscle thickness, and water-holding capacity, but the mechanisms of these changes are not clear. Lower fat content in meat, from one side, is attractive for consumers who prefer a low-fat diet, but it could also negatively affect the sensory properties of the meat [18,31]. WHC is the ability of meat to hold all or part of its water, and it is one of the most important traits of meat quality. Weight loss due to drip loss results in higher economic costs for meat processors and retailers. Hollowey et al. [17] found that a higher phytase dose affected pigs' growth rate, feed intake, and carcass yield ($p > 0.10$), but Gebert et al. [18], who offered pigs 1200 FTU of phytase/kg of feed, found that the slaughter yield, the percentage of lean cuts, and the total fat tissue, as well as the back fat thickness, were not affected by phytase. The results are probably due to the different phytases used in these experiments. The addition of phytase did not significantly impact the pigs' fatty acids profiles, although the tendency toward an increase in linolenic acid (LA, C18:2 n-6) content in the meat of the animals from the Phy100 group and an increase in docosapentaenoic acid (DPA, C22:5 n-3) in the meat of the pigs from the Phy400 group suggested that phytase could be implicated in some changes in the pigs' fat structure, but this needs further verification. Considering

recent trends, sustainability can be improved with a shift from a dependence on optimally formulated feeds based on imported feed ingredients to the use of feed based on locally sourced legume seeds with additives in pig diets, which can provide opportunities to diversify the feed matrix thanks to homegrown feed ingredients.

5. Conclusions

Based on our research, we found that adding phytase in a basic dose may be beneficial in diets containing extruded full-fat soya and lupine seeds, as it enhances the performance of fattening pigs, especially in the starter phase, and positively affects mineral deposition in the pigs' bones and meat. Unfortunately, phytase negatively affects some carcass and meat parameters, as it reduces the fat content in the meat and its water-holding capacity. In this kind of diet, using a higher dose of phytase seems to be unnecessary.

Author Contributions: Conceptualization, A.Z.-Z. and M.K.-P.; methodology, A.B., A.Z.-Z., M.K.-P. and M.M.-P.; software, M.M.-P. and A.B.; validation, A.Z.-Z., M.K.-P. and M.M.-P.; formal analysis, A.B., A.Z.-Z. and M.M.-P.; investigation, A.B.; resources, A.B.; data curation, A.B.; writing—original draft preparation, A.B., A.Z.-Z., M.K.-P. and M.M.-P.; visualization, A.Z.-Z., A.B. and M.K.-P.; supervision, A.Z.-Z. and M.K.-P.; project administration, A.Z.-Z.; funding acquisition, A.Z.-Z. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This study was supported by the program “Improvement of Native Plant Protein Feeds, Their Production, Trade Turnover and Utilization in Animal Feed” of the Ministry of Agriculture and Rural Development of Poland 2016–2020 no 505.037.07 and a subsidy from the Ministry of Science and Higher Education of Poland no 507.533.44.

Institutional Review Board Statement: The exemption from ethics committee was granted.

Informed Consent Statement: Not applicable.

Data Availability Statement: Data are available from the corresponding authors upon reasonable request.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest. The funders had no role in the design of the study; in the collection, analysis, or interpretation of the data; in the writing of the manuscript; or in the decision to publish the results.

References

1. Davison, J. GM plants: Science, politics and EC regulations. *Plant Sci.* **2010**, *178*, 94–98. [[CrossRef](#)]
2. Sieradzki, Z.; Mazur, M.; Król, B.; Kwiatek, K. Prevalence of genetically modified soybean in animal feeding stuffs in Poland. *J. Vet. Res.* **2021**, *65*, 93–99. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
3. Florou-Paneri, P.; Christaki, E.; Giannenas, I.; Bonos, E.; Skoufos, I.; Tsinas, A.; Peng, J. Alternative protein sources to soybean meal in pig diets. *J. Food Agric. Environ.* **2014**, *12*, 655–660.
4. Davison, J.; Ammann, K. New GMO regulations for old: Determining a new future for EU crop biotechnology. *GM Crops Food* **2018**, *7*, 13–34. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
5. Zaworska-Zakrzewska, A.; Kasproicz-Potocka, M.; Twarużek, M.; Kosicki, R.; Grajewski, J.; Wiśniewska, Z.; Rutkowski, A. A comparison of the composition and contamination of soybean cultivated in Europe and limitation of raw soy seed content in weaned pigs' diets. *Animals* **2020**, *10*, 1972. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
6. Zaworska-Zakrzewska, A.; Kasproicz-Potocka, M.; Nowak, P.; Wiśniewska, Z.; Rutkowski, A. The nutritional value of yellow lupine (*Lupinus luteus*) for growing pigs. *J. Agric. Sci. Technol. A* **2019**, *9*, 351–363. [[CrossRef](#)]
7. Brouns, F. Phytic Acid and Whole Grains for Health Controversy. *Nutrients* **2021**, *14*, 25. [[CrossRef](#)]
8. Dersjant-Li, Y.; Wealleans, A.L.; Barnard, L.P.; Lane, S. Effect of increasing Buttiauxella phytase dose on nutrient digestibility and performance in weaned piglets fed corn or wheat based diets. *Anim. Feed Sci. Technol.* **2017**, *234*, 101–109. [[CrossRef](#)]
9. Kasproicz-Potocka, M.; Zaworska-Zakrzewska, A.; Rutkowski, A. Effect of phytase on digestibility and performance of growing and finishing pigs fed diets with lupins and rapeseed meal. *J. Agric. Sci. Technol. A* **2020**, *10*, 121–131. [[CrossRef](#)]
10. Wiśniewska, Z.; Nollet, L.; Lanckriet, A.; Vanderbeke, E.; Petkov, S.; Outchkourov, N.; Kasproicz-Potocka, M.; Za-Worska-Zakrzewska, A.; Kaczmarek, S.A. Effect of phytase derived from the *E. coli* appa gene on weaned piglet performance, apparent total tract digestibility and bone mineralization. *Animals* **2020**, *10*, 121. [[CrossRef](#)]
11. Czech, A.; Samolińska, W.; Tomaszewska, E.; Muszyński, S.; Grela, E.R. Effect of Microbial Phytase on Ileal Digestibility of Minerals, Plasma and Urine Metabolites, and Bone Mineral Concentrations in Growing—Finishing Pigs. *Animals* **2022**, *12*, 1294. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]

12. Vats, P.; Bhattacharyya, M.S.; Banerjee, U.C. Use of phytases (myo-inositolhexakisphosphate phosphohydrolases) for combatting environmental pollution: A biological approach. *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.* **2005**, *35*, 469–486. [[CrossRef](#)]
13. Moran, K.; Boyd, R.D.; Zier-Rush, C.; Wilcock, P.; Bajjalieh, N.; Van Heugten, E. Effects of high inclusion of soybean meal and a phytase superdose on growth performance of weaned pigs housed under the rigors of commercial conditions. *J. Anim. Sci.* **2017**, *95*, 5455–5465. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
14. Dang, D.X.; Kim, I.H. Effects of adding high-dosing *Aspergillus oryzae* phytase to corn–wheat–soybean meal-based basal diet on growth performance, nutrient digestibility, faecal gas emission, carcass traits and meat quality in grow-ing-finishing pigs. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* **2021**, *105*, 1056–1062. [[CrossRef](#)]
15. Wilcock, P.; Bradley, L.; Chewning, J.J.; Walk, C.L. The effect of superdosing phytase on inositol and phytate concentration in the gastrointestinal tract and its effect on pig performance. *J. Anim. Sci.* **2014**, *92*, 383.
16. Zeng, Z.; Li, Q.; Tian, Q.; Zhao, P.; Xu, X.; Yu, S.; Piao, X. Super high dosing with a novel *butiauxella* phytase continuously improves growth performance, nutrient digestibility, and mineral status of weaned pigs. *Biol. Elem. Res.* **2015**, *168*, 103–109. [[CrossRef](#)]
17. Holloway, C.L.; Dean Boyd, R.; Koehler, D.; Gould, S.A.; Li, Q.; Patience, J.F. The impact of “super-dosing” phytase in pig diets on growth performance during the nursery and grow-out periods. *Transl. Anim. Sci.* **2019**, *3*, 419–428. [[CrossRef](#)]
18. Gebert, S.; Bee, G.; Pfirter, H.P.; Wenk, C. Phytase and vitamin E in the feed of growing pigs: 2. Influence on carcass characteristics, meat and fat quality. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* **1998**, *81*, 20–30. [[CrossRef](#)]
19. El-Hack, M.E.A.; Alagawany, M.; Arif, M.; Emam, M.; Saeed, M.; Arain, M.A.; Siyal, F.A.; Patra, A.; Elnesr, S.S.; Khan, R.U. The uses of microbial phytase as a feed additive in poultry nutrition—A review. *Ann. Anim. Sci.* **2018**, *18*, 639–658. [[CrossRef](#)]
20. Anonymous. 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. *Off. J. Eur. Union* **2010**, *276*, 31–79.
21. GfE. Gesellschaft für Ernährungsphysiologie. Society of nutrition physiology, recommendations for the supply of energy and nutrients to pigs. In *Energy and Nutrients Requirements for Livestock*; DLG-Verlags GmbH, Committee for Requirement Standards of the Society of Nutrition Physiology: Frankfurt am Main, Germany, 2006.
22. AOAC. *Official Methods of Analysis of AOAC International*; Association of Official Analysis Chemists International: Gaithersburg, MD, USA, 2016.
23. Lisiak, D.; Janiszewski, P.; Blicharski, T.; Borzuta, K.; Grzeškowiak, E.; Lisiak, B.; Powalowski, K.; Samardakiewicz, Ł.; Batorska, M.; Skrzymowska, K.; et al. Effect of selenium supplementation in pig feed on slaughter value and physicochemical and sensory characteristics of meat. *Ann. Anim. Sci.* **2014**, *14*, 213–222. [[CrossRef](#)]
24. Kaczmarek, S.A.; Cowieson, A.J.; Hejdzysz, M.; Rutkowski, A. Microbial phytase improves performance and bone traits in broilers fed diets based on soybean meal and containing lupin meal. *Anim. Prod. Sci.* **2016**, *56*, 1669–1676. [[CrossRef](#)]
25. Guggenbuhl, P.; Calvo, E.P.; Fru, F. Effect of High Dietary Doses of a Bacterial 6-Phytase in Piglets Fed a Corn-Soybean Meal Diet. *J. Anim. Sci.* **2016**, *94*, 307–309. [[CrossRef](#)]
26. Kumar, A.; Indra Mani, I.; Pramod, A.; Samuel, D.V.K.; Jha, S.K.; Sahoo, P.K.; Sinha, J.P.; Kar, A. Effect of extrusion technique on antinutritional factors of sorghum-soya blends. *Indian J. Agric. Sci.* **2018**, *88*, 420–428.
27. Zaworska, A.; Kasprowicz-Potocka, M.; Rutkowski, A.; Jamroz, D. The influence of dietary raw and extruded field peas (*Pisum sativum* L.) on nutrients digestibility and performance of weaned and fattening pigs. *J. Anim. Feed Sci.* **2018**, *27*, 123–130. [[CrossRef](#)]
28. Zaworska-Zakrzewska, A.; Kasprowicz-Potocka, M.; Ciołek, K.; Pruszyńska-Oszmałek, E.; Stuper-Szablewska, K.; Rutkowski, A. The Effects of Protease Supplementation and Faba Bean Extrusion on Growth, Gastrointestinal Tract Physiology and Selected Blood Indices of Weaned Pigs. *Animals* **2022**, *12*, 563. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
29. Cervantes, M.; Gómez, R.; Fierro, S.; Barrera, M.A.; Morales, A.; Araiza, B.A.; Zijlstra, R.T.; Sánchez, J.E.; Sauer, W.C. Ileal digestibility of amino acids, phosphorus, phytate and energy in pigs fed sorghum-based diets supplemented with phytase and Pancreatin®. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* **2011**, *95*, 179–186. [[CrossRef](#)]
30. Wu, X.; Ruan, Z.; Zhang, Y.G.; Hou, Y.Q.; Yin, Y.L.; Li, T.J.; Huang, R.L.; Chu, W.Y.; Kong, X.F.; Gao, B.; et al. True digestibility of phosphorus in different resources of feed ingredients in growing pigs. *Asian-Australas. J. Anim. Sci.* **2020**, *21*, 107–119.
31. Grela, E.R.; Muszynski, S.; Czech, A.; Donaldson, J.; Stanislawski, P.; Kapica, M.; Brezwyn, O.; Musyka, V.; Kotsyumbas, I.; Tomaszewska, E. Influence of phytase supplementation at increasing grower—Finisher pigs fed phosphorus-deficient diets. *Animals* **2020**, *10*, 847. [[CrossRef](#)]
32. Tsai, T.C.; Dove, R.; Bedford, M.R.; Michael, J.; Azain, M.J. Effect of phytase on phosphorous balance in 20-kg barrows fed low or adequate phosphorous diets. *Anim. Nutr.* **2020**, *6*, 9–15. [[CrossRef](#)]
33. da Silva, C.A.; Callegari, M.A.; Dias, C.P.; Bridi, A.M.; Pierozan, C.R.; Foppa, L.; Martins, C.C.D.S.; Dias, F.T.F.; Passos, A.; Hermes, R. Increasing doses of phytase from *Citrobacter braakii* in diets with reduced inorganic phosphorus and calcium improve growth performance and lean meat of growing and finishing pigs. *PLoS ONE* **2019**, *14*, e0217490. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]

