

DOI: <https://doi.org/10.55505/sa.2022.1.17>

CZU: 619:614.31:637.5

DEFINIREA METODOLOGIEI SPECTROFOTOMETRICE UV-VIS DE EVALUARE A CONCENTRAȚIEI MALONDIALDEHIDEI CA MARKER AL CALITĂȚII ÎN TRASABILITATEA A TREI TIPURI DE CARNE

Valentina STICI, Tatiana COSTIN

Abstract. This research represents a follow-up of previous original investigation on the methodology for evaluating biochemical indicators in the quality of pork, beef and chicken in accordance with the technology of the slaughter stage. The UV-VIS spectrophotometric approach enables to determine the concentration of the malondialdehyde that in the investigation is defined as the freshness indicator of the fresh meat obtained after slaughter, which is a very important standard of traceability. In the proposed methodology, the investigated biochemical reaction consists in building the red chromogen with $\lambda = 532$ nm between thiobarbituric acid and malondialdehyde in the glacial acetic acid medium. A comparative analysis of the significant limit difference according to ANOVA was done between the meat samples kept in the thermostat and those placed in the refrigerator, and this confirmed the hypothesis of the rancidity mechanism in the raw material.

Key words: Meat; Peroxidase; Thiobarbituric acid; Malondialdehyde; UV-VIS spectrum.

Rezumat. Această cercetare vizează metodologia de evaluare a indicatorilor biochimici ai calității cărnii de porc, vită și pui în conformitate cu tehnologia etapei de abatorizare. Abordarea spectrofotometrică UV-VIS oferă posibilitatea de a determina concentrația malondialdehidei în calitate de indicator al prospețimii materiei prime obținute în urma sacrificării. Reacția biochimică pe care se bazează metodologia propusă constă în formarea cromogenului roșu cu $\lambda = 532$ nm între acidul tiobarbituric și malondialdehidă în mediul acidului acetic glacial. Analiza comparativă a limitei diferenței semnificative conform ANOVA între probele de carne păstrate în thermostat și cele amplasate în frigider confirmă ipoteza mecanismului de rănțezire a materiei prime.

Cuvinte-cheie: Carne; Peroxidaza; Acid tiobarbituric; Malondialdehidă; Spectru UV-VIS.

INTRODUCERE

Asigurarea calității în lanțul tehnologic (creșterea, abatorizarea, procesarea și consumul cărnii de porc, vită și pui) presupune abordarea Sistemului de Analiză a Riscurilor în Punctele Critice de Control (*Hazard Analysis and Critical Control Points* sau *HACCP*) în sectorul zootehnic. Siguranța alimentară și calitatea produselor agricole sunt condiții esențiale pe care un producător trebuie să le ofere consumatorilor în Republica Moldova. Principiul de bază al HACCP constă în evaluarea riscurilor și determinarea componentelor de bază în evoluția procesului biotehnic, cu determinarea punctelor critice de control în trasabilitatea celor trei tipuri de carne. Conceptual, este aprobat principiul de evaluare a calității produselor în sectorul zootehnic, prin definirea proceselor biochimice care generează alterarea la nivelul tuturor structurilor în materia primă (Bertolin, J. R. et al. 2019).

Carnea și produsele din carne reprezintă o parte substanțială a consumului de produse agroalimentare, iar calitatea cărnii-materie primă este un indicator adecvat al nivelului de dezvoltare tehnologică și industrială a țării. Aceasta se confirmă prin faptul că conținutul de proteine care se asimilează ușor în comparație cu grăsimea animală ce conține acizi grași este o temă sensibilă pentru promovarea tehnologiilor în sectorul agrar. De asemenea, dotarea cu vitamine a produselor procesate, formează o amprentă psihologică în consumul și promovarea pe piața agroalimentară a tehnologiilor sofisticate. Un alt factor important în trasabilitatea cărnii de porc, vită și pui sunt etapele tehnologice care influențează procesele de degradare a acizilor grași nesaturați și a altor compuși perisabili. Un rol important în evaluarea procesului tehnologic sub aspectul asigurării siguranței alimentelor sunt procesele oxidative care sub influența descompunerii microbiologice afectează lipidele, proteinele, vitaminele și pigmenții (Alamprese, C. et al. 2013).

Concomitent cu procesele distructive menționate are loc pierderea capacității nutriționale cu formarea substanțelor toxice care generează procese oxidative – puncte critice în trasabilitatea cărnii, și, implicit, diminuarea substanțială a valorii pe piața de consum. În studiul de față, concentrația de malondialdehidă care rezultă din reacțiile oxidative ale peroxidazei asupra acizilor grași nesaturați este propusă în calitate de marker al calității cărnii de porc, vită și pui.

