

BARBARA SIONEK, WIESŁAW PRZYBYLSKI

## WPLYW CZYNNIKÓW ŚRODOWISKOWYCH NA POZIOM GLIKOGENU W MIĘŚNIACH ZWIERZĄT RZEŹNYCH

### Streszczenie

Występowanie mięsa wadliwego jest przyczyną strat ekonomicznych w branży mięsnej. Poubojowe przemiany biochemiczne zachodzące w mięśniach zależą w dużej mierze od zawartości glikogenu. Nierozłożona *post mortem* część glikogenu, która pozostaje w mięśniach, nosi nazwę glikogenu resztkowego. Glikogen ten oddziałuje na jakość mięsa. W pracy przedstawiono wpływ wybranych czynników środowiskowych na zasoby glikogenu w mięśniach zwierząt rzeźnych. Omówiono budowę i rolę glikogenu w kształtowaniu się jakości mięsa. Opisano czynniki wpływające na przebieg glikogenolizy *post mortem*. Szczegółowo omówiono wpływ aktywności fizycznej, żywienia, głodówki przedubojowej, transportu i postępowania ze zwierzętami przed ubojem na poziom glikogenu w mięśniach. Uwzględniono zagadnienia dotyczące stresu psychicznego i fizycznego na różnych etapach postępowania przedubojowego i ich oddziaływanie na metabolizm mięśni i zapasy glikogenu. Dodatkowo przedstawiono wpływ szybkości schładzania tusz po uboju na przebieg i zasięg poubojowej glikogenolizy. Osiągnięcie wyższej jakości mięsa wymaga wielokierunkowych działań w zakresie doboru genetycznego, optymalizacji warunków hodowli i przedubojowego obrotu zwierząt.

**Słowa kluczowe:** przemiany poubojowe, glikogenoliza, glikogen resztkowy, pH, jakość mięsa

### Wprowadzenie

Rozwój genetyki i technik hodowlanych przyczynił się do wzrostu mięsności zwierząt rzeźnych, co nie zawsze sprzyja zachowaniu wysokiej jakości surowca. Prowadzone są prace w kierunku wyeliminowania mięsa wadliwego, ale równocześnie utrzymania lub podniesienia mięsności. Dużą wartość mają badania, których celem jest określenie czynników środowiskowych i ocena ich wpływu na jakość mięsa.

---

*Dr inż. B. Sionek, prof. dr hab. W. Przybylski, Katedra Technologii Gastronomicznej i Higieny Żywności, Wydz. Nauk o Żywieniu Człowieka i Konsumpcji, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, ul. Nowoursynowska 159 C, 02-776 Warszawa. Kontakt: barbara\_sionek@sggw.pl*

O jakości wieprzowiny w 25 ÷ 45 % decydują czynniki genetyczne [28], natomiast wpływ czynników środowiskowych ocenia się na 55 ÷ 75 % [26]. Spośród tych drugich największe znaczenie mają takie czynniki, jak: aktywność fizyczna, żywienie, głodówka przedubojowa, transport, ubój i szybkość wychładzania półtuszy po uboju. Działania mające na celu podwyższenie jakości mięsa powinny uwzględniać odpowiedni dobór genetyczny zwierząt oraz poprawę warunków hodowli i postępowania przedubojowego. Pożądany wzrost mięsności niejednokrotnie związany jest z obniżeniem jakości mięsa. Występowanie mięsa bladego, miękkiego i wodnistego, klasyfikowanego jako PSE (ang. *pale, soft, exudative*) lub o ciemnej barwie, twardej konsystencji i suchego, klasyfikowanego jako DFD (ang. *dark, firm, dry*) oraz mięsa kwaśnego stanowi istotny problem ekonomiczny. Zwłaszcza, że wady jakościowe dotyczą głównie najbardziej wartościowych mięśni [27]. W badaniach Przybylskiego i wsp. [40], przeprowadzonych na 390 tuszach wieprzowych, stwierdzono, że w Polsce częstotliwość występowania mięsa wadliwego wynosiła odpowiednio: PSE – 2,31 %, częściowe PSE – 5,13 %, mięso kwaśne – 5,38 % i DFD – 2,56 % [40].

Poubojowe przemiany biochemiczne mięsa wynikają z rozpadu związków energetycznych, głównie glikogenu. Analiza zawartości glikogenu w mięśniach, poznanie czynników modyfikujących jego poziom zarówno w okresie przedubojowym, jak i *post mortem*, mogą przyczynić się do ograniczenia wpływu niekorzystnych czynników. Ważnym i obiecującym kierunkiem jest określenie znaczenia glikogenu resztkowego dla jakości mięsa i wyrobów z niego wyprodukowanych.

Na podstawie literatury przedmiotu dokonano analizy i oceny głównych czynników środowiskowych wpływających na poziom glikogenu w mięsie zwierząt rzeźnych.

### Znaczenie glikogenu

Glikogen jest głównym materiałem zapasowym występującym w mięśniach i w wątrobie organizmów zwierzęcych [41]. Jego zawartość waha się od 0,3 do 2 % [35]. Glikogen występuje w dwóch formach jako: proglukogen i makroglukogen. Makroglukogen jest rozgałęzionym polimerem glukozy o masie cząsteczkowej  $10^7$  Da, zawierającym mało białka (ok. 1 %), rozpuszczalnym w kwasach. Proglukogen ma masę cząsteczkową 400 000 Da, zawiera ok. 10 % białka, nie rozpuszcza się w kwasach [1]. Jego rozpad zachodzi w warunkach beztlenowych, np. *post mortem* [43]. W mięśniach świń proglukogen i makroglukogen występują w różnych proporcjach. Przyczynami różnicowania są: genotyp, typ włókien mięśniowych, wysiłek fizyczny [10]. Proglukogen jest łatwo dostępnym źródłem glikogenu, natomiast makroglukogen stanowi pulę rezerwową.