Disclaimer/Publisher’s Note: The statements, opinions and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of MDPI and/or the editor(s). MDPI and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions or products referred to in the content.

Poznań, 13 czerwca 2023r.

OŚWIADCZENIE DO PUBLIKACJI NR I

Oświadczamy, że jesteśmy autorami pracy: Buzek A., Zaworska-Zakrzewska A., Muzolf-Panek M., Kasprowicz-Potocka M. (2023). *Microbial Phytase in a Diet with Lupine and Extruded Full-Fat Soya Seeds Affects the Performance, Carcass Characteristics, Meat Quality, and Bone Mineralization of Fatteners.* Animals, 13(10), 1655. <https://doi.org/10.3390/ani13101655>

Wkład współautorów w powstanie pracy:

Mgr Anna Buzek - opracowanie metodyczne, software, weryfikacja danych, analiza prób materiału roślinnego i biologicznego, przegląd literatury, planowanie i przygotowanie doświadczenia, przygotowanie manuskryptu, zestawienie danych, przechowywanie i wizualizacja danych, pozyskanie zasobów

Dr inż. Anita Zaworska-Zakrzewska - koncepcja badań, opracowanie metodyczne, walidacja danych, weryfikacja danych, analiza prób materiału roślinnego i biologicznego, nadzór nad realizacją badań, zestawienie, analiza i wizualizacja danych, wykonanie analiz statystycznych, przygotowanie manuskryptu, redagowanie odpowiedzi na recenzje i ostatecznej wersji manuskryptu, pozyskanie finansowania, zarządzanie projektem

Dr inż. Małgorzata Muzolf-Panek - opracowanie metodyczne, software, walidacja danych, analiza prób, weryfikacja danych, analiza danych, przygotowanie manuskryptu

Dr hab. Małgorzata Kasprowicz-Potocka - koncepcja badań, opracowanie metodyczne, walidacja danych, weryfikacja danych, przygotowanie manuskryptu, przygotowanie prób materiału roślinnego i biologicznego, analiza danych, przygotowanie manuskryptu, redagowanie odpowiedzi na recenzje, nadzór nad realizacją badań

Poświadczam wkład
w powstanie niniejszej
pracy:

Buzek Anna

Zaworska-Zakrzewska Anita

Muzolf-Panek Małgorzata

Kasprowicz-Potocka Małgorzata

Article

Phytase Supplementation of Growing-Finishing Pig Diets with Extruded Soya Seeds and Rapeseed Meal Improves Bone Mineralization and Carcass and Meat Quality

Anna Buzek ¹, Anita Zaworska-Zakrzewska ^{1,*} , Małgorzata Muzolf-Panek ² , Dagmara Łodyga ¹, Dariusz Lisiak ³ and Małgorzata Kasprówicz-Potocka ¹ 

¹ Department of Animal Nutrition, Faculty of Veterinary Medicine and Animal Science, Poznan University of Life Sciences, Wołyńska 33, 60-637 Poznań, Poland; anna.buzek@up.poznan.pl (A.B.); dagmara.lodyga@up.poznan.pl (D.Ł.); malgorzata.potocka@up.poznan.pl (M.K.-P.)

² Department of Food Quality and Safety Management, Faculty of Food Science and Nutrition, Poznan University of Life Sciences, Wojska Polskiego 31, 60-637 Poznań, Poland; malgorzata.muzolf-panek@up.poznan.pl

³ Department of Primary Meat Production, Institute of Agricultural and Food Biotechnology—State Research Institute, Głogowska 239, 60-111 Poznań, Poland; dariusz.lisiak@ibprs.pl

* Correspondence: anita.zaworska-zakrzewska@up.poznan.pl

Abstract: The aim of this study was to determine how different doses of phytase in diets with extruded soybean seeds and rapeseed meal affected pigs' growth performance, meat quality, bone mineralization, and fatty acid profiles. Sixty pigs were divided into three treatments by sex and body mass. Pigs were divided into starter (25 days), grower (36 days), and finisher (33 days) periods and fed with mash diets. No phytase was used in the control group diet, whereas in Phy1 and Phy2, 100 g and 400 g of phytase per ton of mixture were used, respectively. The feed conversion ratio and meat color were significantly correlated with phytase. Phytase supplementation had no effect on the growth of pigs, but total phosphorus was significantly increased in the bones and meat of the pigs. The enzyme additive reduced the C22:4 n-6 acid content in the meat, whereas other results were not significantly affected. The data suggest that the addition of phytase at a dosage of 100 g/ton to diets with extruded full-fat soya seeds and rapeseed meal can be valuable, as it reduces the FCR and increases the P content in the meat and bones.

Keywords: pigs; phytase dosing; performance; fatty acid profile; meat quality; bone mineralization



Citation: Buzek, A.; Zaworska-Zakrzewska, A.; Muzolf-Panek, M.; Łodyga, D.; Lisiak, D.; Kasprówicz-Potocka, M. Phytase Supplementation of Growing-Finishing Pig Diets with Extruded Soya Seeds and Rapeseed Meal Improves Bone Mineralization and Carcass and Meat Quality. *Life* **2023**, *13*, 1275. <https://doi.org/10.3390/life13061275>

Academic Editor: Alessandro Di Cerbo

Received: 18 March 2023

Revised: 4 May 2023

Accepted: 26 May 2023

Published: 29 May 2023



Copyright: © 2023 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Introduction

The main factor determining the profitability of pig production is feeding costs, which account for about 70% of the total variable costs [1]. Currently, soya is one of the most important sources of protein in animal nutrition worldwide, but about 80% of soybeans grown globally are GMOs [2]. In view of the growing aversion of the EU population towards genetically modified products and the need to secure the sources of materials for feed production in the event of an unexpected collapse in world trade, it is necessary to introduce and use other local high-protein components in animal nutrition [3]. Rapeseed and non-GM soybeans are important oilseeds cultivated in Europe. Both plant materials are rich in essential amino acids that complement each other (especially lysine and methionine); however, they are rarely used in unprocessed form in animal diets due to the high content of antinutritional factors, which can cause health problems in animals [4–8]. The nutritional value of raw feed components can be significantly improved by enrichment treatments such as extrusion, toasting, or extraction, as well as some enzyme additives. Heat treatments generally reduce thermolabile antinutrients, although the phytate content could also be altered during these processes. According to our results, extrusion reduced the content of phytate in soya seeds from about 0.5 to 0.3% (by 40%) [unpublished]. In turn, microbial

exogenous phytase has the ability to hydrolyze phytate in feed, via a series of lower myo-inositol phosphate esters, into inositol [9]. Furthermore, enzymes such as phytase increase the energy value of feed, the digestibility of the protein, sugars, and fat from feed mixtures, and the availability of minerals from undigestible complexes [10,11]. In addition, phytase reduces the necessary complement of minerals from non-renewable sources to diets, reducing nutritional costs as well as phosphorus emissions into the environment [7,12,13]. Some studies have also shown that phytase at higher doses (above 2500 FTU/kg) results in a more favorable growth performance in pigs than standard phytase doses (usually levels well over 500 FTU/kg and up to 2500 FTU/kg) [14–16]. On the other hand, it has been found that dietary supplementation with high doses of phytase can have some beneficial effects on carcass quality parameters such as back-fat thickness in growing–finishing pigs [16]. Cauble et al. [17] and Gebert et al. [18] reported that dietary phytase could moderate muscle fatty acid profiles in chickens and pigs. Still, other authors need to prove those results. Additionally, some researchers found that exogenous phytase can influence serum non-esterified fatty acids and lipid metabolism in broilers and modulate the muscle fatty acid profile in shrimp [19,20]. Our research assumptions were that dietary phytase additives in fattener feed mixtures (1) are necessary in diets containing rapeseed meal (RSM) and extruded full-fat non-GMO soybeans (FFES), (2) are more effective at higher dosages (400 g/t), and (3) would enhance porker production and carcass results.