Tabelul 1. Producția principalelor produse animaliere în Republica Moldova, mii tone

Specii destinate sacrificării	Toate tipurile de crescătorii animaliere					
	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Bovine	14,0	15,8	12,7	13,4	12,7	13,1
Porcine	91,6	92,9	79,2	84,0	82,7	93,8
Ovine și caprine	4,4	4,2	5,1	4,1	4,2	4,1
Păsări	62,7	69,9	59,3	60,3	57,6	60,6
alte specii	1,7	1,7	1,7	1,5	1,4	1,0

Sursa: Biroul Național de Statistică

Încă din cele mai vechi timpuri, carnea și produsele din carne constituie una dintre cele mai importante surse de proteină de origine animală. Acest aliment cu o valoare nutritivă ridicată a fost și este unul dintre pilonii de bază care stimulează și promovează ramura zootehnică de creștere a animalelor agricole. În țara noastră, potrivit Biroului Național de Statistică, la vânzarea pentru sacrificare a speciilor de animale în masă vie predomină porcinele, păsările și bovinele (Tabelul 1). Carnea acestor specii reprezintă și principalele alimente de origine animală întâlnite în comerț și în regimul alimentar al populației.

Tabelul 2. Valoarea nutritivă în 100 g de carne de porc, vită și pui

Indicatori de evaluare	Carne de porc	Carne de vită	Carne de pui
Calorii	242	250	239
Total grăsimi	14 g/21%	15 g/23%	14 g/21%
grăsimi saturate	5 g/25%	6 g/30%	3,8 g/19%
Colesterol	80 mg/26%	90 mg/30%	88 mg/29%
Carbohidrați	0	0	0
Proteine	27 g/54%	26 g/52%	27 g/54%
Fier	4%	14%	7%
Vitamina D	13%	1%	0
Cobalamină (B12)	11%	43%	5%

Sursa: Departamentul de agricultură al SUA

Valoarea nutritiv-biologică, care este un element esențial în aprecierea cărnii de porc, vită, pui, acoperind toate cerințele nutriționale, poate fi modificată negativ de procesele de alterare. Alterarea microbiană și râncezirea sunt două procese ce duc la modificarea și degradarea senzorială a produselor, provocând respingerea din partea consumatorului (Dominguez, R. et al. 2019). Ambele procese alterative duc la formarea substanțelor toxice, ulterior provocând și modificări organoleptice (Tabelul 2). Alterarea presupune schimbarea vizibilă a trei caracteristici de calitate senzorială: aspect/culoare, textura și aroma. Peroxidarea lipidelor este cauza principală a modificării calității cărnii, în urma acestui proces formându-se compuși toxici ce pot fi implicați în provocarea și dezvoltarea mai multor boli (Yi, G. et al. 2013; Chen, B. et al. 2011).

Potrivit datelor din Tabelul 2, cantitatea de lipide în carne este relativ înaltă comparativ cu produsele din pește, legume și făinoase, însă este mai mică în comparație cu unele produse de origine animală (untură, unt, smântână, gălbenuș de ou) sau fructe oleaginoase. Cantitatea mare de acizi grași nesaturați prezenți în carnea de porc, vită și pui favorizează efectul oxidării prin instabilitatea acizilor cu legături duble ce sunt influențate termodinamic de formarea radicalilor liberi. Oxidarea lipidelor este un proces care include multiple mecanisme cu reacții care sunt influențate de factori intrinseci (compoziția cărnii) și factori extrinseci (condițiile de procesare și depozitare) care pot stimula sau inhiba reacțiile oxidative (Lorenzo, J. et al. 2017; Wasowicz, E. et al. 2004).

MATERIALE ȘI METODE

Cercetările s-au efectuat în laboratorul din cadrul proiectului transfrontalier „Promovarea producției sustenabile și implementarea bunelor practici în fermele de bovine din zona transfrontalieră România, Republica Moldova și Ucraina” (cod MIS ETC 1549), în perioada 2020–2021. Au fost utilizate probe de carne de porc, vită și pui achiziționate din rețeaua comercială agroalimentară. Evaluarea experimentală a calității materiei prime s-a efectuat cu ajutorul echipamentelor de laborator achiziționate pentru Centrul de monitorizare a calității producției de bovină: spectrofotometru VWR UV-6300PC, centrifugă Orbita-5, pompă Komovskii, balanță analitică WTW.

S-au utilizat următoarele substanțe reactive și chimicale: acidul tiobarbituric (TBA) 99% (Makrohim, Ucraina); sarea de tetrabutilamoniu malondialdehidă (MDA) 96% (Sigma, Aldrich, Germania); alcool metilic 99,5% (Makrohim, Ucraina); acid acetic glacial 99,8% (Makrohim, Ucraina); apă bidistilată.

Pentru realizarea curbei de calibrare (nomograma) s-a preparat soluția primară de MDA de 1mM în acid acetic glacial. Pentru aceasta, o cantitate de 31,35 mg MDA a fost dizolvată în 100 mL de solvent. Ulterior, din soluția primară au fost pregătite diferite concentrații aferente curbei de calibrare cu valorile $0,025 \pm 0,33$ mM MDA (Tabelul 4). Diapazonul valorilor concentrației MDA prezintă un trend de creștere de 10 ori, astfel valorile experimentale ale indicelui de extincție fac posibilă efectuarea interpolării.