Przedubojowa zawartość glikogenu ma wpływ zarówno na cechy mięsa kulinarnego, jak również przeznaczonego do przetwórstwa. Podstawowymi parametrami mięsa, będącymi konsekwencją przemian poubojowych są: dynamika i zakres zmian war-

tości pH oraz określona zdolność wiązania wody (wodochłonność). Intensywność przemian glikolitycznych zależy od początkowego poziomu glikogenu w tkance mięśniowej *in vivo* oraz zasobów glikolityczno-energetycznych po uboju [30]. Dobrym i prostym wskaźnikiem jakości mięsa jest pomiar pH po 45 min i po 24 h *post mortem*, ponieważ umożliwia on wyodrębnienie mięsa wadliwego. Wartość pH określa pośrednio stopień i zakres przemian glikolitycznych.

Ocena zawartości glikogenu w mięśniach *in vivo* oraz *post mortem* następuje z wieloma trudnościami. W 1985 roku Monin i Sellier [33] zaproponowali metodę określenia zawartości glikogenu w mięśniach jako sumę wszystkich komponentów, z których po uboju powstaje kwas mlekowy. Wprowadzono termin „potencjał glikolityczny” (ang. *glycolytic potential*, GP), który jest wyrażany w mikromolach kwasu mlekowego na 1 g tkanki mięśniowej. Potencjał glikolityczny wyliczany jest z równania:

$$\text{Potencjał glikolityczny} = 2 \times ([\text{glikogen}] + [\text{glukozy-6-fosforan}] + [\text{glukozy}]) + \text{kwas mlekowy.}$$

Zawartość mięśniowego glikogenu zależy od czynników środowiskowych, które można podzielić na przedubojowe i poubojowe. Do przedubojowych należą: żywienie, warunki hodowlane, aktywność fizyczna, warunki transportu, czas i warunki przebywania w magazynie żywca, przedubojowa głodówka i sposób uboju. Do czynników poubojowych należą m.in. szybkość schładzania tusz, temperatura ich przechowywania. Wpływ czynników środowiskowych na poziom glikogenu mięśniowego zwierząt rzeźnych został omówiony w kolejnych częściach pracy.

### Glikogen resztkowy

Nierozłożona *post mortem* część glikogenu, która pozostaje w mięśniach nosi nazwę glikogenu resztkowego (ang. *residual glycogen*). Występowanie glikogenu resztkowego jest wynikiem spowolnienia, a następnie zatrzymania procesu glikogenolizy beztlenowej. Fernandez i wsp. [15] oznaczyli zawartość glikogenu resztkowego w mięśniach świń na poziomie  $0 \div 78 \mu\text{mol/g}$ , a Przybylski i wsp. [40] na poziomie  $0 \div 50 \mu\text{mol/g}$ . Immonen i Puolanne [22] stwierdzili, że w mięsie wołowym, którego  $\text{pH}_{24}$  jest niższe niż 5,75, pozostaje zawsze glikogen resztkowy, którego zawartość waha się od 10 do 85 mmol/kg mięsa. Obecność glikogenu resztkowego ma negatywny wpływ na jakość technologiczną mięsa [40].

Zawartość glikogenu resztkowego w mięsie została oznaczona przez Bee i wsp. [5] po 24 h od uboju, na podstawie zawartości glikogenu, glukozy i glukozy-6-fosforanu. W mięśniu najdłuższym grzbietu (LD – *m. longissimus dorsi*) stwierdzono o 13  $\mu\text{mol/g}$  więcej glikogenu resztkowego w porównaniu z mięśniem półścięgnistym. Autorzy tłumaczą zaobserwowane różnice inaktywacją GDE, spowodowaną spadkiem temperatury mięśni w 60. minucie po uboju poniżej 35 °C i w 330. minucie poniżej 15 °C [5].

Zasięg glikogenolizy *post mortem* zależy od zapasów glikogenu w momencie uboju [54]. Czynniki hamujące przebieg tego procesu przedstawiono w tab. 1.

Tabela 1. Czynniki mające wpływ na glikogenolizę *post mortem*  
Table 1. Factors to impact *post-mortem* glycolysis

Czynnik Factor	Zakres oddziaływania Scope of effects	Źródło Source
pH < 5,4	Zanik aktywności enzymów glikolitycznych Activity of glycolytic enzymes disappears	[44]
Spadek temperatury Temperature drop	Obniżenie aktywności enzymu usuwającego rozgałęzienia (GDE –transferazy alfa-1,6-glukozydowej) Activity of debranching enzyme (GDE - <i>transferase</i> $\alpha$ -1,6-glucosidase) is reduced	[31]
Rodzaj mięśni Type of muscle	Obniżenie aktywności GDE jest szybsze w mięśniach czerwonych niż w białych Decrease in GDE activity is more pronounced in red muscles than in white muscles	[31]
Brak AMP Lack of AMP	AMP jest kofaktorem enzymów glikolitycznych i glikogenolitycznych w mięśniach <i>post mortem</i> AMP is a cofactor of glycolytic and glycogenolytic enzymes in <i>post-mortem</i> muscles	[47]
Struktura cząsteczki glikogenu Structure of glycogen molecule	Limitowanie rozkładu przez fosforylazę na skutek dużego upakowania glukozy Degradation by phosphorylase is limited owing to densely packed glucose	[22]

Rozpad glikogenu jest procesem zależnym głównie od dwóch enzymów: fosforylazy glikogenowej i transferazy  $\alpha$ -1,6-glukozydowej, nazywanej enzymem usuwającym rozgałęzienia (ang. *glycogen debranching enzyme*, GDE). W początkowej fazie po uboju glikogen ulega szybkiemu rozpadowi, później procesy stają się wolniejsze, co spowodowane jest m.in. zmieniającą się aktywnością enzymów glikogenolitycznych. Aktywność GDE obniża się znacznie, gdy temperatura mięśni wynosi poniżej 35 °C i w temp. 15 °C enzym ten jest praktycznie nieaktywny [31].