This study aimed to determine how a standard amount of phytase and a higher dosage added to a diet containing RSM and FFES influenced the performance of fatteners and their slaughter efficiency, as well as bone mineralization and meat quality.

2. Materials and Methods

2.1. Plant Material

RSM was purchased from the Bielsmar Fat and Oil Processing Plant (Bielsko-Biała, Poland). Soybean seeds cv. Augusta (non-GMO) were obtained from Plant Breeding Stations (HR UP Poznań, Poland). Soybean seeds were extruded with a Farmet FE 250 extruder (Farmet as; Česká Skalice, Czech Republic). Preliminary crushing was applied to increase the efficiency of the machine. Then, the raw material was ground and heated. Under pressure and temperature, the material rich in fiber and protein was gradually softened and homogenized. The extrusion was conducted for 10 s at a temperature of 130 °C and a pressure of >20 MPa.

2.2. Enzyme

Phytase Quantum Blue 5G[®] (AB Vista Feed, Marlborough, England) produced by *E. coli* was used in the experiments. The producer recommends that the conditioning of the feed mixture or granulation should not exceed a temperature of 90 °C and last longer than 30 s. The producer declares that the minimum phytase activity is 500 FTU/g with the recommended 100 g of the phytase additive per ton of mixture.

2.3. Ethical Statement

All experimental procedures complied with the guidelines of the Local Ethical Committee for Experiments on Animals in Poznań regarding animal experimentation and the care of animals under study (European Union (EU) Directive 2010/63/EU for animal experiments). Individual approval for this trial was not required because of the production standards used in this study. All samples were collected after slaughter. The pigs had unlimited access to feed and water.

2.4. Animals, Diets, and Experimental Design

The experiment was conducted on 60 castrated weaners (30 ♀ and 30 ♂) (Naima x Ebx) with an initial weight of about 31 kg. The animals were transported to the farm and divided into 3 groups in individual pens, each with 20 animals, with an even division of sex (n = 10). Each pig was marked with an earring with a number, which allowed individual

measurements. The experiment lasted 94 days and was divided into three stages: starter (S), 25 days; grower (G), 36 days; and finisher (F), 33 days. RSM and FFES were the main sources of protein in the feed mixtures given to all groups of animals. No phytase was added to the mixture in the control group (Con). In the other two groups, namely Phy1 and Phy2, 100 g and 400 g of phytase per ton of mixture were, respectively, used in the diets. The diets for the test were formulated according to the recommendations of the GfE [21], as shown in Table 1. The health and welfare of the animals were monitored twice a day. After the completion of each fattening phase, the daily body weight gain (DBWG) of all animals was individually controlled. Due to the group housing of the animals, the ADFI and the feed conversion ratio (FCR) in each phase were estimated in the whole group. At the end of the experiment, 12 pigs from each group (6 males and 6 females) were stunned by electric shock and killed by exsanguination.

Table 1. The composition and nutritional value of the diets in the starter, grower, and finisher stages.

Components (%)/Period	Starter	Grower	Finisher
Wheat	25.00	-	-
Maize	20.27	44.65	40.57
RSM	11.50	15.00	13.00
FFES	10.00	7.50	5.00
Rye	10.00	20.00	25.00
Barley	10.00	-	-
Wheat bran	9.50	10.00	14.00
Limestone	1.45	1.40	1.30
1-Calcium phosphate	0.30	0.25	-
Sodium chloride	0.40	0.40	0.40
Premix grower 0.2% *	0.20	0.20	0.15
Magnesium oxide	0.20	0.20	0.20
HCL-lysine 78.5%	0.51	0.36	0.36
DL-methionine 99%	0.22	-	-
L-threonine 98.5%	0.03	0.02	-
L-tryptophan 98%	0.03	-	-
Liquid acidifier **	0.35	-	-
Choline chloride	0.04	0.02	0.02
Calculated nutritional value (g/kg)			
Crude protein	170.32	171.60	153.20
Crude fat	41.70	41.20	34.20
Crude fiber	48.84	55.50	48.80
Ca	8.29	6.10	6.70
P	5.85	5.30	4.90
Ca/P		1.2–1.4: 1	

The table shows the composition and nutritional value of the mixtures of the control group (Con). In the experimental groups Phy 1 and Phy 2, 100 and 400 g/kg, respectively, of enzyme phytase Quantum Blue 5G were added to the feed mixture, replacing the proportion of maize. RSM—rapeseed meal; FFES—full-fat extruded soybeans. * The mineral and vitamin premix contained the following amounts of components per 1 kg: vitamin A—3,250,000 IU/kg; vitamin D₃—1,000,000 IU/kg; vitamin E—50,000 mg/kg; vitamin K₃—2000 mg/kg; vitamin B₁—1000 mg/kg; vitamin B₂—2000 mg/kg; vitamin B₆—1500 mg/kg; vitamin B₁₂—15 mg/kg; pantothenic acid—1500 mg/kg; 5000 mg/kg; nicotinic acid—1000 mg/kg; biotin—50 mg/kg; folic acid—750 mg/kg; Fe—50,000 mg/kg; Mn—37,000 mg/kg; Zn—50,000 mg/kg; Cu—10,000 mg/kg; I—750 mg/kg; Se—200 mg/kg. ** The liquid acidifier contained formic acid, propionic acid, ammonium formate, ammonium propionate, demineralized water, glycerine, and glycol.

2.5. Analytical Procedures

2.5.1. Feed Analyses

The feed mixtures were analyzed chemically twice (n = 2). A RetschZm 200 ultra-centrifugal mill (Retsch, Haan, Germany) with 1.0 mm sieves was used to grind the feed material. The material was analyzed for crude protein, crude fat, crude fiber, crude ash, and total Ca and P, using methods 976.05, 920.39, 978.10, 984.27, and 965.17, respectively, according to the AOAC [22].

2.5.2. Carcass and Meat Analyses

The carcasses were measured (length and width (cm)) and weighed (kg), and the post-mortem yield (%) was calculated. On warm, hanging left carcass sides, the meatiness (%) and loin thickness (mm) were measured with an IM-03 ultrasound instrument. Additionally, the following parameters were measured: linear thickness of the back fat at three points (K I–K III: K I, less than 22 mm; K II, 22–26 mm; and K III, over 26 mm), the thickness of the back fat above the shoulder blade and at the last rib (mm), and the thickness of the buttock muscles and the loin (mm). Electrical conductivity in the muscle was measured on the left side of the carcass that was left hanging after 24 h of cooling. The water-holding capacity was analyzed using the Grau–Hamm method [23]. Drip loss and cooking loss were based on the differences in samples' weights. Meat color was analyzed with a Minolta CR300 colorimeter. A group of panelists evaluated the cooked samples for tenderness. Muscle samples were analyzed twice for protein (method 990.03), dry matter (method 934.01), fat (method 920.39), and P (method 946.06) according to the methods of the AOAC [22].

2.5.3. Bone Analysis

Third metacarpals from the right foot were collected from 12 pigs in each group. The metacarpals were boiled to remove tissues and cartilage caps, ground, and extracted to remove fat. Then, samples were burned in a muffle furnace (P330, Nabertherm GmbH, Lilienthal, Germany) at 600 °C for 5 h [24]. The P and Ca contents in the bone ash were determined according to procedures 984.27 and 965.17 of AOAC [22].

2.5.4. Meat Fatty Acid Profile

The lipid fraction was extracted from 3 g of homogenized meat sample with 30 mL of Folch solution I (chloroform:methanol = 2:1, *v/v*). The homogenate was filtered with a Whatman No.1 paper filter. The samples were placed in 17 mL culture tubes, suspended in 2 mL of methanol, treated with 0.5 mL of 2 M aqueous sodium hydroxide, and sealed tightly. Then, the culture tubes were placed into 250 mL plastic bottles, sealed tightly, and placed inside a microwave oven (AVM 401/1WH, Whirlpool, Sweden) operating at 2450 MHz and 900 W maximum output. The samples were irradiated (370 W) for 20 s, followed by an additional 20 s after about 5 min. After 15 min, the contents of the culture tubes were neutralized with 1 M aqueous hydrochloric acid; 2 mL MeOH was added, and extraction with pentane (3–4 mL) was carried out in the culture tubes. The combined pentane extracts were evaporated to dryness in a nitrogen stream. Next, the extracts were methylated with a mixture of anhydrous methanol and sulfuric acid (1:5, *v/v*). Then, 0.5 mL of methanol was added to the extract containing lipids, followed by the addition of a mixture of 0.15 mL methanol/sulfuric acid (1:5, *v/v*). The samples were heated at 70 °C for 15 min. After the solution had been cooled, 0.5 mL of n-hexane was added, followed by the addition of a sufficient amount of water to form two layers. The upper hexane layer was removed and analyzed on a gas chromatograph (Agilent 5890 II) equipped with a flame ionization detector, fitted with a Supelcowax 10 column (30 m × 0.25 mm I.D., 0.25 mm film thickness). The injector and detector temperatures were 220 °C and 240 °C, respectively. The column temperature was programmed to increase from 60 °C to 240 °C at a rate of 110 °C/min. Peaks were identified by comparing the sample peak retention times with those of known methylated fatty acid compounds. Additionally, the determined contents of the fatty acid profiles allowed us to compute the following: thrombogenicity index (TI), saturated fat index (S/P), consumer index (CI), desaturation ratio from oleic to linoleic acid (ODR), desaturation ratio from linoleic to linolenic acid (LDR), calculated oxidizable value (COX), index of desirable fatty acids (DFA), and sum of hypercholesterolemic fatty acids (OFA). The formulas for the indicators of the nutritional quality of fat are presented in Table 2.