Reagentul de bază în formarea cromogenului este acidul tiobarbituric, cu soluția standard de 4,0 mM. În acest scop s-au dizolvat 57,66 mg TBA în 100 mL de acid acetic glacial. Pentru fiecare zi de experimente s-a preparat soluție proaspătă de TBA.

În cadrul pregătirii probelor și al procedurii analitice de evaluare a cromogenului, carnea proaspătă pentru experiențe a fost amplasată în termostat cu stabilizarea temperaturii de 20°C pe o perioadă de 24 de ore. Fiecare probă de carne cu masa de 1 g este dezintegrată în 10 mL solvent (un amestec din 50% apă distilată și 50% acid acetic glacial). Alcoolul metilic cu concentrația de 0,01% este utilizat pentru a preveni procesele oxidative în mediu. Probele sunt trecute prin filtrele Schott cu o presiune de 0,3MP creată de pompa Komovski. Filtratul este centrifugat la 4000 rpm și ulterior utilizat pentru analiza spectrofotometrică. Procedura de evaluare a cromogenului presupune crearea unui amestec omogen din 1 mL soluție dezintegrată cu 1 mL soluție TBA și stabilizată ulterior la 95°C timp de 60 de minute. În rezultatul reacției biochimice se formează cromogenul de culoare roșie, iar evaluarea indicatorului de absorbantă la $\lambda=532$ nm se efectuează cu spectrofotometru UV-VIS 6300. Formula de calcul al concentrației cromogenului (TBARS) presupune că concentrația de referință a acidului tiobarbituric este de 4 mM și stoichiometria reacției biochimice este 2:1:

$$C_{TBARS} = \frac{Ac * V}{W}, \quad (1)$$

unde Ac este indicatorul de absorbantă, evaluat conform analizei regresionale din curba de calibrare, W este greutatea probei de carne de porc, evaluată în cadrul experienței, și V este factorul multiplicativ care depinde de diluarea în mL a extractului măsurabil (Zeb, A. 2016).

Definirea curbei de calibrare impune realizarea pentru fiecare punct de referință a cinci repetări conform criteriului Student cu precizia de 95%. Evaluarea indicatorului de absorbantă la proba martor s-a efectuat cu repetitivitatea $n=5$, înlocuind soluția standard cu proba de acid acetic. Metodele analitice de evaluare a cromogenului sunt în conformitate cu cerințele Conferinței Internaționale în Tehnici de Cercetare, precizia calculului în cadrul experiențelor fiind de 95%, după Student.

REZULTATE ȘI DISCUȚII

Evaluarea gradului de oxidare a cărnii este practic imposibilă, metodologic vorbind, printr-o singură tehnică biochimică, acest proces fiind influențat de o serie de factori, precum temperatura, lumina, antioxidanții din carne, timpul păstrării și cantitatea de oxigen în mediu. Importanța majoră pe care o are oxidarea asupra cărnii și produselor din carne impune măsurarea nivelului de oxidare pentru a stabili strategii de minimizare a pierderilor de calitate (Dominguez, R. et al. 2019). În lucrarea dată propunem metoda spectrofotometrică de determinare a concentrației malondialdehidei, care este o tehnică biometrică accesibilă în timpul analizelor de rutină datorită simplității și costului redus.

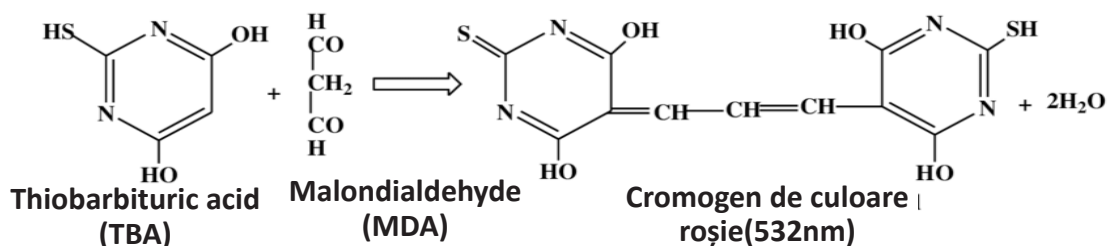


Figura 1. Prezentarea reacției de formare a cromogenului între acidul tiobarbituric și malondialdehidă în mediul acidului acetic glacial

