UNIWERSYTET WARMIŃSKO-MAZURSKI
W OLSZTYNIE
WYDZIAŁ BIOINŻYNIERII ZWIERZĄT

# ROZPRAWA DOKTORSKA

**mgr inż. Martyna Ewa Momot**

# WPŁYW RASY, WIEKU I INTENSYWNOŚCI OPASU BYDŁA NA PROFIL KWASÓW TŁUSZCZOWYCH ORAZ ZAWARTOŚĆ WYBRANYCH SKŁADNIKÓW MINERALNYCH I WITAMIN W MIĘŚNIU *LONGISSIMUS*

Rozprawa doktorska wykonana
w Katedrze Hodowli Bydła i Oceny Mleka
PROMOTOR: PROF. DR HAB. ZENON NOGALSKI

Praca powstała w ramach Projektów: WND-POIG.01.03.01-00-204/09 Optymalizacja produkcji wołowiny Polsce zgodnie ze strategią „od widelca do zagrody", współfinansowanego ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka 2007-2013; 1/270745/2/NCBR/2015 „Potencjał paszowy, energetyczny i ekonomiczny upraw ślazowca pensylwańskiego na glebach lekkich, odłogowanych i rekultywowanych" finansowanego ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju w ramach programu „Środowisko naturalne, rolnictwo i leśnictwo" – BIOSTRATEG.

Olsztyn, 2022

*Składam wyrazy wdzięczności prof. dr. hab. Zenonowi Nogalskiemu za wszechstronną pomoc, cenne wskazówki, poświęcony czas, życzliwość oraz cierpliwość i wyrozumiałość podczas pisania niniejszej pracy.*

*Szczególne podziękowania składam moim Bliskim za ogromne wsparcie oraz wiarę.*

*Dysertację dedykuję mojemu śp. Tacie.*

Podstawą niniejszej dysertacji są wyniki badań własnych, przedstawione w czterech oryginalnych publikacjach:

Publikacja 1.

**Momot M.**, Nogalski Z., Sobczuk-Szul M., Pogorzelska-Przybyłek P. 2016. Effect of fattening intensity on the fatty acid profile and mineral content of meat from Holstein-Friesian bulls. Journal of Elementology, 21 (4): 1081-1091.

(**IF=0,641; pkt=15 – rok 2016 / IF= 0,949; pkt=70 – rok 2022**)

Publikacja 2.

**Momot M.**, Nogalski Z., Sobczuk-Szul M., Pogorzelska-Przybyłek P., Modzelewska-Kapituła M. 2017. Health-promoting properties of meat from once-calved and maiden heifers. Journal of Elementology, 22 (4): 1243-1253.

(**IF=0,684; pkt=15 – rok 2017 / IF= 0,949; pkt=70 – rok 2022**)

Publikacja 3.

**Momot M.**, Nogalski Z., Pogorzelska-Przybyłek P., Sobczuk-Szul M. 2020. Influence of genotype and slaughter age on the content of selected minerals and fatty acids in the *Longissimus thoracis* muscle of crossbred bulls. Animals, 10, 2004.

(**IF= 2,752; pkt=100**)

Publikacja 4.

Nogalski Z., **Momot M.**, Pogorzelska-Przybyłek P., Sobczuk-Szul M., Modzelewska-Kapituła M. 2022. Fatty acid profile of intramuscular fat in the *Longissimus lumborum* and *Semimembranosus* muscles of bulls fed diets based on Virginia fanpetals, grass and maize silages. Annals of Animal Science, 22 (1): 419-437.

(**IF= 2,090; pkt=140**)

**Spis treści**

1. Wstęp ..... 5
2. Hipotezy badawcze oraz cele pracy ..... 6
3. Przegląd piśmiennictwa ..... 7
4. Materiał i metody ..... 15
   4.1. Modele biologiczne i układy doświadczeń ..... 15
      4.1.1. Doświadczenie I ..... 15
      4.1.2. Doświadczenie II ..... 16
      4.1.3. Doświadczenie III ..... 16
      4.1.4. Doświadczenie IV ..... 17
   4.2. Ubój i czynności poubojowe ..... 18
   4.3. Metody analityczne ..... 18
      4.3.1. Profil kwasów tłuszczowych ..... 18
      4.3.2. Zawartość wybranych składników mineralnych ..... 19
      4.3.3. Zawartość wybranych witamin ..... 19
   4.4. Analiza statystyczna ..... 20
5. Omówienie najważniejszych wyników badań ..... 21
6. Podsumowanie ..... 26
7. Wnioski ..... 27
8. Wykaz piśmiennictwa ..... 28
9. Streszczenie ..... 37
10. Abstract ..... 39
11. Załączniki ..... 41

## 1. Wstęp

Głównym celem hodowli bydła jest produkcja wysokowartościowego białka zwierzęcego (w postaci mleka i mięsa), którego w diecie człowieka nie można w pełni zastąpić białkiem roślinnym. Według wstępnych danych, podanych przez GUS (2022), w grudniu 2021 roku pogłowie bydła w Polsce liczyło 6371,5 tys. sztuk i było o 1,5% wyższe w porównaniu z analogicznym okresem roku 2020. W 2020 roku zajęliśmy 6 miejsce w Unii Europejskiej pod względem produkcji mięsa wołowego z uboju, z udziałem na poziomie 8,1%. Produkcja żywca wołowego (bez cieląt) w Polsce w 2020 roku wyniosła 1092,1 tys. ton (GUS, 2021). Średnie spożycie mięsa wołowego w krajach Unii Europejskiej wynosi 10,2 kg (EU, 2021) a w Polsce zaledwie 2,5 kg (GUS, 2021). Niskie spożycie wołowiny w naszym kraju wynika głównie z jej wysokiej ceny i na ogół niskiej jakości (Nogalski i in., 2013). W Polsce zaledwie 11% pogłowia stanowi bydło utrzymywane w stadach niedojonych (PFHBiPM, 2022), co oznacza, że wołowina pozyskiwana jest głównie w stadach mlecznych jako produkcja uboczna. Dlatego podnoszenie jakości produkowanej wołowiny ma znaczenie dla zwiększenia jej spożycia, jak i uzyskiwania wyższych cen eksportowych.

Zgodnie z Rozporządzeniem (WE) nr 853/2004 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 29.04.2004 roku „mięso" oznacza jadalne części zwierząt, w tym krew. Rozporządzenie to określa następujące zwierzęta: zwierzęta gospodarskie kopytne – bydło domowe (w tym gatunki *Bubalus bubalis* oraz *Bison bison*), świnie, owce, kozy; zwierzęta gospodarskie nieparzystokopytne; drób z wykluczeniem ptaków bezgrzebieniowych; zajęczaki; zwierzęta łowne; zwierzęta dzikie utrzymywane w warunkach fermowych. Do mięsa czerwonego zaliczane są wołowina, cielęcina, wieprzowina i jagnięcina. Główne korzyści zdrowotne związane z jedzeniem czerwonego mięsa dotyczą jego składu odżywczego (Williamson i in., 2005). Czerwone mięso, jest znaczącym i ważnym źródłem wysoko biologicznie aktywnego białka, tłuszczu, witamin (A, D, E, z grupy B) i składników mineralnych (w szczególności żelaza i cynku) (Biesalski, 2005), które są niezbędne do prawidłowego funkcjonowania organizmu dorosłego, a także wzrostu i rozwoju młodszego organizmu. Ponadto wołowina dostarcza w tłuszczu śródmięśniowym kwasy n-3 PUFA i izomer kwasu linolowego CLA (conjugated linoleic acid), które mają działanie prozdrowotne (Florek i in., 2007). Większość zdrowych, zbilansowanych diet będzie zawierać chude mięso w umiarkowanych ilościach, węglowodany skrobiowe (w tym produkty pełnoziarniste), dużo owoców i warzyw oraz umiarkowane ilości mleka i produktów mlecznych (Williamson i in., 2005).

## 2. Hipotezy badawcze oraz cele pracy

Szansą na zwiększenie krajowego spożycia jest zwiększenie zainteresowania konsumenta wołowiną poprzez wyeksponowanie jej niektórych walorów. Do podjęcia badań nad wpływem wybranych czynników na profil kwasów tłuszczowych oraz zawartość wybranych składników mineralnych i witamin w wołowinie skłoniły stosunkowo ubogie krajowe wyniki z tego zakresu oraz rosnąca świadomość konsumentów i związane z tym większe ich oczekiwania w odniesieniu do produktu.

Sformułowano następujące hipotezy badawcze:

- dobór rasy mięsnej buhajów do krzyżowania towarowego z krowami mlecznymi oraz wiek uboju zwierząt wpływają na zawartość składników mineralnych w mięsie oraz profil kwasów tłuszczowych tłuszczu śródmięśniowego,
- mięso pozyskane od tzw. razówek, w porównaniu z mięsem jałówek, nie różni się zawartością składników mineralnych i witamin oraz profilem kwasów tłuszczowych,
- rodzaj kiszonki skarmianej w opasie buhajów oraz intensywność ich żywienia wpływają na zawartość składników mineralnych i witamin w mięsie oraz profil kwasów tłuszczowych tłuszczu śródmięśniowego.

Przestawione hipotezy zostały zweryfikowane w czterech doświadczeniach, których celem było:

- określenie wpływu rasy buhajów użytych do krzyżowania towarowego z krowami mlecznymi i wieku uboju bydła na zawartość składników mineralnych w mięsie oraz profil kwasów tłuszczowych tłuszczu śródmięśniowego,
- porównanie zawartości składników mineralnych i witamin oraz profilu kwasów tłuszczowych w mięsie pozyskanym od razówek i jałówek,
- ocena wpływu rodzaju kiszonki skarmianej w opasie buhajów oraz intensywności opasania na zawartość składników mineralnych i witamin w mięsie buhajów oraz profil kwasów tłuszczowych tłuszczu śródmięśniowego.

## 3. Przegląd piśmiennictwa

Mięso praktycznie nie zawiera węglowodanów i składa się głównie z białka (dostarcza 4 kcal/g), w jego składzie obecny jest również tłuszcz (dostarcza 9 kcal/g). Im więcej tłuszczu zawiera mięso, tym wyższa jest jego wartość energetyczna (Chan i in., 1995). Białko pokarmowe jest niezbędne w procesie wzrostu organizmu oraz utrzymania go w odpowiedniej kondycji, może także dostarczać energii. Białko składa się z aminokwasów, a część z nich może być syntetyzowana w organizmie (aminokwasy endogenne). Natomiast aminokwasów egzogennych organizm nie jest w stanie syntetyzować, dlatego muszą być spożywane wraz z pokarmem. Istnieje osiem niezbędnych aminokwasów (fenyloalanina, leucyna, izoleucyna, lizyna, metionina, treonina, walina, tryptofan), a czerwone mięso jest ich ważnym źródłem. Surowe czerwone mięso zawiera średnio 20-24 g białka na 100 g produktu. W większości krajów rozwiniętych średnie spożycie białka dla wszystkich grup wiekowych przekracza minimalne zapotrzebowanie, a nadmiar białka w diecie jest wykorzystywany do dostarczania energii (Henderson i in., 2002; Williamson i in., 2005). Tłuszcz jest najbogatszym źródłem energii w diecie i dostarcza niezbędnych składników odżywczych, takich jak witaminy rozpuszczalne w tłuszczach i niezbędne kwasy tłuszczowe, ale należy go spożywać z umiarem (Harris, 2001). Tłuszcz składa się z różnych rodzajów kwasów tłuszczowych: nasyconych kwasów tłuszczowych (SFA), nienasyconych kwasów tłuszczowych (UFA). Powszechnie wiadomo, iż kwasy tłuszczowe mają różny wpływ na poziom cholesterolu we krwi. Niektóre kwasy tłuszczowe korzystnie wpływają na stężenia poszczególnych frakcji cholesterolu i proporcję między nimi, a inne kwasy tłuszczowe wykazują niekorzystny wpływ, dlatego ważne jest, aby wziąć pod uwagę cały profil kwasów tłuszczowych w żywności. Zawartość tłuszczu w mięsie czerwonym jest bardzo zróżnicowana (Higgs, 2000). Tkanka tłuszczowa u bydła odkłada się jako tłuszcz trzewny (pokrywa narządy wewnętrzne), tłuszcz podskórny (SC), tłuszcz międzymięśniowy (ITF) oraz tłuszcz śródmięśniowy (IMF) (Aldai i in., 2007). Tłuszcz śródmięśniowy, który jest powszechnie określany jako marmurkowatość, nadaje mięsu aromat, soczystość i kruchość, w związku z tym jest cenny ze względu na walory smakowe wołowiny (Scollan i in., 2006). Jednak to tłuszcz trzewny, podskórny i międzymięśniowy stanowią większość tłuszczów w organizmie i mają niską wartość handlową (Du i in., 2017). Skład chemiczny mięsa wołowego jest następujący: woda 75%, białko 18-23%, tłuszcz śródmięśniowy ≤5%, węglowodany <1%, składniki mineralne i witaminy 1% (Williamson i in., 2005).

Tłuszcz śródmięśniowy wołowiny składa się średnio z 53% nasyconych kwasów tłuszczowych, 43% jednonienasyconych kwasów tłuszczowych (MUFA) i 4% wielonienasyconych kwasów tłuszczowych (PUFA) (Domaradzki i in., 2019). Dominującymi SFA tłuszczu śródmięśniowego są kwas mirystynowy (C14:0; stanowi około 3% kwasów tłuszczowych), kwas palmitynowy (C16:0; około 25%) i kwas stearynowy (C18:0; około 18%). Dominującym MUFA w wołowinie jest kwas oleinowy (C18:1c9; stanowi około 35% kwasów tłuszczowych). W wołowinie występują także izomery cis i trans kwasu C18:1 (Abbas i in., 2009; Kołczak, 2008). Główne ważne PUFA występujące w wołowinie to kwas linolowy (C18:2; stanowi około 3,5% kwasów tłuszczowych), kwas α-linolenowy (C18:3; około 1,5%), sprzężony kwas linolowy (CLA, <1%), kwas arachidonowy (C20:4; około 1%), kwas eikozapentaenowy (EPA, C20:5; <1%), kwas dokozapentaenowy (DPA, C22:5; <1%) i kwas dokozaheksaenowy (DHA, C22:6; <1%) (Enser i in., 1998). Poszczególne SFA mają różny wpływ na stężenia frakcji cholesterolu lipoproteinowego osocza. Na przykład kwas laurynowy (C12:0), mirystynowy, palmitynowy zwiększają poziom cholesterolu LDL (lipoproteiny o niskiej gęstości) (Judd i in., 2002; Dannenberger i in., 2004). Uważa się, iż kwas mirystynowy zwiększa poziom LDL silniej niż kwas palmitynowy (Ulbricht i Southgate, 1991; Higgs, 2000), podczas gdy kwas stearynowy jest uważany za neutralny pod tym względem (Nicolosi i in., 1998; Williamson i in., 2005). Nieparzyste kwasy tłuszczowe (pentadekanowy – C15:0; margarynowy – C17:0) mogą gromadzić się w lipidach błonowych tkanki nerwowej, powodując zmienioną integralność mieliny i demielinizację, prowadząc ostatecznie do upośledzenia funkcjonowania układu nerwowego (Muller i in., 1998). Powszechnie uważa się, iż PUFA i MUFA korzystnie wpływają na zdrowie ludzkie. Kwasy tłuszczowe n-3 i n-6 należy dostarczać wraz z dietą, ponieważ nie są syntetyzowane *de novo* w organizmie człowieka i innych ssaków monogastrycznych. Te kwasy tłuszczowe działają jako nośniki witamin rozpuszczalnych w tłuszczach (A, D, E i K) i odgrywają kluczową rolę w odpowiedzi immunologicznej. Kwas linolowy, zaliczany do rodziny n-6, odgrywa ważną rolę w chorobie sercowo-naczyniowej, pomaga bowiem obniżyć poziom cholesterolu w surowicy. Jest on ważnym składnikiem strukturalnym błon komórkowych (Webb i O'Neill, 2008). Kwas oleinowy również wpływa na zmniejszenie niepożądanej frakcji cholesterolu LDL (von Schacky i in., 1999). Kwasy EPA i DHA, z rodziny n-3, chronią przed chorobami sercowo-naczyniowymi, obniżają stężenie trójglicerydów osocza, obniżają ciśnienie krwi, zapobiegają arytmiom, zmniejszają agregację płytek krwi, a także wykazują właściwości przeciwzapalne (Breslow, 2006; Williams, 2000). Sprzężony kwas linolowy (CLA) to grupa izomerów kwasu linolowego występująca na ogół u przeżuwaczy i w produktach mlecznych.

Najbardziej reprezentatywnymi izomerami CLA są cis-9 trans-11 oraz trans-10 cis-12. Wykazano, iż CLA ma właściwości immunomodulujące, antymutagenne, przeciwnowotworowe, przeciwcukrzycowe (cukrzyca typu II), zapobiegające nadciśnieniu, a także może odgrywać rolę w kontroli otyłości i zapobieganiu miażdżycy. Oznacza to, że CLA może skutecznie zapobiegać chorobom związanym ze stylem życia lub zespołom metabolicznym (Azain, 2003; Hartigh, 2019; Koba i Yanagita, 2014; Du i in., 2000). Podwójne wiązania między atomami węgla w nienasyconych kwasach tłuszczowych występują w formie trans lub cis, co wpływa na działanie kwasu tłuszczowego. Kwasy tłuszczowe występujące naturalnie mają formę cis. Kwasy w konfiguracji trans powstają u przeżuwaczy w wyniku naturalnego biologicznego uwodornienia kwasów tłuszczowych cis, które zachodzi w wyniku działania bakterii jelitowych. Wykazano, że wysokie spożycie kwasów tłuszczowych trans wpływa niekorzystnie na stosunek lipoprotein o niskiej gęstości (LDL) do lipoprotein o wysokiej gęstości (HDL), co jest czynnikiem ryzyka choroby sercowo-naczyniowej (Williamson i in., 2005). Należy zauważyć, że naturalne tłuszcze trans znajdujące się w mięsie i mleku przeżuwaczy mogą nie mieć tak niekorzystnego wpływu na stężenie lipidów w krwi (BNF, 1995b). Interesujące jest to, że jedno z dwóch podwójnych wiązań w większości form CLA znajduje się w konfiguracji trans (Kelley i Erickson, 2003). Kwas elaidynowy (C18:1 T6+9) to jednonienasycony kwas tłuszczowy trans, który może podnieść poziom cholesterolu LDL w surowicy (Nestel i in., 1994). Badania wykazały, że żywność wzbogacona w kwas elaidynowy przyczyniała się do zwiększenia stężenia cholesterolu LDL (Kromhout i in., 1995). Pomimo, iż kwas wakcenowy (C18:1 T10+11) należy do kwasów trans, to uznany jest za korzystnie wpływający na zdrowie człowieka. Jest to główny kwas tłuszczowy trans występujący w czerwonym mięsie i nie wpływa on na stężenie cholesterolu całkowitego ani cholesterolu LDL (McAfee i in., 2010). Proporcje PUFA/SFA i n-6/n-3 są dobrymi wskaźnikami wartości odżywczej tłuszczu w diecie (Alfaia i in., 2007a; 2007b). Xie i in. (2012) stwierdzili, że wzrost udziału PUFA i niższa proporcja n-6/n-3 są pożądane dla zdrowia człowieka. Współczynnik PUFA/SFA w diecie człowieka powinien przekraczać wartość 0,45 (British Department of Health, 1994). Według Bartnikowskiej i Kulasek (1994) optymalna proporcja n-6/n-3 w diecie człowieka wynosi 2-5:1, natomiast według Wijendrana i Hayesa (2004) powinna wynosić około 6:1. Według British Department of Health (1994) proporcje pomiędzy n-6/n-3 nie powinny przekraczać 4,0. Wysoki współczynnik n-6/n-3 uważany jest za czynnik ryzyka niektórych chorób cywilizacyjnych. We współczesnej diecie współczynnik n-6/n-3 jest zdecydowanie za wysoki i wynosi nawet 10-15:1 (Breslow, 2006).

Wołowina jest bogatym źródłem składników mineralnych, zwłaszcza fosforu, potasu, magnezu i cynku. Spośród powszechnie spożywanych produktów białkowych czerwone mięso jest jednym z najlepszych źródeł łatwo przyswajalnego żelaza i cynku (Mateescu i in., 2013). Cynk jest ważny dla odporności, wzrostu i replikacji komórek, jest składnikiem niektórych metaloenzymów. Może dodatkowo przyczyniać się do ogólnej obrony antyoksydacyjnej. Podstawowymi źródłami cynku w diecie człowieka są czerwone mięso, owoce morza, drób, zboża, nabiał, rośliny strączkowe i warzywa (Biesalski, 2005). Czerwone mięso jest bogatym źródłem łatwo dostępnego cynku, podczas gdy zboża zawierają wysoki poziom kwasu fitynowego, silnego inhibitora absorpcji cynku (Gibson i in., 2001). Żelazo odgrywa ważną rolę jako nośnik tlenu w hemoglobinie we krwi lub mioglobinie w mięśniach, jest on również niezbędny w wielu procesach metabolicznych (Williamson i in., 2005). Żelazo charakteryzuje się wyższą biodostępnością, gdy pochodzi z mięsa, jako żelazo hemowe, niż żelazo pochodzenia roślinnego (Biesalski, 2005). Około 20-30% żelaza hemowego jest wchłaniane w jelicie, podczas gdy żelaza niehemowego zaledwie 7% (BNF, 1995a). Wapń, magnez i fosfor są niezbędne dla wielu różnych funkcji organizmu, takich jak mineralizacja kości, służą jako kofaktory w wielu układach enzymatycznych, podtrzymują pobudzenie mięśni i komórek nerwowych (Clarkson i Haymes, 1995). W szczególności magnez ma silny związek z układem odpornościowym, zarówno pod względem niespecyficznej, jak i specyficznej odpowiedzi immunologicznej (Tam i in., 2003).

Czerwone mięso zawiera szereg witamin z grupy B: tiaminę (B1), ryboflawinę (B2), kwas pantotenowy (B5), kwas foliowy (B9), niacynę (B3), pirydoksynę (B6) i kobalaminę (B12) (Chan i in., 1995), a także witaminy D, E oraz A. Witaminy z grupy B działają jako kofaktory w różnych układach enzymatycznych organizmu. Mięso i produkty pochodzenia zwierzęcego są jedynymi produktami, które naturalnie dostarczają witaminę B12. Osoby, które wykluczają takie produkty ze swojej diety, są narażone na ryzyko jej niedoboru (Herbert, 1994). Główną funkcją witaminy D jest utrzymanie w organizmie prawidłowego poziomu wapnia i fosforu. Odgrywa ona istotną rolę nie tylko w chorobach szkieletowych, ale także w chorobach układu sercowo-naczyniowego, chorobach nowotworowych, chorobach autoimmunologicznych, a także niektórych chorobach psychicznych (Napiórkowska i Franek, 2009). Większość witaminy D pochodzi z działania światła słonecznego na 7-dehydrocholesterol w skórze. Osoby przebywające w pomieszczeniach i noszące kryjące ubrania powinny szczególnie zwracać uwagę na dostarczenie jej wraz z dietą (MAFF, 1995). Metabolit witaminy D, 25-hydroksycholekalcyferol (25-OH-D3), występuje w znacznych ilościach w mięsie i wątrobie i uważa się, że ma wysoką aktywność biologiczną, co skutkuje lepszym i szybszym

wchłanianiem z pożywienia (Groff i in., 1995). W mięsie znajdują się niewielkie ilości witaminy E. Ponieważ jest to witamina rozpuszczalna w tłuszczach, jej stężenie będzie wyższe w bardziej tłustym mięsie. Oleje roślinne są szczególnie bogate w witaminę E, a zatem włączanie olejów z nasion do paszy dla zwierząt przyczynia się do wzrostu zawartości tej witaminy w mięsie. Podroby, zwłaszcza wątroba, są dobrym źródłem witaminy A (w postaci retinolu). Jednak ilość obecna w wątrobie może być zmienna i będzie zależeć od wieku zwierzęcia i składu spożywanej paszy (Williamson i in., 2005).

W Polsce na przestrzeni ostatnich 40 lat nastąpiły duże zmiany w konsumpcji mięsa wołowego. W 1980 roku spożycie wołowiny kształtowało się na poziomie 18,5 kg/osobę, w 1990 roku było to już 16,4 kg/osobę, natomiast 5 lat później spadło aż do 8,8 kg/osobę (Michalska i in., 2013). Z roku na rok obserwowano coraz większy spadek spożycia mięsa wołowego: 7,1 kg/osobę w 2000 roku; 3,9 kg/osobę w 2005 roku; 2,4 kg/osobę w 2010 roku; 1,2 kg/osobę w 2015 roku. W 2020 roku konsumpcja mięsa wyniosła 72,9 kg, w tym 40,8 kg wieprzowiny, 29,2 kg mięsa drobiowego i jedynie 2,5 kg wołowiny (GUS, 2012-2021). Tak niskie spożycie wołowiny związane jest ze zbyt niską jej jakością niewspółmierną z wysoką ceną, a także przekonaniem, że zawiera ona wysoką zawartość tłuszczu bogatego w nasycone kwasy tłuszczowe. Pomimo obecności wielu potencjalnie ochronnych składników odżywczych, często uważa się, że wołowina przyczynia się do zwiększonego ryzyka choroby sercowo-naczyniowej. Relacje między tłuszczem w diecie człowieka a występowaniem chorób cywilizacyjnych, w szczególności choroby wieńcowej serca, są dobrze opisane i przyczyniło się to do opracowania przez Światową Organizację Zdrowia specyficznych wytycznych. Zaleca się, aby spożycie tłuszczu ogółem wynosiło 15-30% całkowitego poboru energii, n-6 PUFA 5-8%, n-3 PUFA 1-2% (WHO, 2003), SFA mniej niż 10%, a tłuszczy trans poniżej 1% (WHO, 2003, 2018). Zachęca się do ograniczenia spożycia SFA i zwiększenia spożycia n-3 PUFA (WHO, 2003). Zastąpienie SFA (C12:0-C16:0) przez PUFA obniża proporcję cholesterolu całkowitego do HDL oraz poziom frakcji LDL. Podobny, ale mniejszy efekt uzyskuje się poprzez zastąpienie SFA przez MUFA (FAO, 2010).

Jakość tuszy uzależniona jest od genotypu opasa, płci, wieku i masy ciała na koniec opasu oraz intensywności żywienia (Morales i in., 2012; Nogalski i in., 2014a; Toro i in., 2009). Stężenie składników mineralnych w mięsie zmienia się w zależności od żywienia (Holló i in., 2007), genotypu i wieku zwierzęcia (Giuffrida-Mendoza i in., 2007), typu mięśnia (Cabrera i in., 2010; Czerwonka i Szterk, 2015; Purchas i Busboom, 2005), czynników geograficznych (Hintze i in., 2001; 2002). Według Duckett i in. (2009) różnice w wynikach zawartości składników mineralnych są częściowo spowodowane dużą różnorodnością grup

genetycznych, rodzajów pasz i praktyk zarządzania. W opinii Garcia-Vaquero i in. (2011), w sytuacjach o odpowiednim stanie mineralnym, stężenia składników mineralnych w mięśniu zależą od ich własnego metabolizmu wewnętrznego. Szersza wiedza na temat składu mineralnego wołowiny i czynników na nią wpływających jest potrzebna nie tylko z naukowego punktu widzenia, ale także dla konsumenta, który mógłby wybrać bardziej odpowiadający mu produkt (Barge i in., 2005). Kompozycja kwasów tłuszczowych w wołowinie w największej mierze zależy od rasy, wieku zwierzęcia, płci (Malau-Aduli i in., 1997; 1998) i czynników żywieniowych (Dhiman i in., 2005; Morales i in., 2012). Różnice w kompozycji kwasów tłuszczowych pomiędzy rasami wynikają z różnej ekspresji genów lub aktywności enzymów biorących udział w syntezie kwasów tłuszczowych (De Smet i in., 2004). Wraz z wiekiem zwiększa się zawartość tkanki podskórnej i tłuszczu śródmięśniowego, podczas gdy zmniejsza się stosunek kwasów wielonienasyconych do nasyconych kwasów tłuszczowych (Warren i in., 2008). U przeżuwaczy skład tłuszczu jest mniej zmienny niż u zwierząt monogastrycznych i trudniej jest modyfikować profil kwasów tłuszczowych mięsa ze względu na wpływ bakterii jelitowych (Higgs, 2000).

W Polsce 85% pogłowia stanowi bydło ras mlecznych, a jedynie 15% bydło ras mięsnych i mieszańców ras mięsnych i mlecznych. Z związku z tym produkcja wołowiny na krajowym rynku opiera się głównie na bydle rasy polskiej holsztyńsko-fryzyjskiej (phf), a mięso pozyskiwane jest jako produkt uboczny produkcji mleka. Obecnie podstawowym źródłem surowca dla zakładów mięsnych jest młode bydło rzeźne phf, jak również wybrakowane krowy tej rasy. Tusze pozyskane od takich zwierząt charakteryzują się gorszymi parametrami rzeźnymi i jakościowymi (niższym wskaźnikiem wydajności rzeźnej, gorszym stopniem uformowania tuszy). W celu zwiększenia produkcji wołowiny i poprawy jakości mięsa, dobrym rozwiązaniem wydaje się wykorzystanie krzyżowania towarowego krów ras mlecznych z buhajami ras mięsnych (Nogalski i in., 2013). Krzyżowanie towarowe jest metodą hodowlaną pozwalającą na wykorzystanie efektów dziedziczenia pośredniego cech rodzicielskich oraz ewentualnej heterozji, będącej efektem nieaddytywnego działania genów. Pozwala na szybką, doraźną poprawę cech jakościowych i ilościowych (Litwińczuk, 2012). Hybrydy $F_1$ uzyskane drogą krzyżowania są wykorzystywane do opasania i charakteryzują się wyższym tempem wzrostu, lepszym wykorzystaniem paszy i wyższą wydajnością rzeźną. Krzyżowanie przyczynia się do zwiększenia udziału mięsa i zmniejszenia udziału tłuszczu w tuszy oraz do polepszenia jakości wołowiny (Litwińczuk, 2012; Nogalski i in., 2013). Naturalnym źródłem buhajów mięsnych i nasienia wykorzystywanych do krzyżowania jest czystorasowa mięsna populacja bydła. Według stanu na dzień 31 grudnia 2020 roku,

populacja krów ocenianych wszystkich ras bydła mięsnego wynosiła 22146 sztuk. Obecnie w Polsce zarejestrowanych jest 14 wyspecjalizowanych ras bydła mięsnego, dla których prowadzona jest ocena wartości użytkowej i hodowlanej. Najliczniejszą rasą bydła mięsnego w Polsce jest rasa limousine (lm). Pogłowie tej rasy w 2020 roku wynosiło 16368 sztuk, co stanowi 73,9 % populacji ocenianej. Drugą, pod względem liczebności jest populacja krów rasy hereford (hh) – 1514 sztuk, trzecią rasa charolaise (ch) – 1503 sztuk (PZHiPBM, 2021). Współczesne bydło rasy limousine to zwierzęta dużego kalibru. Buhaje mogą osiągać 1000-1200 kg masy, a krowy 650-800 kg. Rasa ta wyróżnia się wybitnymi cechami umięśnienia przy niskiej zawartości tłuszczu w tuszy, dużymi zdolnościami adaptacyjnymi, dobrym zdrowiem, a także łatwością wycieleń (PZHiPBM, 2019c). Współczesne bydło rasy hereford to zwierzęta średniego kalibru. Buhaje mogą osiągać ok. 900 kg masy ciała, a krowy ok. 600 kg. Rasa ta charakteryzuje się bardzo dużą łatwością aklimatyzacji, również w warunkach ekstensywnych, dobrymi przyrostami masy ciała, łagodnym temperamentem, łatwymi porodami (PZHiPBM, 2019b). Współczesne bydło rasy charolaise to zwierzęta dużego kalibru. Buhaje mogą osiągać 1000-1200 kg masy ciała, a krowy 700-900 kg. Rasa ta charakteryzuje się wysokimi przyrostami masy ciała (wymaga nieco intensywniejszego żywienia), spokojnym temperamentem, natomiast porody powinny być monitorowane (PZHiPBM, 2019a).

Wobec braku na rynku dostatecznej ilości cieląt buhajków przydatnych do opasu, konieczne staje się wykorzystanie do tego jałówek. W Polsce rocznie ubija się około 200 tys. jałówek. Pewnym rozwiązaniem jest wykorzystanie mniej wartościowych pod względem hodowlanym jałówek mlecznych jako razówki. Wykorzystanie razówek jest szansą na pozyskiwanie deficytowych na rynku cieląt oraz polepszenie jakości produkowanego mięsa. Jałówki mleczne nieprzydatne do dalszej hodowli inseminuje się nasieniem buhajów ras mięsnych. Po wycieleniu, razówki przez kilka miesięcy karmią potomstwo, a następnie są przeznaczane do uboju. Również jałówki pochodzące z krzyżowania towarowego zamiast opasać, można wykorzystać jako razówki (Nogalski i in., 2014b).

Koszty pasz stanowią 70-80% kosztów produkcji wołowiny. Żywienie wpływa na tempo przyrostów masy ciała zwierząt, wartość rzeźną oraz jakość mięsa. Poszukuje się pasz tanich, dających wysoki plon oraz wpływających korzystnie na efektywność opasania i jakość produkowanej wołowiny. W grupie mało znanych roślin, które mogą mieć znaczenie jako rośliny pastewne jest ślazowiec pensylwański (*Sida hermaphrodita* Rusby). Ślazowiec pensylwański to wieloletnia roślina z rodziny ślazowatych (*Malvaceae*), uprawiana głównie z przeznaczeniem na biomasę energetyczną (Borkowska i Molas, 2012). Liście sida, które

zawierają substancje śluzopodobne i flawonoidy, mogą być wykorzystywane do celów farmaceutycznych (Borkowska i Styk, 2006). Roślina ta może być również odpowiednia do produkcji pasz ze względu na wysoki potencjał plonowania, odporność na wyleganie i przymrozki, niskie wymagania glebowe oraz wysoką tolerancję na susze (Franzaring i in., 2014). *Sida hermaphrodita* może wyprodukować 10-20 t suchej masy rocznie (Borkowska i in., 2009; Titei, 2015). Skład chemiczny ślazowca pensylwańskiego, a zwłaszcza zawartość białka, jest porównywalny z lucerną. W badaniach Tarkowskiego (2008), w fazie rozwoju pąków ziele sida charakteryzowało się najwyższą zawartością białka ogólnego (17-28% w przeliczeniu na suchą masę). Wadą ślazowca pensylwańskiego jest to, iż roślina ta jest trudna do więdnięcia przed zakiszaniem. Czynniki antyodżywcze (garbniki, kwas fitynowy, aktywność antytrypsynowa), obecne w niewielkich ilościach w liściach sida, nie stanowią zagrożenia dla zdrowia nawet młodych zwierząt (Borkowska, 1994).

## 4. Materiał i metody

Badania prowadzono w Zakładzie Produkcyjno-Doświadczalnym Bałcyny sp. z o.o., w znajdującym się tam laboratorium opasu. Analizy jakości mięsa wykonywano w laboratorium Katedry Hodowli Bydła i Oceny Mleka Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie. Analizę pasz przeprowadzała Katedra Żywienia Zwierząt i Paszoznawstwa Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie. Wszelkie procedury wykonywano na zwierzętach po uprzedniej zgodzie Komisji Etycznej Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie (decyzja 121/2010). Podczas doświadczeń zwierzęta pozostawały pod opieką weterynaryjną.

### 4.1. Modele biologiczne i układy doświadczeń

#### 4.1.1. Doświadczenie I

Doświadczenie I zostało opisane w publikacji:

Momot M., Nogalski Z., Sobczuk-Szul M., Pogorzelska-Przybyłek P. 2016. Effect of fattening intensity on the fatty acid profile and mineral content of meat from Holstein-Friesian bulls. Journal of Elementology, 21 (4): 1081-1091.

Materiał badawczy stanowiło 20 buhajów rasy polskiej holsztyńsko-fryzyjskiej. Cielęta odchowano w systemie tradycyjnym (preparat mlekozastępczy, siano i mieszanka treściwa, a w późniejszym okresie odchowu także kiszonka z traw). Zwierzęta od 6 miesiąca życia opasano półintensywnie wykorzystując *ad libitum* dawkę TMR (total mixed ration) składającą się z kiszonki z traw i mieszanki treściwej. W wieku 11 miesięcy i przy masie ciała około 370 kg zwierzęta umieszczono w budynku opasu kontrolowanego i podzielono metodą analogów na dwie grupy (SI – opasanie półintensywne oraz I – opasanie intensywne) po 10 sztuk. W okresie 1-60 dni opasania grupa SI otrzymywała wyłącznie *ad libitum* TMR I (kiszonka z kukurydzy; śruta rzepakowa; premiks, Cargill Poland Sp. z o.o., Warszawa, Polska), odpowiednio w proporcji wg suchej masy 87:12:1. Grupa I dodatkowo otrzymywała 2 kg śruty z pszenżyta. Po 60 dniach opasania zmieniono proporcje TMR II do 89:10:1 oraz grupie I zwiększono dawkę paszy treściwej do 2,5 kg. TMR zadawano dwa razy dziennie samobieżnym wozem paszowym, natomiast buhaje grupy I śrutę z pszenżyta pobierały z automatycznej stacji paszowej. Opasanie prowadzono przez 8 miesięcy do uzyskania przez zwierzęta wieku 19 miesięcy.