### Aktywność fizyczna

Aktywność fizyczna sów przyczynia się do zwiększenia zawartości glikogenu mięśniowego. Wzrost ten jest obserwowany głównie w mięśniach intensywnie pracujących. Porównanie zwierząt poddanych regularnej aktywności fizycznej z pozostałymi wykazało niewielkie różnice w zakresie pH<sub>24</sub> tkanki mięśniowej i pozostałych cech

jakości mięsa. Brak efektu został wyjaśniony dominującym oddziaływaniem stresu przedubojowego, który zniwelował wpływ ćwiczeń na zapasy glikogenu [32]. Związany z wysiłkiem wzrost temperatury w odpowiednich grupach mięśniowych prowadzi do szybkiego obniżenia pH po uboju i do zwiększenia ilości wycieku naturalnego [53]. W badaniach Younga i wsp. [56] oceniono wpływ wysiłku na zawartość glikogenu w mięsie wieprzowym. Świnie poddano 27-minutowemu wysiłkowi na bieżni. W pierwszej grupie nie zastosowano odpoczynku przed ubojem, w grupie drugiej i trzeciej zastosowano odpoczynek trwający odpowiednio: 1 i 3 h. W porównaniu z grupą kontrolną (bez wysiłku) w mięsie świń poddanych wysiłkowi stwierdzono zmniejszenie całkowitego poziomu glikogenu. Zawartość proglukogenu w mięsie świń, którym zaaplikowano odpoczynek, w pierwszej godzinie *post mortem* uległa zmniejszeniu o  $17 \div 20$  % w mięśniu najdłuższym grzbietu i o  $25 \div 31$  % w mięśniu dwugłowym uda, w porównaniu z grupą kontrolną. W takich samych mięśniach świń z grupy kontrolnej poziom glikogenu zmniejszył się odpowiednio: o 4 i 12 %. Wyniki te wskazują na wykorzystywanie proglukogenu w czasie wysiłku i w pierwszej godzinie *post mortem*, jako głównego źródła energii [56].

### Żywienie

Zawartość glikogenu w momencie uboju zależy od wcześniejszego żywienia zwierząt [43]. Już w latach 60. XX w. Sayre i wsp. [45] zaobserwowali zależność pomiędzy zawartością cukrów prostych w diecie a poziomem glikogenu w wieprzowinie po uboju zwierząt. Rosenvold i wsp. [43] porównali tradycyjne żywienie świń z zastosowaniem na trzy tygodnie przed ubojem diety z małą zawartością łatwo przyswajalnych węglowodanów. Stwierdzili, że modyfikacja diety polegająca na zmniejszeniu zawartości łatwo strawnych węglowodanów i zwiększeniu białka i/lub tłuszczów spowodowała obniżenie poziomu glikogenu, nie wpływając jednocześnie na przyrost masy ciała zwierząt [43].

Żywienie ma wpływ nie tylko na całkowitą zawartość glikogenu, ale też na pulę makroglikogenu i proglukogenu. Rosenvold i wsp. [42] badali zależność między żywieniem świń a zawartością makroglikogenu i proglukogenu w mięśniu najdłuższym grzbietu. Trzy tygodnie przed ubojem zastosowali dietę o małej zawartości strawnych węglowodanów (5 %) i dużej – tłuszczu (18 %), tzw. GLYRED i porównali ją z dietą standardową (49 % strawnych węglowodanów i 5 % tłuszczu). Oznaczenia wykonywano w 1., 21., 22. dniu stosowania diety oraz 45 min po uboju. W 21. dniu w grupie świń żywionych dietą GLYRED, w porównaniu z grupą kontrolną, całkowita zawartość glikogenu uległa zmniejszeniu, przy czym znacząca redukcja dotyczyła puli makroglikogenu. W 45. minucie po uboju w obu badanych grupach zwierząt stwierdzono zmniejszenie całkowitej zawartości glikogenu, przy czym znacząca redukcja dotyczyła puli proglukogenu [42]. Nieznacznie odmienne wyniki uzyskali Bee i wsp. [5], którzy

również badali wpływ zróżnicowanej zawartości węglowodanów w dawce pokarmowej na poziom glikogenu. Stwierdzili, że poziom makroglikogenu mierzony po 25 min od zakończenia uboju był niższy w mięsie świń żywionych dietą niskowęglowodanową, natomiast w okresie od 25. minuty do 24. godziny *post mortem* obie pule glikogenu uległy zmniejszeniu [5]. Można stwierdzić, że przy dużej zawartości proglukogenu jego katabolizm dominuje, a przy niskim poziomie katabolizmowi ulega również makroglikogen. Ponadto wyniki omówionych badań wskazują na istotny wpływ żywienia nie tylko na całkowitą zawartość glikogenu, ale też na jego dwie frakcje. *Post mortem* w mięśniach dominuje rozpad proglukogenu. Makroglikogen jest natomiast frakcją zapasową. Potwierdzają to badania na szczurach przeprowadzone przez Hansena i wsp. [20], którzy wykazali, że przy wzroście zapasów całkowitego glikogenu dominującą formą jest makroglikogen, podczas gdy przy małej ilości glikogenu przeważa proglukogen [20].

W przypadku bydła i innych przeżuwaczy opracowanie diety zwiększającej poziom glikogenu stanowi istotny problem [23]. Trudno jest przewidzieć efekt takiej diety, gdyż poziom glukozy we krwi jest zależny od wątrobowej glukoneogenezy i nie stwierdza się poposiłkowej glikemii. Immonen i wsp. [23] stosowali w żywieniu bydła dietę wysoko- i niskoenergetyczną. Stwierdzili, że dieta wysokoenergetyczna przyczynia się do niewielkiego wzrostu poziomu glikogenu. Efekt ten szczególnie ujawnił się w postaci ochrony przed drastycznym zmniejszeniem poziomu glikogenu mięśniowego przez czynniki stresogenne, takie jak: wysoka temperatura i transport. Wykazano również, że z bydła żywionego dietą o wysokim poziomie energii (dwa tygodnie przed ubojem) uzyskuje się mięso o korzystnej wartości pH. Umożliwia to ograniczenie częstości uzyskiwania wadliwej wołowiny (ang. *dark-cutting*) charakteryzującej się ciemnym zabarwieniem, obniżonymi walorami smakowymi, skróconą przydatnością do spożycia [23].