Pentru evaluarea corectă a indicatorului de calitate în trasabilitatea cărnii de porc, vită și pui este necesară o metodologie complexă, în care sunt evaluați factori biochimici cu pondere semnificativă (mai mare de 30%) în rezultatul obținut. Un factor important care denotă gradul de deteriorare a cărnii la nivel biochimic este concentrația de malondialdehidă, ce rezultă în urma proceselor oxidative ale peroxidazei (Figura 1). Se cunoaște că acizii grași nesaturați și oxigenul liber sunt componentele de bază în reacția biochimică de oxidare a lipidelor. Lipidele pot fi deteriorate oxidativ în trei direcții principale care includ reacțiile complexe de autooxidare, procese oxidative fermentativ catalizate și fotooxidare. (Cheng, J. 2016). În mecanismele prezentate, autooxidarea se bazează pe lanțul de radicali liberi ce atacă legăturile nesaturate în acizii grași, ceea ce reprezintă procedura de bază în degradarea biochimică a cărnii (Ripoll, G. et al. 2008). Mecanismele fermentative și fotooxidative diferă nesemnificativ de reacția biochimică expusă, însă au o contribuție majoră în formarea peroxizilor la faza inițială de degradare a celor trei tipuri de carne. Sub acest aspect, radicalii liberi explică majoritatea schimbărilor în degradarea cărnii și pot servi în calitate de ipoteză fundamentală la descrierea proceselor biochimice de oxidoreducere a ciclului Krebs în mitocondrii (Lorenzo, J. M. et al. 2017). De aici rezultă provocarea de bază a cercetării de față, de a completa schema de oxidare a acizilor grași și de a depista agenții intermediari care definesc calitatea cărnii de porc, vită și pui. În calitate de obiectiv al cercetării se impune definirea unei ipoteze bazate pe mecanismele biochimice ale unui marker al calității în trasabilitatea cărnii ca materie primă. Tradițional, în rețelele de comercializare, carnea și produsele din carne sunt expuse luminii în diapazonul UV-VIS pentru a fi atractive consumatorilor. Acest fapt creează premise biochimice fotooxidative, care sunt mai intense după gradul de formare a radicalilor liberi decât procesele autooxidative. De obicei, mecanismul fotooxidativ este inițiatorul proceselor de oxidare a lipidelor. În timpul acestui proces, hidroperoxizii se formează în prezența hemoglobinei ca sensibilizator foto al luminii în diapazonul aferent. Se poate deci afirma că principalii factori care influențează oxidarea lipidelor în carne sunt grăsimile și, în special, acizii grași nesaturați care constituie substratul proceselor oxidative (Abbasali, Z. et al 2019). Ipoteza de bază a cercetării propune în calitate de marker al calității cărnii de porc, vită și pui concentrația de malondialdehidă care rezultă din reacțiile biochimice oxidative. Tehnicile de evaluare a malondialdehidei în probele analizate reprezintă o sarcină majoră în elaborarea metodologiei privind siguranța alimentară.

Produșii secundari predominanți în evoluția acestui proces sunt aldehidele (Amaral, A. B. et al. 2018). Ele contribuie la aroma cărnii și interacționează cu proteinele provocând modificări care duc la scăderea proprietăților nutriționale și organoleptice (Guyon, C. et al. 2016).

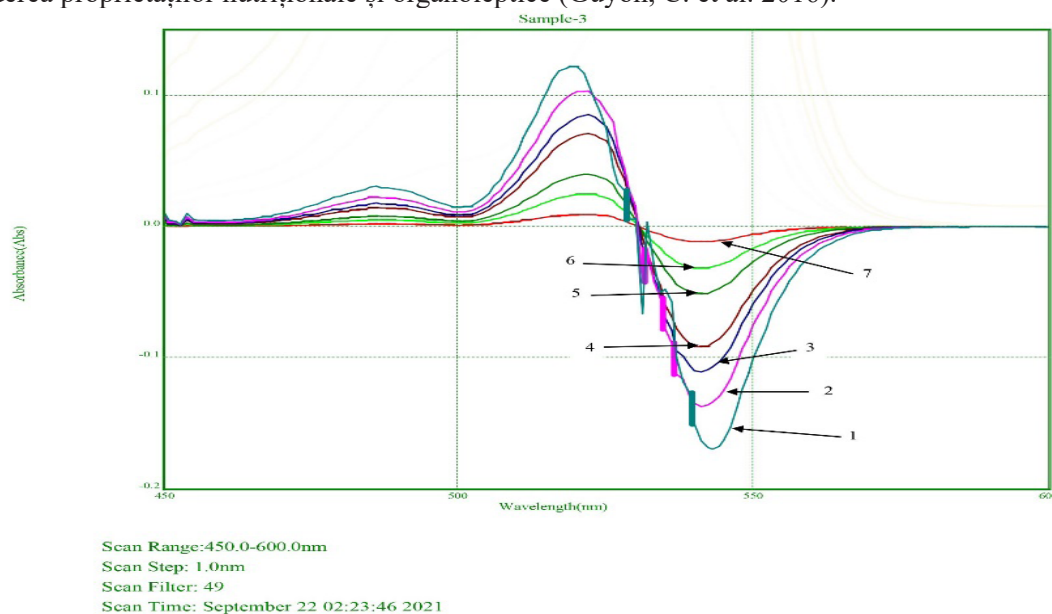


Figura 2. Spectrele de absorbție cu derivata de ordinul 1 a cromogenului în diapazonul 450÷600 nm, care atestă absența trigliceridelor adiacente în reacția de bază a peroxidazei