Table 2. The indicators of the nutritional quality of fatty acids.

Indices	Formula	References
TI	$\frac{C14:0+C16:0+C18:0}{0.5*MUFA+0.5*n6PUFA+3*n3PUFA+(\frac{n3}{n6})}$	Szpunar-Krok et al. [25]
S/P	$\frac{C14:0+C16:0+C18:0}{(MUFA+PUFA)}$	
OL/(LA + ALA)	$\frac{C18:1}{C18:2+C18:3}$	
CI	$C18 : 3 + C20 : 5 + C22 : 6$	
ODR	$\frac{C18:2+C18:3}{C18:1+C18:2+C18:3} * 100$	Mondal et al. [26]
LDR	$\frac{C18:3}{C18:2+C18:3} * 100$	
COX	$\frac{1*(C16:1+C17:1+C18:1+C20:1)+10.3*C18:2+21.6*(C18:3+C20:3)}{100}$	Szpunar-Krok et al., 2022 [25]
DFA	$C18 : 0 + \sum UFA$	
OFA	$C16 : 0 + C14 : 0$	

Con—control group; Phy1—control group + phytase 100 g/t; Phy2—control group + phytase 400 g/t; TI—thrombogenicity index; S/P—saturated fat index; OL—oleic acid (C18:1); LA—linoleic acid (C18:2); ALA—alpha linoleic acid (C18:3); CI—consumer index; ODR—desaturation ratio from oleic to linoleic acid; LDR—desaturation ratio from linoleic to linolenic acid; COX—calculated oxidizable value; DFA—index of desirable fatty acids; OFA—sum of hypercholesterolemic fatty acids.

2.5.5. Statistical Analysis

The SAS ver. 5.0. software (IO, Cary, NC, USA) was used for statistical analysis. The hypotheses were tested at $\alpha = 0.05$. Differences were considered significant at $p < 0.05$. The obtained results were analyzed statistically by calculating the arithmetic mean and \pm SD for each characteristic. The significance of differences between the groups in the experiment on pigs was calculated using one-way ANOVA with Duncan's post hoc test. The correlation between FI and the phytase additive was tested with Spearman's rank correlation coefficient (P. R). Principle component analysis (PCA) was used to visualize the information and to detect some patterns in the dataset. The clustering method (CA) using k-means clustering analysis was used to define distinct groups within the dataset with the lowest variability within the group and the highest variability between groups. To this end, the Euclidean distance was used as a metric between centroids. The number of clusters was defined automatically using V-fold cross-validation. The method constructs clusters using two goals, namely minimizing the variability within clusters and maximizing the variability between clusters. General discriminant analysis (GDA) and the supervised pattern recognition method proposed by Berrueta et al. [27] were used to calculate classification rules for sample discrimination. Before analysis, the data were pre-processed via a logarithmic transformation, and the sum-in-row approach was applied in order to obtain more homogenous variance in the dataset.

3. Results

The experiment did not reveal any negative effect of the administered mixtures on the animals' health or welfare. No lameness, hernias, diarrhea, bitten tails, ear wounds, wounds on the body, ectoparasites, or swollen joints were noticed.

3.1. Performance Parameters

The fattening results are shown in Table 3. The enzyme additive did not increase the weight gain in the entire experiment ($p > 0.05$). However, the DBWG tended to increase along with the enzyme dose ($p = 0.100$). The total FCR in both experimental groups was significantly lower in comparison with that of Con ($p < 0.05$). The phytase dosage was significantly correlated with the FI values, as evidenced by Spearman's correlation coefficient ($R = -0.51$; $p < 0.01$).

Table 3. The pigs' performance parameters.

Phase/Variable	Con	Phy1	Phy2	SEM	<i>p</i>
Starter					
IBW (kg)	30.84 ± 1.04	31.33 ± 0.98	31.35 ± 1.02	0.392	>0.05
FBW (kg)	51.37 ± 6.87	53.20 ± 8.07	53.80 ± 6.08	0.910	>0.05
DBWG (kg)	0.821 ± 0.13	0.875 ± 0.16	0.898 ± 0.13	0.018	>0.05
FCR (kg/kg)	2.38 ± 0.42	2.32 ± 0.47	2.25 ± 0.35	0.050	>0.05
Grower					
FBW (kg)	90.58 ± 12.08	95.40 ± 12.37	97.28 ± 11.06	0.562	>0.05
DBWG (kg)	1.09 ± 0.21	1.17 ± 0.18	1.21 ± 0.14	0.024	>0.05
FCR (kg/kg)	2.60 ± 0.61	2.43 ± 0.40	2.38 ± 0.29	0.588	>0.05
Finisher					
FBW (kg)	124.05 ± 15.31	131.35 ± 13.98	131.55 ± 12.86	1.860	>0.05
DBWG (kg)	1.01 ± 1.20	1.09 ± 0.14	1.04 ± 0.16	0.022	>0.05
FCR (kg/kg)	4.97 ± 0.61	4.04 ± 0.40	4.31 ± 0.29	0.200	>0.05
Total					
BWG (kg)	93.21 ± 12.96	100.03 ± 11.17	100.20 ± 9.71	1.510	>0.05
DBWG (kg)	1.00 ± 0.14	1.08 ± 0.12	1.08 ± 0.10	0.016	>0.05
FCR (kg/kg)	3.25 ^a ± 0.51	2.96 ^b ± 0.46	2.98 ^b ± 0.31	0.054	0.049

Con—control group; Phy1—control group + phytase 100 g/t; Phy2—control group + phytase 400 g/t; IBW—initial body weight; FBW—final body weight; DBWG—daily body weight gain; BWG—body weight gain; FCR—feed conversion ratio. ^{a, b} Means with different superscripts in a row are different ($p \leq 0.05$).

3.2. Carcass and Meat Quality

There were no significant differences in the carcass parameters among the tested groups (Table 4) ($p > 0.05$). The enzyme additive had no effect on the evaluation of the post-mortem parameters ($p > 0.05$).

Table 4. The carcass characteristics of growing pigs.

Phase/Variable	Con	Phy1	Phy2	SEM	<i>p</i>
Carcass weight (kg)	97.91 ± 12.94	102.24 ± 11.71	102.83 ± 11.01	1.550	>0.05
Meatiness (%)	57.30 ± 3.06	57.64 ± 2.55	56.35 ± 2.31	0.350	>0.05
Cold dressing yield (%)	78.85 ± 1.35	77.80 ± 1.46	78.14 ± 1.13	0.240	>0.05
Mean thickness of pork loin (mm)	66.90 ± 7.30	66.10 ± 6.30	66.30 ± 6.50	0.900	>0.05
Mean back-fat thickness (mm)	17.32 ± 4.56	16.62 ± 3.61	18.72 ± 3.18	0.500	>0.05
pH 45 min	6.473 ± 0.22	6.57 ± 0.23	6.45 ± 0.30	0.040	>0.05
Back-fat thickness K III (mm)	20.50 ± 6.16	20.50 ± 6.46	22.84 ± 5.64	1.000	>0.05
Back-fat thickness K II (mm)	17.75 ± 5.66	16.67 ± 5.76	18.42 ± 4.17	0.858	>0.05
Back-fat thickness K I (mm)	24.67 ± 5.55	23.00 ± 6.72	25.25 ± 3.33	0.886	>0.05
GMT (mm)	72.67 ± 7.11	71.42 ± 7.14	74.17 ± 7.16	1.170	>0.05
Back (cm)	21.00 ± 5.17	20.00 ± 3.46	22.17 ± 3.88	0.700	>0.05
Shoulder (cm)	43.08 ± 7.82	43.67 ± 6.54	47.00 ± 6.19	1.150	>0.05
Carcass length (cm)	89.67 ± 3.28	89.08 ± 3.03	88.92 ± 3.26	0.520	>0.05
Carcass width (cm)	39.34 ± 1.15	38.08 ± 2.35	38.67 ± 1.15	0.280	>0.05
EC (mS/cm)	4.54 ± 0.76	4.79 ± 1.20	4.32 ± 1.13	0.170	>0.05

Con—control group; Phy1—control group + phytase 100 g/t; Phy2—control group + phytase 400 g/t; GMT—gluteal muscle thickness; EC—electrical conductivity of muscles. Back-fat thickness was measured at 3 points (K I–K III: K I, less than 22 mm; K II, 22–26 mm; and K III, over 26 mm).

Table 5 shows the chemical composition of the muscle meat. No significant effect was detected for meat quality in pigs fed diets with phytase compared to pigs fed diets without phytase. However, phytase significantly increased ($p < 0.01$) the muscle contents of P compared to pigs fed diets without phytase. One-way ANOVA only showed a tendency ($p = 0.054$) of phytase to impact the pork's yellow color (b*).

Table 5. Meat quality parameters from *m. longissimus lumborum*.

Variable	Con	Phy1	Phy2	SEM	<i>p</i>
Fat (%)	1.81 ± 0.57	2.31 ± 0.59	2.19 ± 0.57	0.101	>0.05
Protein (%)	24.21 ± 0.84	23.54 ± 1.30	24.21 ± 0.66	0.166	>0.05
Water (%)	72.76 ± 0.77	72.82 ± 0.80	72.42 ± 0.84	0.134	>0.05
Dry matter (%)	27.24 ± 0.77	27.18 ± 0.80	27.59 ± 0.84	0.134	>0.05
P (%)	1.05 ^b ± 0.04	1.19 ^a ± 0.04	1.19 ^a ± 0.03	0.01	<0.001
pH 24 h	5.53 ± 0.08	5.53 ± 0.12	5.48 ± 0.10	0.017	>0.05
L*—lightness	46.83 ± 1.81	46.42 ± 2.83	47.86 ± 3.37	0.457	>0.05
a*—redness	5.12 ± 0.76	5.48 ± 0.96	5.57 ± 1.14	0.160	>0.05
b*—yellowness	1.96 ± 1.13	1.79 ± 0.90	2.84 ± 1.15	0.191	>0.05
Cooking loss (%)	26.38 ± 5.19	26.12 ± 4.22	28.16 ± 4.34	0.760	>0.05
Tenderness (%)	27.09 ± 5.07	26.04 ± 8.40	26.31 ± 4.26	1.000	>0.05
Drip loss (%)	5.21 ± 1.74	5.10 ± 1.39	6.15 ± 1.21	0.250	>0.05
Water-holding capacity (%)	28.07 ± 4.16	28.26 ± 1.81	28.36 ± 2.93	0.510	>0.05

Con—control group; Phy1—control group + phytase 100 g/t; Phy2—control group + phytase 400 g/t. ^{a, b} Means with different superscripts in a row are different ($p \leq 0.05$).