### **Głodówka przedubojowa**

Przed ubojem poleca się głodzenie zwierząt trwające od 16 do 24 h. Powoduje to zmniejszenie stopnia wypełnienia przewodu pokarmowego, co sprzyja zmniejszeniu ryzyka mikrobiologicznego zakażenia w czasie wykonywania czynności ubojowych [13]. Głodzenie zmniejsza zapasy glikogenu niezbędnego do prawidłowego przebiegu procesu pośmiertnego stężenia i procesu dojrzewania mięsa. Z tego powodu nie dochodzi do odpowiedniego zakwaszenia mięsa, powstają małe ilości kwasu mlekowego, pH przyjmuje wartość 5,8 i powyżej. Niskie zakwaszenie tkanki mięśniowej w okresie dojrzewania wpływa na barwę, strukturę, smak i kruchość. W takich warunkach może powstać w mięsie wołowym wada DFD [25].

Po 40 dniach diety restrykcyjnej Chaosap i wsp. [10] stwierdzili w mięśniach świń wyższy poziom zarówno makroglikogenu, jak i proglukogenu, w stosunku do

świń żywionych bez ograniczeń [10]. Powrót do pełnego żywienia po dwóch dniach skutkowało wzrostem poziomu makroglikogenu, bez istotnej zmiany poziomu proglikogenu. Zastanawiający jest wzrost zawartości obu typów glikogenu w wyniku stosowania diety restrykcyjnej, co zostało wyjaśnione przez autorów metaboliczną adaptacją, polegającą na zwiększonej absorpcji jelitowej, wzroście glikemii oraz poziomu insuliny, zwiększeniu zapasów glikogenu z ograniczeniem jego katabolizmu [10].

Analiza wpływu głodówki przedubojowej powinna dotyczyć poziomu proglikogenu i makroglikogenu. Sterten i wsp. [50] wykazali, że najniższy poziom proglikogenu występował w mięśniach świń poddanych 26,5-godzinnej głodówce, w porównaniu z mięśniami świń głodzonymi 17,5 i 4 h [50]. Ocena znaczenia głodówki przedubojowej na zawartość glikogenu i jakość mięsa jest utrudniona również z powodu wpływu innych występujących czynników. Zmiany środowiska, wymieszanie zwierząt z różnych stad w transporcie i w zakładzie ubojowym oraz spowodowany tym stres, agresja oraz walki zwierząt aktywują korę nadnerczy i współczulny układ nerwowy (wzrost poziomu noradrenaliny i adrenaliny w osoczu krwi). W tym kontekście przedubojowa głodówka ma mniejsze znaczenie i ograniczony wpływ na mięśniowe zapasy glikogenu [34].

## Transport

Transport jest nieuniknionym elementem gospodarki mięsnej. Warunki transportu wpływają na dobrostan zwierząt i jakość mięsa. Problemy dotyczące przewożenia zwierząt z gospodarstw do miejsc uboju, w tym humanitarnego postępowania z nimi, stanowią istotne zagadnienia, będące przedmiotem wielu prac badawczych. Czynniki stresowe występują w czasie załadunku, transportu i rozładunku. Są to: strach, obce zapachy, hałas, wibracje, toksyny, głodzenie, brak wody, zmiany temperatury i wilgotności, przepływ powietrza w środkach transportu, kontakt z obcymi osobami. Wymieszanie zwierząt z różnych stad prowadzi do agresji i walk o przywództwo lub przeżywanie, które skutkują dużymi wysiłkami mięśniowymi. Perez i wsp. [37] stwierdzili, że transport ma niekiedy większe znaczenie dla jakości mięsa niż genotyp i płeć zwierząt. Niekorzystne czynniki związane z transportem, poza ubytkiem masy, przyczyniają się do uzyskiwania mięsa o obniżonej jakości, klasyfikowanego jako DFD lub PSE [49].

Załadunek i rozładunek zwierząt należy do czynności szczególnie stresujących [54]. Correa i wsp. [11] wykazali, że traktowanie świń elektrycznymi zaganiaczami w czasie załadunku skutkowało, oprócz obrażeń, utratą glikogenu *post mortem*, co było przyczyną wzrostu pH wieprzowiny [11]. Perez i wsp. [37] porównali jakość mięsa świń transportowanych 15 min i 3 h. W mięsie świń transportowanych 15 min stwierdzono istotny wzrost poziomu kortyzolu i mleczanów. Wartość  $\text{pH}_{24}$  mięśnia najdłuższego klatki piersiowej (*m. longissimus thoracis*) oraz  $\text{pH}_{24}$  mięśnia półścięgienistego (*m. semimembranosus*) świń transportowanych 15 min była istotnie niższa, a mięso

charakteryzowało się niższą jakością. Wskazuje to na szybszy spadek pH *post mortem* i większą tendencję do powstawania mięsa PSE u świń transportowanych krócej. Przedłużony transport można porównać i zaliczyć do czasu odpoczynku w zakładzie ubojowym. W tym kontekście świnię przewożoną krócej wymagają dłuższego odpoczynku [37].

Koćwin-Podsiadła i wsp. [28, 29] wykazali, że podczas transportu świń do zakładów mięsnych na odległość 50 km, rezerwy glikogenu mięśniowego ulegają zmniejszeniu o około  $36 \div 43 \mu\text{mol/g}$ . W badaniach tych nie stwierdzono istotnych różnic między świnią odporną na stres a nosicielami genu wrażliwości na stres, co wskazuje na ich zbliżony metabolizm w warunkach stresogennych [29]. Z kolei Fernandez i wsp. [16] stwierdzili istotnie większe zużycie glikogenu w mięśniach świń wrażliwych na stres podczas obrotu przedubojowego ( $60 \mu\text{mol/g}$ ) w porównaniu z mięśniami świń odpornych na stres ( $40 \mu\text{mol/g}$ ) [16].