Sursa: Calculele proprii în baza evaluării experimentale

În Figura 2 este prezentată spectrofotograma UV-VIS a concentrației de malondialdehidă în soluțiile de martor (acid acetic glacial 100%) în formatul derivatei de ordinul 1 a cromogenului în diapazonul 450÷600 nm. Valoarea numerică a indicelui de extincție pentru malondialdehidă la lungimea de undă $\lambda=532$ nm este determinată pentru 7 niveluri ale concentrației (în conformitate cu Tabelul 4) și se referă la un diapazon de 13,2 unități care dau posibilitate de a fi încadrate în curba de calibrare și probele din frigider, cu valori mici ale indicelui de extincție, și probele din termostat, cu valori mari ale absorbției. Abaterea medie pătrată a punctelor de referință ale nomogramei MDA variază între 0,00091 și 0,0049 unități, ceea ce denotă o precizie înaltă a evaluării concentrației conform criteriului Student 95%, cu un coeficient de variație sub 10%. Relația regresională liniară între indicele de extincție și concentrația malondialdehidei este prezentată în Figura 3, iar modelul propus este confirmat prin valoarea criteriului Fisher de analiză dispersională $F=1880$ și coeficientul de determinație $R^2=98\%$.

Tabelul 3. Prelucrarea statistică a datelor primare pentru realizarea curbei de calibrare a malondialdehidei conform distribuției Student

Parameter	Least Squares Estimate	Standard Error	T Statistic	P-Value
Intercept	-0,00241519	0,0041122	-0,587323	0,5610
Slope	0,923657	0,021297	43,3704	0,0000

Analysis of Variance

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	0,276229	1	0,276229	1880,99	0,0000
Residual	0,00484616	33	0,000146853		
Total (Corr.)	0,281075	34			

Correlation Coefficient = 0,991342

R-squared = 98,2759 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 98,2236 percent

Standard Error of Est. = 0,0121183

Mean absolute error = 0,0102181

Durbin-Watson statistic = 0,437618 (P=0,0000)

Lag 1 residual autocorrelation = 0,760743

Relația funcțională dintre indicele de extincție și concentrația malondialdehidei este definită în conformitate cu Tabelul 3 și denotă, conform criteriului Student $t=43,3$, o precizie înaltă pentru panta dreptei în regresia liniară prezentată în formula 2.

$$Y=0.923 \cdot X - 0.0024 \quad (2)$$

O problemă aparte reprezintă divizarea reacției biochimice oxidative în cele trei direcții menționate mai sus. Aceasta impune necesitatea determinării specificității metodei propuse și corelația dintre spectrele de absorbție ale standardului MDA-TBA și cantitatea de trigliceride intermediare ale peroxidazei care, în mod obligatoriu, trebuiau să apară ca lungimi de undă cu intensitate semnificativă aparte față de $\lambda=532$ nm (Candek-Potokar, M. et al. 2006). Evaluarea concentrației malondialdehidei reprezintă criteriul de bază în evaluarea proceselor oxidative ale acizilor grași nesaturați. Valoarea intensității de absorbție $\lambda=532$ nm în rezultatul reacției cu TBA este un marker incontestabil al calității cărnii de porc, vită și pui.

Abordarea spectrofotometrică în evaluarea concentrației de malondialdehidă stă la baza metodei biochimice în evaluarea proceselor oxidative ale acizilor grași nesaturați în carnea de porc, de vită și de pui. Intensitatea de absorbție a cromogenului cu lungimea de undă $\lambda=532$ nm care se obține în rezultatul reacției cu TBA poate fi un marker incontestabil al calității cărnii, conform Tabelului 5. Procesele oxidative în mitocondrii generează malondialdehidă, intensitatea acestui proces care se evaluează spectrofotometric în procesul de alterare a cărnii fiind prezentat în Figura 4, pentru diferite variante de aplicare a factorului termic. Indicele de extincție MDA la frecvența menționată poate fi incontestabil definit în

calitate de marker al calității diferitor tipuri de carne. Abordarea aplicativă a acestei aldehide este de o importanță majoră în industria agroalimentară, având în vedere că doze nesemnificative de malondialdehidă generează un miros specific de alterare a produselor cu conținut mare de proteine. În literatura de specialitate este acceptată cantitatea de 2-2,5 mg/kg de malondialdehidă în calitate de limită acceptabilă pentru carne și subprodusele acesteia (Merás, I. et al. 2020).

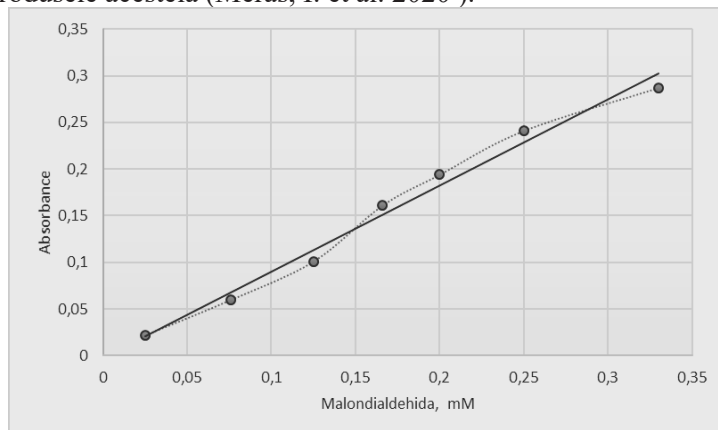


Figura 3. Curba de calibrare a concentrației de malondialdehidă evaluată spectrofotometric cu expunerea trendului liniar