### 4.1.2. Doświadczenie II

Doświadczenie II zostało opisane w publikacji:

Momot M., Nogalski Z., Sobczuk-Szul M., Pogorzelska-Przybyłek P., Modzelewska-Kapituła M. 2017. Health-promoting properties of meat from once-calved and maiden heifers. Journal of Elementology, 22 (4): 1243-1253.

Badaniami objęto 33 zwierzęta (16 jałówek i 17 razówek) pochodzące z krzyżowania krów rasy polskiej holsztyńsko-fryzyjskiej z buhajami rasy limousine. Do inseminacji użyto nasienia 9 buhajów. Cielęta odchowywano w systemie tradycyjnym (preparat mlekozastępczy, siano i mieszanka treściwa, a w późniejszym okresie odchowu także kiszonka z traw). Od 6 miesiąca życia zwierzęta opasano półintensywnie wykorzystując dawkę TMR (kiszonka z traw oraz mieszanki treściwe I i II). Mieszankę treściwą I stosowano przy masie ciała do 300 kg, a mieszankę treściwą II przy masie ciała jałówek powyżej 300 kg. Kiszonka stanowiła 75% suchej masy dawki, a mieszanka treściwa 25%. W skład mieszanek treściwych wchodziły śruta z pszenżyta, poekstrakcyjna śruta rzepakowa i premiks. Skład chemiczny stosowanych pasz przedstawiono we wcześniejszej publikacji (Nogalski i in., 2016). W wieku 12 miesięcy jałówki podzielono metodą analogów na 2 grupy. 16 jałówek opasano półintensywnie do 18 miesiąca życia, po czym poddawano je ubojowi. Pozostałe 17 jałówek w wieku 466,3 dni i przy średniej masie ciała 432,8 kg zainseminowano nasieniem buhajów rasy limousine. Razówki wycieliły się średnio w wieku 24,5 miesiąca życia. Cielęta przebywały z matkami przez 102 dni. Po odsadzeniu cieląt, razówki transportowano do zakładu ubojowego.

### 4.1.3. Doświadczenie III

Doświadczenie III zostało opisane w publikacji:

Momot M., Nogalski Z., Pogorzelska-Przybyłek P., Sobczuk-Szul M. 2020. Influence of genotype and slaughter age on the content of selected minerals and fatty acids in the *Longissimus thoracis* muscle of crossbred bulls. Animals, 10, 2004.

Materiał badawczy stanowiły 72 buhaje mieszańce pochodzące z krzyżowania krów rasy polskiej holsztyńsko-fryzyjskiej z buhajami ras hereford, limousine i charolaise. Cielęta zakupiono w wieku 2-3 tygodni i kierowano na 7-dniową kwarantannę. Buhajki odchowywano w systemie tradycyjnym (preparat mlekozastępczy, siano i mieszanka treściwa,

a w późniejszym okresie odchowu także kiszonka z traw). W wieku 181 dni buhaje skierowano na opasanie właściwe. Zwierzęta opasano w systemie półintensywnym wykorzystując *ad libitum* dawkę TMR składającą się z kiszonki z traw i mieszanki treściwej. Buhajom o masie ciała poniżej 300 kg podawano TMR zawierający mieszankę treściwą I (pszenżyto, 71%; poekstrakcyjna śruta rzepakowa, 25%; premiks (Cargill Poland Sp. z o.o., Warszawa, Polska), 4%), a buhajom o masie ciała powyżej 300 kg podawano TMR zawierający mieszankę treściwą II (odpowiednio: 77%; 19%; 4%). Proporcje suchej masy mieszanek treściwych do suchej masy kiszonki wynosiły 25:75. Opasanie prowadzono w wolnostanowiskowej oborze do osiągnięcia przez buhaje wieku 15, 18 i 21 miesięcy.

### 4.1.4. Doświadczenie IV

Doświadczenie IV zostało opisane w publikacji:

Nogalski Z., Momot M., Pogorzelska-Przybyłek P., Sobczuk-Szul M., Modzelewska-Kapituła M. 2022. Fatty acid profile of intramuscular fat in the *Longissimus Lumborum* and *Semimembranosus* muscles of bulls fed diets based on Virginia fanpetals, grass and maize silages. Annals of Animal Science, 22 (1): 419-437.

Materiał badawczy stanowiło 40 buhajów rasy polskiej holsztyńsko-fryzyjskiej. Cielęta odchowywano w systemie tradycyjnym (preparat mlekozastępczy, siano i mieszanka treściwa, a w późniejszym okresie odchowu także kiszonka z traw). Zwierzęta od 5 miesiąca życia żywiono półintensywnie wykorzystując *ad libitum* dawkę TMR (kiszonka z traw uzupełniana 2 kg mieszanki treściwej i premiksem). W wieku 16 miesięcy, kiedy buhaje osiągnęły masę ciała około 450 kg, przydzielono je metodą analogów (na podstawie masy ciała) do czterech grup (zwierzęta były w podobnym wieku) po dziesięć sztuk. W 7-miesięcznym okresie opasania grupy żywiono różnymi rodzajami kiszonki (kiszonka z kukurydzy; kiszonka z traw; kiszonka ze ślazowca pensylwańskiego, *Sida hermaphrodita* Rusby) uzupełnianymi mieszanką treściwą (pszenżyto; śruta rzepakowa; premiks, Cargill Poland Sp. z o.o., Warszawa, Polska). Grupa 1 (kontrolna) opasana była kiszonką z traw (GS); grupa 2 – kiszonką ze ślazowca pensylwańskiego (VFS); grupa 3 – kiszonką ze ślazowca pensylwańskiego i kiszonką z traw (VFS+GS); grupa 4 – kiszonką ze ślazowca pensylwańskiego i kiszonką z kukurydzy (VFS+MS). Wszystkie grupy karmiono *ad libitum* poszczególnymi dawkami TMR.

## 4.2. Ubój i czynności poubojowe

Na koniec opasu zwierzęta transportowano do Zakładów Mięsnych „Warmia" w Biskupcu (Mardi sp. z o.o.), gdzie trzymano je w magazynie żywca z dostępem do wody przez 15-24 godziny. Zwierzęta ważono przed ubojem, ogłuszano, poddawano ubojowi, wykrwawiano, skórowano, tusze dzielono na dwie części, które następnie schładzano przez 96 godzin w temperaturze +4 °C. Półtusze ważono z dokładnością do 0,5 kg na automatycznej wadze liniowej. Klasę uformowania i otłuszczenia tuszy oceniał uprawniony klasyfikator w oparciu o kryteria systemu EUROP (Kien, 2004). Pobierano wycinek mięśnia najdłuższego grzbietu (*musculus longissimus dorsi*, MLD). W doświadczeniach I-III pomiędzy 11 a 13 kręgiem piersiowym (*musculus longissimus thoracis*, MLT), a w doświadczeniu IV pomiędzy 1 a 3 kręgiem lędźwiowym (*musculus longissimus lumborum*, MLL). Dodatkowo w doświadczeniu IV pobierano wycinek mięśnia półbłoniastego (*musculus semimembranosus*, SM). Próbki zapakowane próżniowo zostały przetransportowane (+4 °C) do laboratorium. Ubój i czynności poubojowe przeprowadzano zgodnie z Rozporządzeniem Rady (WE) nr 1099/2009 z dnia 24 września 2009 roku w sprawie ochrony zwierząt podczas ich uśmiercania.

## 4.3. Metody analityczne

### 4.3.1. Profil kwasów tłuszczowych

Analizę profilu kwasów tłuszczowych przeprowadzano w doświadczeniach I-IV.

W celu określenia profilu kwasów tłuszczowych w wołowinie, z próbek mięsa ekstrahowano tłuszcz śródmięśniowy metodą Soxhleta (B-811; Büchi, Flawil, Szwajcaria), wykorzystując n-heksan jako rozpuszczalnik (POCH, Gliwice, Polska) (PN-ISO 1444, 2000). Estry metylowe kwasów tłuszczowych otrzymywano poprzez metylacje w mieszaninie metanol–chloroform–$H_2SO_4$ (odpowiednio: POCH, Gliwice, Polska; STANLAB, Lublin, Polska; STANLAB, Lublin, Polska) zgodnie ze zmodyfikowaną metodą Peiskera (Żegarska i in., 1991) oraz Normą PN-EN ISO 5509 (2001). Zawartość kwasów tłuszczowych w tłuszczu śródmięśniowym określano metodą chromatografii gazowej (CP-3800; Varian, Palo Alto, CA, USA) (PN-EN ISO 5508, 1996). Aparat wyposażony był w dozownik typu split/splitless i detektor płomieniowo-jonizacyjny (FID). Próbkę przygotowanych estrów metylowych kwasów tłuszczowych w ilości 1 µl wprowadzano na kolumnę

chromatograficzną Varian Capillary Column Select™ FAME za pomocą strzykawki Hamiltona przy wykorzystaniu autosamplera (CP-8410; Varian, Palo Alto, CA, USA). Długość kolumny wynosiła 100 m, a średnica wewnętrzna 0,25 mm. Jako gazu nośnego użyto helu. Temperatura dozownika wynosiła 260 ºC, a całkowity czas trwania jednej analizy 68 minut. Identyfikację kwasów tłuszczowych przeprowadzano na podstawie czasu ich retencji w stosunku do czasu retencji standardów kwasów tłuszczowych oraz ich mieszanin firmy Supelco (Sigma Aldrich, Bellefonte, PA, USA). Analizy badanych próbek i standardów wykonywano w takich samych warunkach rozdziału. Oprogramowaniem służącym do sterowania i akwizycji danych z chromatografu gazowego była Chromatograficzna Stacja Robocza GALAXIE.

### 4.3.2. Zawartość wybranych składników mineralnych

Analizę zawartości składników mineralnych przeprowadzano w doświadczeniach I-IV.

W celu określenia zawartości wybranych składników mineralnych próbki mięsa poddawano homogenizacji. Około 0,5 g tkanki mięśniowej mineralizowano w obecności 7 mL 65% kwasu azotowego Suprapur (Merck, Darmstadt, Niemcy) w mineralizatorze mikrofalowym (MARS Xpress 5; CEM Corporation, Matthews, NC, USA). Każda seria mineralizacji zawierała dwie próbki ślepe i dwie próbki Certyfikowanego Materiału Odniesienia® 1577c Bovine Liver (NIST, Gaithersburg, MD, USA). Wszystkie próbki mineralizowano i analizowano w dwóch powtórzeniach. Zmineralizowane próbki schładzano i ilościowo przenoszono do kolb miarowych o pojemności 25 mL. Zawartość wybranych składników mineralnych (potas – K, sód – Na, magnez – Mg, cynk – Zn i żelazo – Fe) w próbkach oznaczano metodą atomowej spektrometrii absorpcyjnej (AA240FS; Varian, Palo Alto, CA, USA) (PN-EN 14084, 2004; PN-EN 15505, 2009).

### 4.3.3. Zawartość wybranych witamin

Analizę zawartości witamin przeprowadzano w doświadczeniach II i IV.

Zawartość α-tokoferolu i retinolu oznaczano na podstawie obowiązujących norm (PN-EN 12822, 2014; PN-EN 12823-1, 2014). Próbki mięsa poddawano homogenizacji, następnie naważano po około 2 g mięsa do bursztynowych naczyń. Próbki zmydlano w temperaturze 80 °C przez 30 minut w obecności 1,2 mL 20% kwasu askorbinowego

(STANLAB, Lublin, Polska), 0,6 mL metanolu LiChrosolv® (Merck, Darmstadt, Niemcy) oraz 5 mL 60% wodorotlenku potasu (CHEMPUR, Piekary Śląskie, Polska). Po wychłodzeniu, dwukrotnie ekstrahowano tłuszcz śródmięśniowy n-heksanem (POCH, Gliwice, Polska), po czym ekstrakt odparowywano do sucha w obecności azotu. Tłuszcz pozostały w kolbach rozpuszczano 1 mL 99,8% alkoholu etylowego (POCH, Gliwice, Polska) i przefiltrowano do bursztynowych vialek. Związki chemiczne rozdzielano z wykorzystaniem chromatografu cieczowego (920-LC; Varian, Palo Alto, CA, USA), stosując kolumnę Polaris C18-A z żelem krzemionkowym w odwróconym układzie faz o wymiarach 250 mm x 4,6 mm i średnicy ziarna 5 µm (Varian, Palo Alto, CA, USA). Gradient stężeń fazy ruchomej w układzie metanol:woda (metanol LiChrosolv®**,** Merck, Darmstadt, Niemcy; woda jakości HPLC, CHEMPUR, Piekary Śląskie, Polska) był następujący 98:2. Próbki dozowano w ilości 20 µl. Szybkość przepływu fazy ruchomej wynosiła 1,5 mL/min, a czas analizy wynosił 9 minut. Rozdzielone związki zostały zidentyfikowane przez dwa detektory w tandemie (detektor UV-VIS z matrycą fotodiodową i detektor fluorescencyjny). α-tokoferol wykrywano za pomocą spektroskopii fluorescencyjnej, a retinol z użyciem detektora UV-VIS. Podczas analizy wykorzystano oprogramowanie GALAXIE. Całkowitą zawartości α-tokoferolu i retinolu w wołowinie obliczano w podwójnym powtórzeniu dla każdej próby, w oparciu o metodę krzywej kalibracyjnej wyznaczając zależność między powierzchnią piku dla każdej z oznaczanych substancji i ich stężeniem.

### 4.4. Analiza statystyczna

Z wyników przeprowadzonych doświadczeń utworzono bazę danych w programie Microsoft Excel (Microsoft, Waszyngton, USA), a następnie opracowano statystycznie w programie Statistica (StatSoft Inc., Tulsa, OK, USA). Wyniki doświadczeń I i II opracowano stosując jednoczynnikową analizę wariancji na poziomie istotności $p = 0,05$ i $p = 0,01$. Wyniki doświadczeń III i IV opracowano metodą najmniejszych kwadratów stosując dwuczynnikową analizę wariancji z interakcją. Różnice między średnimi oszacowano testem Tuke'ya.

## 5. Omówienie najważniejszych wyników badań

Mięso wołowe należy do najwartościowszych rodzajów mięsa (Pereira i in., 2013). Wynika to głównie ze stosunkowo niskiej kaloryczności, wysokiej wartości odżywczej zawartego białka, walorów sensorycznych i wysokiej koncentracji składników bioaktywnych (Decker i in., 2000). Współczesny konsument, podczas zjadania wołowiny zwraca uwagę nie tylko na jej aromat, smakowitość i soczystość, ale również na jej korzystne oddziaływanie na zdrowie. O tym decyduje głównie zawartość tłuszczu śródmięśniowego i profil zawartych w nim kwasów tłuszczowych, koncentracja mikro- i makroelementów oraz witamin. W prezentowanej pracy w czterech doświadczeniach, wykorzystując w sumie 165 zwierząt opasowych analizowano wpływ poziomu żywienia i rodzaju skarmianych pasz, kategorii opasanych zwierząt oraz rasy buhajów mięsnych użytych do produkcji mieszańców $F_1$ na profil kwasów tłuszczowych oraz zawartość wybranych składników mineralnych i witamin w mięśniu *longissimus* (oraz *semimembranosus* w ostatnim doświadczeniu).

W doświadczeniu uwzględniającym poziom żywienia, opas intensywny (I) buhajów rasy polskiej holsztyńsko-fryzyjskiej, w porównaniu z opasem półintensywnym (SI) wpłynął na wzrost tempa przyrostu masy ciała i wskaźnik wydajności rzeźnej **(Publikacja 1).** Natomiast nie stwierdzono istotnego wpływu intensywności opasania na zawartość składników mineralnych (K, Na, Mg, Zn, Fe) w mięśniu najdłuższym grzbietu. Podobnie jak w badaniach Barge i in. (2005) oraz Holló i in. (2007), w badaniach własnych odnotowano, iż wołowina niezależnie od systemu opasania jest bogatym źródłem potasu. Żelazo jest ważnym składnikiem mineralnym w diecie człowieka, biorącym udział w różnych funkcjach organizmu, w tym głównie w transporcie tlenu we krwi (Mateescu i in., 2013). W badaniach własnych, zawartość żelaza była wyższa w próbkach mięsa pobranych od buhajów z grupy I, w porównaniu z próbkami pobranymi od zwierząt z grupy SI. Taki trend odnotowano również w zawartości cynku. Według Mateescu i in. (2013), 100 g wołowiny zawiera średnio 3,89 mg cynku, czyli 26% zalecanego dziennego spożycia. Próbki wołowiny analizowane w naszym badaniu miały wyższą zawartość cynku. Należy zauważyć, że zawartość cynku w wołowinie jest 2-krotnie wyższa niż w wieprzowinie i cielęcinie, a od 5 do 7-krotnie wyższa niż w mięsie drobiowym (Barowicz i Brejta, 2000). Intensywność opasu nie wpłynęła istotnie na stężenie większości grup kwasów tłuszczowych ani ich wzajemne proporcje. Pomiędzy grupą SI a I odnotowano istotne różnice jedynie w koncentracji MUFA (więcej w grupie I) oraz kwasów n-3 (więcej w grupie SI). W próbkach MLT pobranych od buhajów z grupy SI,

w porównaniu z grupą I, zaobserwowano trend w kierunku wyższych poziomów SFA i OFA (kwasy tłuszczowe o działaniu hipercholesterolemicznym), ale także PUFA, w tym zarówno tych z rodziny n-3 jak i n-6. De Smet i in. (2000), skarmiając kiszonkę z kukurydzy i mieszankę treściwą, wykazali, że zwiększonej zawartości tłuszczu w mięsie wołowym towarzyszył zwiększony udział SFA i MUFA oraz zmniejszony udział PUFA. W naszym eksperymencie, podobnie jak we wcześniejszych wynikach uzyskanych przez Nogalskiego i in. (2014a), wyższej zawartości IMF w mięsie grupy I nie towarzyszył wzrost poziomu SFA. Intensywność opasu miała istotny ($p \leq 0,05$) wpływ na zawartość kwasu oleinowego, który był dominującym MUFA w analizowanych próbkach tłuszczu wyekstrahowanego z MLT i miał wyższy udział w całkowitej puli kwasów tłuszczowych w grupie I w porównaniu z grupą SI. W grupie I odnotowano również wyższą zawartość kwasu wakcenowego niż w grupie SI. Tłuszcz pozyskany z mięsa buhajów z grupy SI zawierał więcej kwasów: linolowego, α-linolenowego, CLA, arachidonowego, EPA, DPA i DHA, o których wiadomo, że mają właściwości prozdrowotne. Xie i in. (2012) stwierdzili, że wzrost koncentracji PUFA i niższy stosunek kwasów n-6/n-3 są pożądane dla zdrowia konsumenta. W badaniach własnych, stosunek n-6/n-3 był relatywnie wysoki (6,25 w grupie SI i 6,52 w grupie I).

W kolejnym doświadczeniu opasowym, uwzględniającym wpływ kategorii zwierząt, porównano wyniki opasania i jakość mięsa pozyskanego od jałówek i razówek **(Publikacja 2).** Razówki, po wycieleniu i kilkumiesięcznym odpojeniu potomstwa, ubito w wieku średnio 852 dni, czyli o 294 dni później niż jałówki. Razówki, w porównaniu z jałówkami uzyskały wyższą masę ciała oraz wyższą zawartość tłuszczu śródmięśniowego. Tłuszcz śródmięśniowy pozyskany z MLT razówek zawierał mniej SFA ($p \leq 0,01$) i więcej UFA ($p \leq 0,01$), w porównaniu z jałówkami. Wysoki udział SFA i niski udział PUFA w tłuszczu mięsa jest wynikiem uwodornienia tłuszczu roślinnego przez mikroflorę żwacza (De Smet i in., 2000). Aby uzyskać optymalne wyniki, producenci wołowiny powinni zmniejszyć udział SFA w tłuszczach i/lub zwiększyć zawartość PUFA, w szczególności kwasów tłuszczowych n-3 (Kołczak, 2008). Ciąża i laktacja zwiększyły udział MUFA ($p \leq 0,01$) w całkowitej puli kwasów tłuszczowych u razówek. W pracy Zembayashi (2001), ciąża i 105 dni laktacji zwiększyły zawartość MUFA, podczas gdy sama ciąża istotnie zmniejszyła udział MUFA u razówek w porównaniu z jałówkami. Lengyel i in. (2003) zauważyli, że zawartość PUFA w tłuszczu śródmięśniowym w MLT zmniejszała się wraz z wiekiem, osiągając 25,5% w 7 miesiącu, 18,4% w 14 miesiącu i 13,6% w 19 miesiącu. W badaniach własnych udział PUFA w całkowitej puli kwasów tłuszczowych był o 0,56% niższy u razówek niż u jałówek. Tłuszcz jałówek charakteryzował się wyższym udziałem n-3 ($p \leq 0,05$) oraz n-6, jak również niższą

proporcją n-6/n-3. Według zaleceń FAO i WHO, stosunek n-6/n-3 w diecie człowieka powinien wynosić około 5,0 (Kołczak, 2008). W badaniach własnych stosunek n-6/n-3 w obu badanych grupach był bardzo korzystny, wynosił bowiem mniej niż 3:1. Odnotowano istotne różnice w zawartości kwasów: oleinowego ($p \leq 0,01$), wakcenowego ($p \leq 0,05$), arachidonowego ($p \leq 0,05$) oraz DHA ($p \leq 0,05$). Tłuszcz MLT jałówek charakteryzował się wyższym udziałem kwasów z rodziny n-6 (linolowego, arachidonowego) i n-3 (α-linolenowego, EPA, DPA, DHA), oraz kwasu wakcenowego, natomiast tłuszcz razówek zawierał więcej kwasu oleinowego i CLA. W naszym eksperymencie zaobserwowano istotne różnice w zawartości cynku i żelaza w mięsie między jałówkami a razówkami. W mięsie razówek, zawartość żelaza była o 0,56 mg wyższa, a cynku o 0,63 mg wyższa w 100 g świeżego mięsa w porównaniu z mięsem jałówek. Giuffrida-Mendoza i in. (2007) badali zmiany w zawartości składników mineralnych w mięśniu najdłuższym grzbietu bawoła wodnego i bydła Zebu, ubijanych w wieku 17, 19 i 24 miesięcy. Stwierdzili oni, że zarówno stężenie cynku, jak i magnezu rosło wraz z wiekiem ocenianych zwierząt. Witaminy A i E są niezbędnymi składnikami odżywczymi w diecie człowieka (Wood i in., 2008). W badaniach własnych mięso razówek było bogatsze w α-tokoferol i retinol niż mięso jałówek, różnice wynikały głównie z istotnie wyższej zawartości tłuszczu śródmięśniowego w MLT razówek.

W kolejnym doświadczeniu oceniano wpływ rasy ojcowskiej wykorzystywanej w krzyżowaniu towarowym i wieku uboju na analizowane w pracy doktorskiej cechy **(Publikacja 3).** Wykazano wpływ genotypu buhajków na zawartość potasu, magnezu i żelaza. Mięso buhajów mieszańców phf x ch i phf x hh zawierało więcej potasu ($p \leq 0,01$) i magnezu ($p \leq 0,01$), niż mięso pochodzące od mieszańców phf x lm. Ponadto w mięsie mieszańców z rasą charolaise wykazano więcej żelaza ($p \leq 0,05$), niż w mięsie mieszańców z rasą limousine. Badania własne potwierdziły wyniki badań Pilarczyk (2014), która zaobserwowała, iż mięso buhajków rasy charolaise było cenniejszym źródłem potasu, w porównaniu z rasami hereford i simmental. Littledike i in. (1995), porównując koncentrację składników mineralnych pomiędzy dziewięcioma rasami mięsnymi, odnotowali najniższy poziom żelaza u bydła ras limousine oraz red poll, w porównaniu do pozostałych analizowanych ras. W badaniach własnych zawartość tego składnika mineralnego była najniższa u mieszańców z rasą limousine. Potwierdzono wpływ wieku uboju opasów na zawartość cynku i żelaza w MLT. Mięsień zwierząt ubitych w 18 miesiącu życia charakteryzował się najwyższą zawartością cynku ($p \leq 0,01$), w porównaniu z pozostałymi grupami wiekowymi. Zawartość żelaza w MLT rosła wraz z wiekiem uboju buhajów ($p \leq 0,01$). Giuffrida-Mendoza i in. (2007) odnotowali, iż zawartość żelaza była praktycznie

niezmienna w próbach pochodzących od zwierząt w wieku 17 i 19 miesięcy, a w wieku 24 miesięcy nastąpił istotny spadek zawartości żelaza. Doornenbal i Murray (1981) oraz Kotula i Lusby (1982) stwierdzili, odwrotnie niż w badaniach własnych, że zawartość potasu zależy od wieku zwierząt. Jednak pierwsi Autorzy podkreślają, że zmiany w zawartości tego pierwiastka odnotowywane są dopiero w wieku od 3 do 12 roku. Natomiast Kotula i Lusby (1982) stwierdzili zależność zawartości potasu od wieku u wolców od 1 roku do 6 lat. Zawartość potasu w ich badaniach obniżała się od 392 mg/100 g tkanki mięśniowej u 24 miesięcznych zwierząt do 332 mg/100 g u zwierząt ubitych w wieku 72 miesięcy. Jednak Autorzy ci nie odnotowali istotnych zmian w zawartości potasu, sodu, magnezu oraz cynku u wolców rasy angus w wieku 12 i 24 miesięcy (Kotula i Lusby, 1982). W badaniach własnych wykazano wpływ wieku uboju buhajków na zawartość SFA, UFA oraz proporcję MUFA/SFA ($p \leq 0,01$), a także zawartość MUFA ($p \leq 0,05$) w MLT. Zawartości UFA i MUFA rosły wraz z wiekiem uboju zwierząt, natomiast zawartość SFA malała. De Freitas i in. (2014) zanotowali niższe wartości SFA (46,42%), zbliżone MUFA (43,38%) oraz znacznie wyższe stężenie PUFA (10,05%) i proporcję n-6/n-3 (4,87) w mięśniu rasy hereford, w porównaniu do badań własnych. Wiek uboju, w badaniach własnych wpłynął na procentowy udział w IMF kwasów: oleinowego, C15:0 anty izo ($p \leq 0,01$), kaprynowego, laurynowego, pentadekanowego, margarynowego, stearynowego i gadoleinowego ($p \leq 0,05$). Najstarsze zwierzęta charakteryzowały się IMF zawierającym istotnie większy udział kwasu oleinowego, w porównaniu z buhajami ubijanymi w 15 miesiącu życia. Genotyp i wiek w momencie uboju miały wpływ na proporcję n-6/n-3 w MLT. Istotną ($p \leq 0,01$) różnicę zaobserwowano między mieszańcami phf x lm (2,84) a mieszańcami phf x ch (3,30). Najbardziej pożądany wskaźnik n-6/n-3 odnotowano u buhajów ubitych w 21 miesiącu życia (2,92), z istotną ($p \leq 0,05$) różnicą w stosunku do najmłodszych zwierząt.

W czwartym i jednocześnie ostatnim doświadczeniu wchodzącym w skład pracy doktorskiej oceniono wpływ rodzaju kiszonki, będącej głównym składnikiem dawki, na zawartość składników mineralnych i witamin w mięsie buhajów oraz profil kwasów tłuszczowych **(Publikacja 4).** Jako dodatkowy czynnik uwzględniono rodzaj mięśnia, z którego pobierano próby mięsa do analiz. Rodzaj skarmianej kiszonki wpłynął istotnie na udział SFA, UFA i MUFA w sumie analizowanych kwasów tłuszczowych. IMF mięśni buhajów grupy żywionej kiszonką ze ślazowca pensylwańskiego i kiszonką z traw (VFS+GS) zawierał mniej SFA ($p \leq 0,05$) oraz więcej UFA ($p \leq 0,05$), w tym MUFA ($p \leq 0,05$), w porównaniu z pozostałymi grupami żywieniowymi. Największy udział kwasów n-3 ($p \leq 0,05$) zaobserwowano w tłuszczu buhajów grupy żywionej kiszonką z traw (GS),

w porównaniu z pozostałymi grupami doświadczalnymi. W tej grupie zanotowano również najkorzystniejszą proporcję kwasów n-6/n-3 ($p \leq 0,05$). Rodzaj mięśnia zróżnicował zarówno udział MUFA jak i PUFA. Mięsień LL zawierał o 4,17% więcej MUFA ($p \leq 0,01$) i o 3,58% mniej PUFA ($p \leq 0,01$) niż mięsień SM. Rodzaj mięśnia wpłynął na udział kwasów n-3 ($p \leq 0,01$) i n-6 ($p \leq 0,01$), jak i ich wzajemną proporcję ($p \leq 0,05$) w IMF. W mięśniu SM stwierdzono wyższą koncentrację tych grup kwasów, a także niższą wartość ich stosunku. W przeprowadzonych badaniach wykazano interakcję ($p \leq 0,05$) między czynnikami eksperymentalnymi dla udziału kwasów z rodziny n-6. W IMF mięśnia SM buhajów grupy VFS+MS wykazano mniej kwasów n-6, niż w IMF buhajów grup GS i VFS+GS. Natomiast w tłuszczu zawartym w mięśniu LL buhajów grupy VFS+MS wykazano więcej kwasów n-6, niż w tłuszczu buhajów grupy VFS. Żywienie wpłynęło na udział niektórych funkcjonalnych kwasów tłuszczowych. Najwyższy ($p \leq 0,05$) udział kwasów α-linolenowego, arachidonowego oraz DPA zaobserwowano w IMF grupy GS. Natomiast żywienie dawką zawierającą VFS+GS przyczyniło się do istotnego wzrostu zawartości kwasu oleinowego w IMF ($p \leq 0,05$). Wykazano istotny wpływ rodzaju mięśnia na udział większości cennych kwasów tłuszczowych. W mięśniu LL zaobserwowano więcej ($p \leq 0,01$) kwasu oleinowego i CLA, natomiast udział kwasów linolowego, α-linolenowego, arachidonowego, EPA, DPA oraz DHA był większy ($p \leq 0,01$) w mięśniu SM. Wśród kwasów nasyconych w ocenianych mięśniach szkieletowych dominowały kwasy palmitynowy oraz stearynowy. Zastosowane żywienie nie zróżnicowało istotnie udziału trzech głównych SFA, natomiast rodzaj mięśnia wpłynął na udział tych kwasów. IMF z mięśnia LL zawierał więcej ($p \leq 0,01$) kwasu mirystynowego, oraz mniej ($p \leq 0,05$) kwasu stearynowego. Spośród analizowanych składników mineralnych, żywienie zróżnicowało jedynie poziom potasu. Mięśnie buhajów grupy GS zawierały więcej ($p \leq 0,01$) potasu, niż mięśnie buhajów grupy VFS. Próby pochodzące od buhajów z grupy VFS+GS charakteryzowały się wyższą koncentracją ($p \leq 0,05$) α-tokoferolu, w porównaniu z grupami GS i VFS+MS. Rodzaj mięśnia wpłynął na zawartość makroelementów oraz witamin. Mięsień SM zawierał więcej magnezu ($p \leq 0,05$), potasu ($p \leq 0,01$), żelaza ($p \leq 0,01$) oraz α-tokoferolu ($p \leq 0,05$). Natomiast w mięśniu LL stwierdzono wyższą koncentrację sodu ($p \leq 0,05$) i retinolu ($p \leq 0,01$).

## 6. Podsumowanie

1. Intensywność opasania buhajów rasy polskiej holsztyńsko-fryzyjskiej nie zróżnicowała zawartości składników mineralnych w mięśniu najdłuższym grzbietu. Opas intensywny korzystnie wpłynął na udział MUFA, natomiast opas półintensywny podwyższył udział PUFA i udział większości funkcjonalnych kwasów tłuszczowych.
2. Razówki, w porównaniu z jałówkami uzyskały wyższą masę tusz oraz wyższą zawartość tłuszczu śródmięśniowego. Tłuszcz pozyskany z mięsa jałówek był bardziej obfity w kwasy: wakcenowy, arachidonowy i dokozaheksaenowy (DHA), natomiast tłuszcz z mięsa razówek charakteryzował się wyższym udziałem UFA, w tym szczególnie kwasu oleinowego. Ponadto MLT razówek był lepszym źródłem cynku, żelaza oraz α-tokoferolu i retinolu.
3. Mięsień LT pozyskany od mieszańców phf x lm zawierał mniej żelaza, magnezu i potasu a tłuszcz w nim zawarty charakteryzował się najniższą wartością stosunku kwasów n-6/n-3, w porównaniu do mieszańców pozostałych ras.
4. Zawartości UFA i MUFA rosły wraz z wiekiem uboju zwierząt, natomiast zawartość SFA malała. Najbardziej pożądany wskaźnik n-6/n-3 odnotowano u buhajów ubitych w 21 miesiącu życia. Mięsień zwierząt ubitych w 18 miesiącu życia charakteryzował się najwyższą zawartością cynku, w porównaniu z pozostałymi grupami wiekowymi, natomiast zawartość żelaza w MLT rosła wraz z wiekiem uboju buhajów.
5. Skarmianie kiszonki z traw miało najkorzystniejszy wpływ na proporcje funkcjonalnych kwasów tłuszczowych w IMF mięsa pozyskanego od buhajów. IMF mięśni buhajów grupy żywionej kiszonką ze ślazowca pensylwańskiego łącznie z kiszonką z traw zawierał mniej SFA oraz więcej UFA, w porównaniu z pozostałymi grupami żywieniowymi. Łączne podawanie kiszonki z traw i ślazowca korzystnie wpłynęło również na koncentrację α-tokoferolu.
6. Mięsień półbłoniasty, w porównaniu z mięśniem najdłuższym grzbietu odcinka lędźwiowego zawierał mniej tłuszczu śródmięśniowego, ale ten tłuszcz miał większy udział PUFA i niższą wartość stosunku kwasów n-6/n-3. Ponadto mięsień półbłoniasty zawierał więcej żelaza i α-tokoferolu.

## 7. Wnioski

1. Wołowina jest dobrym źródłem składników mineralnych, a pochodząca z opasu półintensywnego ma wysoki udział funkcjonalnych kwasów tłuszczowych, mających prozdrowotne działanie dla konsumenta.
2. Wykorzystanie razówek w produkcji wołowiny stwarza możliwość uzyskania dodatkowego potomstwa oraz wyższej masy tusz bez negatywnego wpływu na zawartość funkcjonalnych składników w mięsie.
3. Uzyskane wyniki nie pozwalają wskazać jednoznacznie najlepszej rasy mięsnej, spośród trzech użytych, do krzyżowania z krowami mlecznymi.
4. Buhaje ubite w wieku 21 miesięcy uzyskały najkorzystniejsze parametry analizowanych cech.
5. Wykorzystanie kiszonki ze ślazowca pensylwańskiego może poprawić cechy jakości tuszy i mięsa bez negatywnego wpływu na wyniki opasu buhajów, w porównaniu z dawką opartą na kiszonce z traw. Najkorzystniej skarmiać kiszonkę ze ślazowca pensylwańskiego łącznie z kiszonką z traw.
6. Mięsień półbłoniasty, w porównaniu z mięśniem najdłuższym grzbietu odcinka lędźwiowego jest chudszy, a zawarty tłuszcz charakteryzuje się korzystniejszym, prozdrowotnym profilem kwasów tłuszczowych. Do konsumpcji mięśnia półbłoniastego zachęca również korzystny skład mineralny i wysoka koncentracja α-tokoferolu.

## 8. Wykaz piśmiennictwa


1. Abbas K. A., Mohamed A., Jamilah B. 2009. Fatty acids in fish and beef and their nutritional values: a review. Journal of Food, Agriculture and Environment, 7: 37-42.
2. Aldai N., Na´jera A. I., Dugan M. E. R., Celaya R., Osoro K. 2007. Characterisation of intramuscular, intermuscular and subcutaneous adipose tissues in yearling bulls of different genetic groups. Meat Science, 76: 682-691.
3. Alfaia C. P. M., Castro M. L. F., Martins S. I. V., Portugal A. P. V., Alves S. P. A., Fontes C. M.G. A., Bessa R. J. B., Prates J. A. M. 2007a. Effect of slaughter season on fatty acid composition, conjugated linoleic acid isomers and nutritional value of intramuscular fat in Barrosa-PDO veal. Meat Science, 75: 44-52.
4. Alfaia C. P. M., Castro M. L. F., Martins S. I. V., Portugal A. P. V., Alves S. P. A., Fontes C. M. G. A., Bessa R. J. B., Prates J. A. M. 2007b. Influence of slaughter season and muscle type on fatty acid composition, conjugated linoleic acid isomeric distribution and nutritional quality of intramuscular fat in Aroquesa-PDO veal. Meat Science, 76: 787-795.
5. Azain M. 2003. Conjugated linoleic acid and its effects on animal products and health in single-stomached animals. Proceedings of the Nutrition Society, 62: 319-328.
6. Barge M. T., Piccone G., Barge P., Cignetti A. 2005. Preliminary results on mineral content of some beef muscles. Italian Journal of Animal Science, 4(2s): 272-274.
7. Barowicz T., Brejta W. 2000. Modyfikowanie walorów dietetycznych mięsa wołowego czynnikami żywieniowymi. Roczniki Naukowe Zootechniki, 6: 15-19.
8. Bartnikowska E., Kulasek G. 1994. Znaczenie nienasyconych kwasów tluszczowych w żywieniu człowieka i zwierząt (cz.II). Niedobory i dietetyczne leczenie niedoborów. Magazyn Weterynaryjny, 3 (5): 34-38.
9. Biesalski H.-K. 2005. Meat as a component of a healthy diet – are there any risks or benefits if meat is avoided in the diet? Meat Science, 70 (3): 509-524.
10. BNF (British Nutrition Foundation). 1995a. Task force report; iron: nutritional and physiological significance. British Nutrition Foundation: Londyn.
11. BNF (British Nutrition Foundation). 1995b. Task force report; trans fatty acids. British Nutrition Foundation: Londyn.
12. Borkowska H. 1994. Substancje antyżywieniowe w liściach i korzeniach sidy. Biuletyn Naukowy Przemysłu Paszowego, 3/4: 49-52.
13. Borkowska H., Molas R. 2012. Two extremely different crops, *Salix* and *Sia*, as sources of renewable bioenergy. Biomass and Bioenergy, 36: 234-240.