3.3. Fatty Acid Profile

The fatty acid profile showed that the enzyme additive reduced only the content of the C22: 4n6 acid ($p = 0.008$), compared to the Con group. However, the groups did not differ significantly in the share of other acids ($p > 0.05$). The results indicate that microbial phytase did not cause changes in the fatty acid profile of the lipid fractions of the longissimus dorsi muscle. The total MUFA amounted to about 47%, whereas the total SFA and PUFA amounted to about 39% and 14%, respectively (Table 6).

Table 6. The fatty acid profile (% of total FA) of the fat from *m. longissimus lumborum*.

Variable	Con	Phy1	Phy2	SEM	<i>p</i>
C14:0	1.32 ± 0.14	1.32 ± 0.14	1.26 ± 0.09	0.021	>0.05
C16:0	23.78 ± 0.96	23.68 ± 1.04	23.67 ± 0.84	0.154	>0.05
C17:0	0.22 ± 0.02	0.23 ± 0.01	0.21 ± 0.01	0.003	>0.05
C18:0	13.36 ± 1.02	13.27 ± 1.04	13.72 ± 0.78	0.157	>0.05
C20:0	0.21 ± 0.01	0.21 ± 0.01	0.22 ± 0.01	0.002	>0.05
C16:1	2.32 ± 0.10	2.36 ± 0.09	2.37 ± 0.09	0.016	>0.05
C17:1	0.12 ± 0.02	0.12 ± 0.02	0.12 ± 0.02	0.003	>0.05
C18:1	43.59 ± 1.72	43.77 ± 1.70	43.501 ± 1.22	0.254	>0.05
C20:1	1.12 ± 0.04	1.09 ± 0.05	1.08 ± 0.06	0.008	>0.05
C22:4 n-6	0.12 ^b ± 0.01	0.11 ^a ± 0.01	0.11 ^a ± 0.01	0.001	0.008
C18:2 n-6	10.89 ± 0.66	10.90 ± 0.63	10.86 ± 0.51	0.098	>0.05
C20:2 n-6	0.33 ± 0.06	0.34 ± 0.07	0.33 ± 0.03	0.009	>0.05
C20:3 n-6	0.21 ± 0.08	0.21 ± 0.06	0.20 ± 0.06	0.011	>0.05
C20:4 n-6	0.14 ± 0.04	0.15 ± 0.04	0.13 ± 0.02	0.005	>0.05
C18:3 n-3	0.92 ± 0.05	0.92 ± 0.06	0.89 ± 0.05	0.009	>0.05
C20:5 n-3	0.42 ± 0.06	0.38 ± 0.07	0.39 ± 0.07	0.011	>0.05
C22:5 n-3	0.44 ± 0.06	0.42 ± 0.05	0.45 ± 0.04	0.008	>0.05
C22:6 n-3	0.49 ± 0.05	0.51 ± 0.06	0.49 ± 0.06	0.009	>0.05
SFA	38.91 ± 1.69	38.72 ± 1.41	39.08 ± 1.31	0.240	>0.05
MUFA	47.14 ± 1.70	47.35 ± 1.62	47.06 ± 1.25	0.249	>0.05
PUFA	13.95 ± 0.66	13.94 ± 0.65	13.85 ± 0.46	0.097	>0.05
Σ n-3	2.28 ± 0.10	2.24 ± 0.12	2.22 ± 0.12	0.019	>0.05
Σ n-6	11.77 ± 0.67	11.70 ± 0.58	11.64 ± 0.51	0.096	>0.05
Σ n-6/Σ n-3	5.14 ± 0.42	5.20 ± 0.29	5.26 ± 0.44	0.060	>0.05

Con—control group; Phy1—control group + phytase 100 g/t; Phy2—control group + phytase 400 g/t; SFA—saturated fatty acids; MUFA—monounsaturated fatty acids; PUFA—polyunsaturated fatty acids. ^{a, b} Means with different superscripts in a row are different ($p \leq 0.05$).

One-way ANOVA did not show any significant effect of the phytase dose on the measured indices (Table 7).

Table 7. Values of the nutritional quality indices of the fat.

Indices	Con	Phy1	Phy2	SEM	<i>p</i>
TI	1.06 ± 0.07	1.05 ± 0.06	1.07 ± 0.06	0.061	>0.05
S/P	0.63 ± 0.05	0.63 ± 0.04	0.64 ± 0.04	0.039	>0.05
OL/(LA + ALA)	3.70 ± 0.27	3.72 ± 0.32	3.71 ± 0.19	0.260	>0.05
CI	1.83 ± 0.10	1.81 ± 0.10	1.77 ± 0.13	0.110	>0.05
ODR	21.32 ± 1.26	21.28 ± 1.44	21.27 ± 0.87	1.177	>0.05
LDR	7.78 ± 0.65	7.82 ± 0.39	7.56 ± 0.58	0.549	>0.05
COX	1.84 ± 0.06	1.84 ± 0.07	1.82 ± 0.06	0.061	>0.05
DFA	0.22 ± 0.02	0.22 ± 0.02	0.23 ± 0.02	0.020	>0.05
OFA	25.11 ± 0.97	25.00 ± 1.00	24.93 ± 0.88	0.926	>0.05

Con—control group; Phy1—control group + phytase 100 g/t; Phy2—control group + phytase 400 g/t; TI—thrombogenicity index; S/P—saturated fat index; OL—oleic acid (C18:1); LA—linoleic acid (C18:2); ALA—alpha linoleic acid (C18:3); CI—consumer index; ODR—desaturation ratio from oleic to linoleic acid; LDR—desaturation ratio from linoleic to linolenic acid; COX—calculated oxidizable value; DFA—index of desirable fatty acids; OFA—sum of hypercholesterolemic fatty acids.

Multivariate analyses (PCA, CA, GDA) of the fatty acid contribution were also applied. PCA was applied to investigate the structure of relationships between the variables (fatty acid contribution). Six principal components (PCs) showed an eigenvalue greater than 1, and together they explained 80% of the total variance, where the first two PCs explained 57% of the total variance. Figure 1 shows the projection of the variables on the factor plane defined by the two PCs (PC1 and PC2). PCA was applied to fatty acids in this study. It showed that C18:1 was highly correlated with the total MUFA, whereas C16:0 was correlated with the total SFA. PUFAs were highly correlated with C18:2 n-6. This is in accordance with the results shown in Table 5. All those variables distributed the samples along the PC1 axis, with loaded values ranging from −0.90 for C18:2 n-6 to −0.95 for SFA and PUFA. C20:4 n-6 and Σn-3 distributed the samples along the PC2 axis, with loaded values of −0.70 and 0.93, respectively.

However, PCA is not designed as a typical clustering method. To differentiate samples, k-means clustering analysis was applied to form clusters that were as distinct as possible. The method enables the distinction of four clusters. All samples subjected to the phytase treatment of 400 g/t (Phy2) were included in cluster 2. All control samples were included in cluster 1. Clusters 3 and 4 included samples treated with phytase at 100 g/t (Phy1). The results are shown in Figure 2.

Additionally, GDA was applied to discriminate groups in the sample dataset. Using both discriminant functions (Roots 1 and 2), 100% of the classification property of the phytase dose could be obtained with fatty acids as predictors (Figure 3). The canonical correlation coefficient for Root 1 was equal to 0.90, with $p = 0.021$.

3.4. Pig Metacarpal Bone Characteristics

The contents of ash, Ca, and P in the bones are shown in Table 8. The factor under study did not significantly influence the bone ash or calcium content; however, there was a significantly higher P content in the bones of the pigs from both groups fed with the enzyme additive ($p < 0.0001$).

Table 8. Bone mineral analysis.

Variable	Con	Phy1	Phy2	SEM	<i>p</i>
Ash (%)	52.47 ± 3.07	53.90 ± 2.60	52.60 ± 2.31	0.447	>0.05
Ca (%)	33.89 ± 1.38	33.27 ± 1.19	33.25 ± 1.46	0.050	>0.05
P (%)	16.71 ^a ± 0.24	17.28 ^b ± 0.13	17.28 ^b ± 0.12	0.224	<0.0001

Con—control group; Phy1—control group + phytase 100 g/t; Phy2—control group + phytase 400 g/t. ^{a, b} Means with different superscripts in a row are different ($p \leq 0.05$).