Sursa: Calculele proprii în baza evaluării experimentale

Tabelul 4. Relația indicelui de extincție referitor la concentrația malondialdehidei și parametrii regresiei liniare aferente

N	Concentrația MDA, mM	Indicele de extincție a spectrelor de absorbție	Greșeala mediei	Coeficient de variație %	Intervalul de încredere		Standard skewness	Standard kurtosis
					Limita de jos	Limita de sus		
1	0,330	0,287	0,00140	1,087	0,283	0,291	0,656	-0,221
2	0,250	0,241	0,00091	0,848	0,238	0,243	0,408	-0,275
3	0,200	0,194	0,00151	1,733	0,190	0,199	-0,408	-1,279
4	0,166	0,161	0,00071	0,983	0,159	0,163	-0,297	-1,299
5	0,125	0,101	0,00490	10,849	0,087	0,114	0,396	-1,264
6	0,076	0,060	0,00155	5,802	0,056	0,064	0,504	-1,242
7	0,025	0,022	0,00063	6,518	0,020	0,023	-0,091	-0,197

Sursa: Calculele proprii în baza evaluării experimentale.

Mecanismul ce stă la baza procesului de oxidare a grăsimilor este complex, dar încă nu este pe deplin elucidat. În linii generale se poate afirma că acizii grași nesaturați interacționează cu oxigenul molecular rezultând în formarea radicalilor liberi primari, a hidroperoxidilor, care, la rândul lor, fiind instabili, se descompun rapid în compuși secundari: aldehide, hidrocarburi, cetone și alcooli (Ross, C. F. et al. 2006).

Oxidarea lipidelor este un proces lung, care începe cu sacrificarea animalului și conversia mușchiului în carne, continuând progresiv până la momentul în care produsul este consumat (Chaijan, M. et al. 2017). Etapa de control al cărnii în lanțul alimentar este foarte importantă în obținerea, menținerea și oferirea consumatorului a unui produs salubru. Fiind un aliment cu grad înalt de perisabilitate, carnea poate suporta în timpul păstrării modificări provocate de durata de păstrare, temperatura și contactul cu oxigenul din mediu. Procesul de trasabilitate de la sacrificarea animalului până la distribuirea și comercializarea cărnii și produselor din carne refrigerate este un element-cheie. Pe parcursul acestei perioade scurte, nerespectarea unor parametri tehnologici duce la obținerea unui produs modificat, cu tentă de alterare atât microbiologică, cât și biochimică.

În urma cercetărilor efectuate s-au obținut valori cu diferențe semnificative, care demonstrează că produsul secundar al oxidării lipidelor este influențat de tipul cărnii, modul și durata de păstrare. Aceste diferențe sunt redată în spectrele din figura 4.

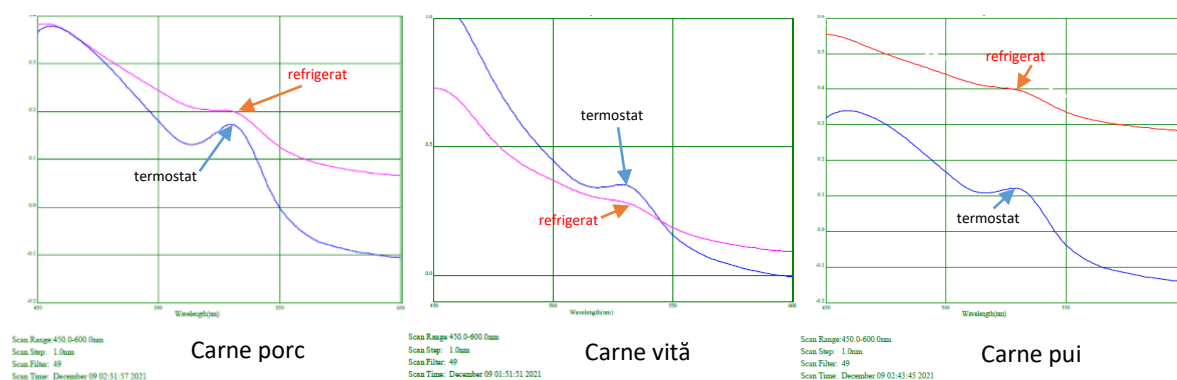


Figura 4. Spectrele absorbției UV-VIS pentru probe de carne de porc, vită și pui păstrate în frigider la 4°C și termostat la 20°C

Sursa: Calculele proprii în baza evaluării experimentale

Argumentul de bază care confirmă că malondialdehida reprezintă un marker veritabil al calității cărnii de porc, de vită și de pui este prezentat în Tabelul 5 prin valoarea limitei diferenței semnificative $LSD=0,00184$, care arată că intervalele de încredere conform criteriului Student cu 95% nu se suprapun. Pentru carnea de porc refrigerată, limita de sus a indicelui de extincție reprezintă 0,0051 și este net inferioară limitei de jos pentru varianta cărnii păstrate în termostat – 0,0150.