14. Borkowska H., Molas R., Kupczyk A. 2009. Virginia fanpetals (*Sida hermaphrodita rusby*) cultivated on light soil; height of yield and biomass productivity. Polish Journal of Environmental Studies, 18 (4): 563-568.
15. Borkowska H., Styk B. 2006. Ślazowiec Pensylwański (*Sida hermaphrodita Rusby*). Uprawa i Wykorzystanie. Wydawnictwo AR, Lublin, Polska.
16. Breslow J. L. 2006. n-3 fatty acids and cardiovascular disease. The American Journal of Clinical Nutrition, 83 (6): 1477-1482.
17. British Department of Health. 1994. Nutritional aspects of cardiovascular disease: report of the cardiovascular review group committee on medical aspects of food policy. Report on Health and Social Subjects, 46: 1-186.
18. Cabrera M. C., Ramos A., Saadoun A., Brito G. 2010. Selenium, copper, zinc, iron and manganese content of seven meat cuts from Hereford and Braford steers fed pasture in Uruguay. Meat Science, 84: 518-528.
19. Chan W., Brown J., Church S. 1995. Meat, poultry and game. Supplement do McCance and Widdowson's The Composition of Foods. MAFF: Londyn.
20. Clarkson P. M., Haymes E. M. 1995. Exercise and mineral status of athletes: calcium, magnesium, phosphorus, and iron. Medicine and Science in Sports and Exercise, 27 (6): 831-843.
21. Czerwonka M., Szterk A. 2015. The effect of meat cuts and thermal processing on selected mineral concentration in beef from Holstein–Friesian bulls. Meat Science, 105: 75-80.
22. Dannenberger D., Nuernberg G., Scollan N., Schabbel W., Steinhart H., Ender K. 2004. Effect of diet on the deposition of n-3 fatty acids, conjugated linoleic- and C18:1 trans fatty acid isomers in muscle lipids of German Holstein bulls. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 52: 6607-6615.
23. Decker E. A., Faustman C., Lopez-Bote C. J. 2000. Antioxidants in muscle foods. Nutritional strategies to improve quality. Wydawnictwo Wiley, Nowy Jork, USA.
24. De Freitas A .K., Lobato J. F. P., Cardoso L. L., Tarouco J. U., Vieira R. M., Dillenburg D. R., Castro I. 2014. Nutritional composition of the meat of Hereford and Braford steers finished on pastures or in a feedlot in southern Brazil. Meat Science, 96: 353-360.
25. De Smet S., Raes K., Demeyer D. 2004. Meat fatty acid composition as affected by fatness and genetic factors: a review. Animal Research, 53: 81-98.
26. De Smet S., Webb E. C., Claeys E., Uytterhaegen L., Demeyer D. I. 2000. Effect of dietary energy and protein levels on fatty acid composition of intramuscular fat in double-muscled Belgian Blue bulls. Meat Science, 56: 73-79.

27. Dhiman T. R., Zaman S., Olson K. C., Bingham H. R., Ure A. L., Pariza M. W. 2005. Influence of feeding soybean oil on conjugated linoleic acid content in beef. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 53: 684-689.
28. Domaradzki P., Żółkiewski P., Litwińczuk A., Florek M., Dmoch Małgorzata. 2019. Profil i wartość odżywcza kwasów tłuszczowych w wybranych mięśniach szkieletowych buhajków rasy polskiej holsztyńsko-fryzyjskiej. Medycyna Weterynaryjna, 75 (5): 310-315.
29. Doornenbal H., Murray A. C. 1981. Effects of age, breed, sex and muscle on certain mineral concentrations in cattle. Journal of Food Science, 47: 55-58.
30. Duckett S. K., Neel J. P. S., Fontenot J. P., Clapham W. M. 2009. Effects of winter stocker growth rate and finishing system on: III. Tissue proximate, fatty acid, vitamin, and cholesterol content. Journal of Animal Science, 87 (9): 2961-2970.
31. Du M., Ahn D. U., Sell J. L. 2000. Effects of dietary conjugated linoleic acid and linoleic: linolenic acid ratio on polyunsaturated fatty acid status in laying hens. Poultry Science, 79: 1749-1756.
32. Du M., Ford S. P., Zhu M.-J. 2017. Optimizing livestock production efficiency through maternal nutritional management and fetal developmental programming, *Animal Frontiers*, 7 (3): 5-11.
33. Enser M., Hallett K. G., Hewett B., Fursey G. A., Wood J. D., Harrington G. 1998. Fatty acids content and composition of UK beef and lamb muscle in relation to preoduction system and implications for human nutrition. Meat Science, 49 (3): 329-341.
34. EU (European Union). 2021. Agricultural Outlook – for Markets, Income and Environment 2021-2031. Luksemburg.
35. FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2010. Fats and fatty acids in human nutrition: report of an expert consultation. FAO Food and Nutrition Paper, 91: 1-166.
36. Florek M., Litwińczuk Z., Kędzierska-Matysek M., Grodzki T., Skałecki P. 2007. Wartość odżywcza mięsa z lędźwiowej części mięśnia najdłuższego i półścięgnistego uda młodego bydła rzeźnego. Medycyna Weterynaryjna, 63 (2): 242-246.
37. Franzaring J., Schmid I., Bäuerle L., Gensheimer G., Fangmeier A. 2014. Investigations on plant functional traits, epidermal structures and the ecophysiology of the novel bioenergy species *Sida hermaphrodita Rusby* and *Silphium perfoliatum L*. Journal of Applied Botany and Food Quality, 87: 36-45.

38. Garcia-Vaquero M., Miranda M., Benedito J. L., Blanco-Penedo I., López-Alonso M. 2011. Effect of type of muscle and Cu supplementation on trace element concentrations in cattle meat. Food and Chemical Toxicology, 49: 1443-1449.
39. Gibson R. S., Heath A.-L. M., Limbaga M. L. S., Prosser N., Skeaff C. M. 2001. Are changes in food consumption patterns associated with lower biochemical zinc status among women from Dunedin, New Zealand? British Journal of Nutrition, 86: 71-80.
40. Giuffrida-Mendoza M., Arenas De Moreno L., Uzcátegui-Bracho S., Rincónvillalobos G., Huerta-Leidenz N. 2007. Mineral content of *longissimus dorsi thoracis* from water buffalo and Zebu-influenced cattle at four comparative ages. Meat Science, 75: 487-493.
41. Groff J., Gropper S., Junt S. 1995. Advanced nutrition and human metabolism. West Publishing Company, Minneapolis, USA.
42. GUS (Główny Urząd Statystyczny). 2012-2021. Rocznik Statystyczny Rolnictwa. Warszawa, Polska.
43. GUS (Główny Urząd Statystyczny). 2022. Pogłowie bydła według stanu w grudniu 2021 r. Informacje sygnalne. Warszawa, Polska.
44. Harris W. S. 2001. Omega 3 fatty acids and human chylomicron metabolism. World Review of Nutrition and Dietetics, 88: 163-167.
45. Hartigh L. J. D. 2019. Conjugated linoleic acid effects on cancer, obesity, and atherosclerosis: a review of pre-clinical and human trials with current perspectives. Nutrients, 11, 370.
46. Henderson L., Gregory J., Swan G. 2002. The national diet and nutrition survey: adults aged 19-64 years. Vol. 1: Types and quantities of foods consumed. HMSO: Londyn.
47. Herbert V. 1994. Staging vitamin B12 (cobalamin) status in vegetarians. American Journal of Clinical Nutrition, 59 (5): 1213S-22.
48. Higgs J. 2000. The changing nature of red meat: 20 years of improving nutritional quality. Trends in Food Science and Technology, 11: 85-95.
49. Hintze K. J., Lardy G. P., Marchello M. J., Finley J. W. 2001. Areas with high concentrations of selenium in the soil and forage produce beef with enhanced concentrations of selenium. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 49: 1062-1067.
50. Hintze K. J., Lardy G. P., Marchello M. J., Finley J. W. 2002. Selenium accumulation in beef: effect of dietary selenium and geographical area of animal origin. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 50: 3938-3942.
51. Holló G., Nuernberg K., Holló I., Csapó J., Seregi J., Repa I., Ender K. 2007. Effect of feeding on the composition of *longissmus* muscle of Hungarian Grey and Holstein - Friesian

bulls. III. Amino acid composition and mineral content. Archives Animal Breeding, 50 (6): 575-586.

52. Judd J. T., Baer D. J., Clevidence B. A., Kris-Etherton P., Muesing R. A., Iwane M. 2002. Dietary cis and trans monounsaturated and saturated FA and plasma lipids and lipoproteins in men. Journal of Lipids Research, 37: 123-131.
53. Kelley D., Erickson K. 2003. Modulation of body composition and immune cell functions by conjugated linoleic acid in humans and animal models: benefits vs. risks. Lipids, 38: 377-86.
54. Kien S. 2004. The classification of carcass of adult bovine animals in the EUROP. Zakład Technologii Mięsa i Tłuszczu w Warszawie, Oddział w Poznaniu, Polska.
55. Koba K., Yanagita T. 2014. Health benefits of conjugated linoleic acid (CLA). Obesity Research and Clinical Practice, 8: 525-532.
56. Kołczak T. 2008. Jakość wołowiny. Żywność. Nauka. Technologia. Jakość, 1 (56): 5-22.
57. Kotula A. W., Lusby W. R. 1982. Mineral composition of muscles of 1-to 6-year-old steers. Journal of Animal Science, 54: 544-548.
58. Kromhout D., Menotti A., Bloemberg B., Aravanis C., Blackburn H., Buzina R., Dontas A. S., Idanza F., Giampaoli S., Jansen A. 1995. Dietary saturated and trans-fatty acids and cholesterol and 25- year mortality from coronary heart disease: The Seven Countries Study. Preventive Medicine, 24: 308-315.
59. Lengyel Z., Husveth F., Polgar P., Szabo F., Magyar L. 2003. Fatty acid composition of intramuscular lipids in various muscles of Holstein-Friesian bulls slaughtered at different ages. Meat Science, 65: 593-598.
60. Littledike E. T., Wittum T. E., Jenkins T. G. 1995. Effect of breed, intake, and carcass composition on the status of several macro and trace minerals of adult beef cattle. Journal of Animal Science, 73: 2113-2119.
61. Litwińczuk Z. 2012. Krzyżowanie towarowe bydła w Polsce – znaczenie i wyniki. Przegląd Hodowlany, 1: 7-8.
62. MAFF (Ministry of Agriculture Fisheries and Food). 1995. Manual of Dietetic Nutrition. HMSO: Londyn.
63. Malau-Aduli A. E. O., Siebert B. D., Bottema C. D. K., Pitchford W. S. 1997. A comparison of the fatty acid composition of triacylglycerols in adipose tissue from Limousin and Jersey cattle. Australian Journal of Agricultural Research, 48: 715-722.
64. Malau-Aduli A. E. O., Siebert B. D., Bottema C. D. K., Pitchford W. S. 1998. Breed comparison of the fatty acid composition of muscle phospholipids in Jersey and Limousin cattle. Journal of Animal Science, 76: 766-773.

65. Mateescu R. G., Garmyn A. J., Tait J. R. R. G., Duan Q., Liu Q., Mayes M. S., Garrick D. J., van Eenennaam A. L., van Overbeke D. L., Hilton G. G., Beitz D. C., Reecy J. M. 2013. Genetic parameters for concentrations of minerals in *longissimus* muscle and their associations with palatability traits in Angus cattle. Journal of Animal Science, 91 (3): 1067-1075.
66. McAfee A. J., McSorley E. M.,. Cuskelly G. J, Moss B. W., Wallace J. M. W., Bonham M. P., Fearon A. M. 2010. Red meat consumption: an overview of the risks and benefits. Meat Science, 84 (1): 1-13.
67. Michalska G., Nowachowicz J., Bucek T., Wasilewski P. D., Kmiecik M. 2013. Spożycie artykułów żywnościowych z udziałem mięsa i jego przetworów. Przegląd Hodowlany, 6: 2-14.
68. Morales M., Folch C., Iraira S., Teuber N., Realini C. E. 2012. Nutritional quality of beef produced in Chile from different production systems. Chilean Journal of Agricultural Research, 72: 80-86.
69. Muller H., Jordal O., Seljeflot I., Kierulf P., Kirkhus B., Ledsaak O., Pedersen J. I. 1998. Effect on plasma lipids and lipoproteins of replacing partially hydrogenated fish oil with vegetable fat in margarine. British Journal of Nutrition, 80: 243-251.
70. Napiórkowska L., Franek E. 2009. Rola oznaczania witaminy D w praktyce klinicznej. Choroby Serca i Naczyń, 6 (4): 203-210.
71. Nestel P., Clifton P., Noakes M. 1994. Effects of increasing dietary palmitoleic acid compared with palmitic and oleic acids on plasma lipids of hypercholesterolemic men. Journal of Lipids Research, 35: 656-662.
72. Nicolosi R. J., Wilson T. A., Rogers E. J., Kritchevsky D. 1998. Effects of specific fatty acids (8:0, 14:0, cis-18:1) on plasma lipoproteins, early atherogenic potential, and LDL oxidative properties in the hamster. Journal of Lipids Research, 39: 1972-1980.
73. Nogalski Z., Sobczuk-Szul M., Pogorzelska-Przybyłek P., Wielgosz-Groth Z., Purwin C., Modzelewska-Kapituła M. 2016. Comparison of slaughter value for once-calved heifers and heifers of Polish Holstein-Friesian × Limousine crossbreds. Meat Science, 117: 1-6.
74. Nogalski Z., Wielgosz-Groth Z., Purwin C., Nogalska A., Sobczuk-Szul M., Winarski R., Pogorzelska P. 2014a. The effect of slaughter weight and fattening intensity on changes in carcass fatness in young Holstein-Friesian bulls. Italian Journal of Animal Science, 13: 66-72.
75. Nogalski Z., Wielgosz-Groth Z., Sobczuk-Szul M., Purwin C., Winarski R., Pogorzelska-Przybyłek P. 2014b. Wykorzystanie razówek do produkcji wołowiny. Hodowca Bydła, 10.

76. Nogalski Z., Wroński M., Wielgosz-Groth Z., Purwin P., Sobczuk-Szul M., Mochol M. 2013. The effect of carcass conformation class (EUROP system) on the slaughter quality of young crossbred beef bulls and Holstein-Friesians. Annals of Animal Science, 13: 23-28.
77. Pereira P. M., Vincente A. F. 2013. Meat nutritional composition and nutritive role in the human diet. Meat Science, 93: 586-592.
78. PFHBiPM (Polska Federacja Hodowców Bydła i Producentów Mleka). 2022. Ocena i hodowla bydła. Dane za rok 2021. Warszawa, Polska.
79. Pilarczyk R. 2014. Concentrations of toxic and nutritional essential elements in meat from different beef breeds reared under intensive production systems. Biological Trace Element Research, 158: 36-44.
80. PN-EN 12822. 2014. Artykuły żywnościowe – Oznaczanie witaminy E metodą wysokosprawnej chromatografii cieczowej – Pomiar α-, β-, γ- i δ-tokoferolu. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa, Polska.
81. PN-EN 12823-1. 2014. Artykuły żywnościowe – Oznaczanie witaminy A metodą wysokosprawnej chromatografii cieczowej – Część 1: Pomiar all-E-retinolu i 13-Z-retinolu. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa, Polska.
82. PN-EN 14084. 2004. Artykuły żywnościowe – Oznaczanie pierwiastków śladowych – Oznaczanie zawartości ołowiu, kadmu, cynku, miedzi i żelaza metodą atomowej spektrometrii absorpcyjnej (AAS) po mineralizacji mikrofalowej. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa, Polska.
83. PN-EN 15505. 2009. Artykuły żywnościowe – Oznaczanie pierwiastków śladowych – Oznaczanie zawartości sodu i magnezu metodą płomieniowej absorpcyjnej spektrometrii atomowej (AAS) po mineralizacji mikrofalowej. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa, Polska.
84. PN-EN ISO 5508. 1996. Oleje i tłuszcze roślinne oraz zwierzęce – Analiza estrów metylowych kwasów tłuszczowych metodą chromatografii gazowej. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa, Polska.
85. PN-EN ISO 5509. 2001. Oleje i tłuszcze roślinne oraz zwierzęce – Przygotowanie estrów metylowych kwasów tłuszczowych. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa, Polska.
86. PN-ISO 1444. 2000. Mięso i przetwory mięsne – Oznaczanie zawartości tłuszczu wolnego. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa, Polska.
87. Purchas R. W., Busboom J. R. 2005. The effect of production system and age on levels of iron, taurine, carnosine, coenzyme Q10, and creatine in beef muscles and liver. Meat Science, 70: 589-596.

88. PZHiPBM, (Polski Związek Hodowców i Producentów Bydła Mięsnego). 2019a. Program hodowlany dla bydła rasy charolaise. Obowiązuje od 20.12.2019 r. Warszawa, Polska.
89. PZHiPBM, (Polski Związek Hodowców i Producentów Bydła Mięsnego). 2019b. Program hodowlany dla bydła rasy hereford. Obowiązuje od 20.12.2019 r. Warszawa, Polska.
90. PZHiPBM, (Polski Związek Hodowców i Producentów Bydła Mięsnego). 2019c. Program hodowlany dla bydła rasy limousine. Obowiązuje od 20.12.2019 r. Warszawa, Polska.
91. PZHiPBM (Polski Związek Hodowców i Producentów Bydła Mięsnego). 2021. Ocena wartości użytkowej bydła ras mięsnych. Wyniki za rok 2020. Warszawa, Polska.
92. Rozporządzenie Rady (WE) nr 1099/2009 z dnia 24.09.2009 roku w sprawie ochrony zwierząt podczas ich uśmiercania.
93. Rozporządzenie (WE) nr 853/2004 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 29.04.2004 roku ustanawiające szczególne przepisy dotyczące higieny w odniesieniu do żywności pochodzenia zwierzęcego.
94. Scollan N., Hocquette J. F., Nuernberg K., Dannenberger D., Richardson I., Moloney A. 2006. Innovations in beef production systems that enhance the nutritional and health value of beef lipids and their relationship with meat quality. Meat Science, 74: 17-33.
95. Tam M., Gomez S., Gonzalez-Gross M., Marcos A. 2003. Possible roles of magnesium on the immune system. European Journal of Clinical Nutrition, 57: 1193-1197.
96. Tarkowski A. 2008. The yield and chemical composition of milk of cows fed the ration with protein-fibrous-extruderate. Journal of Central European Agriculture, 9: 645-650.
97. Titei V. 2015. Agro biological peculiarities and economical value of *Sida hermaphrodita* in Republic of Moldova. ProEnvironment, 8: 485-489.
98. Toro P., Catrileo A., Aguilar C., Vera R. 2009. Modeling supplementation strategies for beef steer rearing and fattening system in Southern Chile. Chilean Journal of Agricultural Research, 69: 207-213.
99. Ulbricht T., Southgate D. 1991. Coronary heart disease: seven dietary factors. Lancet, 388: 985-92.
100. von Schacky C., Angerer P., Kothny W., Theisen K., Mudra H. 1999. The effect of dietary omega-3 fatty acids on coronary atherosclerosis. A randomized, double-blind, placebo-controlled trial. Annals of Internal Medicine, 130: 554-562.
101. Warren H. E., Scollan N., Enser M., Hughes S. I., Richardson R. I., Wood J. D. 2008. Effects of breed and a concentrate or grass silage diet on beef quality in cattle of 3 ages. I: Animal performance, carcass quality and muscle fatty acid composition. Meat Science, 78: 256-269.

102. Webb E., O'Neill H. 2008. The animal fat paradox and meat quality. Meat Science, 80: 28-36.
103. WHO (World Health Organization). 2003. Diet, nutrition and the prevention of chronic diseases: report of a joint WHO/FAO expert consultation. WHO Technical Report Series, 916.
104. WHO (World Health Organization). 2018. Guidelines: Saturated fatty acid and *trans*-fatty acid intake for adults and children. Genewa., Szwajcaria. Projekt przekazany do konsultacji społecznych w maju 2018 r.
105. Wijendran V., Hayes K. C. 2004. Dietary n-6 and n-3 fatty acid balance and cardiovascular health. Annual Review of Nutrition, 24: 597-615.
106. Williams C. M. 2000. Dietary fatty acids and human health. Annales de zootechnie, 49: 165-180.
107. Williamson C. S., Foster R. K., Stanner S. A., Buttriss J. L. 2005. Red meat in the diet. Journal of Nutrition Bulletin, 30: 323-355.
108. Wood J. D., Enser M., Fisher A. V., Nute G. R., Sheard P. R., Richardson R. I., Hughes S. I., Whittington F. M. 2008. Fat deposition, fatty acid composition and meat quality: a review. Meat Science, 78: 343-358.
109. Xie X., Meng Q., Cui Z., Ren L. 2012. Effect of cattle breed on meat quality, muscle fiber characteristics, lipid oxidation and fatty acids in China. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences, 25: 824-831.
110. Zembayashi M. 2001. Effect of suckling on growth and quantitative and qualitative carcass traits of once-calved heifers. Meat Science, 58: 277-282.
111. Żegarska Z., Jaworski J., Borejszo Z. 1991. Ocena zmodyfikowanej metody Peiskera otrzymywania estrów metylowych kwasów tłuszczowych. Acta Academiae Agriculturae Technicae Olstenensis, 24: 25-33.

## 9. Streszczenie

**Wpływ rasy, wieku i intensywności opasu bydła na profil kwasów tłuszczowych oraz zawartość wybranych składników mineralnych i witamin w mięśniu *longissimus***

**Słowa kluczowe**: wołowina, buhaje, mieszańce mięsne, jałówki, razówki, Virginia fanpetals

Mięso wołowe należy do najwartościowszych rodzajów mięsa. Wynika to głównie ze stosunkowo niskiej kaloryczności, wysokiej wartości odżywczej zawartego białka, walorów sensorycznych i wysokiej koncentracji składników bioaktywnych. Współczesny konsument, podczas zjadania wołowiny zwraca uwagę nie tylko na jej aromat, smakowitość i soczystość, ale również na jej korzystne oddziaływanie na zdrowie. O tym decyduje głównie zawartość tłuszczu śródmięśniowego (IMF) i profil zawartych w nim kwasów tłuszczowych, koncentracja mikro- i makroelementów oraz witamin. W związku z tym podejmowane są próby zwiększenia koncentracji bioaktywnych składników w mięsie wołowym poprzez optymalizację technologii opasu.

Celem badań była ocena wpływu rasy buhajów użytych do krzyżowania towarowego z krowami mlecznymi, wieku uboju, kategorii opasanych zwierząt, rodzaju skarmianej kiszonki oraz intensywności opasania na zawartość składników mineralnych i witamin w mięsie oraz profil kwasów tłuszczowych.

Praca obejmowała cztery doświadczenia. W pierwszym oceniono wpływ intensywności opasania 20 buhajów rasy polskiej holsztyńsko-fryzyjskiej (phf) na jakość mięśnia *longissimus thoracis* (MLT). Od 11. do 19. miesiąca życia buhaje opasano w dwóch grupach różniących się intensywnością żywienia (SI – półintensywna; I – intensywna). W doświadczeniu drugim oceniono wpływ kategorii bydła. Porównywano jakość MLT pozyskanego od jałówek i razówek. Jałówki ubito w wieku 18 miesięcy, natomiast razówki trafiły do zakładów mięsnych w wieku 28 miesięcy, po wycieleniu i kilkumiesięcznym odpojeniu potomstwa. W trzecim doświadczeniu określono wpływ rasy buhajów: hereford (hh), limousine (lm) i charolaise (ch), użytych do krzyżowania towarowego z krowami mlecznymi na jakość MLT uzyskanych mieszańców $F_1$ (phf x hh, phf x lm i phf x ch). Oceniono również wpływ wieku uboju. 72 buhajki kończyły opas w wieku 15, 18 lub 21 miesięcy. W czwartym doświadczeniu zbadano wpływ rodzaju skarmianej kiszonki w opasie 40 buhajów rasy phf na jakość mięśni *longissimus lumborum* (MLL) i *semimembranosus* (SM). W 7-miesięcznym okresie opasu końcowego zwierzęta żywiono różnymi rodzajami kiszonek uzupełnianymi mieszanką treściwą. Grupa 1 opasana była kiszonką z traw (GS);

grupa 2 – kiszonką ze ślazowca pensylwańskiego (VFS); grupa 3 – kiszonką ze ślazowca pensylwańskiego i kiszonką z traw (VFS+GS); grupa 4 – kiszonką ze ślazowca pensylwańskiego i kiszonką z kukurydzy (VFS+MS). Po uboju i 96-godzinnym chłodzeniu pobierano próby do analiz. W doświadczeniach I-IV określono profil kwasów tłuszczowych oraz zawartość wybranych składników mineralnych (potas – K, sód – Na, magnez – Mg, cynk – Zn, żelazo – Fe) w mięśniach, w doświadczeniach II i IV dodatkowo określono zawartość retinolu i α-tokoferolu.

Intensywność opasania buhajów rasy phf nie zróżnicowała zawartości składników mineralnych w MLT. Opas intensywny korzystnie wpłynął na udział jednonienasyconych kwasów tłuszczowych (MUFA), natomiast opas półintensywny podwyższył udział wielonienasyconych kwasów tłuszczowych (PUFA) i udział większości funkcjonalnych kwasów tłuszczowych, mających prozdrowotne działanie dla konsumenta. Wykazano, że wykorzystanie razówek w produkcji wołowiny stwarza możliwość uzyskania dodatkowego potomstwa oraz wyższej masy tusz bez negatywnego wpływu na zawartość funkcjonalnych składników w mięsie. Tłuszcz pozyskany z mięsa jałówek był bardziej obfity w kwasy: wakcenowy, arachidonowy i dokozaheksaenowy (DHA), natomiast tłuszcz z mięsa razówek charakteryzował się wyższym udziałem nienasyconych kwasów tłuszczowych (UFA), w tym szczególnie kwasu oleinowego. Ponadto MLT razówek był lepszym źródłem Zn, Fe oraz retinolu i α-tokoferolu. Uzyskane wyniki nie pozwalają wskazać jednoznacznie najlepszej rasy mięsnej, spośród trzech użytych, do krzyżowania z krowami mlecznymi. Mięsień LT pozyskany od mieszańców phf x lm zawierał mniej Fe, Mg i K a tłuszcz w nim zawarty charakteryzował się najniższą wartością stosunku kwasów n-6/n-3, w porównaniu do mieszańców pozostałych ras. Buhaje ubite w wieku 21 miesięcy uzyskały najkorzystniejsze parametry analizowanych cech. Różnice dotyczyły wyższej zawartości Zn i Fe oraz bardziej prozdrowotnego profilu kwasów tłuszczowych tłuszczu śródmięśniowego. Wykorzystanie kiszonki ze ślazowca pensylwańskiego może poprawić cechy jakości tuszy i mięsa bez negatywnego wpływu na wyniki opasu buhajów, w porównaniu z dawką opartą na kiszonce z traw. Najkorzystniejszy wpływ na proporcje funkcjonalnych kwasów tłuszczowych w IMF miała kiszonka z traw. Łączne podawanie kiszonki z traw i ślazowca korzystnie wpłynęło na profil kwasów tłuszczowych oraz koncentrację α-tokoferolu. Mięsień półbłoniasty, w porównaniu z mięśniem najdłuższym grzbietu odcinka lędźwiowego dostarczył mniej tłuszczu, ale o korzystniejszym, prozdrowotnym profilu kwasów tłuszczowych. Również pod względem składu mineralnego i koncentracji α-tokoferolu korzystniejsze parametry uzyskał mięsień półbłoniasty.

## 10. Abstract

**Effects of cattle breed, age and fattening intensity on the fatty acid profile and the content of selected minerals and vitamins in the *longissimus* muscle**

**Key words**: beef, bulls, beef crosses, heifers, once-calved heifers, Virginia fanpetals

Beef is one of the most valuable types of meat. It is relatively low in calories, it contains protein of high biological value, and it is appreciated for its sensory attributes and high concentrations of bioactive compounds. Modern consumers pay attention not only to the aroma, palatability and juiciness of beef, but also to its health-promoting properties. The health benefits of beef are associated mainly with its intramuscular fat (IMF) content, fatty acid profile, and the concentrations of micronutrients, macronutrients and vitamins. Therefore, attempts have been made to increase the concentrations of bioactive compounds in beef by optimizing cattle fattening systems.

The aim of this study was to evaluate the effects of breed of beef bulls used for commercial crossing with dairy cows, slaughter age, sex category of animals, silage type and fattening intensity on the content of minerals and vitamins, and the fatty acid profile of beef.

The study comprised four experiments. The first experiment evaluated the influence of fattening intensity on the quality of the *longissimus thoracis* muscle (MLT) in 20 Polish Holstein-Friesian (PHF) bulls. From 11 to 19 months of age, bulls were fattened under semi-intensive (SI) and intensive (I) systems. The effect of cattle category on the quality of MLT obtained from heifers and once-calved heifers was determined in the second experiment. Heifers were slaughtered at 18 months of age, and once-calved heifers were slaughtered at 28 months of age, after calving and several months' lactation. The third experiment was performed to determine the impact of the breed of beef bulls: Hereford (HH), Limousin (LM) and Charolais (Ch), used for commercial crossing with dairy cows, on the quality of MLT in $F_1$ crosses (PHF x HH, PHF x LM and PHF x CH). The effect exerted by slaughter age was also evaluated: 72 bulls were slaughtered at 15, 18 or 21 months of age. The fourth experiment focused on the influence of silage type on the quality of *longissimus lumborum* (MLL) and *semimembranosus* (SM) muscles in 40 PHF bulls. During a 7-month fattening period, the animals were fed different types of silage supplemented with concentrate: group 1 received grass silage (GS), group 2 – Virginia fanpetals silage (VFS), group 3 – Virginia fanpetals silage and grass silage (VFS+GS), group 4 – Virginia fanpetals silage and maize silage (VFS+MS). Samples for analyses were collected after slaughter and 96-hour carcass

chilling. The fatty acid profile and the content of selected minerals (potassium – K, sodium – Na, magnesium – Mg, zinc – Zn, iron – Fe) in muscles were determined in experiments I-IV, and the concentrations of retinol and α-tocopherol were additionally determined in experiments II and IV.

The mineral content of MLT was not affected by the fattening intensity of PHF bulls. Intensive fattening had a beneficial influence on the proportion of monounsaturated fatty acids (MUFAs), whereas semi-intensive fattening contributed to an increase in the proportions of polyunsaturated fatty acids (PUFAs) and most functional fatty acids delivering health benefits. It was also found that the use of once-bred heifers in beef production offers the possibility of producing additional offspring with no negative effect on the content of functional components in meat. Fat extracted from the meat of heifers was more abundant in trans-vaccenic acid, arachidonic acid and docosahexaenoic acid (DHA), whereas fat extracted from the meat of once-calved heifers was characterized by higher concentrations of unsaturated fatty acids (UFAs), in particular oleic acid. Moreover, the MLT of once-calved heifers was a richer source of Zn, Fe, retinol and α-tocopherol. The best of the three beef sire breeds used for crossing with dairy cows could not be selected based on the present research findings. The LT muscle obtained from PHF x LM crosses contained less Fe, Mg and K, whereas fat extracted from this muscle had the lowest n-6/n-3 PUFA ratio, compared with the remaining crossbred bulls. Bulls slaughtered at 21 months of age were characterized by the optimal values of the analyzed traits and parameters, including higher Zn and Fe content and a more nutritionally desirable fatty acid profile of IMF. In comparison with GS, VFS can improve carcass and meat quality without compromising the fattening performance of bulls. In turn, GS had the most beneficial effect on the proportions of functional fatty acids in IMF. GS combined with VFS positively affected the fatty acid profile and α-tocopherol concentration. In comparison with MLL, the SM muscle contained less IMF with a more nutritionally desirable fatty acid profile. The SM muscle was also characterized by a more favorable mineral composition and higher α-tocopherol concentration.

## 11. Załączniki

**Załącznik 1** – **publikacja 1:**

Momot M., Nogalski Z., Sobczuk-Szul M., Pogorzelska-Przybyłek P. 2016. Effect of fattening intensity on the fatty acid profile and mineral content of meat from Holstein-Friesian bulls. Journal of Elementology, 21 (4): 1081-1091.

**Załącznik 2** – **publikacja 2:**

Momot M., Nogalski Z., Sobczuk-Szul M., Pogorzelska-Przybyłek P., Modzelewska-Kapituła M. 2017. Health-promoting properties of meat from once-calved and maiden heifers. Journal of Elementology, 22 (4): 1243-1253.

**Załącznik 3** – **publikacja 3:**

Momot M., Nogalski Z., Pogorzelska-Przybyłek P., Sobczuk-Szul M. 2020. Influence of genotype and slaughter age on the content of selected minerals and fatty acids in the *Longissimus thoracis* muscle of crossbred bulls. Animals, 10, 2004.

**Załącznik 4** – **publikacja 4:**

Nogalski Z., Momot M., Pogorzelska-Przybyłek P., Sobczuk-Szul M., Modzelewska-Kapituła M. 2022. Fatty acid profile of intramuscular fat in the *Longissimus lumborum* and *Semimembranosus* muscles of bulls fed diets based on Virginia fanpetals, grass and maize silages. Annals of Animal Science, 22 (1): 419-437.

**Załącznik 5** – **oświadczenia autorki i współautorów publikacji.**

Journal of Elementology ISSN 1644-2296

Momot M., Nogalski Z., Sobczuk-Szul M., Pogorzelska-Przybyłek P. 2016. *Effect of fattening intensity on the fatty acid profile and mineral content of meat from Holstein-Friesian bulls*. J. Elem., 21(4): 1081-1091. DOI: 10.5601/jelem.2015.20.4.1085

**ORIGINAL PAPERS**

# EFFECT OF FATTENING INTENSITY ON THE FATTY ACID PROFILE AND MINERAL CONTENT OF MEAT FROM HOLSTEIN-FRIESIAN BULLS

**Martyna Momot, Zenon Nogalski, Monika Sobczuk-Szul, Paulina Pogorzelska-Przybyłek**

**Department of Cattle Breeding and Milk Quality Evaluation University of Warmia and Mazury in Olsztyn**

**Abstract**

Diets high in saturated fatty acids (SFAs) and n-6 polyunsaturated fatty acids (PUFAs) at the expense of n-3 PUFAs have been shown to increase the risk of cardiovascular disease, obesity and cancer. Animal fat is considered to be the major source of unhealthy saturated fats. However, beef fat has a high nutritional value owing to the presence of minerals, PUFAs, vitamins and selected protein fractions. The aim of this study was to determine the effect of fattening intensity on the fatty acid profile and mineral content of meat from Holstein-Friesian bulls. Holstein-Friesian bulls aged 11 to 19 months were fattened under semi-intensive (SI, 10 animals) and intensive (I, 10 animals) systems. The bulls were fed maize silage, rapeseed meal and premix *ad libitum*. The diets for group I animals were supplemented with 2.5 kg ground triticale provided in an automatic feeding station. Meat samples were collected from *m. longissimus dorsi* (MLD). The samples were mineralized and assayed for mineral content. Fat was extracted from each sample, and the fatty acid profile of beef was determined by gas chromatography. Dietary supplementation with ground triticale increased the average daily gains of bulls and carcass dressing percentage, and contributed to higher carcass conformation and fat cover scores. Beef was found to be a rich source of valuable mineral compounds. The meat of group I animals was characterized by higher potassium levels and lower sodium levels, which points to its higher nutritional value. Semi-intensive (SI) fattening increased PUFA concentrations and decreased the *n*-6/*n*-3 PUFA ratio in beef.

**Keywords:** beef, bulls, minerals, fatty acids, CLA.

mgr inż. Martyna Momot, Department of Cattle Breeding and Milk Quality Evaluation, University of Warmia and Mazury in Olsztyn, Oczapowskiego 5, 10-719 Olsztyn, Poland, e-mail: martyna.momot@uwm.edu.pl

## INTRODUCTION

Beef has a high nutritional value owing to the presence of minerals, polyunsaturated fatty acids (PUFAs), vitamins and selected protein fractions (Harris 2001). Oleic acid (OA) and linoleic acid (LA) lower LDL cholesterol, docosahexaenoic acid (DHA) prevents cardiac arrhythmias (von Schacky et al. 1999) and conjugated linoleic acid (CLA) has antioxidant and anticarcinogenic effects, and it enhances the immune system (Du et al. 2000, Whetsell et al. 2003). Beef is a rich source of minerals, in particular phosphorus, potassium, magnesium and zinc (Kowalski et al. 2010). Of the commonly consumed protein foods, red meat is one of the best sources of readily absorbed iron and zinc (Mateescu et al. 2013). Calcium, magnesium, phosphorus and iron are important to a wide variety of bodily functions, such as bone mineralization, serving as cofactors to many enzyme systems, sustaining muscle and nerve excitation, and – in the case of iron – maintaining the oxygen carrying capacity of blood (Clarkson, Haymes 1995). Magnesium has a strong relation with the immune system, in both non-specific and specific immune responses, also known as innate and acquired immune responses (Tam et al. 2003).