Istotnym czynnikiem oddziałującym na stan przewożonych zwierząt i jakość mięsa jest gęstość załadunku. Określa się ją w  $\text{m}^2$  na 100 kg masy żywca. Guardia i wsp. [18] porównali godzinny przewóz świń. W mięsie zwierząt transportowanych z zastosowaniem wskaźnika gęstości załadunku  $0,25 \text{ m}^2/100 \text{ kg}$  stwierdzono istotny wzrost udziału wieprzowiny z wadą PSE w porównaniu z grupą, w której zastosowano wskaźnik  $0,5 \text{ m}^2/100 \text{ kg}$ . W Unii Europejskiej zgodnie z rozporządzeniem Rady (WE) 1/2005 [58], w przypadku przewozu zwierząt trwającego ponad 3 h zalecany jest wskaźnik gęstości załadunku równy  $0,425 \text{ m}^2/100 \text{ kg}$  żywca.

### Postępowanie przedubojowe, ubój

W postępowaniu przedubojowym występują czynniki, które mogą przyczyniać się do obniżenia jakości mięsa. Zwierzęta podlegają stresowi psychicznemu (traktowanie przez ludzi, zmiana otoczenia, strach) i fizycznemu (głód, pragnienie, zmęczenie, okaleczenia, temperatura, wilgotność otoczenia). Wpływ czynników stresowych związany jest z pobytem w rzeźni i warunkami uboju [17]. Trudno rozdzielić oba typy stresu i precyzyjnie ocenić ich wpływ na jakość mięsa [38]. Stres związany z postępowaniem przedubojowym ma istotny wpływ na metabolizm mięśni i powoduje redukcję zapasów glikogenu. Bertol i wsp. [6] w mięsie świń głodzonych 24 h przed ubojem, poddanych oddziaływaniu czynników stresowych, stwierdzili obniżony poziom glikogenu w porównaniu z mięsem świń niepoddanych głodówce, a traktowanych w ten sam sposób. Przybylski i wsp. [41] wykazali, że średnio ok.  $20 \div 30 \%$  glikogenu mięśniowego jest zużywane podczas stresu związanego z postępowaniem przedubojowym.

Wzajemny kontakt zwierząt pochodzących z różnych stad prowadzi do walk, które wpływają na zmniejszenie glikogenu i wzrost  $\text{pH}_{24}$  w mięśniach. Ubój bezpośrednio po przyjeździe do rzeźni prowadzi do zwiększonej częstości występowania mięsa PSE [13]. Stres wywołany krótkotrwałym przebywaniem w rzeźni powoduje wzrost tempe-



ratury ciała i obniżenie pH mięśni jeszcze żywych zwierząt [12]. Można korzystnie wpłynąć na jakość mięsa poprzez zastosowanie odpowiedniego wypoczynku przedubojowego żywca. Wydłużenie tego czasu ponad 30 min do 1,5 h wiązało się ze wzrostem  $pH_{24}$  z 5,6 do 5,75 [5]. W mięśniach świń poddanych głodówce i przetrzymywanych w pomieszczeniach rzeźni przez 23 h Sterten i wsp. [50] stwierdzili wyższy poziom glikogenu w porównaniu z grupą, której czas pobytu wynosił 1,5 h. Pobyt zwierząt w magazynie żywca można traktować jako odpoczynek po stresie związanym z transportem, umożliwiającą uzyskanie równowagi metabolicznej.

W uboju świń stosuje się dwie metody: oszołomienie prądem elektrycznym i zastosowanie  $CO_2$ . Obydwie metody przyczyniają się do wystąpienia stresu u zwierząt. Oszołomienie za pomocą prądu elektrycznego wpływa na wzrost poziomu katecholamin i zwiększoną aktywność mięśniową [51, 52]. W przypadku oszołomienia za pomocą  $CO_2$  obserwuje się szybsze obniżenie pH i zmniejszoną zdolność wiązania wody w mięsie. Natomiast nie wykazano różnic pod względem  $pH_{24}$  pomiędzy obiema metodami [8, 9].

W przypadku bydła, w wyniku stresu związanego z postępowaniem w rzeźni dochodzi do wzrostu poziomu glikokortykosteroidów i katecholamin, co jest przyczyną intensywnej glikogenolizy powodującej wzrost poziomu glukozy i mleczanów we krwi [21, 48]. Poziom mleczanów został zaproponowany przez Brooma [7] jako kryterium fizycznego stresu i zmęczenia transportowanych zwierząt, a poziom glukozy – jako parametr wskazujący na obecność czynników stresowych [2, 3, 7]. Innymi wskaźnikami odzwierciedlającymi wpływ stresu przedubojowego są: obniżona zdolność wiązania wody i mniejsza kruchość mięsa [14]. Interwencje ograniczające poziom stresu u zwierząt mogą przyczynić się do poprawy jakości mięsa [38].

### **Szybkość schładzania tusz po uboju**

Szybkość schładzania mięsa po uboju jest czynnikiem wpływającym na proces glikolizy *post mortem*. Hannula i wsp. [19] stwierdzili możliwość wystąpienia skurczu włókien mięśniowych, powodującego niekorzystny wzrost twardości mięsa, tzw. skurcz chłodniczy. Obserwowany jest wtedy, gdy temperatura mięśni wyniesie poniżej 7 °C, przy zachowanym ATP w mięsie. Może to mieć miejsce, gdy pH będzie się utrzymywało na poziomie wyższym aniżeli 5,7. Obniżenie temperatury z 40 do 4 °C wywołuje istotne obniżenie aktywności GDE i jest przyczyną spowolnienia glikogenolizy i glikolizy [55]. Potwierdzają to badania Zyberta i wsp. [57], którzy wykazali wpływ szokowego wychładzania półtuszy wieprzowych na spowolnienie poubojowej glikogenolizy, co znalazło swoje odzwierciedlenie w wyższej wartości końcowego pH [57]. Podobne wyniki w odniesieniu do wyższego pH w mięsie szokowo wychładzanych półtuszy wieprzowych uzyskali Josel i wsp. [24]. Ponadto szybkie schładzanie może powodować wystąpienie ciemnej obwódki „*heat ring*”, gdyż w pierwszej kolej-