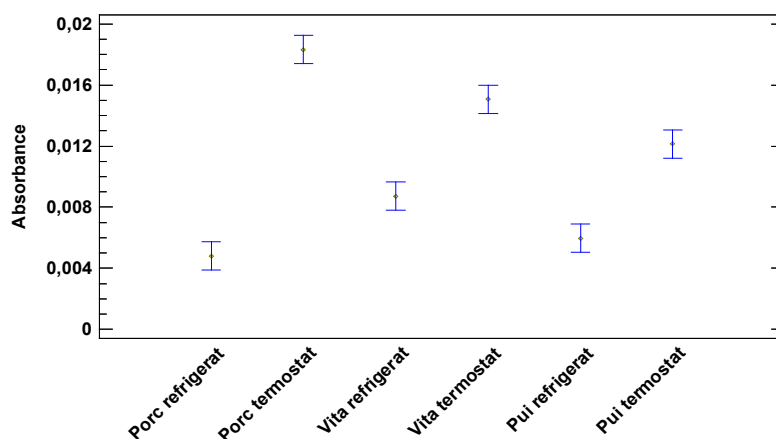


Figura 5. Limita diferenței semnificative a indicelui de extincție a probelor de carne păstrate în frigider comparativ cu probele din termostat

Acest fapt este valabil și pentru celelalte variante de evaluare a malondialdehidei și poate fi argumentat statistic prin criteriul Fisher al modelului dispersional $F=69,96$, ce denotă o precizie înaltă în tehnica experimentală de evaluare a concentrației malondialdehidei. Distribuția normală (Gauss) a datelor primare este prezentată prin indicatorii Standard skewness și Standard kurtosis și atestă că spectrofotometria asigură, metodologic, o distribuție acceptabilă în limitele criteriului χ^2 a indicelui de extincție. Analiza comparativă a diferenței dintre carnea refrigerată și carnea păstrată în termostat la 20°C timp de 24 de ore este prezentată în Figura 5.

Valoarea medie a indicelui de extincție a concentrației de malondialdehidă pentru carnea păstrată în termostat este cu 25,1% mai mare decât cea în cazul probelor păstrate în frigider. Abaterea medie pătrată a celor 5 măsurări spectrofotometrice în fiecare variantă este suficientă pentru a afirma că intervalele de încredere nu se suprapun cu precizia de 95%. Coeficientul de variație a probelor reprezintă 2,96% pentru carnea păstrată în termostat și 7,49% pentru cea păstrată în frigider.

Tabelul 5. Analiza monofactorială ANOVA a limitei diferenței semnificative în probele de carne păstrate în medii diferite

Categorica de carne	Indicele de extincție a spectrelor de absorbție	Eroare de standard	Coeficient de variație	Intervalul de încredere		Standard skewness	Standard kurtosis
				Limita de jos	Limita de sus		
Porc refrigerat	0,0048	0,00029	6,1	0,0044	0,0051	-0,553	-0,730
Porc termos-tat	0,0183	0,00236	12,9	0,0150	0,0212	-0,347	-0,076
Vită refrigerat	0,0087	0,00015	1,7	0,0085	0,0089	-0,504	0,396
Vită termos-tat	0,0151	0,00184	12,2	0,0129	0,0172	0,188	-1,055
Pui refrigerat	0,0060	0,00068	11,4	0,0050	0,0069	-0,067	0,690
Pui termostatat	0,0121	0,00158	13,0	0,0096	0,0136	-1,181	0,643

Sursa: Calculele proprii în baza evaluării experimentale

CONCLUZII

Cercetările efectuate au condus la elucidarea unor aspecte privind importanța valorilor concentrației de malondialdehidă la evaluarea calității cărnii de porc, vită și pui. În acest sens a fost elaborată nomograma curbei de calibrare a malondialdehidei pentru un diapazon de concentrații $0,025 \pm 0,33$ mM, de asemenea a fost evaluată valoarea comparativă a LSD pentru probele de carne păstrate în termostatat și frigider și au fost reflectate spectrele de absorbție a malondialdehidă în carne pentru diapazonul spectrofotometric 450÷600 nm.

Rezultatele obținute prezintă o confirmare a mecanismului ce este implicat în oxidarea lipidelor influențate de compoziția chimică și condițiile de depozitare a cărnii. Determinarea cantitativă a concentrației de malondialdehidă în carne și produsele din carne oferă posibilitatea de a stabili gradul de oxidare a probelor cercetate. Prin intermediul metodologiei spectrofotometrice UV-VIS se poate estima starea oxidativă a oricărui produs agroalimentar de origine animală. Folosind această metodă precisă, simplă și care implică cheltuieli reduse pentru analizele de rutină într-un laborator de evaluare a calității cărnii se poate stabili cu ușurință și exactitate salubritatea materiei prime corelată cu modificările organoleptice.