Carcass quality is determined by the animal's genotype, sex, age and final body weight as well as feeding intensity (Toro et al. 2009, Morales et al. 2012, Nogalski et al. 2014). The concentrations of minerals in muscles are largely affected by the nutritional regime, followed by other factors such as the animal's origin (place of birth), age, sex, breed and muscle type (Littledike et al. 1995, Lopez-Alonso 2000, Giuffrida-Mendoza et al. 2007, Hollo et al. 2007, Tizioto et al. 2015). A more extensive knowledge of the mineral composition of beef and the factors that have an influence on it would be appropriate not only from a scientific point of view, but also for the consumer, who could choose the product that suits him better (Barge et al. 2005).

The objective of this study was to determine the effect of fattening intensity on the fatty acid profile and mineral content of meat from Holstein-Friesian bulls.

## MATERIAL AND METHODS

The experimental materials comprised 20 samples of *m. longissimus dorsi* (MLD) collected from half-carcasses of Polish Holstein-Friesian bulls. The animals were raised at the Agricultural Experiment Station in Bałcyny (Poland), under the conventional production system (milk replacer, hay and concentrate). Beginning at 6 months of age, the animals were fattened semi-intensively and were fed *ad libitum* a total mixed ration (TMR) composed of grass silage and concentrate. At 11 months of age and body weight of ap-

proximately 370 kg, the bulls were placed in a building for controlled fattening, and they were divided into two groups of 10 animals each by the analog method (SI – semi-intensive fattening and I – intensive fattening). From 1 to 60 days of fattening, group SI was fed TMR I (maize silage, rapeseed meal, premix) *ad libitum,* at the 87:12:1 ratio on dry matter basis (Table 1).

Table 1

Chemical composition and nutritional value of experimental diets

| Specification | Maize silage | Rapeseed meal | Triticale | TMR I | TMR II |
|---|---|---|---|---|---|
| Maize silage | | | | 87 | 89 |
| Rapeseed meal | | | | 12 | 10 |
| Premix | | | | 1 | 1 |
| Dry matter | 326.8 | 890.3 | 906.0 | 391.2 | 379.9 |
| On DM basis (g $kg^{-1}$) | | | | | |
| organic matter | 880.3 | 927.4 | 944.0 | 349.5 | 338.1 |
| crude protein | 88.7 | 400.7 | 159.1 | 125.3 | 119.3 |
| crude fat | 29.7 | 25.7 | 31.0 | 37.6 | 36.3 |
| crude fiber | 233.2 | 149.3 | 46.1 | 223.1 | 224.8 |
| Feed units for meat production (UFV) | 0.80 | 0.96 | 1.22 | 0.82 | 0.82 |

The diets for group I animals were supplemented with 2.0 kg ground triticale. After 60 days of fattening, the proportions of TMR II components were changed to 89:10:1, and the amount of concentrate in group I was increased to 2.5 kg (Table 2). TMR was dosed from a self-propelled feed cart and delive-

Table 2

Fattening scheme

| Feeding period (days) | Semi-intensive (SI) | Intensive (I) |
|---|---|---|
| 1-60 | TMR I | TMR I + 2.0 kg triticale |
| >60 | TMR II | TMR II + 2.5 kg triticale |

red twice daily, whereas ground triticale was available in an automatic feeding station. Supplemental minerals and vitamins were provided in the form of a commercial premix for finishing cattle (Cargill Poland Ltd.). Salt licks (Lisal M, LNB Poland Ltd.) were also offered to supplement minerals. Samples of all feed components and TMR were subjected to chemical analyses before the experiment and three times during the fattening trial. The mineral composition of maize silage, ground triticale and premix is presented in Table 3. Fattening was carried out for 8 months until 570 days of age. Next the bulls were transported to a meat processing plant where they were

Table 3

Mineral composition of feed components (mg $kg^{-1}$)

| Components | Elements | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Na | K | Mg | P | Ca | Fe | Cu | Zn | Mn |
| Maize silage | 5.681 | 5252.74 | 948.29 | 1101.24 | 209.76 | 44.312 | 1.967 | 13.066 | 13.197 |
| Premix | 79000 | - | 28000 | 48000 | 235000 | 500000 | 375 | 3750 | 2000 |
| Triticale | 2870.0 | 8160.0 | 4030.0 | 6690.0 | 8570.0 | 291.0 | 38.3 | 170.8 | 112.5 |

kept in individual boxes with access to water for 15 to 20 hours. The animals were weighed before slaughter and all slaughter and post-slaughter procedures were carried out in accordance with the relevant industrial standards. Slaughter was performed twice, and 10 animals were slaughtered each time. Half-carcasses were weighed within an accuracy of 0.5 kg, and carcass conformation and fatness were evaluated by a trained grader based on the EUROP system criteria. Intramuscular fat samples were collected from the loin (*m. longissimus dorsi*, between the $11^{th}$ and $13^{th}$ thoracic vertebrae).

Samples of MLD were homogenized, approximately 0.5 g of the material was weighed into Teflon vessels, and 7 ml of 65% nitric acid (Merck) was added. Each sample was tested in duplicate. The vessels were sealed and the samples were mineralized in a MARS Xpress 5 microwave oven (Candela, USA). Each mineralization session involved 2 blank samples and 2 samples of certified reference material. The mineralized material was cooled and quantitatively transferred to 25 ml volumetric flasks. Minerals were analyzed with the use of an atomic absorption spectrometer (Candela, USA) equipped with light sources for each element to be determined (potassium, sodium, magnesium, zinc, iron). The elements analyzed by atomic absorption spectrometry and the operating conditions of the spectrometer are shown in Table 4.

In order to determine the fatty acid profile of beef, fat was extracted from ground meat samples by the Soxhlet method (Büchi B-811 extraction system) with hexane as the solvent. The concentrations of 33 fatty acids were determined by gas chromatography in a Varian CP 3800 chromato-

Table 4

Operating conditions of the atomic absorption spectrometer used for the analysis of minerals

| Elements | Fuel | Support | Wavelength (nm) | Spectral bandpass (nm) |
|---|---|---|---|---|
| Potassium | acetylene | air | 766.5 | 0.2 |
| Sodium | acetylene | air | 589.0 | 0.2 |
| Magnesium | acetylene | air | 202.6 | 1.0 |
| Zinc | acetylene | air | 213.9 | 1.0 |
| Iron | acetylene | air | 248.3 | 0.2 |

graph equipped with a split/splitless injector and a flame-ionization detector (FID). 1 µl samples of fatty acid methyl esters were placed on a capillary column of a length of 100 m and an internal diameter of 0.25 mm, with the CP-sil88 stationary phase. Helium was used as the carrier gas, injector temperature was 260°C, and the total time of a single analysis was 68 min. The percentage of fatty acids was calculated using Galaxie software.

The effect of fattening intensity on the mineral content and fatty acid profile of beef was determined by one-way ANOVA for orthogonal designs at a significance level of $p = 0.05$ and $p = 0.01$. The results were analyzed statistically in Statistica 10.0 program (StatSoft 2014).

## RESULTS AND DISCUSSION

Bulls fed TMR supplemented with ground triticale for 240 days (group I) were characterized by significantly ($P < 0.01$) higher average daily gains and higher final body weights in comparison with semi-intensively fattened bulls (Table 5), which was caused by the richer diet of the former, in particular

Table 5

Body weight (BW) at the beginning and at the end of fattening and selected parameters of bull carcasses (least squares means ± SD)

| Elements | Fattening intensity | | | | *p* - value |
|---|---|---|---|---|---|
| | semi-intensive (SI) | | intensive (I) | | |
| | LSM | SD | LSM | SD | |
| BW at the beginning of fattening (kg) | 370.3 | 9.40 | 375.5 | 9.39 | 0.8232 |
| BW at the end of fattening (kg) | 574.5 | 18.14 | 643.3** | 9.74 | 0.0022 |
| Average daily gain (kg) | 0.845 | 0.08 | 1.115** | 0.05 | 0.0032 |
| Body weight before slaughter (kg) | 537.6 | 47.08 | 597.3** | 29.51 | 0.0023 |
| Dressing percentage (%) | 55.35 | 0.55 | 56.86* | 0.57 | 0.0221 |
| [1]Conformation score (pts) | 6.00 | 1.25 | 6.70 | 1.25 | 0.3231 |
| [2]Fatness score (pts) | 5.90 | 0.31 | 7.10 | 0.64 | 0.0629 |
| Intramuscular fat (%) | 2.91 | 1.51 | 3.25 | 1.53 | 0.2156 |

[1]EUROP conformation: 1 to 15, with 1 = very lean, and 15 = muscled outstanding.
[2]EUROP degree of fat cover: 1 to 15, with 1 = very lean, and 15 = very fat.
Mean values in rows are significantly different: * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$.

higher dietary energy concentrations. Carcass dressing percentage was also higher in group I bulls than in group SI animals. The significant difference of 1.51% noted between the groups resulted from differences in carcass conformation and fat cover. The carcasses of group I bulls had a higher fat con-

tent and received higher conformation scores, owing to the more intensive feeding and higher final body weights. Our results corroborate the findings of Nogalski et al. (2014), who demonstrated that carcasses of Holstein-Friesian bulls fattened semi-intensively (grass silage) had a lower dressing percentage, a lower fat content and lower conformation scores than the carcasses of bulls fattened intensively. Fattening intensity had no significant effect on the intramuscular fat content of MLD.

The mineral (K, Na, Mg, Zn, Fe) content of meat from Holstein-Friesian bulls was not significantly affected by fattening intensity (Table 6). Similarly

Table 6

Mineral content of meat (mg $kg^{-1}$ of fresh meat) from Holstein-Friesian bulls

| Elements | Fattening intensity | | | | *p* - value |
|---|---|---|---|---|---|
| | semi-intensive (SI) | | intensive (I) | | |
| | LSM | SD | LSM | SD | |
| K | 4746.5 | 394.6 | 4773.8 | 425.6 | 0.8832 |
| Na | 635.1 | 65.4 | 613.0 | 49.4 | 0.4061 |
| Mg | 217.3 | 11.5 | 218.8 | 18.6 | 0.8249 |
| Zn | 44.0 | 4.7 | 48.3 | 7.1 | 0.1256 |
| Fe | 18.7 | 2.9 | 19.4 | 2.6 | 0.6079 |

to Lawrie (1990), Barge et al. (2005) and Hollo et al. (2007), we found that beef is quantitatively the richest source of potassium regardless of the fattening system. In our study, the potassium content of the analyzed meat samples ranged from 4746.5 to 4773.8 mg $kg^{-1}$ of fresh meat. Iron is an important dietary mineral involved in various bodily functions, including oxygen transport in the blood (Mateescu et al. 2013). Potassium and iron concentrations were higher in meat samples collected from groups I bulls in comparison with those collected from group SI animals. Such a trend was also noted in zinc and manganese content. According to Mateescu et al. (2013), 100 g of beef contains an average of 3.89 mg Zn, or 26% of the recommended daily intake. Beef samples analyzed in our study had a higher zinc content. It should be noted than the zinc content of beef is two-fold higher than in pork and veal, and 5- to 7-fold higher than in poultry (Barowicz, Brejta 2000). In the present experiment, the Na content of meat was higher in group SI than in group I (635.1 mg $kg^{-1}$ of fresh meat vs. 613.0 mg $kg^{-1}$ of fresh meat). High potassium levels and low sodium levels in meat from bulls fattened intensively point to its higher nutritional value as compared with meat from bulls fattened semi-intensively. Hollo et al. (2007) also observed higher concentrations of K and Zn in meat samples collected from Holstein-Friesian bulls fattened intensively than in samples collected from extensively fed animals (K – 3384 mg $kg^{-1}$ vs. 3179 mg $kg^{-1}$, Zn – 36.4 mg $kg^{-1}$ vs. 33.7 mg $kg^{-1}$). However, the cited authors noted higher concentrations of Mg and Fe and lower

Na levels in meat from bulls fattened extensively, which was not observed in our study. The concentrations of K, Na, Zn and Fe in MLD determined in group I were higher, and Mg content was lower in comparison with the respective values reported by Pilarczyk (2014) who analyzed samples of *m. longissimus lumborum* collected from Limousin, Red Angus and Salers bulls. Ibegbulem, Abanobi (2014) also noted lower K and Na levels and higher Mg concentrations in beef, compared with the values observed in our study. Czerwonka, Szterk (2015), who analyzed the concentrations of mineral elements in samples of *m. longissimus dorsi* collected from Polish Holstein-Friesian bulls, found lower levels of Fe, K and Na and higher Mg levels in comparison with our study (18.3, 4280.0, 494.0, 272.0 mg $kg^{-1}$ of fresh meat, respectively). In the present experiment, the Mg content of MLD ranged from 217.3 to 218.8 mg $kg^{-1}$ of fresh meat.

Fattening intensity had no significant effect on the concentrations of the majority of fatty acid groups or their mutual proportions (Table 7). A trend

Table 7

The effect of fattening intensity of the total fatty acid pool in beef

| Specification | Fattening intensity | | | | *p*-value |
|---|---|---|---|---|---|
| | semi-intensive (SI) | | intensive (I) | | |
| | LSM | SD | LSM | SD | |
| SFA (%) | 47.377 | 2.767 | 45.462 | 2.496 | 0.1215 |
| UFA (%) | 55.178 | 3.201 | 56.824 | 2. 456 | 0.2135 |
| MUFA (%) | 48.024 | 2.239 | 50.435 | 2.759 | 0.0458 |
| PUFA (%) | 4.562 | 0.975 | 4.086 | 0.756 | 0.2385 |
| UFA/SFA | 1.172 | 0.141 | 1.256 | 0.121 | 0.1695 |
| PUFA/SFA | 0.097 | 0.025 | 0.090 | 0.017 | 0.4532 |
| MUFA/SFA | 1.019 | 0.110 | 1.115 | 0.118 | 0.0767 |
| *n*-3 (%) | 0.513 | 0.095 | 0.441 | 0.063 | 0.0483 |
| *n*-6 (%) | 3.207 | 0.869 | 2.859 | 0.686 | 0.3331 |
| *n*-6/n-3 | 6.254 | 1.239 | 6.525 | 1.470 | 0.6615 |
| DFA (%) | 69.285 | 2.733 | 70.386 | 1.824 | 0.3032 |
| OFA (%) | 33.270 | 2.281 | 31.900 | 1.842 | 0.1565 |

towards higher levels of SFAs, OFAs, *n*-3 and *n*-6 PUFAs was noted in meat samples collected from group SI bulls, compared with those collected from group I animals. Acid *n*-3 had a significant ($P < 0.05$) share of the total fatty acid pool. Meat from group I bulls was characterized by higher concentrations of UFAs, MUFAs and DFAs than meat from group SI bulls. The difference in MUFA concentrations between groups was statistically significant ($P < 0.05$). In a study by De Smet et al. (2000), feeding maize silage and

concentrate to bulls contributed to an increased fat content of bovine meat, which was paralleled by increased proportions of SFAs and MUFAs and a decreased proportion of PUFAs. In our experiment, similarly to the findings of Nogalski et al. (2014), a higher intramuscular fat content of meat from group I bulls was not accompanied by an increase in SFA levels. Meat from group SI bulls contained higher amounts of essential PUFAs (4.562%) that have a beneficial influence on human health, which indicates that beef from cattle fed less intensively delivers more health benefits.

The PUFA/SFA and *n*-6/*n*-3 PUFA ratios are good indicators of the nutritional value of dietary fat (Alfaia et al. 2007*a*,*b*). Xie et al. (2012) reported that an increase in PUFA concentrations and a lower *n*-6/*n*-3 PUFA ratio are desirable for human health. In our study, the *n*-6/*n*-3 PUFA ratio was relatively high (6.254 in group SI and 6.525 in group I). According to the nutritional recommendations, the PUFA/SFA ratio in the human diet should be above 0.45, and the *n*-6/*n*-3 PUFA ratio should not exceed 4.0 (British Department of Health 1994). In our experiment, the PUFA/SFA ratio was similar to that reported by Enser et al. (1998) and Sobczuk-Szul et al. (2014) – 0.11 and 0.063, respectively, and lower than that noted by Aldai et al. (2007) – 0.45. According to Bartnikowska, Kulasek (1994), the optimal *n*-6/*n*-3 PUFA ratio in the human diet is 2-5:1, whereas according to Wijendran, Hayes (2004) it should oscillate around 6:1. The values noted in our study exceed the recommended levels, but according to Varela et al. (2004) and Scollan et al. (2006), the intramuscular fat of steers fed maize silage and concentrate has a less favorable *n*-6/*n*-3 PUFA ratio in comparison with pasture-finished steers.

Fattening intensity had a significant ($p < 0.05$) effect on the concentrations of oleic acid (C 18:1 *n*-9), which was a predominant functional MUFA

Table 8

The effect of fattening intensity on the concentrations of functional fatty acids (%) in beef

| Fatty acids | Fattening intensity | | | | *p* – value |
|---|---|---|---|---|---|
| | semi-intensive (SI) | | intensive (I) | | |
| | LSM | SD | LSM | SD | |
| C 18:1 T10+11 vaccenic acid | 2.048 | 0.678 | 2.127 | 0.679 | 0.7973 |
| C 18:1 n-9 oleic acid | 37.414 | 1.936 | 39.985 | 2.585 | 0.0215 |
| C 18:2 linoleic acid | 2.593 | 0.605 | 2.303 | 0.437 | 0.2346 |
| C 18:3 linolenic acid | 0.467 | 0.084 | 0.410 | 0.052 | 0.0825 |
| C 18:2 C9 T11 conjugated linoleic acid (CLA) | 0.381 | 0.078 | 0.353 | 0.074 | 0.4180 |
| C 20:4 arachidonic acid | 0.614 | 0.308 | 0.556 | 0.268 | 0.6573 |
| C 20:5 eicosapentaenoic acid (EPA) | 0.046 | 0.053 | 0.031 | 0.035 | 0.4740 |
| C 22:5 docosapentaenoic acid (DPA) | 0.098 | 0.056 | 0.097 | 0.055 | 0.9836 |
| C 22:6 docosahexaenoic acid (DHA) | 0.038 | 0.033 | 0.016 | 0.011 | 0.0707 |

in the analyzed meat samples and had a significantly higher share of the total fatty acid pool in group I than in group SI (39.98% vs. 37.41%) – Table 8. Bilik et al. (2009) showed that the fatty acid composition of meat from bulls was more favorable when the animals were fattened semi-intensively with a greater proportion of bulky feeds in the diet, compared with intensive fattening. Meat samples collected from group SI bulls contained higher concentrations of linoleic acid, linolenic acid, CLA, arachidonic acid, eicosapentaenoic acid (EPA) and docosapentaenoic acid (DHA), which are known to have disease-preventing and health-promoting properties. Our results are partially consistent with the findings of Nogalski et al. (2013).

## CONCLUSIONS

Intensive fattening of young Holstein-Friesian bulls, compared with semi-intensive fattening, contributed to an increase in the growth rate of animals, carcass dressing percentage, carcass conformation scores and intramuscular fat content of *m. longissimus dorsi*. Our study confirmed that beef is a good source of minerals. The meat of bulls fattened intensively was characterized by higher potassium levels and lower sodium levels, which points to its higher nutritional value. Less intensive fattening increased the PUFA content of beef and decreased the *n*-6/*n*-3 PUFA ratio.

## REFERENCES


Aldai N., Najera A.I., Dugan M.E.R., Celaya R., Osoro K. 2007. *Characterisation of intramuscular, intermuscular and subcutaneous adipose tissues in yearling bulls of different genetic groups*. Meat Sci., 76: 682-691.

Alfaia C.P.M., Castro M.L.F., Martins S.I.V., Portugal A.P.V., Alves S.P.A., Fontes C.M.G.A., Bessa R.J.B., Prates J.A.M. 2007*a*. *Effect of slaughter season on fatty acid composition, conjugated linoleic acid isomers and nutritional value of intramuscular fat in Barrosa-PDO veal*. Meat Sci., 75: 44-52.

Alfaia C.P.M., Castro M.L.F., Martins S.I.V., Portugal A.P.V., Alves S.P.A., Fontes C.M.G.A., Bessa R.J.B., Prates J.A.M. 2007*b*. *Influence of slaughter season and muscle type on fatty acid composition, conjugated linoleic acid isomeric distribution and nutritional quality of intramuscular fat in Aroquesa-PDO veal*. Meat Sci., 76: 787-795.

Barge M.T., Piccone G., Barge P., Cignetti A. 2005. *Preliminary results on mineral content of some beef muscles*. Ital. J. Anim. Sci., 4 (Suppl. 2): 272-274.

Barowicz T., Brejta W. 2000. *Modifying dietary values of beef by nutritional factor*. Rocz. Nauk. Zoot., 6: 15-19. (in Polish)

Bartnikowska E., Kulasek G. 1994. *Role of unsaturated fatty acids in humand and animal nutrition*. Part II. *Deficits and nutritional treatment of deficits*. Mag. Wet., 5: 34-38. (in Polish)

Bilik K., Węglarzy K., Choroszy Z. 2009. *Effect of feeding intensity of Limousin bulls on production parameters and dietetic properties of meat*. Rocz. Nauk. Zoot., 36: 63-73.

British Department of Health 1994. *Nutritional aspects of cardiovascular disease: Report of Health and Social Subjects*. No 46. London, HMSO.

Clarkson P. M., Haymes E. M. 1995. *Exercise and mineral status of athletes: Calcium, magnesium, phosphorus, and iron.* Med. Sci. Sports Exerc., 27: 831-843.

Czerwonka M., Szterk A. 2015. *The effect of meat cuts and thermal processing on selected mineral concentration in beef from Holstein–Friesian bulls.* Meat Sci., 105: 75-80.

De Smet S., Webb E.C., Claeys E., Uytterhaegen L., Demeyer D.I. 2000. *Effect of dietary energy and protein levels on fatty acid composition of intramuscular fat in double-muscled Belgian Blue bulls.* Meat Sci., 56: 73-79.

Du M., Ahn D.U., Sell J.L. 2000. *Effects of dietary conjugated linoleic acid and linoleic:linolenic acid ratio on polyunsaturated fatty acid status in laying hens.* Poultry Sci., 79: 1749-1756.

Enser M., Hallet B., Hewitt G., Fursey J., Wood D., Harrington G. 1998. *Fatty acid content and composition of UK beef and lamb muscle in relation to production system and implications for human nutrition.* Meat Sci., 49: 329-341.

Giuffrida-Mendoza M., Arenas De Moreno L., Uzcátegui-Bracho S., Rincón-Villalobos G., Huerta-Leidenz N. 2007. *Mineral content of longissimus dorsi thoracis from water buffalo and Zebu-influenced cattle at four comparative ages.* Meat Sci., 75: 487-493.

Harris W.S. 2001. *Omega 3 fatty acids and human chylomicron metabolism.* World Rev. Nutrit. Diet., 88: 163-167.

Holló G., Nuernberg K., Holló I., Csapó J., Seregi J., Repa I., Ender K. 2007. *Effect of feeding on the composition of longissmus muscle of Hungarian Grey and Holstein - Friesian bulls.* III. *Amino acid composition and mineral content.* Arch. Tierz., 50(6): 575-586.

Ibegbulem C. O., Abanobi S. E. 2014. *Possible correlation between mineral profile and protein content of foods.* Turk. J. Biochem., 39(1): 45-50.

Kowalski I.M., Protasiewicz-Fałdowska H., Jóźwiak-Grabysa D., Kiebzak W., Zarzycki D., Lewandowski R., Szarek J. 2010. *Environmental factors predisposing to pain syndromes among adolescent girls with diagnosed idiopathic scoliosis.* J. Elem., 15(3): 517-530.

Lawrie R.A. 1990. *Meat science.* 5th edn. Pergamon Press, Oxford.

Littledike E. T., Wittum T. E., Jenkins T. G. 1995. *Effect of breed, intake, and carcass composition on the status of several macro and trace minerals of adult beef cattle.* J. Anim. Sci., 73: 2113-2119.

López-Alonso M., Benedito J.L., Miranda M., Castillo C., Hernández J., Shore R.F. 2000. *Arsenic, cadmium, lead, copper and zinc in cattle from Galicia, NW Spain.* Sci. Total Environ., 246: 237-248.

Mateescu R.G., Garmyn A.J., Tait J.R.R.G., Duan Q., Liu Q., Mayes M.S., Garrick D.J., van Eenennaam A.L., van Overbeke D.L., Hilton G.G., Beitz D.C., Reecy J.M. 2013. *Genetic parameters for concentrations of minerals in longissimus muscle and their associations with palatability traits in Angus cattle.* J. Anim. Sci., 91(3): 1067-75.

Morales M., Folch C., Iraira S., Teuber N., Realini C.E. 2012. *Nutritional quality of beef produced in Chile from different production systems.* Chil. J. Agr. Res., 72: 80-86.

Nogalski Z., Wroński M., Wielgosz-Groth Z., Purwin C., Sobczuk-Szul M., Mochol M., Pogorzelska P. 2013. *The effect of carcass conformation class (EUROP system) on the slaughter quality of young crossbred beef bulls and Holstein-Friesians.* Ann. Anim. Sci., 13(1): 121-131.

Nogalski Z., Wielgosz-Groth Z., Purwin C., Nogalska A., Sobczuk-Szul M., Winarski R., Pogorzelska P. 2014. *The effect of slaughter weight and fattening intensity on changes in carcass fatness in young Holstein-Friesian bulls.* Ital. J. Anim. Sci., 13: 66-72.

Pilarczyk R. 2014. *Elemental composition of muscle tissue of various beef breeds reared under intensive production systems.* Int. J. Environ. Res., 8(4): 931-940.

Scollan N., Hocquette J.F., Nuernberg K., Dannenberger D., Richardson I., Moloney A. 2006. *Innovations in beef production systems that enhance the nutritional and health value of beef lipids and their relationship with meat quality.* Meat Sci., 74: 17-33.

Sobczuk-Szul M., Nogalski Z., Wielgosz-Groth Z., Mochol M., Rzemieniewski A., Pogorzelaka-Przybyłek P., Purwin C. 2014. *Fatty acid profile in 4 types of fat depots in Polish Holstein-Friesian and Limousine × Polish Holstein-Friesian bulls*. Turk. J. Vet. Anim. Sci., 38: 189-194.

StatSoft Inc. Statistica (data analysis software system), Version 10.0. 2014.

Tam M., Gomez S., Gonzalez-Gross M., Marcos A. 2003. *Possible roles of magnesium on the immune system*. Eur. J. Clin. Nutr., 57: 1193-1197.

Tizioto P.C., Taylor J.F., Decker J.E., Gromboni C. F., Mudadu M. A., Schnabel R.D., Coutinho L.L., Mourão G.B., Oliveira P.S.N., Souza M.M., Reecy J.M., Nassu R.T., Bressani F.A., Tholon P., Sonstegard T.S., Alencar M.M., Tullio R.R., Nogueira A.R.A., Regitano L.C.A. 2015. *Detection of quantitative trait loci for mineral content of Nelore longissimus dorsi muscle*. Genet. Sel. Evol., 47: 15.

Toro P., Catrileo A., Aguilar C., Vera R. 2009. *Modeling supplementation strategies for beef steer rearing and fattening system in Southern Chile*. Chil. J. Agr. Res., 69: 207-213.

Varela A., Oliete B., Moreno T., Portela C., Monserrat L., Carballo J., Sanchez L. 2004. *Effect of pasture finishing on the meat characteristics and intramuscular fatty acid profile of steers of the Rubia Gallega breed*. Meat Sci., 67: 512-522.

von Schacky C., Angerer P., Kothny W., Theisen K., Mudra H. 1999. *The effect of dietary omega-3 fatty acids on coronary atherosclerosis. A randomized, double-blind, placebo-controlled trial*. Ann. Int. Med., 130: 554-62.

Whetsell M., Raybun E., Dossier J.D. 2003. *Human health effects of fatty acids in beef. Pasture-Based Beef Systems for Appalachia Project, Extension Service*. West Virginia University, Morgantown, Virginia, USA.

Wijendran V., Hayes K.C. 2004. *Dietary n-6 and n-3 fatty acid balance and cardiovascular health*. Annu. Rev. Nutr., 24: 597-615.

Xie X., Meng Q., Cui Z., Ren L. 2012. *Effect of cattle breed on meat quality, muscle fiber characteristics, lipid oxidation and fatty acids in China*. Asian-Aust. J. Anim. Sci., 25: 824-831.

Journal of Elementology ISSN 1644-2296

Momot M., Nogalski Z., Sobczuk-Szul M., Pogorzelska-Przybyłek P., Modzelewska-Kapituła M. 2017. *Health-promoting properties of meat from once-calved and maiden heifers*. J. Elem., 22(4): 1243-1253. DOI: 10.5601/jelem.2016.21.4.1343

**ORIGINAL PAPER**

# HEALTH-PROMOTING PROPERTIES OF MEAT FROM ONCE-CALVED AND MAIDEN HEIFERS*

**Martyna Momot[1], Zenon Nogalski[1], Monika Sobczuk-Szul[1], Paulina Pogorzelska-Przybyłek[1], Monika Modzelewska-Kapituła[2]**

**[1]Department of Cattle Breeding and Milk Evaluation**
**[2]Department of Industrial Commodity, Basics of Techniques and Energy Management**
**University of Warmia and Mazury in Olsztyn, Poland**

**Abstract**

Beef has a high nutritional value owing to the presence of minerals, vitamins, polyunsaturated fatty acids (PUFA) and selected protein fractions. The objective of this study was to investigate the influence of calving and nursing on the fatty acid profile and the content of minerals and vitamins in the meat of crossbred (Limousine x Polish Holstein-Friesian) once-calved heifers in comparison with the meat of maiden heifers. At 15 months of age, once-calved heifers were inseminated with the semen of Limousine bulls. After calving and lactation, they were slaughtered. Meat samples were collected from m. *longissimus dorsi* (MLD). The fatty acid composition was determined with the use of a gas chromatograph. The content of 5 minerals (potassium, sodium, magnesium, zinc, iron) was determined by atomic absorption spectrometry. The content of vitamins A and E was determined by high-performance liquid chromatography. Gestation and nursing had a negligent effect on the content of functional components in the meat of once-calved heifers, in comparison with the meat of heifers. The meat of heifers contained more vaccenic acid (TVA) (C 18:1 T10+11), arachidonic acid (AA) (C 20:4) and docosahexaenoic acid (DHA) (C 22:6), whereas the meat of once-calved heifers was more abundant in oleic acid, zinc, iron and vitamin E ($P \leq 0.01$). Commercially crossbred heifers can be included in once-bred heifer production systems, which create a possibility of producing additional offspring plus higher body weight of heifers with no adverse effect on the functional properties.

**Keywords:** once-calved and maiden heifers, beef, fatty acids, minerals, vitamins.

mgr inż. Martyna Momot, Department of Cattle Breeding and Milk Quality Evaluation, University of Warmia and Mazury in Olsztyn, Oczapowskiego 5, 10-719 Olsztyn, Poland, e-mail: martyna.momot@uwm.edu.pl

* This study was conducted within Project no. WND-POIG.01.03.01-00-204/09 Optimizing Beef Production in Poland According to the "From Fork to Farm" strategy co-financed by the European Regional Development Fund under the Innovative Economy Operational Program 2007–2013.

## INTRODUCTION

The sensory properties of beef are significantly influenced by fat deposition (Modzelewska-Kapituła, Nogalski 2014). The quality of fat is determined mainly by the content of fatty acids, which deliver health benefits for consumers. Polyunsaturated fatty acids (PUFA), mainly linoleic acid (LA), arachidonic acid (AA), eicosapentaenoic acid (EPA), docosapentaenoic acid (DPA) and docosahexaenoic acid (DHA), are biologically active substances that stimulate immunity, limit fat deposition, exert antibacterial, anticarcinogenic and antioxidant effects. Many lifestyle diseases are linked to an excessively wide ratio of *n*-6 to *n*-3 PUFA in a human diet. An optimal balance between intake of *n*-6 and *n*-3 fatty acids should be 5-8:1-2 (WHO 2003), whereas contemporary diets are characterized by a ratio of 10:20 (Breslow 2006). Beef should not be evaluated based only on its fat content, because it is also an excellent source of iron, zinc and magnesium (Li et al. 2005). In the group of most highly consumed meats in the United States, beef is characterized by the highest content of available iron and zinc (USDA-ARS 2010). Calcium, magnesium and phosphorus are important to a wide variety of body functions. First of all, they serve for bone mineralization. In addition, they are cofactors of many enzyme systems, sustaining muscle and nerve excitation. Iron is required for maintaining the oxygen carrying capacity of blood (Clarkson, Haymes 1995). Magnesium has a strong relationship with the immune system, in both nonspecific and specific immune responses, which are also known as innate and acquired immune responses (Tam et al. 2003). Vitamins A and E are important natural dietary antioxidants. Vitamin E is an essential nutrient which stabilizes PUFA and is a key determinant of meat quality, in particular in meat from ruminants (Wood et al. 2008).

In Poland, beef production is based mainly on young bulls and culled dairy cows. Beef quality can be improved by commercial crossbreeding of selected cows and heifers of the dairy cattle population to produce beef calves (Nogalski et al. 2013*a*). Heifers account for around 15% of slaughtered cattle, and around 200,000 heifers are slaughtered each year (Integrated System of Agricultural Market Information 2015). The population of calves suitable for fattening has been dwindling, and this problem could be addressed by using once-calved heifers for calf production. This production regime is known as the once-bred heifer (OBH) system. In this system, dairy heifers that are not suitable for further breeding and heifers produced by commercial crossbreeding in dairy herds are inseminated with the semen of beef bulls upon reaching reproductive maturity (Nogalski et al. 2016). After calving, primiparas referred to as once-calved heifers nurse their offspring for several months and are slaughtered after weaning. Earlier studies have demonstrated that gestation increases the body weight gains of heifers (Zembayashi 2001). In comparison with adult suckler cows, young growing heifers use

more dietary energy to increase their body weight, therefore the OBH system is more effective than the production of calves in beef cattle herds (Bourdon, Brinks 1987). Meat production based on once-calved heifers, produced by crossbreeding with beef bulls in dairy cattle herds, is characterized by higher economic efficiency, and the production of crossbreeds as byproducts of dairy farms is cheaper than the production of beef cattle breeds in conventional cow-calf systems (Zembayashi 2001). Once-calved heifers should be used in the production of beef calves only if the resulting carcasses are characterized by high meat quality and if they increase the supply of beef on the consumer market (Hoving-Bolink et al. 1999). According to Daszkiewicz et al. (2006), the meat of once-calved heifers is characterized by lower quality than beef from heifers that are not used for reproductive purposes.

The slaughter value, carcass traits and meat quality of crossbred Polish Holstein-Friesian x Limousine bulls, steers and heifers have been analyzed in several studies (Nogalski et al. 2013*a*,*b*, Modzelewska-Kapituła, Nogalski 2014, Sobczuk-Szul et al. 2014), whereas the slaughter value of once-calved heifers, in particular the content of functional components in beef, remains insufficiently researched. The aim of this experiment was to investigate the influence of calving and nursing on the fatty acid profile and the content of minerals and vitamins in the meat of crossbred (Limousine x Polish Holstein-Friesian) once-calved heifers in comparison with the meat of maiden heifers.

## MATERIAL AND METHODS

### Animals, experimental design, and treatments

The experiment was performed on 33 females, including 16 heifers and 17 once-calved heifers produced by crossing Limousine (LM) bulls with Polish Holstein-Friesian (PHF) cows. The semen of 9 bulls was used for insemination. The feeding regime for calves and heifers was described in a previous study (Nogalski et al. 2016). Sixteen heifers were fattened until 18 months of age, after which they were transported to a meat processing plant and slaughtered. Seventeen once-calved heifers at 466.3 days of age and average body weight of 432.8 kg were inseminated with the semen of Limousine bulls. Heifers calved at 24.5 months of age. During gestation, the average daily gain of heifers was 0.73 kg, and their average body weight before calving was 636 kg. Parturition was unassisted in 10 heifers, and assistance was required in 7 animals. One heifer died after difficult parturition. One calf died shortly after birth. The average birth weight of calves (25% PHF and 75% LM) was 39.2 kg. Calves remained with their mothers for 102 days on average, and they achieved average body weight of 147.8 kg over the nursing period. Weaned calves were moved to fattening pens. After weaning, once-calved heifers were transported to a slaughterhouse. There they were kept individually for 15 to 20 h with access to fresh water. The animals were

weighed before slaughter. All slaughter and post-slaughter procedures were executed according to meat industry rules (Council Regulation (EC) No 1099/2009). The animals were stunned, dressed and halved along the spine into two half-carcasses, which were chilled for 96 h at 4°C. Electric stimulation was not applied to the carcasses. The protocol for animal research was approved by the Ethics Committee of the University of Warmia and Mazury. The *longissimus dorsi* muscle (MLD) was removed from the right half-carcasses 96 h post mortem, and weighed. Meat specimens were collected from m. *longissimus dorsi* between the $11^{th}$-$13^{th}$ thoracic vertebrae. The samples were transported to the laboratory under refrigeration.

## Fatty acid profile

According to the Soxhlet method, intramuscular fat (IMF) was extracted from ground beef speciments using a Büchi B-811 instrument with n-hexane as solvent. Fatty acid methyl esters were obtained by dissolving the extracted fat in a methanol-chloroform-$H_2SO_4$ mixture, followed by methylation according to the modified Peisker method (Żegarska et al. 1991). The profile of 33 fatty acids was assayed with the use of a gas chromatograph (Varian CP 3800). The operating conditions of the gas chromatograph are shown in Table 1. Data were calculated in Galaxie software. The following groups of

Table 1

Working parameters of the gas chromatograph

| | |
|---|---|
| Injector | split/splitless |
| Detector | flame-ionization |
| Sample volume | 1 µL |
| Stationary phase | CP-sil 88 |
| Length of capillary column | 100 m |
| Inner diameter of capillary column | 0.25 mm |
| Carrier gas | helium |
| Injector temperature | 260°C |
| Detector temperature | 260°C |
| Initial oven temperature/ raised to | 110°C/ 249°C |
| Time of a single analysis | 68 min |

fatty acids and ratios were calculated: SFA – saturated fatty acids, UFA – unsaturated fatty acids, MUFA – monounsaturated fatty acids, PUFA – polyunsaturated fatty acids, *n*-3 and *n*-6 fatty acids MUFA/SFA, PUFA/SFA, and *n*-6/*n*-3 PUFA.