ności oziębieniu ulegają powierzchniowe warstwy mięsa [36]. Beecher i wsp. [4] stwierdzili niższe pH mięśnia półścięgnistego, gdy temperatura przechowywania wynosiła 37 °C w porównaniu z 4 °C. Podobne rezultaty uzyskali Kyla-Puhju i wsp. [31], którzy stwierdzili brak aktywności GDE w temp. 25 °C w *m. masseter*, podczas gdy w *m. longissimus dorsi* obserwowano aktywność GDE. Świadczyć to może o tym, że w czerwonym mięśniem obniżenie temperatury wcześniej inaktywuje GDE, hamując tym samym glikogenolizę.

### Podsumowanie

Na poziom glikogenu mięśniowego wpływają czynniki środowiskowe, takie jak: żywienie, warunki hodowlane, aktywność fizyczna, warunki transportu, czas i warunki przebywania w magazynie żywca, przedubojowa głodówka i sposób uboju. Do zwiększenia zawartości glikogenu mięśniowego przyczynia się regularna aktywność fizyczna zwierząt rzeźnych. Natomiast wysiłek przed ubojem wywołuje obniżenie całkowitego poziomu glikogenu. Zmniejszenie zapasów glikogenu można osiągnąć również poprzez głodzenie przedubojowe lub zastosowanie diety polegającej na zmniejszeniu zawartości łatwo strawnych węglowodanów. Podobny efekt redukcji zapasów glikogenu jest wynikiem stresu spowodowanego postępowaniem przedubojowym. Istotnym problemem jest występowanie wadliwego mięsa klasyfikowanego jako DFD i PSE. Na uzyskanie mięsa o obniżonej jakości wpływ mają niekorzystne czynniki związane z transportem, m.in. gęstość załadunku oraz ubój bezpośrednio po przyjeździe.

Wiedza dotycząca możliwości kształtowania poziomu glikogenu umożliwia również kształtowanie jakości mięsa. Jak wykazano w pracy, modyfikacja niekorzystnych czynników środowiskowych przyczynia się do poprawy jakości konsumenckiej i technologicznej mięsa oraz ogranicza straty związane z występowaniem mięsa wadliwego.

### Literatura

- [1] Alonso M.D., Lomako J., Lomako W.M., Whelan W.J.: A new look at the biogenesis of glycogen. *FASEB J.*, 1995, **9** (12), 1126-1137.
- [2] Apple J.K., Kegley E.B., Galloway D.L., Wistuba T.J., Rakes L.K.: Duration of restraint and isolation stress as a model to study the dark-cutting condition in cattle. *J. Anim. Sci.*, 2005, **83**, 1202-1214.
- [3] Averos X., Martin S., Riu M., Serratosa J., Gosálvez L.F.: Stress response of extensively reared young bulls being transported to growing-finishing farms under Spanish summer commercial conditions. *Livest. Sci.*, 2008, **119**, 174-182.
- [4] Beecher G.R., Cassens R.G., Hoekstra W.G., Briskey E.J.: Red and white fiber content and associated post mortem properties of seven porcine muscles. *J. Food Sci.*, 1965, **30** (6), 969-975.

- [5] Bee G., Biolley C., Guex G., Herzog W., Lonergan M., Huff-Lonergan E.: Effects of available dietary carbohydrate preslaughter treatment on glycolytic potential, protein degradation, and quality traits of pig muscles. *J. Anim. Sci.*, 2006, **84** (1), 191-203.
- [6] Bertol T.M., Ellis M., Ritter M.J., McKeith F.K., Hamilton D.N.: Variation in glycolytic potential and fresh pork quality traits along the *longissimus dorsi* of slaughter weigh pigs. *J. Muscle Foods*, 2006, **17** (3), 237-247.
- [7] Broom D.M.: Transport stress in cattle and sheep with details of physiological and other indicators. *Dtsch Tierarztl. Wschr.*, 2003, **110** (3), 83-89.
- [8] Chanon H.A., Payne A.M., Warner R.D.: Halothane genotype, pre-slaughter handling and stunning method and influence pork quality. *Meat Sci.*, 2000, **56** (3), 291-299.
- [9] Chanon H.A., Payne A.M., Warner R.D.: Comparison of CO<sub>2</sub> stunning with manual electrical stunning (50 Hz) of pigs on carcass and meat quality. *Meat Sci.*, 2002, **60** (1), 63-68.
- [10] Chaosap C., Parr T., Wiseman J.: Effect of compensatory growth on forms of glycogen, postmortem proteolysis, and meat quality in pigs. *J. Anim. Sci.*, 2011, **89** (7), 2231-2242.
- [11] Correa J.A., Torrey S., Devillers N., Laforest J.P., Gonyou H.W., Faucitano L.: Effects of different moving devices at loading on stress response and meat quality in pigs. *J. Anim. Sci.*, 2010, **12** (88), 4086-4093.
- [12] D'Souza D.N., Warner R.D., Leury B.J., Dunshea F.R.: The effect of dietary magnesium aspartate supplementation on pork quality. *J. Anim. Sci.*, 1998, **76** (1), 104-109.
- [13] Eikelenboom G., Bolink A.H., Sybesma W.: Effects of feed withdrawal before delivery on pork quality and carcass yield. *Meat Sci.*, 1991, **29** (1), 25-30.
- [14] Ferguson D.M., Warner R.D.: Have we underestimated the impact of pre-slaughter stress on meat quality in ruminant? *Meat Sci.*, 2008, **80** (1), 12-19.
- [15] Fernandez X., Lefaucheur L., Gueblez R., Monin G.: Paris ham processing: Technological yield as affected by residual glycogen content of muscle. *Meat Sci.*, 1991, **29**, 121-128.
- [16] Fernandez X., Neyraud E., Astruc T., Sante V.: Effects of halothane genotype and pre-slaughter treatment on pig meat quality. Part 1. *Post mortem* metabolism, meat quality indicators and sensory traits of *m. longissimus lumborum*. *Meat Sci.*, 2002, **62** (1), 429-437.
- [17] Grandin T.: Assessment of stress during handling and transport. *J. Anim. Sci.*, 1997, **75** (1), 249-257.
- [18] Guardia M.D., Estany J., Balas H.S., Olivier M.,A., Gispert M., Diestre A.: Risk assessment of PSE condition due to pre-slaughter conditions and RYR1 gene in pigs. *Meat Sci.*, 2004, **67** (3), 471-478.
- [19] Hannula T., Puolanne E.: The effect of cooling rate on beef tenderness: the significance of pH at 7° C. *Meat Sci.*, 2004, **67** (3), 403-408.
- [20] Hansen B.F., Derave W., Jensen P., Richter E.A.: No limiting role of glycogenin in determining maximal attainable glycogen levels in rat skeletal muscle. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Met.*, 2000, **278** (3), 398-404.
- [21] Hemsworth P.H., Rice M., Karlen M.G., Calleja L., Barnett J.L. Nash J., Coleman G.J.: Human – animal interactions at abattoirs: relationship between handling and animal stress in sheep and cattle. *App. Anim. Behav.*, 2011, **135** (1), 24-33.
- [22] Immonen K., Puolanne E.: Variation of residual glycogen-glucose concentration at ultimate pH values below 5.75. *Meat Sci.*, 2000, **55** (3), 279-283.
- [23] Immonen K., Ruusunen M., Hissa K., Puolanne E.: Bovine muscle glycogen concentration in relation to finishing diet, slaughter and ultimate pH. *Meat Sci.*, 2000, **55** (1), 25-31.
- [24] Josell A., von Seth G., Tornberg E.: Sensory and meat quality traits of pork in relation to slaughter treatment and RN genotype. *Meat Sci.*, 2004, **66** (1), 115-124.