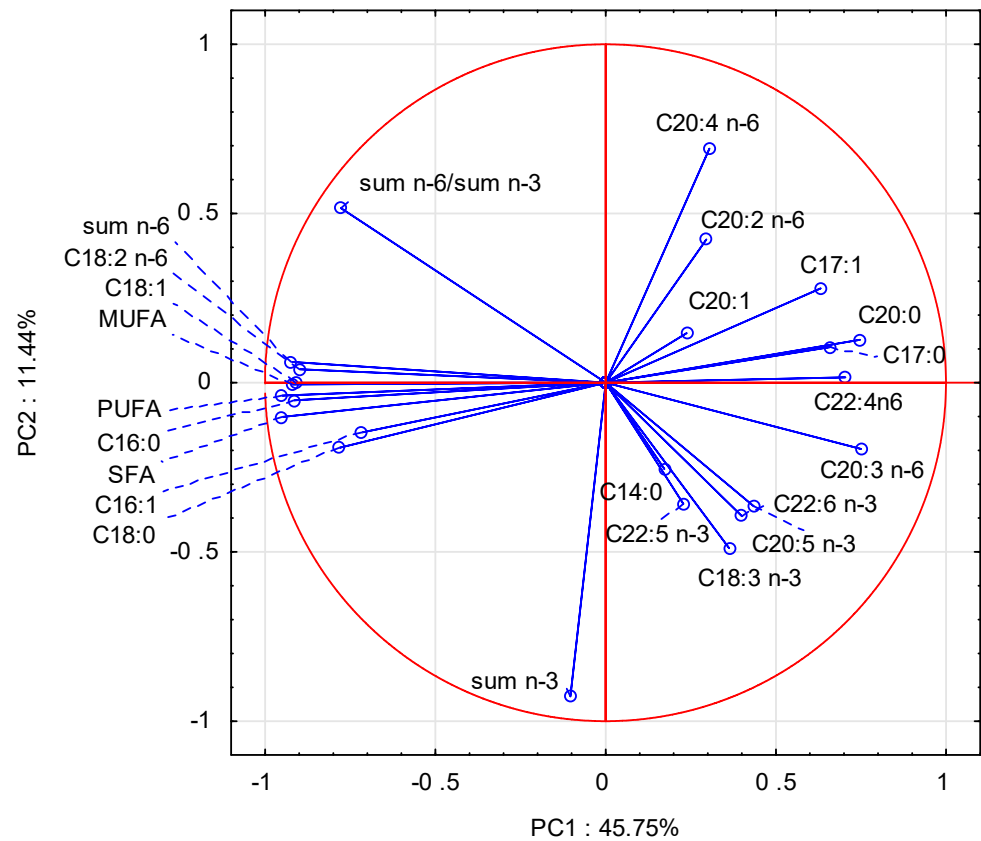


Figure 1. A projection of the fatty acid contribution on the factor plane, PC1 vs. PC2.

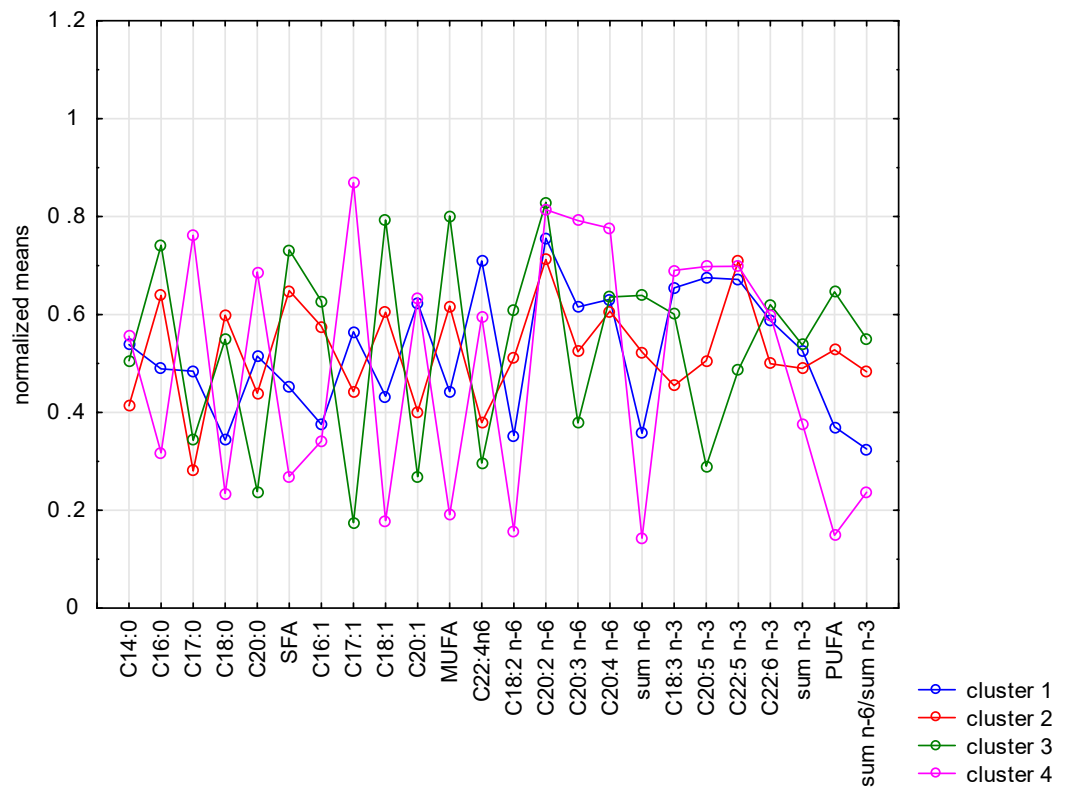


Figure 2. The normalized mean values of the fatty acid contribution for each cluster calculated using k-means clustering analysis.

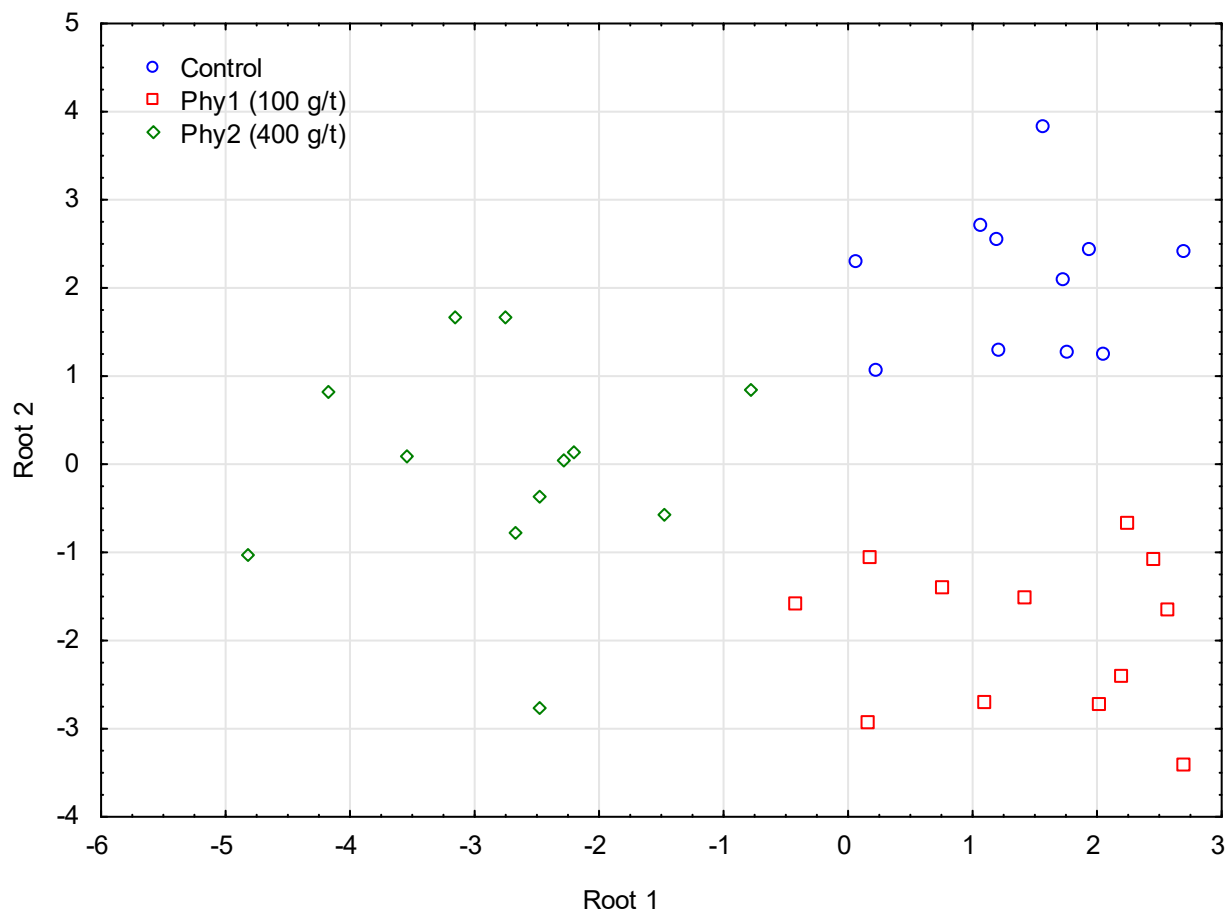


Figure 3. GDA classification of the samples by the phytase dose, with the fatty acid contributions as predictors. Con—control group; Phy1—phytase added at a dose of 100 g/t; Phy2—phytase added at a dose of 400 g/t.

4. Discussion

The effect of phytase depends strongly on the content of phytate in the components. Raw soybeans contain about 0.4% of phytic phosphorus, and some research has shown that its content is reduced to about 0.05–0.06% by extrusion [6]. Cereal seeds as well as RSM are generally rich in phytate. As they make up more than 80% of feed mixtures for pigs, the addition of phytase may be justified. However, the use of a recommended phytase dose and also its higher dosing in this study did not significantly affect the fattening results. Only the FCR in the whole experiment was improved, and the DBWG tended to increase when pigs were offered phytase. Wiśniewska et al. [11] and Wu et al. [28] found a positive correlation between percentage improvements in feed efficiency in response to phytase and dietary phytate content, including for diets based on legume seeds, SBM, or RSM [29,30]. Grela et al. [31] observed that a dietary phytase treatment at doses of 500–1000 FTU per kg significantly influenced daily gains and the FCR, but the FI was not affected. Other studies showed that phytase enhanced the utilization of some nutrients, but it was not always connected with increased performance [29,32]. It is commonly known that the effect of microbial phytase also depends on the source of phytate, the animal's species and age, concentrations of minerals in the diet, phytase sources, and the phytase dosage [10,32]. Zeng et al. [33] found that, in comparison with the 500 FTU/kg inclusion group, super-high phytase doses (20,000 FTU/kg) increased daily gains as well as the digestibility of Ca and P. Our study found that phytic phosphorus could be a limiting factor in full-fat soybean seeds and rapeseed meal, as no growth-promoting effect was found due to the phytase addition. In this study, the lower FCR in the whole experiment was probably the result of higher energy availability due to the decomposition of phytate complexes with some