## Determination of mineral content

Samples of MLD were homogenized, specimens of approximately 0.5 g were placed in Teflon-lined pressure vessels and combined with 7 ml of 65%

spectrally pure nitric acid (Merck). Each sample was analyzed in duplicate. The vessels were sealed, and the samples were mineralized in the MARS Xpress 5 microwave digestion system (Candela, USA). Every mineralization procedure involved 2 blank samples and 2 samples of certified reference material. Mineralized samples were cooled and transferred to 25 ml volumetric flasks. They were analyzed with an atomic absorption spectrometer (Candela, USA) equipped with lamps for different elements (potassium, sodium, magnesium, zinc, iron).

**Determination of vitamin A and E content**

The content of vitamins A and E was determined based on the applicable standards (PN-EN 12822; PN-EN 12823-1), which were slightly modified for the needs of this study. Samples of MLD obtained from the loin were ground, and 2 g specimens were placed in 25 ml amber glass flasks. The samples were saponified at a temperature of 80°C for 30 minutes in 1.2 ml of 20% ascorbic acid, 0.6 ml of methanol and 5 ml of 60% potassium hydroxide. After cooling, fat was extracted twice with n-hexane, and the extract was evaporated to dryness in a stream of nitrogen. The fat remaining in flasks was dissolved in 1 ml of anhydrous ethanol and filtered into amber glass vials. Chemical compounds were separated by high-performance liquid chromatography (HPLC) using a silica column. The separated compounds were identified by two detectors in tandem (UV-visible photodiode array detector and fluorescence detector). Alpha-tocopherol was detected by fluorescence spectroscopy, and retinol was detected with the use of the UV-visible photodiode array detector. Injection volume was 20 µl. The content of total α-tocopherol and retinol in meat was calculated in duplicate for each muscle, based on the external standard, from a standard curve of peak area vs. concentration.

**Statistical analysis**

The experimental data from two treatments involving heifers ($n$ = 16) and once-calved heifers ($n$ = 15) were processed statistically by one-way ANOVA and the Tukey's HSD test in a Statistica 10 program (StatSoft Inc., Tulsa, USA) at a significance level of 1 and 5%.

## RESULTS AND DISCUSSION

Heifers were slaughtered at an average age of 558.9 days and average body weight of 482.4 kg (Table 2). Once-calved heifers were 293.4 days older at slaughter, and their average body weight was 569.7 kg. In a study by Litwińczuk et al. (1991), the average body weight of PHF x LM once-calved heifers slaughtered at 30-32 months of age was 460 kg. In our study, once-calved heifers were 110 kg heavier at slaughter, which resulted from diffe-

Table 2

Age and body weight at slaughter and the characteristics of the m. *longissimus dorsi* (MLD) of heifers and once-calved heifers

| Traits | Heifers ($n$ = 16) | | Once-calved heifers ($n$ = 15) | | Significance |
|---|---|---|---|---|---|
| | LSM | SE | LSM | SE | |
| Age at slaughter, days | 558.9 | 2.16 | 852.3 | 4.36 | ** |
| Body weight at slaughter (kg) | 482.4 | 12.88 | 569.7 | 16.59 | ** |
| Weight of MLD (kg) | 10.33 | 0.34 | 11.01 | 0.37 | * |
| MLD area ($cm^2$) | 82.8 | 3.24 | 89.6 | 2.65 | * |
| MLD area, $cm^2$ 100 $kg^{-1}$ of slaughter weight | 17.2 | 0.21 | 15.7 | 0.24 | - |
| Intramuscular fat content of MLD (%) | 2.97 | 0.31 | 3.99 | 1.46 | * |

MLD – m. *longissimus dorsi* (MLD), LSM – least-squares means, SE – standard error;
Significant differences between means: * $P \leq 0.05$ and ** $P \leq 0.01$.

rent feeding regimes. In the cited experiment (Litwińczuk et al. 1991), once-calved heifers were grazed in summer, whereas in our study, the animals were kept indoors throughout the year and fed grass silage supplemented with concentrate. The *longissimus dorsi* muscle is one of the most valuable cuts of beef. The weight and cross-sectional area of MLD were higher in once-calved heifers, which could be attributed to their higher body weights at slaughter. According to Bureš , Bartoň (2012), the carcasses of older animals are characterized by lower content of high-priced cuts, smaller MLD area per 100 kg of slaughter weight and higher fatness. In a study by Steen, Kilpatrick (1995), higher slaughter weight was also associated with higher carcass fatness and a reduction in meat and bone proportions. In our study, MLD area per 100 kg of slaughter weight was lower and the intramuscular fat (IMF) content of MLD was significantly higher in once-calved heifers than in heifers. Harper, Pethick (2004) were previously identified gender as an important source of variation in the IMF content of beef, and the influence of sex hormones on the growth and development of intramuscular adipocytes. Heifers mature faster and are therefore much more predisposed to IMF deposition. Intramuscular fat from once-calved heifers contained less ($P \leq 0.01$) SFA and more ($P \leq 0.01$) UFA, in particular MUFA (Table 3). A high proportion of SFA and a low proportion of PUFA in meat fat results from the hydrogenation of dietary fat by ruminal microflora (De Smet et al. 2000). For optimal results, beef producers should decrease the concentrations of SFA in fat and/or increase the content of PUFA, in particular $n$-3 fatty acids (Kołczak 2008). In the present study, gestation and lactation increased the share of MUFA in the total fatty acid pool in once-calved heifers, as compared with heifers. In the work of Zembayashi (2001), pregnancy and 105 days of lactation increased the content of MUFA, whereas gestation alone

Table 3

Fatty acid groups and ratios in intramuscular fat of heifers and once-calved heifers

| Item | Heifers ($n$ = 16) | | Once-calved heifers ($n$ = 15) | | Significance |
|---|---|---|---|---|---|
| | LSM | SE | LSM | SE | |
| SFA (%) | 49.35 | 0.532 | 46.71 | 0.799 | ** |
| UFA (%) | 50.68 | 0.534 | 53.29 | 0.798 | ** |
| MUFA (%) | 46.60 | 0.672 | 49.77 | 0.826 | ** |
| PUFA (%) | 4.08 | 0.299 | 3.52 | 0.164 | - |
| MUFA/SFA | 0.948 | 0.022 | 1.072 | 0.036 | ** |
| PUFA/SFA | 0.083 | 0.025 | 0.076 | 0.012 | - |
| $n$-3 fatty acids (%) | 1.19 | 0.125 | 0.92 | 0.048 | * |
| $n$-6 fatty acids (%) | 2.49 | 0.207 | 2.18 | 0.125 | - |
| $n$-6/$n$-3 PUFA ratio | 2.29 | 0.149 | 2.37 | 0.063 | - |

SFA – saturated fatty acids, UFA – unsaturated fatty acids, MUFA – monounsaturated fatty acids, PUFA – polyunsaturated fatty acids, LSM – least-squares means, SE – standard error; Significant differences between means: * $P \leq 0.05$ and ** $P \leq 0.01$.

significantly decreased the share of MUFA in once-calved heifers in comparison with heifers. Lengyel et al. (2003) noted that the PUFA content of intramuscular fat in MLD decreased with age, reaching 25.5% at 7 months, 18.4% at 14 months and 13.6% at 19 months. In our study, the share of PUFA in the total fatty acid pool was 0.56% lower in once-calved heifers than in heifers. Sobczuk-Szul et al. (2014) observed a similar PUFA/SFA ratio (0.063), Węglarz (2010) reported a higher PUFA/SFA ratio (0.19) and Aldai et al. (2007) noted a much higher PUFA/SFA ratio (0.45) than in our study. In our research, we noted that the content of omega-3 fatty acids was statistically higher ($P \leq 0.05$) and the $n$-6/$n$-3 ratio was lower in IMF of heifers than in the group of one-calved heifers (Table 3). According to the FAO and WHO recommendations, the $n$-6/$n$-3 ratio in a human diet should be around 5.0 (Kołczak 2008). In the present research, the beef was characterized by an even lower $n$-6/$n$-3 ratio, which may have a positive impact on human health. As regards functional fatty acids, the IMF of once-calved heifers contained 2.93% more ($P \leq 0.01$) oleic acid in comparison with heifers (Table 4). Statistically significant differences were noted in the concentrations of vaccenic acid (TVA), AA and DHA which were higher in the IMF of heifers.

Beef is the most zinc-abundant type of meat, and its zinc content is 2-fold higher in comparison with pork and veal and 5- to 7-fold higher in comparison with poultry meat (Barowicz, Brejta 2000). In our experiment, significant differences in the zinc and iron content of meat were observed between heifers and once-calved heifers (Table 5). In the meat of once-calved heifers, the iron content was 0.56 mg higher and zinc content was 0.63 mg higher per 100 g of fresh meat in comparison with the meat of heifers. Giuf-

Table 4

Fatty acids with functional properties in the intramuscular fat of heifers and once-calved heifers

| Fatty acids (%) | Heifers ($n$ = 16) | | Once-calved heifers ($n$ = 15) | | Significance |
|---|---|---|---|---|---|
| | LSM | SE | LSM | SE | |
| C 18:1 T10+11 vaccenic acid (TVA) | 1.082 | 0.121 | 0.668 | 0.082 | * |
| C 18:1 $n$-9 oleic acid (OA) | 38.68 | 0.700 | 41.61 | 0.685 | ** |
| C 18:2 linoleic acid (LA) | 2.090 | 0.158 | 1.930 | 0.098 | - |
| C 18:2 C9 T11 conjugated linoleic acid (CLA) | 0.240 | 0.023 | 0.251 | 0.010 | - |
| C 18:3 linolenic acid (LNA) | 0.568 | 0.042 | 0.525 | 0.020 | - |
| C 20:4 arachidonic acid (AA) | 0.407 | 0.053 | 0.247 | 0.044 | * |
| C 20:5 eicosapentaenoic acid (EPA) | 0.077 | 0.013 | 0.064 | 0.007 | - |
| C 22:5 docosapentaenoic acid (DPA) | 0.274 | 0.048 | 0.181 | 0.022 | - |
| C 22:6 docosahexaenoic acid (DHA) | 0.116 | 0.065 | 0.023 | 0.005 | * |

LSM – least-squares means, SE – standard error;
Significant differences between means: * $P \leq 0.05$ and ** $P \leq 0.01$.

Table 5

Content of mineral elements in the meat (mg $kg^{-1}$ of fresh meat) of heifers and once-calved heifers

| Minerals | Heifers ($n$ = 16) | | Once-calved heifers ($n$ = 15) | | Significance |
|---|---|---|---|---|---|
| | LSM | SE | LSM | SE | |
| Potassium (K) | 4832.5 | 84.30 | 4765.8 | 95.00 | - |
| Sodium (Na) | 524.0 | 11.29 | 538.1 | 12.42 | - |
| Magnesium (Mg) | 196.6 | 5.83 | 186.4 | 4.40 | - |
| Zinc (Zn) | 34.5 | 1.62 | 40.8 | 2.18 | * |
| Iron (Fe) | 13.2 | 0.77 | 18.8 | 1.05 | ** |

LSM – least-squares means, SE – standard error;
Significant differences between means: * $P \leq 0.05$ and ** $P \leq 0.01$.

FRIDA-MENDOZA et al. (2007) investigated variations in the mineral content of the *longissimus dorsi thoracis* muscle from water buffalo and Zebu-influenced cattle. They found that both zinc and magnesium concentrations increased with the animals' age (evaluated at 17, 19, and 24 months of age). In a study by PURCHAS, BOSBOOM (2005), iron concentrations in the meat of crossbred beef heifers were also influenced by the age at slaughter, but not by a diet or feeding intensity. In the cited study, the meat of heifers slaughtered at 27-28 months of age contained 18.6% more iron than the meat of

heifers slaughtered at 16-17 months of age. In our study, where the age difference between the compared groups was similar, the meat of older heifers contained 42% more iron. In addition to age, gestation was probably another factor that contributed to the higher iron content of beef from older heifers.

Vitamins A and E are essential nutrients in a human diet (Wood et al. 2008). The meat of once-calved heifers was more abundant in vitamins A and E than the meat of heifers (Figure 1). The observed differences in the vitamin E content of beef (1806 and 2412 μg $kg^{-1}$) were statistically significant, and they can be attributed mainly to the higher IMF content of meat from once-calved heifers.

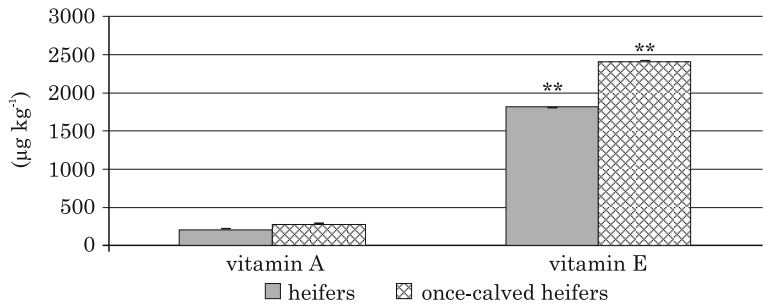



Fig. 1. Content of vitamins A and E in the meat (μg $kg^{-1}$ of fresh meat) of heifers and once-calved heifers.
Significant differences between means: ** $P \leq 0.01$

## CONCLUSIONS

The meat of heifers was more abundant in TVA, AA and DHA, whereas the meat of once-calved heifers was characterized by higher concentrations of oleic acid, zinc, iron and vitamin E. These commercially crossbred heifers can be included in once-bred heifer beef production systems, which create a possibility of producing additional offspring plus higher body weight of heifers with no adverse effect on the content of functional components in meat.

## REFERENCES

Aldai N., Najera A.I., Dugan M.E.R., Celaya R., Osoro K. 2007. *Characterisation of intramuscular, intermuscular and subcutaneous adipose tissues in yearling bulls of different genetic groups*. Meat Sci., 76: 682-691. http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.02.008

Barowicz T., Brejta W. 2000. *Modifying dietary values of beef by nutritional factor*. Rocz. Nauk. Zoot., 6: 15-19. (in Polish)

Bourdon R.M., Brinks J.S. 1987. *Simulated efficiency of range beef production.* III. *Culling strategies and nontraditional management systems*. J. Anim. Sci., 65: 963-969.

Breslow J.L. 2006. *n-3 fatty acids and cardiovascular disease*. Am. J. Clin. Nutr., 83: 1477-1482. http://ajcn.nutrition.org/content/83/6/S1477.full.pdf+html

Bureš D., Bartoň L. 2012. *Growth performance, carcass traits and meat quality of bulls and*

*heifers slaughtered at different ages*. Czech J. Anim. Sci., 57: 34-43. http://www.agriculture-journals.cz/publicFiles/59688.pdf

Clarkson P.M., Haymes E.M. 1995. *Exercise and mineral status of athletes: Calcium, magnesium, phosphorus, and iron*. Med. Sci. Sports Exerc., 27: 831-843.

*Council Regulation (EC) No 1099/2009 of 24 September 2009 on the protection of animals at the time of killing*. Official J. Eur. Union L, 303: 1-30. https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/325000/regulation_1099_2009_en.pdf

Daszkiewicz T., Wajda S., Dutkowska E. 2006. *Quality of meat from purebred Black-and-White heifers, crossbred Black-and-White x Limousine heifers, and crossbred Black-and White x Limousine single-calf heifers - a comparative analysis*. Anim. Sci. Pap. Rep., 24: 79-86.

De Smet S., Webb E. C., Claeys E., Uytterhaegen L., Demeyer D. I. 2000. *Effect of dietary energy and protein levels on fatty acid composition of intramuscular fat in double-muscled Belgian Blue bulls*. Meat Sci., 56: 73-79. http://dx.doi.org/10.1016/S0309-1740(00)00023-1

Giuffrida-Mendoza M., Arenas de Moreno L., Uzcátegui-Bracho S., Rincón-Villalobos G., Huerta-Leidenz N. 2007. *Mineral content of longissimus dorsi thoracis from water buffalo and zebu-influenced cattle at four comparative ages*. Meat Sci., 75: 487-493. http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2006.08.011

Harper G. S., Pethick D. W. 2004. *How might marbling begin?* Aust. J. Exp. Agric., 44: 653-662.

Hoving-Bolink A.H., Hanekamp W.J.A., Walstra P. 1999. *Effects of diet on carcass, meat and eating quality of once-bred Piemontese x Friesian heifers*. Livest. Prod. Sci., 57: 267-272. http://dx.doi.org/10.1016/S0301-6226(98)00175-4

Integrated System of Agricultural Market Information. MRiRW. 2015.

Kołczak T. 2008. *Beef quality*. Zywn. Nauk. Technol. Ja., 56: 5-22. (in Polish)

Lengyel Z., Husveth F., Polgar P., Szabo F., Magyar L. 2003. *Fatty acid composition of intramuscular lipids in various muscles of Holstein-Friesian bulls slaughtered at different ages*. Meat Sci., 65: 593-598. http://dx.doi.org/10.1016/S0309-1740(02)00252-8

Li D., Siriamornpun S., Wahlqvist M.L., Mann N.J., Sinclair A.J. 2005. *Lean meat and heart health*. Asia Pac. J. Clin. Nutr., 14: 113-119. http://apjcn.nhri.org.tw/server/APJCN/14/2/113.pdf

Litwińczuk Z., Borkowska D., Litwińczuk A., Asarabowska A. 1991. *Slaughter value as well as the physicochemical and sensory quality of meat of once-calved cows of the Lowland Black and White breed and its crossbreed with Limousine fed forages from permanent grasslands*. Rocz. Nauk Rol., B: 169-177. (in Polish)

Modzelewska-Kapituła M., Nogalski Z. 2014. *Effect of gender on collagen profile and tenderness of infraspinatus and semimembranosus muscles of Polish Holstein-Friesian x Limousine crossbred cattle*. Livest. Sci., 167: 417-424. http://dx.doi.org/10.1016/j.livsci.2014.07.003

Nogalski Z., Pogorzelska-Przybyłek P., Wielgosz-Groth Z., Sobczuk-Szul M., Purwin C., Winarski R., Niedźwiedź J. 2013*a*. *Slaughter value of crossbred beef steers as depending on fattening intensity and slaughter age of animals*. Zywn. Nauk. Technol. Ja., 88: 51-60. http://www.pttz.org/zyw/wyd/czas/2013,%203(88)/05_Nogalski.pdf

Nogalski Z., Wroński M., Wielgosz-Groth Z., Purwin C., Sobczuk-Szul M., Mochol M., Pogorzelska P. 2013*b*. *The effect of carcass conformation class (EUROP system) on the slaughter quality of young crossbred beef bulls and Holstein-Friesians*. Ann. Anim. Sci., 13: 121-131. DOI: 10.2478/v10220-012-0064-9

Nogalski Z., Sobczuk-Szul M., Pogorzelska-Przybyłek P., Wielgosz-Groth Z., Purwin C., Modzelewska-Kapituła M. 2016. *Comparison of slaughter value for once-calved heifers and heifers of Polish Holstein-Friesian × Limousine crossbreds*. Meat Sci., 117: 1-6. DOI: 10.1016/j.meatsci.2016.02.019

Purchas R.W., Busboom J.R. 2005. *The effect of production system and age on levels of iron, taurine, carnosine, coenzyme Q10, and creatine in beef muscles and liver*. Meat Sci., 70: 589-596. DOI: 10.1016/j.meatsci.2005.02.008

Sobczuk-Szul M., Nogalski Z., Wielgosz-Groth Z., Mochol M., Rzemieniewski A., Pogorzelska--Przybyłek P., Purwin C. 2014. *Fatty acid profile in 4 types of fat depots in Polish Holstein-Friesian and Limousine × Polish Holstein-Friesian bulls*. Turk. J. Vet. Anim. Sci., 38: 189-194. DOI: 10.3906/vet-1301-21

Steen R.W.J., Kilpatrick D.J. 1995. *The effect of plan of nutrition and slaughter weight on the carcass composition of serially slaughtered bulls, steers and heifers of three breed crosses*. Livest. Prod. Sci., 43: 205-213. http://dx.doi.org/10.1016/0301-6226(95)00046-N

Tam M., Gomez S., Gonzalez-Gross M., Marcos A. 2003. *Possible roles of magnesium on the immune system*. Eur. J. Clin. Nutr., 57: 1193-1197. DOI: 10.1038/sj.ejcn.1601689

USDA-ARS 2010. *USDA National Nutrient Database for Standard Reference, Release 23*. Agricultural Research Service, USDA, Nutrient Data Laboratory Home Page (www.ars.usda.gov/ba/bhnrc/ndl. (Accessed: 7 Juni, 2016))

Węglarz A. 2010. *Quality of beef from semi-intensively fattened heifers and bulls*. . Anim. Sci. Pap. Rep., 28: 207-218. http://free-journal.umm.ac.id/files/file/str_207-218.pdf

WHO 2003. *Diet, nutrition and the prevention of chronic diseases. Report of a Joint WHO/FAO Expert Consultation*. World Health Organization Technical Report Series 916, Geneva. http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/42665/1/WHO_TRS_916.pdf?ua=1

Wood J.D., Enser M., Fisher A.V., Nute G.R., Sheard P.R., Richardson R.I., Hughes S.I., Whittington F.M. 2008. *Fat deposition, fatty acid composition and meat quality: A review*. Meat Sci., 78: 343-358. DOI: 10.1016/j.meatsci.2007.07.019

Zembayashi M. 2001. *Effect of suckling on growth and quantitative and qualitative carcass traits of once-calved heifers*. Meat Sci., 58: 277-282. http://dx.doi.org/10.1016/S0309--1740(01)00026-2

Żegarska Z., Jaworski J., Borejszo Z. 1991. *Evaluation of a modified Peiskera method of the preparation of fatty acid methyl esters*. Acta Acad. Agricult. Techn. Olst. Technol. Aliment., 24: 25-33 (in Polish)

*animals*

MDPI

*Article*

# Influence of Genotype and Slaughter Age on the Content of Selected Minerals and Fatty Acids in the Longissimus Thoracis Muscle of Crossbred Bulls

**Martyna Momot *, Zenon Nogalski, Paulina Pogorzelska-Przybyłek and Monika Sobczuk-Szul**

Department of Cattle Breeding and Milk Evaluation, Faculty of Animal Bioengineering, University of Warmia and Mazury in Olsztyn, ul. Oczapowskiego 5/137, 10-719 Olsztyn, Poland; zenon.nogalski@uwm.edu.pl (Z.N.); paulina.pogorzelska@uwm.edu.pl (P.P.-P.); monika.sobczuk@uwm.edu.pl (M.S.-S.)

* Correspondence: martyna.momot@uwm.edu.pl; Tel.: +48-89-524-3851

Received: 24 September 2020; Accepted: 27 October 2020; Published: 30 October 2020




**Simple Summary:** In some European countries, including Poland, beef production is based mostly on dairy cattle herds. Beef quality can be improved by the commercial crossbreeding of dairy cows with beef bulls. The offspring are characterized by higher fattening performance and more desirable carcass characteristics. The experiment was performed on 72 bulls produced by crossing Polish Holstein-Friesian (PHF) cows with bulls of three most popular beef breeds: Hereford (HH), Limousin (LM), and Charolais (CH), to determine the effects of genotype and age at slaughter on the content of selected minerals (K, Na, Mg, Zn, and Fe) and fatty acid profile in beef. The meat of PHF × LM crosses had a lower content of K and Mg, compared with the remaining crossbred bulls. The Fe content per kg of meat was higher in bulls slaughtered at 21 months of age than in those slaughtered at 15 months of age. The best sire breed for crossing with dairy cows cannot be clearly indicated based on the present findings. However, the results of this study suggest that bulls should be slaughtered at 21 months of age to achieve the optimal values of most analyzed traits and parameters, in particular the fatty acid profile.

**Abstract:** The aim of this study was to determine the effects of genotype and slaughter age on the mineral content and fatty acid profile of beef. The experiment was performed on 72 crossbred bulls produced by crossing Polish Holstein-Friesian (PHF) cows with bulls of three beef breeds: Hereford (HH), Limousin (LM), and Charolais (CH), slaughtered at 15, 18, and 21 months of age. Samples of the longissimus thoracis muscle were collected to determine their mineral (potassium—K, sodium—Na, magnesium—Mg, zinc—Zn, and iron—Fe) and fatty acid composition. The meat of PHF × LM crosses had a lower ($p \leq 0.01$) content of K and Mg, compared with the remaining crossbred bulls. The Fe content per kg of meat was 4 mg higher ($p \leq 0.01$) in bulls slaughtered at 21 months of age than in those slaughtered at 15 months of age. The content of monounsaturated fatty acids (MUFAs) in intramuscular fat was 2.77% higher in bulls slaughtered at 21 months of age than in those slaughtered at 15 months of age. The n-6/n-3 polyunsaturated fatty acids (PUFA) ratio did not exceed 4.0, and it was most desirable in PHF × LM crosses (2.84) and in the oldest bulls (2.92).

**Keywords:** beef; crossbred bulls; minerals; fatty acids

## 1. Introduction

Red meat, including beef, is an important source of highly biologically active proteins, fat, vitamins, and minerals (in particular, iron—Fe and zinc—Zn). Fat is the richest source of dietary energy, and it

supplies essential nutrients such as fat-soluble vitamins and fatty acids [1]. Bovine fat contains fatty acids that deliver health benefits to humans. n-3 and n-6 polyunsaturated fatty acids (PUFAs) must be derived from the diet because they cannot be synthesized de novo by the human body or other monogastric mammals. n-3 and n-6 PUFAs act as carriers of fat-soluble vitamins (A, D, E, and K) and play a key role in the immune response. Linoleic acid, a member of the n-6 fatty acid family, contributes to lowering serum cholesterol levels and reducing the risk of cardiovascular disease. It is an important structural constituent of cell membranes, a function thought to be related to dermatitis in infants [2]. Eicosapentaenoic acid (EPA) and docosahexaenoic acid (DHA), members of the n-3 fatty acid family, help prevent cardiovascular disease and arrhythmia, lower plasma triacylglycerol levels, decrease blood pressure, reduce platelet aggregation, and exert anti-inflammatory effects [3,4]. Conjugated linoleic acid (CLA) is a group of isomers of linoleic acid found mostly in the meat and dairy products derived from ruminants. The major CLA isomers are cis-9 trans-11, and trans-10 cis-12. Research has shown that CLA has immunomodulatory, antimutagenic, anticarcinogenic, antidiabetic (type II diabetes), and antihypertensive properties. It can also play a role in preventing obesity, atherosclerosis, lifestyle diseases, and the metabolic syndrome [5–7]. Vaccenic acid is a trans fatty acid, but it is believed to provide health benefits to humans. It is the predominant trans fatty acid found in red meat, and it does not affect the blood levels of total or low-density lipoprotein (LDL) cholesterol [8]. Zn is important for the immune system; it participates in the regulation of cell growth and proliferation, is a component of numerous metalloenzymes, and contributes to antioxidant defense. The major sources of Zn in the human diet are red meat, seafood, poultry, cereals, dairy products, legumes, and vegetables [9]. Red meat is a rich source of readily bioavailable Zn, whereas cereals have a high content of phytic acid, a strong inhibitor of Zn absorption [10]. Fe plays an important role as an oxygen carrier in hemoglobin (in red blood cells) and myoglobin (in muscle cells), and it is involved in numerous metabolic processes [1]. Heme Fe found in meat is more bioavailable than non-heme Fe found in plant-based foods [9]. Magnesium (Mg) has a strong relation with the immune system, it is involved in both non-specific and specific immune responses, also referred to as innate and acquired immune responses, respectively [11].

Mineral concentrations in meat change depending on the diet [12], genotype and age of an animal [13], muscle type [14–16], and geographic conditions [17,18]. The fatty acid composition of beef is mostly affected by the breed, age, and sex category of an animal [19,20], as well as dietary factors [21,22]. The differences in the fatty acid profile between cattle breeds result from the differences in gene expression and the activity of enzymes that participate in fatty acid synthesis [23]. As animals grow older, the content of subcutaneous tissue and muscular fat increases, whereas the ratio of PUFAs to saturated fatty acids (SFAs) decreases [24]. Furthermore, pre-slaughter stressors can impact on ruminant carcass and meat quality. Loudon et al. [25] observed that plasma creatine kinase was positively correlated with ultimate pH, indicating that cattle with higher muscle trauma had a higher rate of glycogen depletion pre-slaughter.

In Poland, beef production is based mostly on dairy cattle herds. Beef quality can be improved by the commercial crossbreeding of dairy cows with beef bulls. The offspring are characterized by higher fattening performance and more desirable carcass characteristics [26]. The most popular beef cattle breeds in Poland are Hereford (HH), Limousin (LM), and Charolais (CH), and bulls of these breeds are usually used as the paternal component for crossing with dairy cows. The aim of this study was to determine the effects of genotype and age at slaughter on the content of selected minerals and fatty acid profile in meat from crossbred bulls produced by crossing Polish Holstein-Friesian (PHF) cows with HH, LM, and CH bulls.

## 2. Materials and Methods

### 2.1. Animals

The study was conducted upon the approval of the Ethics Committee of the University of Warmia and Mazury (decision no. 121/2010). The experimental material comprised 72 crossbred bulls produced by crossing PHF cows with HH, LM and CH bulls. Crossbred calves were purchased at 2–3 weeks of age. The animals underwent a seven-day quarantine period and were raised until six months of age. They were fed milk replacer supplemented with hay and concentrate, followed by grass silage. The fattening period began when the calves were 181 days old. The animals were fattened in a semi-intensive system, and they were fed ad libitum a total mixed ration (TMR) composed of grass silage and concentrate (Tables 1 and 2).

**Table 1.** Chemical composition and nutritional value of diets (mean ± standard error of the mean).

| Specification | Silage | Triticale | Rapeseed Meal | Concentrate I | Concentrate II |
|---|---|---|---|---|---|
| DM [1] (g) | 397 ± 0.91 | 881 ± 0.96 | 887 ± 0.68 | 883.9 ± 1.12 | 885.5 ± 1.27 |
| | | | On DM basis ($g \cdot kg^{-1}$) | | |
| Organic matter | 920 ± 2.46 | 981 ± 0.95 | 927 ± 1.05 | 928 ± 1.14 | 921 ± 1.39 |
| Crude protein | 141 ± 1.48 | 133 ± 1.32 | 388 ± 1.39 | 191 ± 1.15 | 175 ± 1.13 |
| NDF [2] | 569 ± 5.31 | 193 ± 1.63 | 310 ± 0.68 | 214 ± 1.21 | 205 ± 1.92 |
| ADF [3] | 387 ± 0.92 | 44 ± 0.65 | 228 ± 0.67 | 88 ± 1.85 | 76 ± 1.22 |
| UFV [4] | 0.80 ± 0.03 | 1.21 ± 0.33 | 1.01 ± 0.05 | 1.11 ± 0.03 | 1.12 ± 0.02 |
| PDIN [5] | 82.2 ± 1.64 | 89 ± 0.38 | 259 ± 0.57 | 127.2 ± 0.41 | 116.4 ± 1.23 |
| PDIE [6] | 69.5 ± 0.58 | 109 ± 1.03 | 163 ± 1.56 | 118.6 ± 1.26 | 113.1 ± 1.71 |

[1] DM—Dry matter. [2] NDF—Neutral detergent fiber. [3] ADF—Acid detergent fiber. [4] UFV—Meat Production Units. [5] PDIN—Protein digested in the small intestine when rumen-fermentable nitrogen is limiting. [6] PDIE—Protein digested in the small intestine when rumen-fermentable energy is limiting. N = 9 for silage. N = 5 for triticale and rapeseed meal. N = 7 for concentrates. Fermentation characteristics of silage: pH 4.8 ± 0.3; lactic acid, 5.4 ± 2.0% dry matter; volatile fatty acids, 2.7 ± 0.5% dry matter; water-soluble carbohydrates; 8.2 ± 4.8% dry matter; NNH3%N, 10.3 ± 6.7; true protein 51.8 ± 4.6% crude protein.

**Table 2.** Chemical composition and nutritional value of experimental total mixed rations (mean ± standard error of the mean).

| Specification | BW [1] < 300 kg | BW [1] > 300 kg |
|---|---|---|
| Grass silage (% DM in diets) | 75 | 75 |
| Concentrate I (% DM in diets) | 25 | |
| Concentrate II (% DM in diets) | | 25 |
| DM [2] (g) | 509.6 ± 0.78 | 514.6 ± 0.95 |
| On DM basis ($g \cdot kg^{-1}$) | | |
| Crude protein | 153 ± 1.23 | 149 ± 1.18 |
| NDF [3] | 472 ± 1.56 | 463 ± 3.01 |
| ADF [4] | 311 ± 0.89 | 295 ± 2.09 |
| UFV [5] | 0.88 ± 0.09 | 0.88 ± 0.03 |
| PDIN [6] | 93.6 ± 0.45 | 90.8 ± 1.03 |
| PDIE [7] | 81.6 ± 1.08 | 80.6 ± 1.63 |

[1] BW—Body weight. [2] DM—Dry matter. [3] NDF—Neutral detergent fiber. [4] ADF—Acid detergent fiber. [5] UFV—Meat Production Units. [6] PDIN—Protein digested in the small intestine when rumen-fermentable nitrogen is limiting. [7] PDIE—Protein digested in the small intestine when rumen-fermentable energy is limiting.

The concentrate to silage ratio, on a dry matter (DM) basis, was 25:75 (Table 2). When the bulls reached a body weight (BW) of 300 kg, concentrate composition was modified to account for age-related changes in the dietary protein to energy ratio. Bulls with BW below 300 kg were fed a TMR containing concentrate I (triticale, 71%; rapeseed meal, 25%; premix (Cargill Poland Ltd., Warsaw, Poland), 4%), and bulls with BW above 300 kg were fed a TMR containing concentrate II (triticale, 77%; rapeseed

meal, 19%; premix, 4%). The animals were fattened in a free-stall barn until 15, 18, and 21 months of age.

### 2.2. Carcass Quality

At the end of the fattening period, the bulls were transported to a meat processing plant, where they were fasted for 24 h and slaughtered. The animals were weighed before slaughter, stunned, slaughtered, bled, dressed, and split into two sides that were then chilled for 96 h at +4 °C. Electrical stimulation was not applied to the carcasses. Half-carcasses were weighed within an accuracy of 0.5 kg, using an automatic in-line scale. Carcass conformation and fatness were evaluated by a trained grader, based on the EUROP system criteria [27]. Dressing percentage (percentage ratio of carcass weight to slaughter weight) was calculated. After 96 h of carcass chilling, samples weighing approximately 200 g were collected from the longissimus thoracis (LT) muscle between the 11th and 13th thoracic vertebrae. Vacuum-packaged samples were transported (+4 °C) to the laboratory. Slaughter and post-slaughter processing were carried out in accordance with Council Regulation (EC) No 1099/2009 of 24 September 2009 on the protection of animals at the time of slaughter [28]. During the experiment, the animals remained under veterinary care and were regularly visited by an animal care specialist.

### 2.3. Mineral Content of Meat

In order to determine the content of selected minerals, samples of the LT muscle were homogenized, and approximately 0.5 g of the muscle tissue was wet mineralized with 7 mL of 65% Suprapur nitric acid (Merck, Darmstadt, Germany) in the MARS Xpress 5 microwave digestion system (CEM Corporation, Matthews, NC, USA). Each mineralization procedure involved two blank samples and two samples of Standard Reference Material® 1577c Bovine Liver (NIST, Gaithersburg, MD, USA). All samples were mineralized and analyzed in duplicate. The mineralized samples were cooled and quantitatively transferred to 25 $cm^3$ volumetric flasks. The content of selected minerals (potassium—K, sodium—Na, magnesium—Mg, zinc—Zn, and iron—Fe) in beef samples was determined by flame atomic absorption spectrometry (flame AAS) with the use of the AA240FS Fast Sequential Atomic Absorption Spectrometer (Varian, Palo Alto, CA, USA) [29,30].

### 2.4. Fatty Acid Profile

Intramuscular fat (IMF) was extracted from ground meat samples by the Soxhlet method [31] using the B-811 extraction system (Büchi, Flawil, Switzerland), with n-hexane as the solvent (POCH, Gliwice, Poland). Fatty acid methyl esters (FAMEs) were obtained by methylation in a methanol–chloroform–$H_2SO_4$ mixture (POCH, Gliwice, Poland; STANLAB, Lublin, Poland; STANLAB, Lublin, Poland, respectively) according to the modified Peisker method [32] and Standard PN-EN ISO 5509 [33]. The content of 33 fatty acids in IMF was determined with the use of the CP-3800 gas chromatograph (Varian, Palo Alto, CA, USA) equipped with a split/splitless injector and a flame-ionization detector (FID). Samples (1 µL) of FAMEs were placed on the Varian Capillary Column Select™ FAME (length: 100 m; inner diameter: 0.25 mm) using a Hamilton syringe and the CP-8410 autosampler (Varian, Palo Alto, CA, USA). Helium was used as the carrier gas. Injector temperature was 260 °C. The total time of a single analysis was 68 min. Fatty acids were identified by comparing their retention times with the retention times of individual reference standards and their mixtures, purchased from Supelco (Sigma Aldrich, Bellefonte, PA, USA). Analyses of the samples and reference standards were performed under identical separation conditions. The instrument was controlled, and the data were acquired and processed using the GALAXIE Chromatography Data System. Fatty acids were divided into the following categories; saturated fatty acids (SFAs), unsaturated fatty acids (UFAs), including monounsaturated fatty acids (MUFAs), and polyunsaturated fatty acids (PUFAs), as well as n-6 and n-3 PUFAs. The following ratios were calculated; MUFA/SFA, PUFA/SFA, and n-6/n-3 PUFA.