- [25] Jurczak M.: Ocena jakości mięsa: ocena surowców pochodzenia zwierzęcego. Wyd. SGGW, Warszawa 1997, ss. 1-95.
- [26] Koćwin-Podsiadła M.: Metody wykrywania mięsa wadliwego u świń., Monografia nr 26, Wyd. WSR-P, Siedlce 1993, ss. 1-112.
- [27] Koćwin-Podsiadła M., Krzęcio E., Antosik K.: Rynek mięsa wieprzowego. Postęp w doskonaleniu mięsności i jakości mięsa w Polsce w świetle danych standardów Krajów Unii Europejskiej. Żywność. Nauka. Technologia. Jakość, 2003, **4 (37) Supl.**, 214-220.
- [28] Koćwin-Podsiadła M., Krzęcio E., Zybert A.: Utilization of molecular genetic achievements in pork quality improvement. Pol. J. Food Nutr. Sci., 2001, **10/51 (3)**, 11-18.
- [29] Koćwin-Podsiadła M., Przybylski W., Fernandez X., Monin G.: The comparison between  $RYR1^C RYR1^C$  and  $RYR1^C RYR1^T$  pigs for meat quality and glycolytic potential measured before and after slaughter. Ann. Anim. Sci., 2001, **2**, 31-36
- [30] Koćwin-Podsiadła M., Zybert A., Krzęcio E., Antosik K., Sieczkowska H.: Genomika bydła i świń. W: Procesy biochemiczne kontrolujące jakość wieprzowiny i wołowiny. Red. L. Zwierzchowski, M. Świtoński. Katedra Hodowli Trzody Chlewnej i Oceny Mięsa. Akademia Podlaska w Siedlcach, Poznań 2009, ss. 80-94.
- [31] Kyla-Puhju M., Ruusunen M., Puolanne E.: Activity of porcine muscle glycogen debranching enzyme in relation to pH and temperature. Meat Sci., 2005, **69 (1)**, 143-149.
- [32] Lewis P.K., Rakes L.Y., Brown C.J., Noland P.R.: Effect of exercise and pre-slaughter stress on pork muscle characteristics. Meat Sci., 1989, **26 (2)**, 121-129.
- [33] Monin G., Sellier P.: Pork of low technological qualities with a normal rate of muscle pH fall in the immediate post mortem period: the case of hampshire breed. Meat Sci., 1985, **13**, 49-63.
- [34] Murray A.C., Jones S.D.M., Sather A.P.: The effect of preslaughter feed restriction and genotype for stress susceptibility on pork quality and composition. Can. J. Anim. Sci., 1989, **69**, 83-91.
- [35] Niedźwiedz J., Cierach M.: Przemiany poubojowe a mięso wysokiej jakości. Gosp. Mięś., 2009, **61 (4)**, 14-16.
- [36] Orcutt M., Dutson T.R., Cornforth D.P., Smith G.C.: Factors affecting the formation of dark, coarse band ("heat-ring") in bovine *longissimus muscle*. J. Anim. Sci., 1984, **58 (6)**, 1366-1375.
- [37] Perez M.P., Palacio J., Santolaria M.P., Acena M.C., Chacon G., Gascon M., Calvo J.H., Zaragoza P., Beltran J.A., Garcia-Belenguer S.: Effect of transport time on welfare and meat quality in pigs. Meat Sci., 2002, **61 (4)**, 425-433.
- [38] Probst J.K., Spengler Neff A., Leiber F., Kreuzer M., Hillmann E.: Gentle touching in early life reduces avoidance distance and slaughter stress in beef cattle. Appl. Animal Beh. Sci., 2012, **1-2 (139)**, 42-49.
- [39] Przybylski W.: Przemiany glikolityczne. W: Mięso - podstawy nauki i techniki. Red. Pisula A., Pospiech E. Wyd. SGGW, Warszawa 2011, ss. 194-200.
- [40] Przybylski W., Jaworska D., Boruszewska K., Borejko M., Podsiadły W.: Jakość technologiczna i sensoryczna wadliwego mięsa wieprzowego. Żywność. Nauka. Technologia. Jakość, 2012, **1 (80)**, 116-127.
- [41] Przybylski W., Monin G., Koćwin-Podsiadła M., Krzęcio E.: Glycogen metabolism in muscle and its effects on meat quality in pigs – a mini review. Pol. J. Food Nutr. Sci., 2006, **3 (15)**, 257-262.
- [42] Rosenvold K., Essen-Gustavsson B., Andersen H.J.: Dietary manipulation of pro- and macroglycogen in porcine skeletal muscle. J. Anim. Sci., 2003, **1 (81)**, 130-134.
- [43] Rosenvold K., Petersen J.S., Laerke H.N., Jensen S.K., Therkildsen M., Karlsson A.H., Moller H.S., Andersen H.J.: Muscle glycogen stores and meat quality as affected by strategic finishing feeding of slaughter pigs. J. Anim. Sci., 2001, **2 (79)**, 382-391.