nutrients. This was also proved by the significantly higher deposition of phosphorus in the bones of pigs offered the enzyme [33]. The correct phosphorus and calcium levels in the diet are necessary for bone mineralization. In our study, phytase had no effect on the contents of ash and calcium, but it significantly increased the phosphorus content in the bones and meat. This ability increases with the dose of the enzyme, as reported by other authors [10,34]. Grela et al. [31] found that the administration of 500 FTU of phytase/kg of diet increased bone strength. Kasproicz-Potocka et al. [7] found that the phytase additive improved the availability of P and Ca in pigs' diet by 14.34% and 4.08%, respectively. Some authors suggested that a higher dosing of phytase increases the digestible nutrient intake by stimulating feed intake, because phytate might act as an appetite suppressant [13]. Simultaneously, there was no effect of the enzyme on the carcass parameters and meat quality, except for the yellow color (b) of the meat. Hollowey et al. [35] found that a higher phytase dosing affected the growth rate, feed intake, and carcass yield ($p > 0.10$). Gebert et al. [18] offered pigs 1200 FTU of phytase/kg of feed and found that the slaughter yield, the percentage of lean cuts, and the total fat tissue as well as the back-fat thickness were not affected by phytase. Phytase supplementation only affected the meat color brightness and texture, which was also found in our results. The meat color is influenced by various factors such as the pigment content (heme proteins, especially myoglobin), the chemical condition of myoglobin (oxidized form of heme iron), and the rate of glycolysis in the meat. The addition of phytase increases the availability of trace elements such as iron and copper, which probably catalyze the autoxidation of myoglobin by stimulating the formation of hydrogen peroxide, the initial product of lipid oxidation, which affects the meat color. Moreover, the low-ultimate-effect myoglobin is readily oxidized to metmyoglobin, which does not contribute greatly to the depth of color; furthermore, the structure of the muscle is "open" and scatters light [17].

The lipid fraction in pig diets derives mostly from cereals (wheat, triticale, or maize) and processed vegetable oils or oilseed plants, which are rich in n-6 PUFA and have high n-6/n-3 ratios, which are linked to gut and metabolic inflammation. In our study, the enzyme additive only reduced the content of docosatetraenoic acid in the meat, but the mechanism was not clear. It is known that the C18:3n6/C22:4n6 ratio is a good lipid marker of chronic kidney disease (CKD) progression [36]. A reduction in the C22:4n6 content involves an increase in this ratio, which is beneficial for animal and human health. The C18:1 content was highly correlated with the total MUFA, whereas C16:0 was correlated with the total SFA. C16:0 has been found to raise low-density lipoprotein cholesterol; therefore, a reduced SFA level in the meat can improve dietetic and health-promoting meat properties. Sońta et al. [37] claimed that comparative analyses concerning the nutritionally important fatty acids in the meat from pigs offered feed mixtures containing protein from various plant sources, including legumes, are needed. The major PUFAs were C18:2 n6 and C18:3 n3. In the current research, PUFAs were highly correlated with C18:2 n-6, and they have previously been found to prevent coronary heart disease. The level of C18:2 n6 is associated with a lower amount of endogenous lipids in the meat. This phenomenon has a negative impact on the fat tissue during processing, as it lowers the melting temperature. Cauble et al. [17] found that dietary phytase can be a potential modulator of muscle fatty acid profiles, which was only slightly observed in the current study. The PCA showed that, in comparison with the Con group, the samples with a higher dosage of phytase were characterized by a relatively high SFA contribution to the total fatty acid content. Gebert et al. [18] also found increased SFA and reduced MUFA contents in microbial phytase-supplemented diets. These authors claimed that this may have been caused by the fact that microbial phytase indirectly made some slight changes in the fatty acid profile of the lipid fractions of the *longissimus dorsi* muscle. It is likely that the effect of dietary phytase on SFA was mainly caused by the higher feed intake and thus resulted in a higher self-synthesis of SFA or that the higher percentage of SFA in the complex lipids in the phytase-supplemented groups was a consequence of lipid oxidation. The fatty acids were reduced to secondary products, or they were saturated to less unsaturated fatty acids, lipid hydroperoxides, or

aldehydes [38]. Biswas et al. [20] reported no significant differences in fatty acid profiles when rainbow trout were fed with or without phytase added to a soybean-meal-based diet. The values of the nutritional quality indices of fat determined in the meat of fatteners were the same as those of the Con group and are beneficial from a dietetic point of view.

5. Conclusions

In summary, adding phytase to the primary dose may benefit diets containing processed protein raw materials such as rapeseed meal and full-fat soybean seeds. However, it did not enhance the performance of fattening pigs, nor did it result in higher carcass quality, meat quality, or fatty acid indices. Only the feed conversion ratio, meat color (yellow), and bone and meat phosphorus contents were significantly correlated with the phytase additive. Moreover, the observed reduction in the C22:4n6 content led to an increase in the C18:3n6/C22:4n6 ratio, which could be beneficial for animal health. Our findings also suggest that the Ca deposition in the bones was not affected by the phytase content in this type of diet. Moreover, in the current study, the phytase additive was given “on top”, similar to most practices on pig farms. This research could be improved by lowering the content of phosphate in the diet, which could slightly reduce diet costs.

Author Contributions: Conceptualization, A.Z.-Z. and M.K.-P.; methodology, A.B., A.Z.-Z., M.K.-P. and M.M.-P. software, M.M.-P. and A.B.; validation, A.Z.-Z., M.K.-P., D.L. and M.M.-P.; formal analysis, A.B., A.Z.-Z., M.M.-P. and D.L.; investigation, A.B.; resources, A.B.; data curation, A.B. and D.L.; writing—original draft preparation, A.B., A.Z.-Z., M.K.-P. and M.M.-P.; visualization, A.Z.-Z., A.B. and D.L.; supervision, A.Z.-Z. and M.K.-P.; project administration, A.Z.-Z.; funding acquisition, A.Z.-Z. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research was supported by the program ‘Improvement of native plant protein feeds, their production, trade turnover, and utilization in animal feed’ of the Ministry of Agriculture and Rural Development of Poland (No. 505.037.07) and a subsidy from the Ministry of Science and Higher Education of Poland.

Institutional Review Board Statement: Not applicable.

Informed Consent Statement: Not applicable.

Data Availability Statement: Data are available at a reasonable request to the corresponding authors.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest. The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses, or interpretation of data; in the writing of the manuscript, or in the decision to publish the results.

References

1. Raport InterPIG, AHDB—Cost Pig Production in 2021. 2022. Available online: <https://ahdb.org.uk/cost-of-production-in-selected-countries> (accessed on 24 April 2023).
2. Sieradzki, Z.; Mazur, M.; Król, B.; Kwiatek, K. Prevalence of genetically modified soybean in animal feeding stuffs in Poland. *Pol. J. Vet. Res.* **2021**, *65*, 93–99. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
3. 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. *Off. J. Eur. Union* **2010**, *276*, 33.
4. Choct, M.; Dersjant-Li, Y.; McLeish, J.; Peisker, M. Soy oligosaccharides and soluble non-starch polysaccharides: A review of digestion, nutritive and anti-nutritive effects in pigs and poultry. *Asian-Australas. J. Anim. Sci.* **2010**, *23*, 1386–1398. [[CrossRef](#)]
5. Radcliffe, J.S.; Brito, L.F.; Reddivari, L.; Schmidt, M.; Herman, E.M.; Schinckel, A.P. A swine model of soy protein-induced food allergenicity: Implications in human and swine nutrition. *Anim. Front.* **2019**, *9*, 52–59. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
6. Zaworska-Zakrzewska, A.; Kasproicz-Potocka, M.; Twarużek, M.; Kosicki, R.; Grajewski, J.; Wiśniewska, Z.; Rutkowski, A. A comparison of the composition and contamination of soybean cultivated in Europe and limitation of raw soy seed content in weaned pigs’ diets. *Animals* **2020**, *10*, 1972. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
7. Kasproicz-Potocka, M.; Zaworska-Zakrzewska, A.; Rutkowski, A. Effect of phytase on digestibility and performance of growing and finishing pigs fed diets with lupins and rapeseed meal. *J. Agric. Sci. Technol. A* **2020**, *10*, 121–131. [[CrossRef](#)]
8. Kasproicz-Potocka, M.; Gulewicz, P.; Zaworska-Zakrzewska, A. The content of raffinose oligosaccharides in legumes and their importance for animals. *J. Anim. Feed Sci.* **2022**, *31*, 265–275. [[CrossRef](#)]
9. Selle, P.H.; Ravindran, V.; Bryden, W.L.; Scott, T. Influence of dietary phytate and exogenous phytase on amino acid digestibility in poultry: A review. *Poult. Sci. J.* **2006**, *43*, 89–103. [[CrossRef](#)]