### 2.5. Statistical Analysis

The data were analyzed statistically using Statistica version 13.3 software [34]. The effects of genotype (PHF × HH, PHF × LM and PHF × CH) and slaughter age (15, 18, and 21 months) on the fatty acid profile and mineral content of beef were determined by the least squares method using the formula

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + (AB)_{ij} + e_{ijk} \quad (1)$$

where $Y_{ijk}$ is the value of the analyzed parameter, $\mu$ is population mean, $A_i$ is the effect of genotype (PHF × HH, PHF × LM, PHF × CH), $B_j$ is the effect of slaughter age (15, 18, 21), $(AB)_{ij}$ is the genotype × slaughter age interaction, and $e_{ijk}$ is random error. The differences between means were estimated by Tukey's test.

## 3. Results and Discussion

As expected, older animals were characterized by higher BW at slaughter ($p \leq 0.01$) (Table 3). The final BW of crossbred bulls was not affected by sire breed although the beef breeds used for crossing (HH, LM, and CH) represent different maturity types. Genotype had a significant effect on carcass dressing percentage and fat content. The dressing percentage of PHF × LM crosses was 1.79% higher ($p \leq 0.01$) than that of PHF × CH crosses. Dressing percentage is a key indicator of carcass quality in cattle. The LM breed is known for its high carcass quality, which was confirmed by Chambaz et al. [35] in whose study, dressing percentage was 4.4% higher in LM steers than in CH steers. In the present experiment, PHF × HH crosses received the highest fatness score, and the difference relative to PHF × LM crosses was statistically significant ($p \leq 0.05$). Carcass dressing percentage, conformation, and fatness were significantly affected by age at slaughter. Dressing percentage was higher in heavier animals, which could result from their higher carcass fatness. In a previous study investigating young Holstein-Friesian bulls [36], higher BW at slaughter was associated with higher carcass fat content.

**Table 3.** Effects of genotype and slaughter age on carcass quality in crossbred bulls.

| Specification | Crossbred Bulls (C) | | | Slaughter Age (Months) (SA) | | | SE [8] | *p*-Value | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | PHF [1] × HH [2] | PHF [1] × LM [3] | PHF [1] × CH [4] | 15 | 18 | 21 | | C | SA | C × SA |
| BW [5] before slaughter (kg) | 505.0 | 497.7 | 513.5 | 424.3 $^{A}$ | 494.8 $^{B}$ | 596.9 $^{C}$ | 10.96 | 0.651 | 0.000 | 0.076 |
| Dressing percentage (%) | 58.06 | 59.42 $^{A}$ | 57.63 $^{B}$ | 58.01 $^{a}$ | 57.88 $^{a}$ | 59.22 $^{b}$ | 0.26 | 0.008 | 0.044 | 0.351 |
| Conformation score [6] (pts) | 7.8 | 7.7 | 7.3 | 7.1 $^{A}$ | 7.2 $^{A}$ | 8.4 $^{B}$ | 0.19 | 0.472 | 0.007 | 0.884 |
| Fatness score [7] (pts) | 5.5 $^{a}$ | 4.2 $^{b}$ | 4.9 | 3.9 $^{A}$ | 4.9 | 5.8 $^{B}$ | 0.21 | 0.018 | 0.000 | 0.355 |

[1] PHF—Polish Holstein-Friesian. [2] HH—Hereford. [3] LM—Limousin. [4] CH—Charolais. [5] BW—Body weight. [6] EUROP conformation: 1 to 15, with 1 = very lean, 15 = muscled outstanding. [7] EUROP degree of fat cover: 1 to 15, with 1 = very low, 15 = very fat. [8] SE—standard error. Means followed by different superscript letters differ within rows (within the factor): A, B, C ($p \leq 0.01$); a, b ($p \leq 0.05$).

The mineral composition of the LT muscle of crossbred bulls is presented in Table 4. Genotype had a significant influence on the concentrations of K, Mg, and Fe. Meat from PHF × CH and PHF × HH crosses had a higher ($p \leq 0.01$) content of K and Mg than meat from PHF × LM crosses. Fe content was higher ($p \leq 0.05$) in meat from PHF × CH crosses than in meat from PHF × LM crosses. The content of Zn and Fe in the LT muscle was affected by age at slaughter. The meat of animals slaughtered at 18 months of age had the highest ($p \leq 0.05$) Zn content (63.9 mg/kg of fresh meat), whereas the meat of the oldest bulls had the highest Fe content (19 mg/kg of fresh meat). The effect of cattle breed on the K and Mg content of beef was also noted by Pilarczyk [37] and Domaradzki et al. [38]. In the study by Pilarczyk [37], the Fe content of meat was also affected by the genotype. Pilarczyk [37] found that meat from CH bulls was more abundant in K than meat from HH and Simmental bulls. K concentrations in meat samples collected from LM, Red Angus, Salers, CH, HH, and Simmental bulls [37,39] were considerably lower (2377.0–2506.1 mg/kg of fresh meat) than those noted in the current experiment (4750.2–4979.8 mg/kg of fresh meat). The K content of meat from Angus bulls,

reported by Mateescu et al. [40], was also lower than the values determined in the present study. One-hundred grams of meat supplied 5.7–6% of the adequate intake for Na for adults. In the case of K, consumption of 100 g of cooked beef supplied 19.8–20.8% of the daily standard for men and 25.9–27.1% for women [41]. In contrast to our findings, Doornenbal and Murray [42], and Kotula and Lusby [43] demonstrated that age at slaughter affected K levels in beef. However, Doornenbal and Murray [42] observed changes in K concentrations in cattle aged 3 to 12 years. Kotula and Lusby [43] reported that the K content of meat was influenced by age at slaughter in steers aged 1 to 6 years, and it decreased from 392 mg/100 g of wet tissue in 24-month-old animals to 332 mg/100 g of wet tissue in 72-month-old animals. However, the cited authors [43] noted no significant changes in the concentrations of K, Na, Mg, or Zn in Angus steers aged 12 and 24 months.

**Table 4.** Mineral (mg/kg of fresh meat) content of the longissimus thoracis muscle of crossbred bulls.

| Minerals | Crossbred Bulls (C) | | | Slaughter Age (Months) (SA) | | | SE [10] | *p*-Value | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | PHF [1] × HH [2] | PHF [1] × LM [3] | PHF [1] × CH [4] | 15 | 18 | 21 | | C | SA | C × SA |
| K [5] | 4963.4 [A] | 4750.2 [B] | 4979.8 [A] | 4886.1 | 4932.5 | 4874.9 | 30.165 | 0.002 | 0.671 | 0.257 |
| Na [6] | 613.6 | 634.2 | 599.8 | 619.9 | 599.6 | 628.2 | 10.084 | 0.355 | 0.471 | 0.059 |
| Mg [7] | 212.7 [A] | 183.0 [B] | 217.5 [A] | 207.6 | 199.3 | 206.3 | 3.592 | 0.000 | 0.499 | 0.096 |
| Zn [8] | 54.9 | 38.5 | 53.3 | 39.4 [b] | 63.9 [a] | 43.4 [b] | 3.598 | 0.095 | 0.008 | 0.405 |
| Fe [9] | 17.5 | 15.4 [b] | 18.1 [a] | 15.0 [B] | 17.0 | 19.0 [A] | 0.436 | 0.011 | 0.000 | 0.170 |

[1] PHF—Polish Holstein-Friesian. [2] HH—Hereford. [3] LM—Limousin. [4] CH—Charolais. [5] K—Potassium. [6] Na—Sodium. [7] Mg—Magnesium. [8] Zn—Zinc. [9] Fe—iron. [10] SE—Standard error. Means followed by different superscript letters differ within rows (within the factor): A, B ($p \leq 0.01$); a, b ($p \leq 0.05$).

In the current study, neither breed nor age at slaughter exerted significant effects on the Na content of beef. The lowest Mg content of meat was noted in meat from PHF × LM crosses and bulls slaughtered at 18 months of age (183.0 mg/kg of fresh meat and 199.3 mg/kg of fresh meat, respectively). In the remaining groups, Mg concentrations exceeded 200 mg/kg of fresh meat. Consumption of 100 g of cooked beef satisfied 8.1–9.6% and 6.2–7.3% of the recommended daily allowance (RDA) for Mg for women and men, respectively [41]. Pilarczyk [39] found that meat from HH bulls had lower Mg content than meat from CH bulls, which is consistent with the present results. Regardless of cattle breed, Pilarczyk [37,39] noted higher average Mg concentration in beef (263.4 mg/kg of fresh meat), compared with our experiment. In the present study, the Zn content of the LT muscle ranged from 38.5 to 63.9 mg/kg of fresh meat. The present study shows that cooked beef is an important source of Zn, as an edible portion of 100 g met satisfies 58.3–96.8% of their daily requirement for males and 80.2–133.1% for females [41]. Meat from bulls slaughtered at 18 months of age and PHF × HH crosses was the richest source of Mg. Beef was a rich source of Fe and the consumption of 100 g of cooked meat satisfies 13.2–16.7% and 29.7–37.6% of the RDA for females and males, respectively [41]. Littledike et al. [44] compared mineral concentrations in nine beef cattle breeds and found that Fe content was lowest in LM and Red Poll cows. In the current study, Fe content ranged from 15.0 to 19.0 mg/kg of fresh meat, and it was lowest in PHF × LM crosses. In the experiments conducted by Cabrera et al. [14] and Ramos et al. [45], Fe content ranged from 30 to 45 mg/kg of wet tissue and from 35 to 40 mg/kg of wet tissue in HH and Braford steers, respectively. In the present study, age at slaughter had a significant effect on Fe concentration in beef, which increased with age. Giuffrida-Mendoza et al. [13] demonstrated that Fe levels remained unchanged in samples collected from water buffalo and Zebu-influenced cattle aged 17 and 19 months, but decreased significantly at 24 months of age. According to Duckett et al. [46], differences in the mineral composition of beef can be attributed to differences between genetic groups, feed types and finishing systems. According to García-Vaquero et al. [47], in animals characterized by an adequate mineral status, essential trace element concentrations in muscle tissue depend on individual muscle metabolism.

The concentrations of fatty acids, major fatty acid groups, and ratios in the IMF of crossbred bulls are presented in Tables 5–7. The IMF content of the LT muscle was affected by age at slaughter and, as expected, it increased with age up to 1.80%. A significant difference in IMF content was noted between bulls slaughtered at 15 and 18 months of age. According to many authors [48,49], beef from LM cattle is lean. In the present study, IMF content was lowest in PHF × LM crosses, and highest in PHF × HH crosses, which resulted from physiological differences between early- and late-maturing breeds. Such a low IMF content of meat was affected by diets based on grass silage supplemented with concentrate. In the current experiment, age at slaughter had a significant effect on the concentrations of SFAs, UFAs and the MUFA/SFA ratio ($p \leq 0.01$), and on the concentrations of MUFAs ($p \leq 0.05$) in the LT muscle of bulls. The IMF of animals slaughtered at 21 months of age had a significantly higher content of UFAs and MUFAs, compared with those slaughtered at 15 months of age. Age at slaughter had a significant influence on the percentage share of the following fatty acids in IMF: oleic, C15:0 anteiso ($p \leq 0.01$), capric, lauric, pentadecanoic, margaric, stearic, and gadoleic ($p \leq 0.05$). The IMF of bulls slaughtered at 15 months of age had the highest concentrations of capric acid and lauric acid, whereas the IMF of the oldest bulls had the lowest content of the following fatty acids: capric, lauric, C15:0 anteiso, pentadecanoic, margaric and stearic. The IMF of the oldest bulls had the highest proportion of UFAs, including oleic acid (a significant difference was noted between animals slaughtered at 21 and 15 months of age) and gadoleic acid.

**Table 5.** Content of saturated fatty acids (%) in the longissimus thoracis muscle of crossbred bulls.

| Fatty Acids | Crossbred Bulls (C) | | | Slaughter Age (Months) (SA) | | | SE [7] | *p*-Value | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | PHF [1] × HH [2] | PHF [1] × LM [3] | PHF [1] × CH [4] | 15 | 18 | 21 | | C | SA | C × SA |
| IMF [5] (%) | 1.58 | 1.34 | 1.49 | 1.07 [b] | 1.54 | 1.80 [a] | 0.125 | 0.697 | 0.045 | 0.118 |
| ∑SFAs [6] | 49.50 | 49.74 | 48.68 | 50.50 [A] | 49.56 | 47.83 [B] | 0.377 | 0.436 | 0.008 | 0.115 |
| C 10:0 capric | 0.045 | 0.047 | 0.041 | 0.050 [a] | 0.043 | 0.040 [b] | 0.002 | 0.185 | 0.018 | 0.847 |
| C 12:0 lauric | 0.061 | 0.069 | 0.059 | 0.071 [a] | 0.059 [b] | 0.059 [b] | 0.002 | 0.065 | 0.015 | 0.983 |
| C 13:0 tridecanoic | 0.011 | 0.013 | 0.010 | 0.013 | 0.011 | 0.011 | 0.001 | 0.443 | 0.546 | 0.405 |
| C 14:0 iso | 0.065 | 0.064 | 0.060 | 0.065 | 0.067 | 0.057 | 0.002 | 0.657 | 0.271 | 0.483 |
| C 14:0 myristic | 2.492 | 2.521 | 2.366 | 2.615 | 2.365 | 2.399 | 0.054 | 0.446 | 0.116 | 0.134 |
| C 15:0 anteiso | 0.210 | 0.209 | 0.188 | 0.219 [a] | 0.221 [a] | 0.167 [b] | 0.008 | 0.391 | 0.006 | 0.316 |
| C 15:0 pentadecanoic | 0.471 | 0.471 | 0.447 | 0.485 [a] | 0.487 [a] | 0.417 [b] | 0.013 | 0.644 | 0.033 | 0.252 |
| C 16:0 iso | 0.433 | 0.359 | 0.486 | 0.426 | 0.405 | 0.448 | 0.029 | 0.215 | 0.834 | 0.407 |
| C 16:0 palmitic | 25.72 | 26.24 | 25.17 | 26.13 | 25.29 | 25.72 | 0.255 | 0.229 | 0.406 | 0.274 |
| C 17:0 margaric | 1.033 | 1.049 | 1.013 | 1.088 [a] | 1.051 | 0.956 [b] | 0.020 | 0.744 | 0.022 | 0.248 |
| C 18:0 stearic | 18.77 | 18.49 | 18.65 | 19.18 [a] | 19.38 [a] | 17.35 [b] | 0.367 | 0.945 | 0.039 | 0.096 |
| C 20:0 arachidic | 0.131 | 0.145 | 0.129 | 0.136 | 0.128 | 0.141 | 0.004 | 0.183 | 0.424 | 0.217 |
| C 22:0 behenic | 0.053 | 0.064 | 0.058 | 0.061 | 0.055 | 0.058 | 0.003 | 0.335 | 0.704 | 0.055 |

[1] PHF—Polish Holstein-Friesian. [2] HH—Hereford. [3] LM—Limousin. [4] CH—Charolais. [5] IMF—Intramuscular fat. [6] SFAs—Saturated fatty acids. [7] SE—Standard error. Means followed by different superscript letters differ within rows (within the factor): A, B ($p \leq 0.01$); a, b ($p \leq 0.05$).

**Table 6.** Content of unsaturated fatty acids (%) in the longissimus thoracis muscle of crossbred bulls.

| Fatty Acids | Crossbred Bulls (C) | | | Slaughter Age (Months) (SA) | | | SE [10] | *p*-Value | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | PHF [1] × HH [2] | PHF [1] × LM [3] | PHF [1] × CH [4] | 15 | 18 | 21 | | C | SA | C × SA |
| ∑UFAs [5] | 50.50 | 50.26 | 51.32 | 49.48 [B] | 50.43 | 52.26 [A] | 0.380 | 0.443 | 0.007 | 0.115 |
| ∑MUFAs [6] | 43.76 | 43.53 | 43.85 | 42.52 [b] | 43.33 | 45.29 [a] | 0.409 | 0.939 | 0.011 | 0.052 |
| C 14:1 myristoleic | 0.476 | 0.541 | 0.546 | 0.569 | 0.453 | 0.540 | 0.028 | 0.507 | 0.203 | 0.152 |
| C 16:1 palmitoleic | 2.719 | 2.548 | 2.729 | 2.671 | 2.473 | 2.852 | 0.087 | 0.621 | 0.197 | 0.140 |
| C 17:1 margaricoleic | 0.619 | 0.595 | 0.683 | 0.648 | 0.601 | 0.646 | 0.022 | 0.237 | 0.611 | 0.155 |
| C 18:1 T6+9 elaidic | 0.523 | 0.470 | 0.480 | 0.479 | 0.523 | 0.471 | 0.019 | 0.485 | 0.477 | 0.344 |
| C 18:1 T10+11 vaccenic | 1.501 | 1.507 | 1.496 | 1.638 | 1.458 | 1.408 | 0.050 | 0.996 | 0.147 | 0.434 |
| C 18:1 C9 oleic | 35.56 | 35.51 | 35.35 | 34.17 [B] | 35.43 | 36.82 [A] | 0.370 | 0.965 | 0.009 | 0.055 |
| C 18:1 C11 | 1.385 | 1.393 | 1.510 | 1.394 | 1.385 | 1.510 | 0.027 | 0.104 | 0.105 | 0.595 |
| C 18:1 C12 | 0.195 | 0.183 | 0.204 | 0.195 | 0.202 | 0.184 | 0.006 | 0.386 | 0.481 | 0.636 |
| C 18:1 C13 | 0.242 | 0.245 | 0.273 | 0.234 | 0.246 | 0.279 | 0.010 | 0.370 | 0.164 | 0.082 |
| C 18:1 T16 | 0.376 | 0.361 | 0.363 | 0.363 | 0.385 | 0.351 | 0.008 | 0.720 | 0.237 | 0.461 |
| C 20:1 gadoleic | 0.168 | 0.178 | 0.177 | 0.157 [b] | 0.177 | 0.189 [a] | 0.005 | 0.679 | 0.045 | 0.344 |
| ∑PUFAs [7] | 6.74 | 6.73 | 7.47 | 6.96 | 7.10 | 6.97 | 0.288 | 0.496 | 0.976 | 0.306 |
| C 18:2 linoleic | 3.722 | 3.681 | 4.208 | 3.962 | 3.921 | 3.729 | 0.163 | 0.349 | 0.825 | 0.337 |
| C 18:2 C9 T13 | 0.338 | 0.362 | 0.351 | 0.324 | 0.344 | 0.383 | 0.011 | 0.644 | 0.066 | 0.059 |
| C 18:2 C9 T11 (CLA) | 0.289 | 0.287 | 0.295 | 0.278 | 0.302 | 0.291 | 0.007 | 0.893 | 0.369 | 0.804 |
| C 18:3 α-linolenic | 0.905 | 0.947 | 0.980 | 0.941 | 0.978 | 0.913 | 0.035 | 0.679 | 0.746 | 0.144 |
| C 20:2 eicosadienoic | 0.038 | 0.076 | 0.047 | 0.042 | 0.041 | 0.079 | 0.011 | 0.309 | 0.241 | 0.257 |
| C 20:4 arachidonic | 0.851 | 0.784 | 1.004 | 0.833 | 0.911 | 0.895 | 0.062 | 0.340 | 0.862 | 0.357 |
| C 20:5 eicosapentaenoic (EPA) | 0.155 | 0.176 | 0.182 | 0.157 | 0.172 | 0.185 | 0.012 | 0.637 | 0.639 | 0.249 |
| C 22:5 docosapentaenoic (DPA) | 0.355 | 0.392 | 0.397 | 0.349 | 0.389 | 0.405 | 0.021 | 0.670 | 0.529 | 0.076 |
| C 22:6 docosahexaenoic (DHA) | 0.056 | 0.070 | 0.040 | 0.035 | 0.044 | 0.086 | 0.009 | 0.427 | 0.061 | 0.550 |
| ∑n-6 PUFAs [8] | 4.611 | 4.542 | 5.259 | 4.836 | 4.873 | 4.703 | 0.222 | 0.360 | 0.948 | 0.354 |
| ∑n-3 PUFAs [9] | 1.520 | 1.585 | 1.598 | 1.530 | 1.584 | 1.589 | 0.072 | 0.892 | 0.933 | 0.131 |

[1] PHF—Polish Holstein-Friesian. [2] HH—Hereford. [3] LM—Limousin. [4] CH—Charolais. [5] UFAs—Unsaturated fatty acids. [6] MUFAs—Monounsaturated fatty acids. [7] PUFAs polyunsaturated fatty acids. [8] n-6 PUFAs ∑ (C 18:2 Δ9c,12c; C 20:2 Δ11c,14c; C 20:4 Δ5c,8c,11c,14c). [9] n-3 PUFAs ∑(C 18:3 Δ9c,12c,15c; C 20:5 Δ5c,8c,11c,14c,17c; C 22:5 Δ7c,10c,13c,16c,19c; C 22:6 Δ4c,7c,10c,13c,16c,19c).[10] SE—standard error. Means followed by different superscript letters differ within rows (within the factor): A, B ($p \leq 0.01$); a, b ($p \leq 0.05$).

**Table 7.** Fatty acid ratios in the longissimus thoracis muscle of crossbred bulls.

| Ratios | Crossbred Bulls (C) | | | Slaughter Age (Months) (SA) | | | SE [8] | *p*-Value | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | PHF [1] × HH [2] | PHF [1] × LM [3] | PHF [1] × CH [4] | 15 | 18 | 21 | | C | SA | C × SA |
| MUFA [5]/SFA [6] | 0.89 | 0.88 | 0.91 | 0.85 [B] | 0.88 | 0.95 [A] | 0.014 | 0.600 | 0.006 | 0.053 |
| PUFA [7]/SFA | 0.14 | 0.14 | 0.16 | 0.139 | 0.145 | 0.147 | 0.006 | 0.416 | 0.892 | 0.355 |
| n-6/n-3 PUFA | 3.10 | 2.84 [B] | 3.30 [A] | 3.25 [a] | 3.08 | 2.92 [b] | 0.052 | 0.000 | 0.012 | 0.294 |

[1] PHF—Polish Holstein-Friesian. [2] HH—Hereford. [3] LM—Limousin. [4] CH—Charolais. [5] MUFA—Monounsaturated fatty acids; [6] SFA—Saturated fatty acids. [7] PUFA—Polyunsaturated fatty acids; [8] SE—Standard error. Means followed by different superscript letters differ within rows (within the factor): A, B ($p \leq 0.01$); a, b ($p \leq 0.05$).

The n-6/n-3 PUFA ratio was affected by genotype and age at slaughter. A significant ($p \leq 0.01$) difference was observed between PHF × LM crosses (2.84) and PHF × CH crosses (3.3). The most desirable n-6/n-3 PUFA ratio was noted in bulls slaughtered at 21 months of age (2.92), with a significant ($p \leq 0.05$) difference relative to those slaughtered at 15 months of age.

In the present study, UFAs were the predominant fatty acids in the IMF of bulls, and their proportion was lower than that of SFAs only in bulls slaughtered at 15 months of age. The concentrations of UFAs and MUFAs increased, whereas the proportion of SFAs decreased with age. In the fatty acid profile of IMF, PUFAs accounted for 6.73–7.47%, and their proportion was highest in PHF × CH crosses and in bulls slaughtered at 18 months of age. The most abundant fatty acids were oleic acid (34.17–36.82%), palmitic acid (25.17–26.24%), and stearic acid (17.35–19.38%). The predominant SFAs in beef are palmitic acid, stearic acid, and myristic acid. Lauric acid, myristic acid, and palmitic acid are associated with elevated plasma total and LDL cholesterol concentrations, which are not increased by stearic acid [4]. Elaidic acid, the major industrially produced trans fat, can exert adverse effects on human health by negatively affecting cholesterol metabolism [8]. In the current experiment, its concentration ranged from 0.470% to 0.523%. The minimum recommended PUFA/SFA ratio in the human diet is 0.45 [50]. Its values noted in this study were considerably lower (0.137–0.156), due to too low PUFAs concentrations in the analyzed samples. According to the British Department of Health [50], the n-6/n-3 PUFA ratio should not exceed 4.0, and it was determined at 2.84–3.30 in this study. A high dietary n-6/n-3 PUFA ratio is considered a risk factor for selected lifestyle diseases. The n-6/n-3 PUFA ratio in the modern Western diet is much too high, reaching 10–15:1, whereas its optimal range is 2–4:1 [3]. In comparison with the present study, De Freitas et al. [51] noted a lower proportion of SFAs (46.42%), a similar proportion of MUFAs (43.38%), and a considerably higher proportion of PUFAs (10.05%) and the n-6/n-3 PUFA ratio (4.87) in the meat of HH steers. Contrary to our findings, Ugarković et al. [52] found lower SFAs concentrations and higher MUFAs concentrations in beef from HH cattle, compared with the CH breed. The following fatty acids analyzed in this study deliver health benefits: vaccenic acid, oleic acid, linoleic acid, CLA, α-linolenic acid, arachidonic acid, EPA, docosapentaenoic acid (DPA), and DHA. The oleic acid content of the LT muscle increased with age. The concentrations of linoleic acid, CLA, α-linolenic acid, arachidonic acid, EPA, and DPA were highest in PHF × CH crosses, whereas PHF × LM crosses were characterized by the highest levels of vaccenic acid and DHA. Cis-9 trans-11 is the most prevalent CLA isomer, accounting for 80–90% of the total CLA in ruminant tissues [5]. In the current experiment, its content ranged from 0.278% to 0.302%.

## 4. Conclusions

Different beef breed sires used for commercial crossing affected the content of K, Mg, and Fe in beef. The LT muscle of PHF × LM crosses had the lowest content of K, Mg, and Fe. Bulls slaughtered at a later age were characterized by higher Fe content and higher concentrations of MUFAs, in particular, oleic acid and gadoleic acid. The n-6/n-3 PUFA ratio did not exceed the nutritionally desirable value of 4.0, and it was lowest in PHF × LM crosses and in bulls slaughtered at 21 months of age. The best sire breed for crossing with dairy cows cannot be clearly indicated based on the present findings. However, the results of this study suggest that bulls should be slaughtered at 21 months of age to achieve the optimal values of most analyzed traits and parameters, in particular the fatty acid profile.

**Author Contributions:** Conceptualization, Z.N.; methodology, Z.N., M.M., P.P.-P. and M.S.-S.; formal analysis, Z.N. and M.M.; data curation, M.M.; writing—Original draft preparation, M.M.; writing—Review and editing, M.M. and P.P.-P.; visualization, M.M.; supervision, Z.N. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

**Funding:** This study was conducted within Project no. WND-POIG.01.03.01-00-204/09 Optimizing Beef Production in Poland According to the "From Fork to Farm" strategy co-financed by the European Regional Development Fund under the Innovative Economy Operational Program 2007–2013.

**Conflicts of Interest:** The authors declare no conflict of interest.

## References


1. Williamson, C.S.; Foster, R.K.; Stanner, S.A.; Buttriss, J.L. Red meat in the diet. *Nutr. Bull.* **2005**, *30*, 323–355. [CrossRef]
2. Webb, E.; O'Neill, H. The animal fat paradox and meat quality. *Meat Sci.* **2008**, *80*, 28–36. [CrossRef] [PubMed]
3. Breslow, J.L. n−3 Fatty acids and cardiovascular disease. *Am. J. Clin. Nutr.* **2006**, *83*, 1477S–1482S. [CrossRef] [PubMed]
4. Williams, C.M. Dietary fatty acids and human health. *Anim. Res.* **2000**, *49*, 165–180. [CrossRef]
5. Azain, M.J. Conjugated linoleic acid and its effects on animal products and health in single-stomached animals. *Proc. Nutr. Soc.* **2003**, *62*, 319–328. [CrossRef]
6. Hartigh, L.J.D. Conjugated Linoleic Acid Effects on Cancer, Obesity, and Atherosclerosis: A Review of Pre-Clinical and Human Trials with Current Perspectives. *Nutrients* **2019**, *11*, 370. [CrossRef] [PubMed]
7. Koba, K.; Yanagita, T. Health benefits of conjugated linoleic acid (CLA). *Obes. Res. Clin. Pr.* **2014**, *8*, e525–e532. [CrossRef] [PubMed]
8. McAfee, A.J.; McSorley, E.M.; Cuskelly, G.J.; Moss, B.W.; Wallace, J.M.; Bonham, M.P.; Fearon, A.M. Red meat consumption: An overview of the risks and benefits. *Meat Sci.* **2010**, *84*, 1–13. [CrossRef]
9. Biesalski, H.-K. Meat as a component of a healthy diet – are there any risks or benefits if meat is avoided in the diet? *Meat Sci.* **2005**, *70*, 509–524. [CrossRef]
10. Gibson, R.S.; Heath, A.-L.M.; Limbaga, M.L.S.; Prosser, N.; Skeaff, C.M. Are changes in food consumption patterns associated with lower biochemical zinc status among women from Dunedin, New Zealand? *Br. J. Nutr.* **2001**, *86*, 71–80. [CrossRef]
11. Tam, M.; Gómez, S.; González-Gross, M.; Marcos, A. Possible roles of magnesium on the immune system. *Eur. J. Clin. Nutr.* **2003**, *57*, 1193–1197. [CrossRef] [PubMed]
12. Holló, G.; Nuernberg, K.; Holló, I.; Csapó, J.; Seregi, J.; Repa, I.; Ender, K. Effect of feeding on the composition of longissmus muscle of Hungarian Grey and Holstein Friesian bulls. – III. Amino acid composition and mineral content. *Arch. Anim. Breed.* **2007**, *50*, 575–586. [CrossRef]
13. Giuffrida-Mendoza, M.; de Moreno, L.A.; Uzcátegui-Bracho, S.; Rincón-Villalobos, G.; Huerta-Leidenz, N. Mineral content of longissimus dorsi thoracis from water buffalo and Zebu-influenced cattle at four comparative ages. *Meat Sci.* **2007**, *75*, 487–493. [CrossRef] [PubMed]
14. Cabrera, M.; Ramos, A.; Saadoun, A.; Brito, G. Selenium, copper, zinc, iron and manganese content of seven meat cuts from Hereford and Braford steers fed pasture in Uruguay. *Meat Sci.* **2010**, *84*, 518–528. [CrossRef] [PubMed]
15. Czerwonka, M.; Szterk, A. The effect of meat cuts and thermal processing on selected mineral concentration in beef from Holstein–Friesian bulls. *Meat Sci.* **2015**, *105*, 75–80. [CrossRef]
16. Purchas, R.; Busboom, J. The effect of production system and age on levels of iron, taurine, carnosine, coenzyme Q10, and creatine in beef muscles and liver. *Meat Sci.* **2005**, *70*, 589–596. [CrossRef]
17. Hintze, K.J.; Lardy, G.P.; Marchello, M.J.; Finley, J.W. Areas with high concentrations of selenium in the soil and forage produce beef with enhanced concentrations of selenium. *J. Agric. Food Chem.* **2001**, *49*, 1062–1067. [CrossRef]
18. Hintze, K.J.; Lardy, G.P.; Marchello, M.J.; Finley, J.W. Selenium Accumulation in Beef: Effect of Dietary Selenium and Geographical Area of Animal Origin. *J. Agric. Food Chem.* **2002**, *50*, 3938–3942. [CrossRef]
19. Malau-Aduli, A.E.O.; Siebert, B.D.; Bottema, C.D.K.; Pitchford, W.S. A comparison of the fatty acid composition of triacylglycerols in adipose tissue from Limousin and Jersey cattle. *Aust. J. Agric. Res.* **1997**, *48*, 715. [CrossRef]
20. Malau-Aduli, A.E.O.; Siebert, B.D.; Bottema, C.D.K.; Pitchford, W.S. Breed comparison of the fatty acid composition of muscle phospholipids in Jersey and Limousin cattle. *J. Anim. Sci.* **1998**, *76*, 766–773. [CrossRef]
21. Dhiman, T.R.; Zaman, S.; Olson, K.C.; Bingham, H.R.; Ure, A.L.; Pariza, M.W. Influence of Feeding Soybean Oil on Conjugated Linoleic Acid Content in Beef. *J. Agric. Food Chem.* **2005**, *53*, 684–689. [CrossRef] [PubMed]
22. Morales, R.; Folch, C.; Iraira, S.; Teuber, N.; E Realini, C. Nutritional Quality of Beef Produced in Chile from Different Production Systems. *Chil. J. Agric. Res.* **2012**, *72*, 80–86. [CrossRef]

23. De Smet, S.; Raes, K.; Demeyer, D. Meat fatty acid composition as affected by fatness and genetic factors: A review. *Anim. Res.* **2004**, *53*, 81–98. [CrossRef]
24. Warren, H.E.; Scollan, N.; Enser, M.; Hughes, S.I.; Richardson, R.I.; Wood, J.D. Effects of breed and a concentrate or grass silage diet on beef quality in cattle of 3 ages. I: Animal performance, carcass quality and muscle fatty acid composition. *Meat Sci.* **2008**, *78*, 256–269. [CrossRef] [PubMed]
25. Loudon, K.M.; Tarr, G.; Pethick, D.; Lean, I.; Polkinghorne, R.; Mason, M.; Dunshea, F.; Gardner, G.; McGilchrist, P. The Use of Biochemical Measurements to Identify Pre-Slaughter Stress in Pasture Finished Beef Cattle. *Animals* **2019**, *9*, 503. [CrossRef]
26. Nogalski, Z.; Pogorzelska-Przybyłek, P.; Wielgosz-Groth, Z.; Sobczuk-Szul, M.; Purwin, C.; Winiarski, R.; Niedźwiedź, J. Slaughter value of crossbred beef steers as depending on fattening intensity and slaughter age of animals. *Zywn. Nauka Technol. Jakosc/Food Sci. Technol. Qual.* **2013**, *88*, 51–60. [CrossRef]
27. Kien, S. *The classification of carcass of adult bovine animals in the EUROP*; Meat and Fat Research Institute: Warsaw, Poland, 2004.
28. Council Regulation (EC) No 1099/2009 of 24 September 2009 on the Protection of Animals at the Time of Slaughter. Available online: https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:303:0001:0030:EN:PDF (accessed on 29 October 2020).
29. PN-EN 14084. In *Foodstuffs—Determination of Trace Elements—Determination of Lead, Cadmium, Zinc, Copper and Iron by Atomic Absorption Spectrometry (AAS) after Microwave Digestion*; Polish Committee for Standardization: Warsaw, Poland, 2004. (In Polish)
30. PN-EN 15505. In *Foodstuffs—Determination of Trace Elements—Determination of Sodium and Magnesium by Flame Atomic Absorption Spectrometry (AAS) After Microwave Digestion*; Polish Committee for Standardization: Warsaw, Poland, 2009. (In Polish)
31. PN-ISO 1444. In *Meat and Meat Products—Determination of free Fat Content*; Polish Committee for Standardization,: Warsaw, Poland, 2000. (In Polish)
32. Żegarska, Z.; Jaworski, J.; Borejszo, Z. Ocena zmodyfikowanej metody Peiskera otrzymywania estrów metylowych kwasów tłuszczowych. *Acta Acad. Agric. ac Tech. Olst.* **1991**, *24*, 25–33. (In Polish)
33. PN-EN ISO 5509. *Animal and Vegetable Fats and Oils—Preparation of Methyl Esters of Fatty Acids*; Polish Committee for Standardization: Warsaw, Poland, 2001. (In Polish)
34. StatSoft Inc. *Statistica (Data Analysis Software System)*; Version 13.3; TIBCO Software Inc.: Palo Alto, CA, USA, 2019.
35. Chambaz, A.; Morel, I.; Scheeder, M.R.L.; Kreuzer, M.; Dufey, P.-A. Characteristics of steers of six beef breeds fattened from eight months of age and slaughtered at a target level of intramuscular fat I. Growth Performance and carcass quality. *Arch. Tierz.* **2001**, *44*, 395–411. [CrossRef]
36. Nogalski, Z.; Wielgosz-Groth, Z.; Purwin, C.; Nogalska, A.; Sobczuk-Szul, M.; Winarski, R.; Pogorzelska, P. The Effect of Slaughter Weight and Fattening Intensity on Changes in Carcass Fatness in Young Holstein-Friesian Bulls. *Ital. J. Anim. Sci.* **2014**, *13*, 2824. [CrossRef]
37. Pilarczyk, R. Concentrations of Toxic and Nutritional Essential Elements in Meat from Different Beef Breeds Reared under Intensive Production Systems. *Biol. Trace Element Res.* **2014**, *158*, 36–44. [CrossRef]
38. Domaradzki, P.; Florek, M.; Staszowska, A.; Litwińczuk, Z. Evaluation of the Mineral Concentration in Beef from Polish Native Cattle. *Biol. Trace Element Res.* **2015**, *171*, 328–332. [CrossRef] [PubMed]
39. Pilarczyk, R. Elemental Composition of Muscle Tissue of Various Beef Breeds Reared Under Intensive Production Systems. *Int. J. Environ. Res.* **2014**, *8*, 931–940. [CrossRef]
40. Mateescu, R.G.; Garmyn, A.J.; Tait, R.G.; Duan, Q.; Liu, Q.; Mayes, M.S.; Garrick, D.J.; van Eenennaam, A.L.; Vanoverbeke, D.L.; Hilton, G.G.; et al. Genetic parameters for concentrations of minerals in longissimus muscle and their associations with palatability traits in Angus cattle1. *J. Anim. Sci.* **2013**, *91*, 1067–1075. [CrossRef] [PubMed]
41. IOM. Dietary Reference Intakes (DRIs): Recommended Dietary Allowances and Adequate Intakes, Elements. Institute of Medicine of the National Academies: Washington, DC, USA, 2019. Available online: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK545442/table/appJ_tab3/?report=objectonly (accessed on 17 October 2020).
42. Doornenbal, H.; Murray, A.C. Effects of Age, Breed, Sex and Muscle on Certain Mineral Concentrations in Cattle. *J. Food Sci.* **1981**, *47*, 55–58. [CrossRef]
43. Kotula, A.W.; Lusby, W.R. Mineral Composition of Muscles of 1- to 6-Year-Old Steers. *J. Anim. Sci.* **1982**, *54*, 544–548. [CrossRef]