- [44] Sahlin K.: Intracellular pH and energy metabolism in skeletal muscle of man with special reference to exercise. *Acta Physiol. Scand., Suppl.*, 1978, **455**, 1-56.
- [45] Sayre R.N., Briskey E.J., Hoekstra W.G.: Effects of excitement, fasting and sucrose feeding on porcine phosphorylase and *post mortem* glycolysis. *J. Food Sci.*, 1963, **4 (28)**, 472-477.
- [46] Schwartzkopf-Genswein K.S., Faucitano L., Dadgar S., Shand P., Gonzalez L.A., Crowe T.G.: Road transport of cattle, swine and poultry in North America and its impact on animals welfare, carcass and meat quality: a review. *Meat Sci.*, 2012, **92 (3)**, 227-243.
- [47] Scopes R.K.: Studies with reconstituted muscle glycolytic system - rate and extend of glycolysis in simulated *post mortem* conditions. *Biochem. J.*, 1974, **1 (142)**, 79-86.
- [48] Shaw F.D., Tume R.K.: The assessment of preslaughter and slaughter treatments of livestock by measurement of plasma constituents – a review of recent work. *Meat Sci.*, 1992, **32 (3)**, 311-329.
- [49] Speer N.C., Slack G., Troyer E.: Economic factors associated with livestock transportation. *J. Anim. Sci.*, 2001, **79**, 166-170.
- [50] Sterten H., Oksbjerg N., Froystein T., Ekker A.S., Kjos N.P.: Effects of fasting prior to slaughter on pH development and metabolism *post mortem* in *m. longissimus dorsi* of pigs. *Meat Sci.*, 2010, **84 (1)**, 93-100.
- [51] Troeger K., Woltersdorf W.: Electrical stunning and meat quality in the pig. *Fleischwirtschaft*, 1990, **70 (8)**, 901-904.
- [52] Troeger K., Woltersdorf W.: Gas anaesthesia of slaughter pigs. I. Stunning experiments under laboratory conditions with pigs of known halothane reaction type: meat quality, animal protection. *Fleischwirtschaft*, 1991, **71**, 1063-1068.
- [53] Van der Wal P.G., Engel B., Reimert H.G.M.: The effect of stress, applied immediately before stunning, on pork quality. *Meat Sci.*, 1999, **53 (2)**, 101-106.
- [54] Warris P.D., Brown S.N.: The relationship between initial pH, reflectance and exudation in pig muscle. *Meat Sci.*, 1987, **20 (1)**, 65-74.
- [55] Yla-Ajos M., Puolanne E.: Temperature shows greater impact on bovine *longissimus dorsi muscle* glycogen debranching enzyme activity than does salt concentration. *Meat Sci.*, 2007, **77 (4)**, 587-592.
- [56] Young J.F., Bertram H.C., Oksbjerg N.: Rest before slaughter ameliorates pre-slaughter stress-induced increased drip loss but not stress-induced increase in the toughness of pork. *Meat Sci.*, 2009, **83 (4)**, 634-641.
- [57] Zybert A., Kręcio E., Sieczkowska H., Podsiadły W., Przybylski W.: The influence of chilling method on glycolytic changes and pork meat quality. 53th Int. Congress of Meat Quality and Technology, Beijing, China, 2007, 5-10. 08., pp. 293-294.
- [58] Rozporządzenie Rady (WE) nr 1/2005 z dnia 22 grudnia 2004 r. w sprawie ochrony zwierząt podczas transportu i związanych z tym działań oraz zmieniające dyrektywy 64/432/EWG i 93/119/WE oraz rozporządzenie (WE) nr 1255/97.

#### IMPACT OF ENVIRONMENTAL FACTORS ON GLYCOGEN CONCENTRATION IN MUSCLES OF SLAUGHTER ANIMALS

##### S u m m a r y

Defective meat causes economic losses for the meat industries. Biochemical changes occurring *post mortem* in meat depend, mainly, on the glycogen content. A *post mortem* non-converted part of glycogen that remains in muscles is called a residual glycogen. The residual glycogen affects the quality of meat. In

the paper, the impact is presented of selected environmental factors on the glycogen content in muscles of slaughter animals. The structure of glycogen and its role in shaping up the meat quality are discussed. The factors are described, which impact the *post mortem* glycogenolysis. The effect is comprehensively discussed of physical activity, nutrition, pre-slaughter fasting, transport as well as of the treatment of animals prior to slaughter on the glycogen concentration in muscles. Those issues are included that refer to mental and physical stresses at various steps of pre-slaughter proceedings as is their effect on the metabolism of muscles and the reserves of glycogen in muscles. Furthermore, the effect is shown of chilling rate of carcasses after slaughter on the course and extent of *post mortem* glycogenolysis. In order to achieve a higher meat quality, it is required to take multidirectional actions in the domain of genetic selection, optimization of breeding conditions, and *ante mortem* treatment of animals.

**Key words:** *post mortem* changes, glycogenolysis, glycogen, residual glycogen, pH, meat quality ☒