10. Dersjant-Li, Y.; Wealleans, A.L.; Barnard, L.P.; Lane, S. Effect of increasing *Buttiauxella* phytase dose on nutrient digestibility and performance in weaned piglets fed corn or wheat-based diets. *Anim. Feed Sci. Technol.* **2017**, *234*, 101–109. [[CrossRef](#)]
11. Wiśniewska, Z.; Nollet, L.; Lanckriet, A.; Vanderbeke, E.; Petkov, S.; Outchkourov, N.; Kasproicz-Potocka, M.; Zaworska-Zakrzewska, A.; Kaczmarek, S.A. Effect of phytase derived from the *e. Coli appa* gene on weaned piglet performance, apparent total tract digestibility and bone mineralization. *Animals* **2020**, *10*, 121. [[CrossRef](#)]
12. Ravindran, V.; Son, J.H. Feed enzyme technology: Present status and future developments. *Recent Pat. Food Nutr. Agric.* **2011**, *3*, 102–109.
13. Lalpanmawia, H.; Elangovan, A.V.; Sridhar, M.; Shet, D.; Ajith, S.; Pal, D.T. Efficacy of phytase on growth performance, nutrient utilization and bone mineralization in broiler chicken. *Anim. Feed Sci. Technol.* **2014**, *19*, 81–89. [[CrossRef](#)]
14. Wilcock, P.; Bradley, L.; Chewning, J.J.; Walk, C.L. The effect of superdosing phytase on inositol and phytate concentration in the gastrointestinal tract and its effect on pig performance. *J. Anim. Sci.* **2014**, *92*, 383.
15. Moran, K.; Boyd, R.D.; Zier-Rush, C.; Wilcock, P.; Bajjalieh, N.; Van Heugten, E. Effects of high inclusion of soybean meal and a phytase superdose on growth performance of weaned pigs housed under the rigors of commercial conditions. *J. Anim. Sci.* **2017**, *95*, 5455–5465. [[CrossRef](#)]
16. Dang, D.X.; Kim, I.H. Effects of adding high-dosing *Aspergillus oryzae* phytase to corn–wheat–soybean meal-based basal diet on growth performance, nutrient digestibility, faecal gas emission, carcass traits and meat quality in growing-finishing pigs. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* **2021**, *105*, 1056–1062. [[CrossRef](#)]
17. Cauble, R.N.; Greene, E.S.; Orłowski, S.; Walk, C.; Bedford, M.; Apple, J.; Kidd, M.T.; Dridi, S. Research Note: Dietary phytase reduces broiler woody breast severity via potential modulation of breast muscle fatty acid profiles. *Poult. Sci.* **2020**, *99*, 4009–4015. [[CrossRef](#)]
18. Gebert, S.; Bee, G.; Pfirter, H.P.; Wenk, C. Phytase and vitamin E in the feed of growing pigs: 2. Influence on carcass characteristics, meat and fat quality. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* **1998**, *81*, 20–30. [[CrossRef](#)]
19. Liu, N.; Ru, Y.; Wang, J.; Xu, T. Effect of dietary sodium phytate and microbial phytase on the lipase activity and lipid metabolism of broiler chickens. *Br. J. Nutr.* **2010**, *103*, 862–868. [[CrossRef](#)]
20. Biswas, P.; Pal, A.K.; Sahu, N.P.; Reddy, A.K.; Prusty, A.K.; Misra, S. Lysine and/or phytase supplementation in the diet of *Penaeus monodon* (Fabricius) juveniles: Effect on growth, body composition and lipid profile. *Aquaculture* **2007**, *265*, 253–260. [[CrossRef](#)]
21. Gesellschaft für Ernährungsphysiologie; Society of Nutrition Physiology. *Recommendations for the Supply of Energy and Nutrients to Pigs. Energy and Nutrients Requirements for Livestock*; Committee for Requirement Standards of the Society of Nutrition Physiology, Ed.; DLG-Verlags GmbH: Frankfurt, Germany, 2006.
22. AOAC. *Official Methods of Analysis of AOAC International*; Association of Official Analysis Chemists International: Rockville, MD, USA, 2016; 3172.
23. Grau, I.; Hamm, G. Die Bestimmung der Wasserbindung des Fleisches mittels der Preßmethode. *Fleischwirtschaft* **1956**, *8*, 733–734.
24. Kaczmarek, S.A.; Cowieson, A.J.; Hejdysz, M.; Rutkowski, A. Microbial phytase improves performance and bone traits in broilers fed diets based on soybean meal and containing lupin meal. *Anim. Prod. Sci.* **2016**, *56*, 1669–1676. [[CrossRef](#)]
25. Szpunar-Krok, E.; Wondolowska-Grabowska, A. Quality Evaluation Indices for Soybean Oil in Relation to Cultivar, Application of N Fertiliser and Seed Inoculation with *Bradyrhizobium japonicum*. *Foods* **2022**, *11*, 762. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
26. Mondal, N.; Bhat, K.V.; Srivastava, P.S. Variation in fatty acid composition in Indian germplasm of sesame. *J. Am. Oil Chem. Soc.* **2010**, *87*, 1263–1269. [[CrossRef](#)]
27. Berrueta, L.A.; Alonso-Salces, R.M.; Héberger, K. Supervised pattern recognition in food analysis. *J. Chrom. A* **2007**, *1158*, 196–214. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
28. Wu, X.; Ruan, Z.; Zhang, Y.G.; Hou, Y.Q.; Yin, Y.L.; Li, T.J.; Huang, R.L.; Chu, W.Y.; Kong, X.F.; Gao, B.; et al. True digestibility of phosphorus in different resources of feed ingredients in growing pigs. *Asian-Australas. J. Anim. Sci.* **2020**, *21*, 107–119. [[CrossRef](#)]
29. Cervantes, M.; Gómez, R.; Fierro, S.; Barrera, M.A.; Morales, A.; Araiza, B.A.; Zijlstra, R.T.; Sánchez, J.E.; Sauer, W.C. Ileal digestibility of amino acids, phosphorus, phytate and energy in pigs fed sorghum-based diets supplemented with phytase and Pancreatin®. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* **2011**, *95*, 179–186. [[CrossRef](#)]
30. Reis de Souza, T.C.; Escobar, K.; Aguilera, G.A.; Ramírez, B.E.; Mariscal-Landín, R.G. Sesame meal as the first protein source in piglet starter diets and advantages of a phytase: A digestive study. *S. Afr. J. Anim. Sci.* **2017**, *47*, 606–615. [[CrossRef](#)]
31. Grela, E.R.; Muszynski, S.; Czech, A.; Donaldson, J.; Stanislawski, P.; Kapica, M.; Brezvyň, O.; Musyka, V.; Kotsyumbas, I.; Tomaszewska, E. Influence of phytase supplementation at increasing grower—Finisher pigs fed phosphorus-deficient diets. *Animals* **2020**, *10*, 847. [[CrossRef](#)]
32. Guggenbuhl, P.; Calvo, E.P.; Fru, F. Effect of high dietary doses of a bacterial 6-phytase in piglets fed a corn-soybean meal diet. *J. Anim. Sci.* **2016**, *94*, 307–309. [[CrossRef](#)]
33. Zeng, Z.; Li, Q.; Tian, Q.; Zhao, P.; Xu, X.; Yu, S.; Piao, X. Super high dosing with a novel *buttiauxella* phytase continuously improves growth performance, nutrient digestibility, and mineral status of weaned pigs. *Biol. Trace Elem. Res.* **2015**, *168*, 103–109. [[CrossRef](#)]
34. Humer, E.; Schwarz, C.; Schedle, K. Phytate in pig and poultry nutrition. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* **2015**, *99*, 605–625. [[CrossRef](#)]
35. Holloway, C.L.; Dean Boyd, R.; Koehler, D.; Gould, S.A.; Li, Q.; Patience, J.F. The impact of “super-dosing” phytase in pig diets on growth performance during the nursery and grow-out periods. *Transl. Anim. Sci.* **2019**, *3*, 419–428. [[CrossRef](#)]

36. Szczuko, M.; Kaczkan, M.; Małgorzewicz, S.; Rutkowski, P.; Dębska-Ślizień, A.; Stachowska, E. The C18:3n6/C22:4n6 ratio is a good lipid marker of chronic kidney disease (CKD) progression. *Lipids Health Dis.* **2020**, *19*, 77. [[CrossRef](#)]
37. Sońta, M.; Rekiel, A.; Więcek, J.; Batorska, M.; Puppel, K. Alternative Protein Sources vs. GM Soybean Meal as Feedstuff for Pigs-Meat Quality and Health-Promoting Indicators. *Animals* **2021**, *11*, 177. [[CrossRef](#)]
38. Häuser, A.M. Einfluss von Fett und Tocopherol im Futter Sowie von Fleischtechnologischen Behandlungen auf die Oxidationsstabilität von Schweinefleisch-Patties. Ph.D. Dissertation, ETH Zurich, Zürich, Switzerland, 1991.

Disclaimer/Publisher's Note: The statements, opinions and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of MDPI and/or the editor(s). MDPI and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions or products referred to in the content.

Poznań, 13 czerwca 2023r.

OŚWIADCZENIE DO PUBLIKACJI NR II

Oświadczamy, że jesteśmy autorami pracy: Buzek A., Zaworska-Zakrzewska A., Muzolf-Panek M., Łodyga D., Lisiak D., Kasproicz-Potocka M. (2023). *Phytase Supplementation of Growing-Finishing Pig Diets with Extruded Soya Seeds and Rapeseed Meal Improves Bone Mineralization and Carcass and Meat Quality.* Life, 13, 1275. <https://doi.org/10.3390/life13061275>

Wkład współautorów w powstanie pracy:

Mgr Anna Buzek - opracowanie metodyczne, software, analiza danych, analiza prób materiału roślinnego i biologicznego, planowanie i przygotowanie doświadczenia, przygotowanie manuskryptu, zestawienie danych, przechowywanie i wizualizacja danych, wizualizacja danych

Poświadczam wkład
w powstanie niniejszej
pracy:

Anna Buzek

Dr inż. Anita Zaworska-Zakrzewska - koncepcja badań, opracowanie metodyczne, walidacja danych, analiza prób materiału roślinnego i biologicznego, nadzór nad realizacją badań, zestawienie, analiza i wizualizacja danych, wykonanie analiz statystycznych, przygotowanie manuskryptu, redagowanie odpowiedzi na recenzje i ostatecznej wersji manuskryptu, pozyskanie finansowania, zarządzanie projektem

Zaworska-Zakrzewska

Dr inż. Małgorzata Muzolf-Panek - opracowanie metodyczne, software, walidacja danych, analiza danych, przygotowanie manuskryptu

Muzolf-Panek Małgorzata

Mgr inż. Dagmara Łodyga - walidacja danych, przechowywanie i wizualizacja danych,

Łodyga

Dr hab. Małgorzata Kasproicz-Potocka - koncepcja badań, opracowanie metodyczne, walidacja danych, przygotowanie prób materiału roślinnego i biologicznego, przygotowanie manuskryptu, redagowanie odpowiedzi na recenzje, nadzór nad realizacją badań

Kasproicz-Potocka

Poznań, 15.06.2023

**Oświadczenie autora o zgodności
elektronicznej wersji pracy z jej formą wydrukowaną**

Anna Buzek
imię i nazwisko studenta

141 980
nr albumu

Niniejszym oświadczam, że załączona, wydrukowana wersja mojej pracy dyplomowej pt.

“Ocena efektywności mieszanek paszowych opartych na krajowych surowcach białkowych z dodatkiem enzymu fitazy w żywieniu tuczników.”

jest zgodna z wersją elektroniczną, która w postaci pliku została sprawdzona w Jednolitym Systemie Antyplagiatowym i wgrana do Wirtualnego Dziekanatu na moim koncie.

15/06/2023 Anna Buzek
.....
data i czytelny podpis autora