44. Littledike, E.T.; Wittum, T.E.; Jenkins, T.G. Effect of breed, intake, and carcass composition on the status of several macro and trace minerals of adult beef cattle. *J. Anim. Sci.* **1995**, *73*, 2113–2119. [CrossRef]
45. Ramos, A.; Cabrera, M.; Saadoun, A. Bioaccessibility of Se, Cu, Zn, Mn and Fe, and heme iron content in unaged and aged meat of Hereford and Braford steers fed pasture. *Meat Sci.* **2012**, *91*, 116–124. [CrossRef]
46. Duckett, S.K.; Neel, J.P.S.; Fontenot, J.P.; Clapham, W.M. Effects of winter stocker growth rate and finishing system on: III. Tissue proximate, fatty acid, vitamin, and cholesterol content1. *J. Anim. Sci.* **2009**, *87*, 2961–2970. [CrossRef]
47. García-Vaquero, M.; Alonso-Alvarez, C.; Benedito, J.L.; Blanco-Penedo, I.; López-Alonso, M. Effect of type of muscle and Cu supplementation on trace element concentrations in cattle meat. *Food Chem. Toxicol.* **2011**, *49*, 1443–1449. [CrossRef]
48. Alberti, P.; Panea, B.; Sanudo, C.; Olleta, J.; Ripoll, G.; Ertbjerg, P.; Christensen, M.; Gigli, S.; Failla, S.; Concetti, S.; et al. Live weight, body size and carcass characteristics of young bulls of fifteen European breeds. *Livest. Sci.* **2008**, *114*, 19–30. [CrossRef]
49. Pesonen, M.; Honkavaara, M.; Huuskonen, A.K. Effect of breed on production, carcass traits and meat quality of Aberdeen Angus, Limousin and Aberdeen Angus×Limousin bulls offered a grass silage-grain-based diet. *Agric. Food Sci.* **2012**, *21*, 361–369. [CrossRef]
50. British Department of Health. Nutritional aspects of cardiovascular disease: Report of the cardiovascular review group committee on medical aspects of food policy. *Nutr. Asp. Cardiovasc. Dis.* **1994**, *46*, 1–186.
51. De Freitas, A.; Lobato, J.; Cardoso, L.; Tarouco, J.; Vieira, R.; Dillenburg, D.; Castro, I. Nutritional composition of the meat of Hereford and Braford steers finished on pastures or in a feedlot in southern Brazil. *Meat Sci.* **2014**, *96*, 353–360. [CrossRef] [PubMed]
52. Ugarković, N.K.; Ivanković, A.; Konjačić, M. Effect of breed and age on beef carcass quality, fatness and fatty acid composition. *Arch. Anim. Breed.* **2013**, *56*, 958–970. [CrossRef]


**Publisher's Note:** MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

© 2020 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 (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

*Ann. Anim. Sci., Vol. 22, No. 1 (2022) 419–437* *DOI: 10.2478/aoas-2021-0023*

sciendo

# FATTY ACID PROFILE OF INTRAMUSCULAR FAT IN THE *LONGISSIMUS LUMBORUM* AND *SEMIMEMBRANOSUS* MUSCLES OF BULLS FED DIETS BASED ON VIRGINIA FANPETALS, GRASS AND MAIZE SILAGES*

Zenon Nogalski[1]•, Martyna Momot[1], Paulina Pogorzelska-Przybyłek[1], Monika Sobczuk-Szul[1], Monika Modzelewska-Kapituła[2]

[1]Department of Cattle Breeding and Milk Evaluation, Faculty of Animal Bioengineering, University of Warmia and Mazury, Oczapowskiego 5, 10-719 Olsztyn, Poland
[2]Department of Meat Technology and Chemistry, Faculty of Food Sciences, University of Warmia and Mazury in Olsztyn, 10-957 Olsztyn, Pl. Cieszyński 1, Poland
•Corresponding author: zena@uwm.edu.pl

**Abstract**

**The aim of this study was to determine the effect of Virginia fanpetals (*Sida hermaphrodita*) silage on the fatty acid profile and the content of selected nutrients and vitamins in the *Longissimus lumborum* (LL) and *Semimembranosus* (SM) muscles of young bulls. Forty Polish Holstein-Friesian bulls aged 16 months were assigned to four dietary treatments (n=10) and were fed different types of silage during a 7-month fattening period. The proportion (g/kg dry matter) of silage in the diets was as follows: (1) grass silage (GS) (600); (2) Virginia fanpetals silage (VFS) (600); (3) VFS (300) and GS (300); and (4) VFS (300) and maize silage (MS) (300). Silage was supplemented with concentrate at 400 g/kg DM in each diet. The animals were slaughtered at the end of the fattening period. The intramuscular fat (IMF) of bulls fed GS had the highest (P<0.05) concentrations of n-3 polyunsaturated fatty acids (PUFAs) and linolenic acid (LNA), whereas the IMF of bulls receiving GS and VFS was characterized by the highest proportion of MUFAs, mostly oleic acid (C18:1 cis 9). In comparison with the LL muscle, the SM muscle contained less IMF (by 40%) with a more nutritionally desirable profile. The SM muscle was characterized by a more desirable mineral composition and a higher concentration of α-tocopherol.**

**Key words: beef, diet composition, muscle, fatty acid composition, α-tocopherol**

Meat is an important component of the human diet as a source of nutrients, vitamins, minerals and essential fatty acids (Pereira and Vicente, 2013). These bio-

*The study was carried out as part of research project No. ½70745/2/NCBR/2015 "Dietary, power, and economic potential of Sida hermaphrodita cultivation on fallow land", acronym SIDA, under the BIOSTRATEG program funded by the National Centre for Research and Development.

logically active substances are known to have antineoplastic, antioxidant, immune-boosting and antibacterial properties (Decker et al., 2000). Beef and other ruminant products are important dietary sources of conjugated linoleic acid (CLA) and its major isomer cis-9, trans-11 with a range of health-promoting properties (Salter, 2013). The beneficial effects of long-chain n-3 polyunsaturated fatty acids (PUFAs), eicosapentaenoic acid (EPA, 20:5n-3) and docosahexaenoic acid (DHA; 22:6n-3), in reducing the risk of cardiovascular disease, cancer and type-2 diabetes, and their critical role in proper brain function, visual development in the fetus and maintenance of neural and visual tissues throughout life have been well recognized (Barceló-Coblijn and Murphy, 2009; Lopez-Huertas, 2010; Scollan et al., 2014). Fatty acids are consumed mostly as the ingredients of intramuscular fat (IMF). The content and composition of IMF in muscles affect the flavor, juiciness and tenderness of meat (Webb, 2006), which are the most important attributes influencing consumer acceptance and purchasing decisions. However, there is a growing concern not only about excessive consumption of fats (in particular animal fats) but also about their composition and impact on human health (Scollan et al., 2014). The fatty acid profile of IMF is particularly important for human health because IMF is not extracted or removed before meat is consumed (De Smet et al., 2004). High dietary intake of saturated fatty acids (SFAs) has been associated with elevated serum levels of total and low-density lipoprotein (LDL) cholesterol, which is the risk factor for cardiovascular disease (Siri-Tarino et al., 2010). For this reason, animal products are criticized on account of their high SFA content, and they are labeled as harmful to health (Wood et al., 2008).

Beef is an excellent source of protein and dietary iron, zinc and magnesium, and it should not be viewed only from the fat content perspective (Cabrera et al., 2010). Calcium, magnesium and phosphorus play a vital role in many bodily functions, in particular bone mineralization. In addition, they are cofactors of many enzyme systems, sustaining muscle and nerve excitation. Vitamins A and E are important natural dietary antioxidants (Arnold et al., 1993; Scollan et al., 2014). Retinol is an essential dietary substance, which is required for rhodopsin formation and vision. At the same time, higher doses of vitamin A have been shown to be teratogenic, and accordingly, the World Health Organization has recommended that the daily intake for pregnant women should not exceed 3.3 mg/day (WHO, 2011). Vitamin E is an essential nutrient which stabilizes PUFAs, and a key determinant of meat quality, in particular in ruminants (Wood et al., 2008).

The fatty acid profile of beef is affected by cattle breed and the type of fat that is deposited within muscles (Wielgosz et al., 2017). The composition of the fatty acids (FA) of animal origin can be influenced by diet (forage and grain), by the digestive system, and by the biosynthetic processes of the animal (Faucitano et al., 2008; Buccioni et al., 2012; Ponnampalam et al., 2018). In ruminants, the fatty acid profile of meat is not directly related to the fatty acid composition of feed (Scollan et al., 2014). However, diets rich in unsaturated fatty acids (UFAs) improve (beneficial for consumers) the PUFA:MUFA (monounsaturated fatty acids) ratio in meat (Oprządek and Oprządek, 2003; Dannenberger et al., 2004). Less intensive fattening systems (less concentrated feed) contribute to a more desirable fatty acid profile of meat (Nogalski et al., 2014). The concentrations of nutritionally important n-3 PUFAs are

higher in the muscles of cattle fed fresh grass than in animals fed conserved forage (Scollan et al., 2006; Ponnampalam et al., 2018). Different types of silage, in particular combinations of several roughage sources, can have a beneficial influence on the proportion of health-promoting fatty acids in the muscles of cattle (Lee et al., 2009; Moloney et al., 2013). Different feeding strategies are applied to increase the content of n-3 PUFAs and to improve the n-6/n-3 PUFA ratio in beef IMF.

New types of feed are also being introduced to increase the fattening performance of cattle and improve the quality of beef. Virginia fanpetals (*Sida hermaphrodita*) is a little-known plant species with forage potential. Botanically, the genus Sida belongs to the family *Malvaceae*. Virginia fanpetals is a polycarpic perennial herb characterized by low soil requirements, which can produce 10–20 t/ha of dry matter annually (Borkowska et al., 2009; Titei, 2015). Virginia fanpetals leaves, which contain mucus-like substances and flavonoids, can be used for pharmaceutical purposes (Borkowska and Styk, 2006). The potential use of Virginia fanpetals as a fodder crop remains insufficiently investigated. The chemical composition of Virginial fanpetals, in particular its protein content, is comparable with that of alfalfa (Tarkowski, 2008). The plant could also be suitable for forage production due to its high yield potential, resistance to lodging and freezing, low soil nutrient requirements, and high drought tolerance (Franzaring et al., 2014).

The present experiment is part of a study investigating the effects of Virginia fanpetals silage (VFS) on animal performance, carcass characteristics and beef quality in growing bulls. The results regarding feed quality, animal performance, carcass characteristics and meat quality have been reported in detail by Nogalski et al. (2020). They found that VFS combined with maize silage improved carcass conformation and fat cover, whereas VFS combined with grass silage improved the sensory properties of beef. The present study focuses on the fatty acid profile and the content of selected nutrients and vitamins in meat from young bulls. It was assumed that VFS fed to finishing bulls would contribute to increasing the content of bioactive compounds in beef, thus delivering health benefits to consumers. Therefore, the aim of this study was to determine the effect of silage, in particular VFS, on the fatty acid profile and the content of selected nutrients and vitamins in meat from young bulls.

## Material and methods

### Animals and treatments

The experimental material comprised 40 Polish Holstein-Friesian bulls reared at the Agricultural Experiment Station in Bałcyny. The bulls were the offspring of 40 cows and 40 sires. The housing and management conditions of experimental animals have been described in detail in a previous study (Nogalski et al., 2020). The protocol for animal research was approved by the Ethics Committee of the University of Warmia and Mazury (Decision No. 121/2010). Before the experiment, young bulls were raised in a conventional system, and were fed milk replacer, hay and concentrate. Starting from 5 months of age, the animals were fattened semi-intensively, and

were fed *ad libitum* a total mixed ration (TMR) composed of GS (the same GS was used during the feeding trial) supplemented with 2 kg of concentrate (Nogalski et al., 2020). At 16 months of age, when bulls reached a body weight (BW) of around 450 kg, they were assigned to four groups by the analogue method (the animals were at a similar age, and they were divided into groups based on BW) of ten individuals each, and were placed in a monitored fattening facility, in four separate pens on deep bedding. Pen size was 20 × 13 m. The animals had enough space to move freely around, and they had free access to water and salt licks. During a 7-month fattening period, the animals were fed different types of silage (maize silage – MS, grass silage – GS and Virginia fanpetals silage – VFS) supplemented with concentrate (triticale grain, rapeseed meal and premix) (Table 1). The dietary treatments were as follows (Table 2): group 1 (control) – basal diet of GS, group 2 – basal diet of VFS, group 3 – basal diet of VFS+GS (1:1), group 4 – basal diet of VFS+MS (1:1). The animals were fed *ad libitum* TMR composed of silage and concentrate, which was dosed from a self-propelled feed cart. The concentrate to silage ratio, on a DM basis, was 40:60 and the amounts of triticale and rapeseed meal were dosed to obtain an isonitrogenous diet (Table 2). The concentrate contained also 3% of mineral-vitamin premix (Table 2). Virginia fanpetals silage was made from first-harvest biomass cut in the bud formation stage. GS *(Lolium multiflorum)* was made from first-harvest herbage cut in the heading stage and wilted for 24 hours, and MS was made from herbage cut in the dough stage (Table 1). The animals were weighed once a week. Fresh TMR was offered every day, after the leftovers had been removed. The feed intake of each animal was monitored individually using the Roughage Intake Control System (Insentec BV, Marknesse, The Netherlands). All feed samples, collected once a week, were analyzed for the content of basic nutrients – with standard methods (AOAC, 2005), as described in detail in the study by Nogalski et al. (2020).

Table 1. Chemical and fatty acid composition of experimental diets (mean ± standard error)

| Specification | MS | GS | VFS | Triticale | Rapeseed meal |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| **Chemical composition** | | | | | |
| DM (g/kg fresh) | 324±0.96 | 271±0.95 | 198±0.89 | 875±1.12 | 878±1.05 |
| Organic matter | 964±2.12 | 905±2.31 | 901±1.56 | 956±1.25 | 921±1.58 |
| Crude protein | 88.5±1.32 | 132±1.39 | 174±1.62 | 122±1.21 | 386±1.32 |
| NDF | 336±5.32 | 540±4.32 | 429±5.12 | 172±1.36 | 298±1.98 |
| ADF | 194±1.32 | 317±1.69 | 315±2.03 | 42±0.68 | 212±0.84 |
| ADL | 12.4±0.65 | 26.7±0.62 | 31.5±0.85 | – | – |
| NFC | 503±3.25 | 199±3.29 | 278±4.12 | 634±4.31 | 237±4.36 |
| pH | 3.54±0.09 | 4.21±0.12 | 4.57±0.17 | | |
| Lactic acid | 27.8±7.32 | 43.8±11.3 | 65.8±9.25 | | |
| Acetic acid | 6.3±1.32 | 12.6±2.62 | 20.3±2.98 | | |
| Butyric acid | 0.08±0.03 | 0.09±0.03 | 4.4±0.56 | | |
| $N\text{-}NH_3$ (g $kg^{-1}$ TN) | 33.6±11.4 | 75.6±14.3 | 105±15.2 | | |

Table 1 – contd.

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|
| **Fatty acid profile (g/100 g fatty acids)** | | | | | |
| C14:0 | 0.15±0.01 | 1.82±0.06 | 0.87±0.03 | | |
| C16:0 | 13.81±0.21 | 22.79±0.28 | 25.91±0.30 | | |
| C18:0 | 1.96±0.09 | 2.99±0.08 | 2.29±0.09 | | |
| C18:1 n-9 (OA) | 23.67±0.07 | 5.7±0.08 | 5.8±0.04 | | |
| C18:2 n-6 (LA) | 51.55±0.12 | 23.79±0.14 | 21.89±0.09 | | |
| C18:3 n-3 (LNA) | 7.76±0.08 | 38.55±0.14 | 39.17±0.13 | | |

MS – maize silage; GS – grass silage; VFS – Virginia fanpetals silage; DM – dry matter; NDF – neutral detergent fiber; ADF – acid detergent fiber; ADL – acid detergent lignin; NFC – non-fiber carbohydrate; N-$NH_3$ – ammonia nitrogen; TN – total nitrogen; OA – oleic acid; LA – linoleic acid; LNA – linolenic acid.

Table 2. Ingredient (% of DM) and chemical composition of experimental diets (mean ± standard error)

| Specification | GS | VFS | VFS+GS | VFS+MS |
|---|---|---|---|---|
| Grass silage | 60 | – | 30 | – |
| Sida silage | – | 60 | 30 | 30 |
| Maize silage | – | – | – | 30 |
| Triticale grain | 28 | 37 | 33 | 28 |
| Rapeseed meal | 9 | – | 4 | 9 |
| Premix[1] | 3 | 3 | 3 | 3 |
| DM (g/kg fresh) | 344.7±0.98 | 287.4±0.88 | 324.8±1.02 | 345.3±1.08 |
| In g/kg DM | | | | |
| organic matter | 893.6±2.15 | 894.3±2.32 | 894.1±2.14 | 910.1±2.64 |
| crude protein | 148.3±1.21 | 149.5±1.54 | 147.6±1.36 | 148.0±1.24 |
| NDF[2] | 398.9±4.63 | 321.0±4.87 | 359.4±5.23 | 304.4±5.78 |
| ADF[3] | 221.0±1.39 | 204.5±1.54 | 211.9±1.69 | 183.5±1.89 |
| NFC[4] | 318.2±3.28 | 401.4±3.41 | 361.8±3.58 | 433.3±3.11 |

DM – dry matter; MS – maize silage; GS – grass silage; VFS – Virginia fanpetals silage.

[1]Commercial mineral-vitamin premix for fattening cattle (code of product 7619; Cargill Poland Ltd., Warsaw, Poland) consisting of per kg: Ca, 235 g; Na, 79 g; P, 48 g; Mg, 28 g; Fe, 500 g; Mn, 2000 mg; Cu, 375 mg; Zn, 3750 mg; I, 50 mg; Co, 12.5 mg; Se, 12.50 mg; vitamin A, 250.000 IU; vitamin $D_3$, 50.000 IU; vitamin E, 1000 mg; dl-alpha-tocopherol, 909.10 mg. [2]NDF – neutral detergent fiber; [3]ADF – acid detergent fiber; [4]NFC – non-fiber carbohydrate.

**Fat content and fatty acids profile measurements**

At the end of the fattening period, the animals were transported to a meat processing plant where they were kept in individual boxes with access to water for 15 to 20 h. For organizational reasons, the animals were slaughtered in two batches (n=20 per batch) at a 7-day interval. To eliminate the potential effect of slaughter batch on research results, the first batch consisted of animals selected randomly, five bulls from each group. Live animals before slaughter and carcasses after slaughter were

weighed with an accuracy of 0.5 kg. The bulls were slaughtered in a commercial slaughterhouse respecting EU regulations (Council Regulation EC No 1099/2009 of 24 September 2009) on the protection of animals at the time of slaughter. The carcasses were classified for conformation and fatness by a trained grader, using the EUROP classification system (Kien, 2004). During carcass dressing, 96 h post mortem, samples of the *Longissimus lumborum (LL)* muscle and the *Semimembranosus (SM)* muscle were collected from the right half-carcass of each animal. Samples of the true cross section of the LL muscle were obtained from the first to third lumbar vertebrae. Samples of the SM muscle were obtained from the center of the muscle. Meat samples weighing approximately 300 g were packaged in polyamide/polyethylene vacuum bags at an ambient temperature of around 4°C, under standard industrial conditions. The samples were transported in an isothermal container to the research laboratory of the Department of Cattle Breeding and Milk Evaluation at the University of Warmia and Mazury in Olsztyn. Fat was extracted from ground meat (Ultra-Turrax, Janke & Kunkel) samples by the Soxhlet method using the Buechi B-811 extraction system, with hexane as a solvent (Morris, 2016). Crude fat content and the percentage of fatty acids were determined based on the following standards: PN-EN ISO 5509 (2001) and PN-EN ISO 5508 (1996). Fatty acid methyl esters were obtained by dissolving the extracted fat in a methanol–chloroform–$H_2SO_4$ mixture, followed by methylation according to the modified Peisker method (Żegarska et al., 1991). The percentage of 31 fatty acids was determined by gas chromatography, using the Varian CP 3800 system with a split/splitless injector and a flame-ionization detector. Samples (1 ml) of fatty acid methyl esters were placed on a CP-Sil 88 capillary column (length: 100 m, inner diameter: 0.25 mm). Data were processed using the Galaxie Chromatography Data System. Fatty acids were identified by comparing their retention times with those of commercially available reference standards purchased from Supelco. Inc. (Bellefonte, PA). Analyses of samples and reference standards were performed under identical conditions, i.e. carrier gas – helium, injector temperature – 260°C, detector temperature – 260°C and initial oven temperature – 110°C, raised to 249°C. The fatty acids were divided into the following categories: SFAs, UFAs, including MUFAs and PUFAs. The following ratios were calculated: UFA/SFA, PUFA/SFA and n–6/n–3 PUFA. The fatty acid content was presented as the relative percentage (% of total fatty acids).

**Determination of mineral content**

Samples of LL and SM muscles were homogenized, specimens of approximately 0.5 g were placed in Teflon-lined pressure vessels and combined with 7 ml of 65% spectrally pure nitric acid (Merck). Each sample was analyzed in duplicate. Means of two replications were used in the calculations. The vessels were sealed, and the samples were mineralized in the Mars Xpress 5 microwave digestion system (Candela, USA). Every mineralization procedure involved 2 blank samples and 2 samples of certified reference material. Mineralized samples were cooled and transferred to 25 ml volumetric flasks. They were analyzed with an atomic absorption spectrometer (Candela, USA) equipped with lamps for different elements (potassium, sodium, magnesium, zinc, iron).

**Determination of vitamin A and E content**

The content of vitamins A and E was determined based on the applicable standards (PN-EN 12822, 2014), which were slightly modified for the needs of this study. Samples of LL and SM muscles were ground, and 2 g specimens were placed in 25 ml amber glass flasks. The samples were saponified at a temperature of 80°C for 30 minutes in 1.2 ml of 20% ascorbic acid, 0.6 ml of methanol and 5 ml of 60% potassium hydroxide. After cooling, fat was extracted twice with n-hexane, and the extract was evaporated to dryness in a stream of nitrogen. The fat remaining in flasks was dissolved in 1 ml of anhydrous ethanol and filtered into amber glass vials. Chemical compounds were separated by high-performance liquid chromatography (HPLC) using a silica column. The separated compounds were identified by two detectors in tandem (UV-visible photodiode array detector and fluorescence detector). Alpha-tocopherol was detected by fluorescence spectroscopy, and retinol was detected with the use of the UV-visible photodiode array detector. Injection volume was 20 µl. The content of total α-tocopherol and retinol in meat was calculated in duplicate for each muscle, based on the external standard, from a standard curve of peak area vs. concentration. Means of two replications were used in the calculations.

**Statistical analysis**

The impact of silage type (four levels: GS, VFS, VFS+GS and VFS+MS) on the BW of bulls, age at slaughter and fatness score was analyzed using one-way analysis of variance, whereas the differences between means were analyzed using Tukey's test. Meat samples were taken from each animal with two muscles, for a total of 80 samples. After checking and excluding the effect of the slaughtering session, the effects of silage type (four levels: GS, VFS, VFS+GS and VFS+MS) and muscle type (two levels: LL and SM) on the remaining analyzed parameters were determined by the least squares method using the formula:

$$Yijk = \mu + Ai + Bj + (AB)ij + eijk$$

where: *Yijk* is the value of the analyzed parameter, $\mu$ is population mean, *Ai* is the effect of silage type (1–4), *Bj* is the effect of muscle type (1. 2), *(AB)ij* is the silage type × muscle type interaction, and *eijk* is random error. All calculations were performed using Statistica 13.3 software (StatSoft Inc., Tulsa, OK, USA).

## Results

**Fatty acid profile of intramuscular fat**

Maize silage had a considerably lower content of palmitic acid and α-linolenic acid, and a several-fold higher content of oleic acid and linoleic acid than the remaining types of silage (Table 1). The concentrations of the analyzed fatty acids were similar in GS and VFS. The effects of diet on fattening performance (Table 3) have been described in detail in a previous study (Nogalski et al., 2020). Fat cover scores

varied across the dietary treatments, and they were higher in VFS+MS bulls compared with VFS bulls (P<0.05) (Table 3). The dietary treatments had a significant effect on IMF content and VFS+MS bulls had higher IMF content compared to the other treatments (Table 4). In addition, both VFS and VFS+GS bulls had higher IMF content compared to the GS bulls (P<0.05). The SM muscle contained less (P<0.01) IMF (by 0.73% on average) than the LL muscle. Silage type affected (P<0.05) the proportions of SFAs and UFAs in the total fatty acid pool. The IMF extracted from the muscles of bulls fed VFS+GS contained less (P<0.05) SFAs compared with the other groups. The meat of bulls fed VFS+GS had the highest UFA concentrations, and the difference (P<0.05) relative to the remaining groups ranged from 3.20% to 3.79%. Silage type had a significant effect on MUFA levels, and muscle type affected the concentrations of both MUFAs and PUFAs. The proportion of MUFAs was highest (P<0.05) in the IMF of VFS+GS bulls. The LL muscle contained more MUFAs (by 4.17%. P<0.01) and less PUFAs (by 3.58% P<0.01) than the SM muscle. The differences in the proportions of fatty acid groups, affected by the experimental factors, were reflected in the values of the MUFA:SFA ratio. Muscle type also exerted a significant (P<0.01) effect on the PUFA:SFA ratio. The proportion of n-3 PUFAs was significantly (P<0.05) highest in the IMF of GS bulls, compared with VFS, VFS+GS and VFS+MS bulls. The n-6/n-3 PUFA ratio was higher (P<0.05) in the VFS group than in the GS and VFS+MS group. Muscle type affected (P<0.01) both the concentrations of n-3 and n-6 PUFAs and their ratio (n-6/n-3 PUFA). A higher share of n-3 and n-6 acids and a more favorable n-6/n-3 PUFA ratio were found in the fat of the SM muscle. An interaction (P<0.05) between the experimental factors was found for the content of n-6 PUFAs (Figure 1). Intramuscular fat in the SM muscle of VFS+MS bulls contained less (P<0.05) n-6 PUFAs than the IMF of bulls fed GS and VFS+GS. Intramuscular fat in the LL muscle of VFS+MS bulls contained more (P<0.05) n-6 PUFAs than IMF in the LL muscle of VFS bulls.

Table 3. Fattening performance, age, live weight at slaughter and carcass fat content of bulls

| Specification | Diet (silage type) | | | | SEM | P-value |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | GS | VFS | VFS+GS | VFS+MS | | |
| Initial age (days) | 509.2 | 516.4 | 512.1 | 515.6 | | |
| Initial BW (kg)[1] | 455.1 | 455.6 | 477.0 | 464.3 | | |
| Final BW (kg) | 696.0 | 686.5 | 715.3 | 708.3 | | |
| Final age (days) | 724.3 | 731.5 | 724.1 | 727.8 | | |
| Daily gain (kg) | 1.126 | 1.079 | 1.129 | 1.151 | | |
| Hot carcass weight (kg) | 358.6 | 353.1 | 366.5 | 372.2 | | |
| Fatness score (pts)[2] | 5.3 ab | 4.9 b | 5.4 ab | 6.8 a | 0.261 | 0.027 |

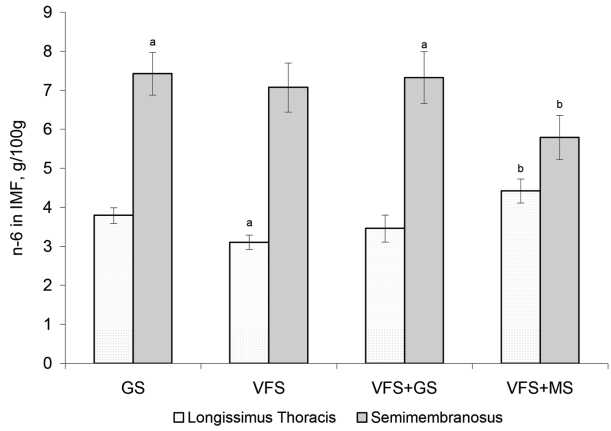
GS – grass silage; VFS – Virginia fanpetals silage; MS – maize silage; SEM – Standard error of the mean.
[1]Body weight; [2]EUROP degree of fat cover: 1 to 15, 1 = very low, 15 = very fat.
a, b, c – values in rows with different letters differ significantly (P≤0.05).

Table 4. The effect of silage type and muscle type on the percentages and ratios of fatty acid groups in intramuscular fat of bulls (g/100 g total fatty acids)

| Specification | Type of silage (TS) | | | | Muscle (M) | | SEM | Significance (P value) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | GS | VFS | VFS+GS | VFS+MS | LL | SM | | TS | M | TS × M |
| Intramuscular fat (%) | 1.69 Ba | 2.06 b | 2.39 b | 2.68 Aa | 2.57 A | 1.84 B | 0.082 | 0.025 | 0.000 | 0.766 |
| SFAs | 45.80 a | 45.36 a | 42.16 b | 45.95 a | 44.53 | 45.11 | 0.467 | 0.013 | 0.551 | 0.724 |
| UFAs | 54.20 b | 54.64 b | 57.84 a | 54.05 b | 55.47 | 54.89 | 0.469 | 0.015 | 0.549 | 0.732 |
| MUFAs | 46.55 b | 47.63 b | 50.52 a | 46.91 b | 49.98 A | 45.81 B | 0.551 | 0.015 | 0.000 | 0.557 |
| PUFAs | 7.65 | 7.06 | 7.32 | 7.17 | 5.50 B | 9.08 A | 0.322 | 0.786 | 0.000 | 0.087 |
| MUFA/SFA | 1.02 b | 1.06 b | 1.21 a | 1.03 b | 1.13 a | 1.03 b | 0.022 | 0.007 | 0.014 | 0.735 |
| PUFA/SFA | 0.17 | 0.16 | 0.17 | 0.16 | 0.12 B | 0.20 A | 0.007 | 0.584 | 0.000 | 0.100 |
| n-3 | 2.09 a | 1.68 b | 1.85 b | 1.87 b | 1.25 B | 2.48 A | 0.044 | 0.041 | 0.000 | 0.091 |
| n-6 | 5.61 | 5.09 | 5.39 | 5.10 | 3.67 B | 6.91 A | 0.291 | 0.742 | 0.000 | 0.039 |
| n-6/n-3 | 2.77 b | 3.24 a | 2.99 ab | 2.83 b | 3.09 a | 2.85 b | 0.111 | 0.024 | 0.041 | 0.346 |

GS – grass silage; VFS – Virginia fanpetals silage; MS – maize silage; LL – *Longissimus lumborum* muscle; SM – *Semimembranosus* muscle; SEM – standard error of the mean; SFAs – saturated fatty acids; UFAs – unsaturated fatty acids; MUFAs – monounsaturated fatty acids; PUFAs – polyunsaturated fatty acids.

Means followed by different letters differ within rows (within the factor): A, B ($P \leq 0.01$); a, b ($P \leq 0.05$).




GS – grass silage; VFS – Virginia fanpetals silage; MS – maize silage; IMF – intramuscular fat; SEM – standard error of the mean; a, b (P≤0.05).

Figure 1. The effect of the silage type × muscle type interaction on the content of n–6 fatty acids in intramuscular fat (Means ± SEM)

The experimental diets affected the proportions of selected functional fatty acids (Table 5). The highest (P<0.05) concentrations of linolenic acid (C18:3), arachidonic acid (C20:4) and docosapentaenoic acid (C22:5) were noted in the IMF of bulls fed GS, whereas the VFS+GS treatment contributed to a significant increase in oleic acid (C18:1 C9) content (P<0.05). Muscle type had a significant effect on the proportions of most valuable fatty acids. The LL muscle contained higher (P<0.01) amounts of oleic acid and CLA, whereas the concentrations of linoleic acid, linolenic acid, arachidonic acid, eicosapentaenoic acid, docosapentaenoic acid and docosahexaenoic acid were higher (P<0.01) in the SM muscle. In both skeletal muscles, the predominant SFAs were palmitic acid (C16:0) and stearic acid (C18:0) (Table 5). The dietary treatments had no significant effect on the concentrations of three major SFAs, which were affected by muscle type. Intramuscular fat in the LL muscle had a higher (P<0.01) content of myristic acid (C14:0), and IMF in the SM muscle had a higher (P<0.05) content of stearic acid (C18:0).

**Contents of minerals and vitamins**

An analysis of macronutrients revealed that the muscles of bulls fed GS had higher (P<0.01) potassium content than the muscles of bulls fed VFS (Table 6). The muscles of bulls fed VFS+GS had a higher (P<0.05) concentration of α-tocopherol than the muscles of bulls fed GS and VFS+MS. Muscle type affected the levels of macronutrients in the meat of bulls. The SM muscle had a higher content of magnesium (P<0.05) and potassium (P<0.01), whereas the LL muscle had higher (P<0.05) sodium content. The SM muscle had higher iron content (by 2.8 mg, P<0.01) than the LL muscle. Muscle type exerted varied effects on vitamin content. The LL muscle had a higher (P<0.01) concentration of α-tocopherol, whereas retinol levels were higher (P<0.05) in the SM muscle.

Table 5. The effect of silage type and muscle type on the percentages of fatty acids in intramuscular fat (%, g/100 g total fatty acids)

| Specification | Type of silage (TS) | | | | Muscle (M) | | SEM | Significance (P value) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | GS | VFS | VFS+GS | VFS+MS | LL | SM | | TS | M | TS × M |
| C 10:0 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.002 | 0.756 | 0.992 | 0.147 |
| C 12:0 | 0.06 | 0.06 | 0.05 | 0.06 | 0.06 | 0.05 | 0.052 | 0.065 | 0.181 | 0.220 |
| C 14:0 | 2.45 | 2.48 | 2.28 | 2.54 | 2.72 A | 2.16 B | 0.067 | 0.456 | 0.000 | 0.859 |
| C 14:1 | 0.45 | 0.55 | 0.58 | 0.46 | 0.69 A | 0.33 B | 0.032 | 0.064 | 0.000 | 0.416 |
| C 15:0 | 0.39 A | 0.42 A | 0.29 B | 0.40 A | 0.39 | 0.37 | 0.011 | 0.000 | 0.249 | 0.396 |
| C 16:0 | 25.45 | 25.29 | 24.52 | 25.80 | 25.59 | 24.93 | 0.211 | 0.197 | 0.117 | 0.808 |
| C 16:1 | 3.29 | 3.64 | 3.91 | 3.42 | 4.26 A | 2.87 B | 0.133 | 0.139 | 0.000 | 0.645 |
| C 17:0 | 1.03 A | 1.05 A | 0.79 B | 1.05 A | 0.95 | 1.02 | 0.025 | 0.000 | 0.085 | 0.211 |
| C17:1 | 0.69 | 0.75 | 0.68 | 0.73 | 0.77 A | 0.66 B | 0.015 | 0.228 | 0.000 | 0.375 |
| C 18:0 | 15.76 | 15.41 | 13.49 | 15.52 | 14.24 b | 15.88 a | 0.341 | 0.059 | 0.015 | 0.728 |
| C 18:1 T6+9 | 0.52 | 0.58 | 0.48 | 0.56 | 0.53 | 0.54 | 0.019 | 0.228 | 0.662 | 0.376 |
| C 18:1 (TVA) | 1.63 | 1.80 | 1.18 | 1.71 | 1.59 | 1.57 | 0.084 | 0.051 | 0.983 | 0.862 |
| C 18:1 C9 (OA) | 37.27 b | 37.55 b | 40.68 a | 37.40 b | 39.43 A | 36.98 B | 0.452 | 0.012 | 0.004 | 0.757 |
| C 18:1 C11 | 1.72 B | 1.74 B | 2.01 A | 1.64 B | 1.70 b | 1.86 a | 0.041 | 0.007 | 0.037 | 0.502 |
| C 18:1 C12 | 0.28 | 0.29 | 0.30 | 0.27 | 0.28 | 0.30 | 0.006 | 0.379 | 0.158 | 0.865 |
| C 18:1 C13 | 0.09 | 0.10 | 0.09 | 0.08 | 0.09 | 0.09 | 0.291 | 0.051 | 0.068 | 0.814 |
| C18:1 T16 | 0.33 | 0.33 | 0.28 | 0.33 | 0.32 | 0.31 | 0.008 | 0.018 | 0.461 | 0.202 |
| C18:2 (LA) | 4.58 | 4.23 | 4.39 | 4.22 | 3.15 B | 5.56 A | 0.215 | 0.789 | 0.000 | 0.081 |
| C18:2 c9 t11(CLA) | 0.37 | 0.40 | 0.38 | 0.39 | 0.42 A | 0.34 B | 0.008 | 0.576 | 0.000 | 0.468 |
| C18:3 (LNA) | 0.68 a | 0.47 b | 0.45 b | 0.51 b | 0.47 B | 0.59 A | 0.018 | 0.021 | 0.000 | 0.457 |
| C20:4 (AA) | 1.08 a | 0.84 b | 1.00 ab | 0.85 b | 0.53 B | 1.35 A | 0.078 | 0.030 | 0.000 | 0.075 |
| C20:5 (EPA) | 0.12 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.07 B | 0.14 A | 0.008 | 0.698 | 0.000 | 0.422 |
| C 22:0 | 0.10 | 0.09 | 0.20 | 0.06 | 0.07 | 0.15 | 0.025 | 0.263 | 0.121 | 0.415 |
| C22:5 (DPA) | 0.33 a | 0.21 b | 0.27 b | 0.22 b | 0.16 B | 0.35 A | 0.018 | 0.037 | 0.000 | 0.088 |
| C22:6 (DHA) | 0.05 | 0.03 | 0.04 | 0.04 | 0.03 B | 0.05 A | 0.002 | 0.188 | 0.000 | 0.379 |

GS – grass silage; VFS – Virginia fanpetals silage; MS – maize silage; LL – *Longissimus lumborum* muscle; SM – *Semimembranosus* muscle.

SEM – standard error of the mean; TVA – trans-vaccenic acid; OA – oleic acid; LA – linoleic acid; CLA – conjugated linoleic acid; LNA – linolenic acid; AA – arachidonic acid; EPA – eicosapentaenoic acid; DPA – docosapentaenoic acid; DHA – docosahexaenoic acid.

Means followed by different letters differ within rows (within the factor): A, B ($P \leq 0.01$); a, b ($P \leq 0.05$).

Table 6. The effect of silage type and muscle type on the content of macronutrients, micronutrients and vitamins (mg/100 g of fresh meat)

| Specification | Type of silage (TS) | | | | Muscle (M) | | SEM | Significance (P value) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | GS | VFS | VFS+GS | VFS+MS | LL | SM | | TS | M | TS × M |
| Mg | 20.3 | 20.1 | 19.6 | 21.0 | 19.5 b | 20.9 a | 0.29 | 0.393 | 0.015 | 0.969 |
| K | 504.7 A | 457.0 B | 486.3 | 486.4 | 469.8 B | 495.5A | 4.62 | 0.000 | 0.002 | 0.302 |
| Na | 60.2 | 60.5 | 58.1 | 58.7 | 61.7 a | 57.1 b | 1.02 | 0.804 | 0.035 | 0.344 |
| Zn | 4.0 | 4.1 | 4.3 | 4.1 | 3.9 | 4.2 | 0.08 | 0.711 | 0.16 | 0.626 |
| Fe | 2.1 | 2.0 | 2.1 | 2.2 | 2.0 B | 2.2 A | 0.04 | 0.491 | 0.001 | 0.597 |
| Retinol | 0.064 | 0.056 | 0.067 | 0.061 | 0.077 A | 0.046 B | 0.003 | 0.574 | 0.000 | 0.115 |
| α-tocopherol | 0.245 b | 0.325 ab | 0.332 a | 0.260 b | 0.251 b | 0.331 a | 0.016 | 0.026 | 0.015 | 0.852 |

GS – grass silage; VFS – Virginia fanpetals silage; MS – maize silage; LL – *Longissimus lumborum* muscle; SM – *Semimembranosus* muscle.
SEM – standard error of the mean.
Means followed by different letters differ within rows (within the factor): A, B ($P \leq 0.01$); a, b ($P \leq 0.05$).

## Discussion

### Fatty acid profile of intramuscular fat

In the present study, bulls were fed supplemental concentrate because the quality of silage was not high. The concentrate accounted for 40% DM of the diet, which is typical of intensive fattening. A diet rich in n-6 PUFAs and poor in n-3 PUFAs, leading to a high n-6/n-3 PUFA ratio, is a risk factor for cardiovascular disease in humans (Breslow, 2006; EFSA, 2020). Attempts have been made to increase the amounts of PUFAs in beef. Dietary PUFAs are extensively biohydrogenated in the rumen, where UFAs are isomerized and hydrogenated by ruminal microbes to form SFAs, in particular C18:0 (Buccioni et al., 2012). Previous research (Nogalski et al., 2014; Momot et al., 2016) has shown that intensive fattening increases the IMF content of beef, but decreases the proportion of PUFAs and increases the n-6/n-3 PUFA ratio in IMF. In order to naturally protect PUFAs against biodegradation in the rumen, ruminants should be fed grains or cell organelles (e.g. chloroplasts in silage) where fat is enclosed and protected against ruminal microbiota (Scollan et al., 2014). On the other hand, roughage is also expected to positively affect the fatty acid profile of beef (Momot et al., 2016; Nogalski et al., 2014; Scollan et al., 2014). In a study by Lee et al. (2009), red clover silage fed to finishing cows considerably increased dietary protein levels with no adverse effect on the concentrations of health-promoting fatty acids in IMF, compared with GS. Durand et al. (2005) demonstrated the ability to markedly increase the concentrations of n-3 PUFAs in beef muscles when 18:3 n-3 (as linseed oil) was infused directly into the small intestine, thereby by-passing the rumen. This strategy increased the concentration of 18:3 n-3 in total lipids. Fortin et al. (2010) reported that abomasal infusion of fish oil increased the concentration of EPA in muscle phospholipids.

The fatty acid composition of beef can be modified primarily through the diet (Scollan et al., 2014). Grass, clover and haylage are rich sources of α-linolenic acid (C18:3 n-3), whereas cereal- and MS-based concentrates – of linoleic acid (C18:2 n-6). The fatty acid profile of IMF, determined in this study, is desirable from the perspective of beef consumers because it comprised more than 55% of UFAs, including over 7% of PUFAs, and the n-6/n-3 PUFA ratio oscillated around the value of 3. The ratio n-6/n-3 was used as an indicator of the nutritional value of fats and the value of 4.0 was set as the maximal (Valencak et al., 2015). Typically, IMF of beef consists, on average, of 45–48%, 35–45% and up to 5% of total fatty acids as SFAs, MUFAs and PUFAs, respectively and the n-6:n-3 PUFA ratio in beef is beneficially low, typically lower than 3 (Scollan et al., 2014).

In the present study, MS had a higher content of oleic acid (C18:1), compared with the other types of silage, but it did not increase the concentration of this fatty acid in the IMF of VFS+MS bulls. Higher concentrations of α-linolenic acid and lower concentrations of linoleic acid in GS and VFS, compared with MS, did significantly affect the proportions of n-6 and n-3 PUFAs or their ratio in IMF, either. The source of fatty acids influences the process of their biohydrogenation (MacKintosh et al., 2017). In general, the levels of n-3 PUFAs are higher in the muscles of cattle fed fresh grass, compared with conserved grass, and they increase with the amount

of pasture consumed and grazing time on pasture (Scollan et al., 2006). This experiment confirmed the importance of grasses for the content of n-3 fatty acids in beef. The IMF of bulls fed GS had the highest proportion of n-3 PUFAs. The consumption of beef from grass-based animals with increased n-3 fatty acid concentration can contribute to the daily human requirements for these fatty acids, especially C18:3 and C22:5.

In the current study, GS and VFS+GS had the most beneficial effect on the fatty acid composition of meat. The IMF of VFS+GS bulls had the highest proportion of UFAs, mostly oleic acid, whereas the IMF of GS bulls had the lowest n-6/n-3 PUFA ratio and the highest concentrations of n-3 acids and DPA. Bearing in mind that both silages (GS and VFS) had similarly high LNA content, the higher content of n-3 acids in the IMF of the GS group proves a less dynamic process of PUFA biohydrogenation in the rumen of GS-fed animals. In the work of Lee et al. (2009), red clover silage, with a similarly high protein content as VFS in the current study, used with a mixture of grass increased the deposition of n-3 PUFAs in the muscles of finishing cattle. This is most likely the effect of the polyphenol oxidase enzyme found in red clover. Cattle feeds containing higher amounts of UFAs contribute to improving the fatty acid profile of beef (Scollan et al., 2014). In the present study, GS and VFS had considerably higher LNA content and lower LA content, compared with MS, which however had no significant effect on the proportions of the above acids in the IMF of bulls.

In the present experiment, VFS+GS, compared with VFS+MS, also decreased IMF content and considerably increased the proportion of MUFAs, in particular oleic acid. However, the VFS+GS combination, compared with GS, adversely affected the concentrations of n-3 PUFAs. The VFS+GS combination delivered more desirable effects in the proportion of UFAs than both types of silage administered alone in groups GS and VFS. A synergistic effect of a mixture of GS and Lupins/triticale silage offered together, relative to either of the silages offered alone, was reported by Kennedy et al. (2018). Partial replacing GS with lupins/triticale silage increased total PUFAs acids in *Longissimus dorsi* muscle.

Both De Smet et al. (2000) and Hunt et al. (2016) showed that an increased fat content of bovine meat was paralleled by increased proportions of SFAs and MUFAs, and a decreased proportion of PUFAs. In the present study, the dietary treatments did not cause an increase in the share of SFAs or a decrease in the share of PUFAs with an increase in IMF content. The exception was when VFS+MS was compared to VFS+GS. The increased content of IMF in the treatment of VFS+MS increased the proportion of SFAs.

An analysis of muscle type revealed that higher IMF content was accompanied by a considerable increase in MUFA concentrations and a decrease in PUFA levels with no increase in the share of SFAs. Domaradzki et al. (2019) also demonstrated that muscle type significantly affected the concentrations of MUFAs and PUFAs in the total fatty acid pool in IMF. In the current study, the proportions of MUFAs and PUFAs were influenced by muscle type, which however had no effect on the total content of UFAs. The LL muscle accumulated 40% more IMF than the SM muscle, and IMF in the LL muscle had a lower proportion of n-3 and n-6 PUFAs and a higher

n-6/n-3 PUFA ratio. Piao et al. (2017) analyzed the concentrations of fatty acids in the loin (*Longissimus dorsi* muscle) and rump (*Semimembranosus* muscle) cuts of Korean cattle steers among five quality grades (marbling score) and found that the percentages of fatty acids were affected by muscle type rather than quality grades. Hunt et al. (2016) also noted that muscle type affected the fatty acid composition of muscles. Similarly in the current experiment, muscle type affected the fatty acid composition of muscles. IMF in the SM muscle had a higher proportion of PUFAs and, consequently, a higher PUFA/SFA ratio.

The content of most of the biologically active fatty acids, analyzed in this study, was higher in the SM muscle than in the LL muscle, which is an important consideration from the human nutritional perspective. The low fat content and, consequently, lower calorific value of the SM muscle as well as its more favorable profile of nutritionally important fatty acids should be considered attractive by consumers. However, CLA had a higher percentage in LL. Taking into account the IMF content (LL – 2.57% and SM – 1.84%), LL contained 10.22 mg CLA in 100 g of raw wet tissue, and SM only 6.0. Therefore, health-conscious consumers should eat LL beef rather (Realini et al., 2014). CLA has considerable potential benefits in human diet. Cis-9, trans-11 and trans-10, cis-12 isomers have been associated with the inhibition of carcinogenesis, the reduction of atherosclerosis, modification of the immune response, the distribution of body fat and a reduction in body-fat deposits (Williams, 2000). Turkki and Campbell (1967) found that the proportion of PUFAs was higher in the SM muscle, which has a higher number of red oxidative fibers than the LL muscle, whereas the latter had higher concentrations of SFAs and MUFAs. Saturated fatty acids have been shown to raise blood cholesterol levels. However, while it is clear that C14:0 and C16:0 are responsible for increasing total plasma and LDL cholesterol concentrations, another major SFA, C18:0, is not hypercholesterolemic and does not increase total cholesterol or LDL cholesterol levels (Williams, 2000). In the present study, the predominant SFAs in the analyzed skeletal muscles were palmitic acid (C16:0) and stearic acid (C18:0). Hunt et al. (2016) noted similar proportions of the above acids in the LL and SM muscles, but observed differences between quality classes (choice and select) and not muscle types, which could result from the fact that IMF content was more than two-fold higher in choice cuts than in select cuts.

**Mineral compounds content and vitamins**

In this experiment, the content of chemical elements of meat was determined mostly by muscle type. The SM muscle, which performs a greater amount of work than the LL muscle, accumulated more micronutrients and magnesium.

Higher concentrations of selected nutrients in the muscles of bulls may be related to fat content. A negative correlation between carcass fatness and nutrient content in cattle was observed by Williams et al. (1983), who found higher levels of zinc, iron, phosphorus, sodium and potassium in beef from carcasses with lower fat content. In the current study, a higher IMF content of the muscle was linked with lower concentrations of Mg, K and Fe. The SM meat was a very good source of Zn and the consumption of 100 g of cooked meat satisfies 52% and 23% of RDA (Recommended Dietary Allowance, according to IOM, 2010) for males and females

(19–50 y), respectively. Antioxidants, in particular vitamin E, stabilize high concentrations of muscle PUFAs. Muscle tissue must contain a minimum concentration of antioxidants, such as vitamin E, in order to avoid lipid oxidation and metmyoglobin formation (Scollan et al., 2014). In beef, this minimum quantity is between 3 and 4 µg of α-tocopherol/g of fresh muscle (Arnold et al., 1993). In our study, the concentration of α-tocopherol was below this minimum value in GS and VFS+MS groups. This could result from the loss of α-tocopherol during the ensiling process.

A higher concentration of α-tocopherol was noted in the SM muscle where the proportion of PUFAs was 65% higher than in the LL muscle. According to Röhrle et al. (2011), the α-tocopherol content of non-Irish beef and Irish beef falls in the range of 1.3 to 4.0 µg/g muscle, but Brazilian beef may have higher α-tocopherol concentrations, depending on season and supplementation.

## Conclusions

The results of this study indicate that VFS can improve carcass and meat quality characteristics without any adverse effects on the fattening performance of bulls, when compared with a grass silage-based control diet. Grass silage had the most beneficial effect on the proportion of functional fatty acids in IMF. VFS combined with MS increased the fat content of muscles and fat cover, whereas VFS combined with GS improved the fatty acid profile and increased α-tocopherol concentration. Beef consumers should be encouraged to choose the SM muscle over the LL muscle since the former contains less IMF with a more nutritionally desirable profile, has lower calorific value, a more desirable mineral composition and a higher concentration of α-tocopherol.

## Declaration of interest

The authors declare that there is no conflict of interest.

## Ethics statement

The experimental procedure was approved by the Local Ethics Committee for Experiments with Animals in Olsztyn, Poland (approval no. 121/2010).

## References

AOAC (2005). Association of Official Analytical Chemists. Official Methods of Analysis. 18th Edition. Arlington.

Arnold R.N., Arp S.C., Scheller K.K., Williams S.N., Schaefer D.M. (1993). Tissue equilibration and subcellular-distribution of vitamin-E relative to myoglobin and lipid oxidation in displayed beef. J. Anim. Sci., 71: 105–118.

Barceló-Coblijn G., Murphy E.J. (2009). Alpha-linolenic acid and its conversion to longer chain n-3 fatty acids: Benefits for human health and a role in maintaining tissue n-3 fatty acid levels. Prog. Lipid Res., 48: 355–374.

Borkowska H., Styk B. (2006). *Sida hermaphrodita*. Cultivation and use. Lublin AR Publisher, 2nd ed., 125 pp.

Borkowska H., Molas R., Kupczyk A. (2009). Virginia fanpetals (*Sida hermaphrodita* rusby) cultivated on light soil; height of yield and biomass productivity. Pol. J. Environ. Stud., 18: 563–568.

Breslow J.L. (2006). n-3 Fatty acids and cardiovascular disease. Am. J. Clin. Nutr., 83: 1477–1482.

Buccioni A., Decandia M., Minieri S., Molle G., Cabiddu A. (2012). Lipid metabolism in the rumen: New insights on lipolysis and biohydrogenation with an emphasis on the role of endogenous plant factors. Anim. Feed Sci. Technol., 174: 1–25.

Cabrera M.C., Ramos A., Saadoun A., Brito G. (2010). Selenium, copper, zinc, iron and manganese content of seven meat cuts from Hereford and Braford steers fed pasture in Uruguay. Meat Sci., 84: 518–528.

Council Regulation (EC) No 1099/2009 of 24 September 2009 on the protection of animals at the time of killing. Official Journal of European Union L, 303: 1–30.

Dannenberger D., Nuernberg G., Scollan N., Schabbel W., Steinhart H., Ender K., Nuernberg K. (2004). Effect of diet on the deposition of n-3 fatty acids, conjugated linoleic and C18:1trans fatty acid isomers in muscle lipids of German Holstein bulls. J. Agric. Food Chem., 52: 6607–6615.

De Smet S., Raes K., Demeyer D. (2004). Meat fatty acid composition as affected by fatness and genetic factors: A review. Anim. Res., 53: 81–98.

Decker E.A., Faustman C., Lopez-Bote C.J. (2000). Antioxidants in muscle foods. Nutritional strategies to improve quality. John Wiley Publishing, New York, NY, USA, 512 pp.

Domaradzki P., Żółkiewski P., Litwińczuk A., Florek M., Dmoch M. (2019). Profile and nutritional value of fatty acids in selected skeletal muscles of Polish Holstein-Friesian bulls. Med. Wet., 75: 310–315.

Durand D., Scislowski V., Gruffat D., Chilliard Y., Bauchart D. (2005). High-fat rations and lipid peroxidation in ruminants: Consequences on the health of animals and quality of their products. In: Indicators of milk and beef quality, J.F. Hocquette, S. Gigli (eds). Wageningen Academic Publishers, 112: 137–150.

EFSA (European Food Safety Authority) (2010). NDA Panel Scientific opinion on dietary reference values for fats, including saturated fatty acids, polyunsaturated fatty acids, monounsaturated fatty acids, trans fatty acids, and cholesterol. EFSA J., 8: 1461.

Faucitano L., Chouinard P.Y., Fortin J., Mandell I.B., Lafreniere C., Girard C.L., Berthiaume R. (2008). Comparison of alternative beef production systems based on forage finishing or grain-forage diets with or without growth promotants: 2. Meat quality, fatty acid composition, and overall palatability. J. Anim. Sci., 86: 1678–1689.

Fortin M., Julien P., Couture Y., Dubreuil P., Chouinard P.Y., Latulippe C., Davis T.A., Thivierge M.C. (2010). Regulation of glucose and protein metabolism in growing steers by long-chain n-3 fatty acids in muscle membrane phospholipids is dose-dependent. Animal, 4: 89–101.

Franzaring J., Holz I., Kauf Z., Fangmeier A. (2015). Responses of the novel bioenergy plant species *Sida hermaphrodita* (L.) Rusby and *Silphium perfoliatum* L. to $CO_2$ fertilization at different temperatures and water supply. Biomass Bioenergy, 81: 574–583.

Hunt M.R., Legako J.F., Dinh T.T.N., Garmyn A.J., O'Quinn T.G., Corbin C.H., Miller M.F. (2016). Assessment of volatile compounds, neutral and polar lipid fatty acids of four beef muscles from USDA choice and select graded carcasses and their relationships with consumer palatability scores and intramuscular fat content. Meat Sci., 116: 91–101.

IOM (2010) Dietary reference intakes tables and application. Institute of Medicine of the National Academies, USA. http://nationalacademies.org/hmd/Activities/Nutrition/SummaryDRIs/DRITables. Accessed 31 May 2020.

Kennedy P.C., Dawson L.E.R., Lively F.O., Steen R.W.J., Fearon A.M., Moss B.W., Kilpatrick D.J. (2018). Effects of offering lupins/triticale and vetch/barley silages alone or in combination with grass silage on animal performance, meat quality and the fatty acid composition of lean meat from beef cattle. J. Agric. Sci., 156: 1005–1016.

Kien S. (2004). The classification of carcasses of adult bovine animals in the EUROP. Meat and Fat Research Institute, Warsaw, Division in Poznań, Poland.

Lee M.R., Evans P.R., Nute G.R., Richardson R.I., Scollan N.D. (2009). A comparison between red clover silage and grass silage feeding on fatty acid composition, meat stability and sensory quality of the *M. Longissimus* muscle of dairy cull cows. Meat Sci., 81: 738–744.

Lopez-Huertas E. (2010). Health effects of oleic acid and long chain omega-3 fatty acids (EPA and DHA) enriched milks. A review of intervention studies. Pharmacol. Res., 61: 200–207.

MacKintosh S.B., Richardson I., Kim E.J., Dannenberger D., Coulmier D., Scollan N.D. (2017). Addition of an extract of lucerne (*Medicago sativa* L.) to cattle diets – effects on fatty acid profile, meat quality and eating quality of the M. longissimus muscle. Meat Sci., 130: 69–80.

Moloney A.P., Mooney M.T., Kerry J.P., Stanton C., O'Kiely P. (2013). Colour of fat, and colour, fatty acid composition and sensory characteristics of muscle from heifers offered alternative forages to grass silage in a finishing ration. Meat Sci., 95: 608–615.

Momot M., Nogalski Z., Sobczuk-Szul M., Pogorzelska-Przybyłek P. (2016). Effect of fattening intensity on the fatty acid profile and mineral content of meat from Holstein-Friesian bulls. J. Elementol., 21: 1081–1091.

Morris J. (2016). Operation Manual (Original), Extraction System B-811. 096675H en. BÜCHI Labortechnik AG.

Nogalski Z., Starczewski M., Purwin C., Pogorzelska-Przybyłek P., Sobczuk-Szul M., Modzelewska-Kapituła M. (2020). Carcass and meat quality traits in young bulls fed Virginia fanpetals silage. Ann. Anim. Sci., 20: 1127–1140.

Nogalski Z., Wielgosz-Groth Z., Purwin C., Nogalska A., Sobczuk-Szul M., Winarski R., Pogorzelska P. (2014). The effect of slaughter weight and fattening intensity on changes in carcass fatness in young Holstein–Friesian bulls. Ital. J. Anim. Sci., 13: 66–72.

Oprządek J., Oprządek A. (2003). Modifications of fatty acids composition in ruminants. M59: 492–495.

Pereira P.M., Vicente A.F. (2013). Meat nutritional composition and nutritive role in the human diet. Meat Sci., 93: 586–592.

Piao M.Y., Yong H.I., Lee H.J., Fassah D.M., Kim H.J., Jo C., Baik M. (2017). Comparison of fatty acid profiles and volatile compounds among quality grades and their association with carcass characteristics in longissimus dorsi and semimembranosus muscles of Korean cattle steer. Livest. Sci., 198: 147–156.

Polish Standard, PN EN ISO 5508 (1996). Animal and vegetable fats and oils. Analysis by gas chromatography of methyl esters of fatty acids (in Polish).

Polish Standard, PN-EN ISO 5509 (2001). Animal and vegetable fats and oils. Preparation of methyl esters of fatty acids (in Polish).

Polish Standard, PN EN 12822 (2014). Determination of vitamin E by high performance liquid chromatography – measurement of alpha, beta, gamma and delta tocopherols (in Polish).

Ponnampalam E.N., Jacobs J.L., Hopkins D.L. (2018). Increasing omega-3 levels in ruminants under pasture-based systems: An invited review. In: The Contribution of Animals to Human Welfare – OIE Scientific and Technical Review, T. Grandin (ed.). 37: 57–70.

Realini C., Kallas Z., Pérez-Juan M., Gómez I., Olleta J., Beriain M., Alberti P., Sañudo C. (2014). Relative importance of cues underlying Spanish consumers' beef choice and segmentation, and consumer liking of beef enriched with n-3 and CLA fatty acids. Food Qual. Prefer., 33: 74–85.

Röhrle F.T., Moloney A.P., Black A., Osorio M.T., Sweeney T., Schmidt O., Monahan F.J. (2011). α-Tocopherol stereoisomers in beef as an indicator of vitamin E supplementation in cattle diets. Food Chem., 124: 935–940.

Salter A.M. (2013). Dietary fatty acids and cardiovascular disease. Animal, 7: 163–171.

Scollan N.D., Costa P., Hallett K.G., Nute G.R., Wood J.D., Richardson R.I. (2006). The fatty acid composition of muscle fat and relationships to meat quality in Charolais steers: Influence of level of red clover in the diet. Proc. Brit. Soc. Anim. Sci., Winter, BSAS, pp. 23.

Scollan N.D., Dannenberger D., Nuernberg K., Richardson I., MacKintosh S., Hocquette J.F., Moloney A.P. (2014). Enhancing the nutritional and health value of beef lipids and their relationship with meat quality. Meat Sci., 97: 384–394.

Siri-Tarino P.W., Sun Q., Hu F.B., Krauss R.M. (2010). Meta-analysis of prospective cohort studies evaluating the association of saturated fat with cardiovascular disease. Am. J. Clin. Nutr., 91: 535–546.

Tarkowski A. (2008). The yield and chemical composition of milk of cows fed the ration with protein-fibrous-extruderate. J. Cent. Eur. Agr., 9: 645–650.

Titei V. (2015). Agro biological peculiarities and economical value of *Sida hermaphrodita* in Republic of Moldova. ProEnvironment, 8: 485–489.

Turkki P.R., Campbell A.M. (1967). Relation of phospholipids to other lipid components in two beef muscles. J. Food Sci., 32: 151–154.
Valencak T.G., Gamsjaeger L., Ohrnberger S., Culbert N.J., Ruf T. (2015). Healthy n-6/n-3 fatty acid composition from five European game meat species remains after cooking. BMC Res Notes, 8: 273.
Webb E.C. (2006). Manipulating beef quality through feeding. S. Afr. J. Anim. Sci., 7: 5–15.
Wielgosz-Groth Z., Sobczuk-Szul M., Nogalski Z., Mochol M., Purwin C., Winarski R. (2017). Fatty acid profiles of intramuscular, intermuscular, external and internal fat in Polish Holstein-Friesian × Hereford bulls and steers fed grass silage-based diets supplemented with concentrates. Anim. Prod. Sci., 57: 371–377.
Williams C. (2000). Dietary fatty acids and human health. Ann. Zootech., 49: 165–180.
Williams J.E., Wagner D.G., Walters L.E., Horn G.W., Waller G.R., Sims P.L., Guenther J.J. (1983). Effect of production systems on performance, body composition and lipid and mineral profiles of soft tissue in cattle. J. Anim. Sci., 57: 1020–1024.
Wood J.D., Enser M., Fisher A.V., Nute G.R., Sheard P.R., Richardson R.I., Hugles S.I., Whittington F.M. (2008). Fat deposition, fatty acid composition and meat quality: A review. Meat Sci., 78: 343–358.
World Health Organization (WHO). (2011). Guideline: Vitamin A supplementation in pregnant women. ttp://apps.who.int/iris/bitstream/10665/44625/1/9789241501781_eng.pdf.
Żegarska Z., Jaworski J., Borejszo Z. (1991). Evaluation of a modified Peisker method of the preparation of fatty acid methyl esters (in Polish). Acta Acad. Agric. Tech. Olst., 24: 25–33.

Received: 3 VI 2020
Accepted: 29 III 2021

Mgr inż. Martyna Ewa Momot
Katedra Hodowli Bydła i Oceny Mleka
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski
w Olsztynie

Oświadczenie

Niniejszym oświadczam, że mój udział w publikacjach stanowiących podstawę mojej rozprawy doktorskiej był następujący:

1. **Momot M.**, Nogalski Z., Sobczuk-Szul M., Pogorzelska-Przybyłek P. 2016. Effect of fattening intensity on the fatty acid profile and mineral content of meat from Holstein-Friesian bulls. Journal of Elementology, 21 (4): 1081-1091.

   Współudział w opracowaniu koncepcji badań, współudział w realizacji części eksperymentalnej badań (analizy laboratoryjne), współudział w opracowaniu wyników badań, przygotowanie wstępnej wersji maszynopisu publikacji, korekta maszynopisu po recenzjach, współudział w formułowaniu odpowiedzi na uwagi recenzentów, opracowanie redakcyjne pracy.
   Mój sumaryczny udział w publikacji oceniam na 70%.

2. **Momot M.**, Nogalski Z., Sobczuk-Szul M., Pogorzelska-Przybyłek P., Modzelewska-Kapituła M. 2017. Health-promoting properties of meat from once-calved and maiden heifers. Journal of Elementology, 22 (4): 1243-1253.

   Współudział w opracowaniu koncepcji badań, współudział w realizacji części eksperymentalnej badań (analizy laboratoryjne), współudział w przygotowani wstępnej wersji maszynopisu publikacji, korekta maszynopisu po recenzjach, współudział w formułowaniu odpowiedzi na uwagi recenzentów, opracowanie redakcyjne pracy.
   Mój sumaryczny udział w publikacji oceniam na 70%.

3. **Momot M.**, Nogalski Z., Pogorzelska-Przybyłek P., Sobczuk-Szul M. 2020. Influence of genotype and slaughter age on the content of selected minerals and fatty acids in the *Longissimus thoracis* muscle of crossbred bulls. Animals, 10, 2004.

   Współudział w opracowaniu koncepcji badań, współudział w realizacji części eksperymentalnej badań (analizy laboratoryjne), współudział w opracowaniu wyników badań, przygotowanie wstępnej wersji maszynopisu publikacji, korekta maszynopisu po recenzjach, formułowaniu odpowiedzi na uwagi recenzentów, opracowanie redakcyjne pracy.
   Mój sumaryczny udział w publikacji oceniam na 70%.

4. Nogalski Z., **Momot M.**, Pogorzelska-Przybyłek P., Sobczuk-Szul M., Modzelewska-Kapituła M. 2022. Fatty acid profile of intramuscular fat in the *Longissimus lumborum* and *Semimembranosus* muscles of bulls fed diets based on Virginia fanpetals, grass and maize silages. Annals of Animal Science, 22 (1): 419-437.

   Współudział w opracowaniu koncepcji badań, współudział w realizacji części eksperymentalnej badań (analizy laboratoryjne), współudział w przygotowani wstępnej wersji maszynopisu publikacji.
   Mój sumaryczny udział w publikacji oceniam na 40%.

Martyna Momot

Prof. dr hab. Zenon Nogalski
Katedra Hodowli Bydła i Oceny Mleka
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski
w Olsztynie

Oświadczenie

Niniejszym oświadczam, że mój udział w publikacjach stanowiących podstawę rozprawy doktorskiej mgr inż. Martyny Ewy Momot był następujący:

1. Momot M., **Nogalski Z.**, Sobczuk-Szul M., Pogorzelska-Przybyłek P. 2016. Effect of fattening intensity on the fatty acid profile and mineral content of meat from Holstein-Friesian bulls. Journal of Elementology, 21 (4): 1081-1091.

   Współudział w opracowaniu koncepcji badań, kierowanie zespołem badawczym, analiza statystyczna wyników badań i współudział w ich interpretacji.
   Mój sumaryczny udział w publikacji oceniam na 20%.

2. Momot M., **Nogalski Z.**, Sobczuk-Szul M., Pogorzelska-Przybyłek P., Modzelewska-Kapituła M. 2017. Health-promoting properties of meat from once-calved and maiden heifers. Journal of Elementology, 22 (4): 1243-1253.

   Współudział w opracowaniu koncepcji badań, kierowanie zespołem badawczym, analiza statystyczna wyników badań, współudział w przygotowani wstępnej wersji maszynopisu publikacji.
   Mój sumaryczny udział w publikacji oceniam na 15%.

3. Momot M., **Nogalski Z.**, Pogorzelska-Przybyłek P., Sobczuk-Szul M. 2020. Influence of genotype and slaughter age on the content of selected minerals and fatty acids in the *Longissimus thoracis* muscle of crossbred bulls. Animals, 10, 2004.

   Współudział w opracowaniu koncepcji badań, kierowanie zespołem badawczym, analiza statystyczna wyników badań i współudział w ich interpretacji.
   Mój sumaryczny udział w publikacji oceniam na 20%.

4. **Nogalski Z.**, Momot M., Pogorzelska-Przybyłek P., Sobczuk-Szul M., Modzelewska-Kapituła M. 2022. Fatty acid profile of intramuscular fat in the *Longissimus lumborum* and *Semimembranosus* muscles of bulls fed diets based on Virginia fanpetals, grass and maize silages. Annals of Animal Science, 22 (1): 419-437.

Współudział w opracowaniu koncepcji badań, kierowanie zespołem badawczym, analiza statystyczna wyników badań, opracowanie wyników badań, współudział w przygotowaniu wstępnej wersji maszynopisu publikacji, korekta maszynopisu po recenzjach, formułowaniu odpowiedzi na uwagi recenzentów, opracowanie redakcyjne pracy.

Mój sumaryczny udział w publikacji oceniam na 45%.

Nogalski

Dr inż. Monika Sobczuk-Szul
Katedra Hodowli Bydła i Oceny Mleka
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski
w Olsztynie

Oświadczenie

Niniejszym oświadczam, że mój udział w publikacjach stanowiących podstawę rozprawy doktorskiej mgr inż. Martyny Ewy Momot był następujący:

1. Momot M., Nogalski Z., **Sobczuk-Szul M.**, Pogorzelska-Przybyłek P. 2016. Effect of fattening intensity on the fatty acid profile and mineral content of meat from Holstein-Friesian bulls. Journal of Elementology, 21 (4): 1081-1091.

   Współudział w realizacji części eksperymentalnej badań (analizy laboratoryjne).
   Mój sumaryczny udział w publikacji oceniam na 5%.

2. Momot M., Nogalski Z., **Sobczuk-Szul M.**, Pogorzelska-Przybyłek P., Modzelewska-Kapituła M. 2017. Health-promoting properties of meat from once-calved and maiden heifers. Journal of Elementology, 22 (4): 1243-1253.

   Współudział w realizacji części eksperymentalnej badań (analizy laboratoryjne).
   Mój sumaryczny udział w publikacji oceniam na 5%.

3. Momot M., Nogalski Z., Pogorzelska-Przybyłek P., **Sobczuk-Szul M.** 2020. Influence of genotype and slaughter age on the content of selected minerals and fatty acids in the *Longissimus thoracis* muscle of crossbred bulls. Animals, 10, 2004.

   Współudział w realizacji części eksperymentalnej badań (analizy laboratoryjne).
   Mój sumaryczny udział w publikacji oceniam na 5%.

4. Nogalski Z., Momot M., Pogorzelska-Przybyłek P., **Sobczuk-Szul M.**, Modzelewska-Kapituła M. 2022. Fatty acid profile of intramuscular fat in the *Longissimus lumborum*

and *Semimembranosus* muscles of bulls fed diets based on Virginia fanpetals, grass and maize silages. Annals of Animal Science, 22 (1): 419-437.

Współudział w realizacji części eksperymentalnej badań (analizy laboratoryjne).
Mój sumaryczny udział w publikacji oceniam na 5%.

Dr inż. Paulina Pogorzelska-Przybyłek
Katedra Hodowli Bydła i Oceny Mleka
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski
w Olsztynie

Oświadczenie

Niniejszym oświadczam, że mój udział w publikacjach stanowiących podstawę rozprawy doktorskiej mgr inż. Martyny Ewy Momot był następujący:

1. Momot M., Nogalski Z., Sobczuk-Szul M., **Pogorzelska-Przybyłek P.** 2016. Effect of fattening intensity on the fatty acid profile and mineral content of meat from Holstein-Friesian bulls. Journal of Elementology, 21 (4): 1081-1091.

   Współudział w realizacji części eksperymentalnej badań (analizy laboratoryjne).
   Mój sumaryczny udział w publikacji oceniam na 5%.

2. Momot M., Nogalski Z., Sobczuk-Szul M., **Pogorzelska-Przybyłek P.**, Modzelewska-Kapituła M. 2017. Health-promoting properties of meat from once-calved and maiden heifers. Journal of Elementology, 22 (4): 1243-1253.

   Współudział w realizacji części eksperymentalnej badań (analizy laboratoryjne).
   Mój sumaryczny udział w publikacji oceniam na 5%.

3. Momot M., Nogalski Z., **Pogorzelska-Przybyłek P.**, Sobczuk-Szul M. 2020. Influence of genotype and slaughter age on the content of selected minerals and fatty acids in the *Longissimus thoracis* muscle of crossbred bulls. Animals, 10, 2004.

   Współudział w realizacji części eksperymentalnej badań (analizy laboratoryjne), współudział w opracowaniu redakcyjnym pracy.
   Mój sumaryczny udział w publikacji oceniam na 5%.

4. Nogalski Z., Momot M., **Pogorzelska-Przybyłek P.**, Sobczuk-Szul M., Modzelewska-Kapituła M. 2022. Fatty acid profile of intramuscular fat in the

*Longissimus lumborum* and *Semimembranosus* muscles of bulls fed diets based on Virginia fanpetals, grass and maize silages. Annals of Animal Science, 22 (1): 419-437.

Współudział w realizacji części eksperymentalnej badań (analizy laboratoryjne).
Mój sumaryczny udział w publikacji oceniam na 5%.

Paulina Pogorzelska-Przybyłek

Dr hab. Monika Modzelewska-Kapituła, prof. UWM
Katedra Technologii i Chemii Mięsa
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski
w Olsztynie

Oświadczenie

Niniejszym oświadczam, że mój udział w publikacjach stanowiących podstawę rozprawy doktorskiej mgr inż. Martyny Ewy Momot był następujący:

1. Momot M., Nogalski Z., Sobczuk-Szul M., Pogorzelska-Przybyłek P., **Modzelewska-Kapituła M.** 2017. Health-promoting properties of meat from once-calved and maiden heifers. Journal of Elementology, 22 (4): 1243-1253.

   Współudział w opracowaniu koncepcji badań.
   Mój sumaryczny udział w publikacji oceniam na 5%.

2. Nogalski Z., Momot M., Pogorzelska-Przybyłek P., Sobczuk-Szul M., **Modzelewska-Kapituła M.** 2022. Fatty acid profile of intramuscular fat in the *Longissimus lumborum* and *Semimembranosus muscles* of bulls fed diets based on Virginia fanpetals, grass and maize silages. Annals of Animal Science, 22 (1): 419-437.

   Współudział w opracowaniu koncepcji badań.
   Mój sumaryczny udział w publikacji oceniam na 5%.

Monika Modzelewska-Kapituła