REFERINȚE BIBLIOGRAFICE

1. ABBASALI, Z., ARMIN, F. (2019). Extraction and preconcentration of trace malondialdehyde from lipid-rich foods using ion pair-based solvent bar liquid-phase microextraction. In: Food analytical methods. 2019, vol. 12(7), pp. 1625-1634.
2. ALAMPRESE, C., CASALE, M., SINELLI, N., LANTERI, S., & CASIRAGHI, E. (2013). Detection of minced beef adulteration with turkey meat by UV-vis, NIR and MIR spectroscopy. In: LWT — food science and technology, vol. 53(1), pp. 225–232.
3. AMARAL, A.B., da SILVA, M.V., da LANNES, S.C.S. (2018). Lipid oxidation in meat: Mechanisms and protective factors: A review. In: Food Science and Technology, vol. 38, pp. 1-15. ISSN 0101-2061.
4. BERTOLÍN, J.R., JOY, M., BLANCO, M. (2019). Malondialdehyde determination in raw and processed meat products by UPLC-DAD and UPLC-FLD. In: Food Chemistry, 298(6). Available: DOI:10.1016/j.foodchem.2019.125009
5. BIROUL Național de Statistică al Republicii Moldova (2021), © 2021 Biroul național de statistică [accesat 24.12.2021]. Disponibil: <https://statistica.gov.md/>
6. CANDEK-POTOKAR, M., PREVOLNIK, M., & SKRLEP, M. (2006). Ability of near infrared spectroscopy to predict pork technological traits. In: Journal of near infrared spectroscopy, vol. 14(4), pp. 269–277.
7. CHENG, J. (2016). Lipid oxidation in meat. In: Journal of Nutrition & Food Sciences, vol. 6(3), pp. 1-3.
8. CHAIJAN, M., PANPIPAT, W. (2017). Mechanism of oxidation in foods of animal origin. In: R. Banerjee, A.K. Verma, M.W. Siddiqui, eds. Natural Antioxidants. New York: Apple Academic Press, pp. 1-38. ISBN 978-1-315-36591-6.

9. CHEN, B., MCCLEMENTS, D.J., DECKER, E.A. (2011). Minor components in food oils: A critical review of their roles on lipid oxidation chemistry in bulk oils and emulsions. In: *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, vol. 51, pp. 901–916.
10. DOMÍNGUEZ, R., PATEIRO, M., GAGAOUA, M., BARBA, F. J., ZHANG, W., LORENZO, J.M. (2019). A comprehensive review on lipid oxidation in meat and meat products. In: *Antioxidants*, vol. 8(10), 429.
11. GUYON, C., MEYNIER, A., de LAMBALLERIE, M. (2016). Protein and lipid oxidation in meat: A review with emphasis on high-pressure treatments. In: *Trends in Food Science & Technology*, vol. 50, pp. 131–143.
12. LORENZO, J.M., DOMÍNGUEZ, R., CARBALLO, J. (2017). Control of lipid oxidation in muscle food by active packaging technology. In: R. Banerjee, A.K. Verma, M. W. SIDDIQUI eds. *Natural Antioxidants: Applications in Foods of Animal Origin*. Apple Academic Press (Verlag), pp. 343–382. ISBN 9781771884600.
13. MERÁS, I., CESAR, P., JESÚS, P. ELISABET, M. T., ANUNCIACIÓN, E.-M. (2020). Optimization of the thiobarbituric acid-malonaldehyde reaction in non-aqueous medium. Direct analysis of malonaldehyde in oil samples by HPLC with fluorimetric detection. In: *Microchemical Journal*, vol. 159. Available: <https://doi.org/10.1016/j.microc.2020.105318>
14. RIPOLL, G., ALBERTÍ, P., PANEA, B., OLLETA, J.L., & SAÑUDO, C. (2008). Near-infrared reflectance spectroscopy for predicting chemical, instrumental and sensory quality of beef. In: *Meat Science*, vol. 80(3), pp. 697–702.
15. ROSS, C.F., SMITH, D.M. (2006). Use of volatiles as indicators of lipid oxidation in muscle foods. In: *Comprehensive Reviews Food Science and Food Safety*, vol. 5(1), pp. 18–25.
16. WASOWICZ, E., GRAMZA, A., HES, M., JELEN, H.H., KORCZAK, J., MALECKA, M., MILDNER-SZ-KUDLARZ, S., RUDZINSKA, M., SAMOTYJA, U., ZAWIRSKA-WOJTASIAK, R. (2004). Oxidation of lipids in food. In: *Polish Journal of Food and Nutrition Science*, vol. 54(1), pp. 87–100.
17. YI, G., HAUG, A., NYQUIST, N.F., EGELANDSDAL, B. (2013). Hydroperoxide formation in different lean meats. In: *Food Chemistry*, vol. 141(3), pp. 2656–2665.
18. USDA Agricultural Research Service. Department of Agriculture (2021). Food and Nutrient database for Dietary Studies: An official website of the United States government. [viewed 25.12.2021]. Available: <https://www.ars.usda.gov/northeast-area/beltsville-md-bhnrc/beltsville-human-nutrition-research-center/food-surveys-research-group/docs/fndds-download-databases/>
19. ZEB, Alam, FAREED, Ullah (2016). A simple spectrophotometric method for the determination of thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) in fried fast foods. In: *Journal of Analytical methods in chemistry*, nr. 1-5. Available: DOI:10.1155/2016/9412767

INFORMAȚII DESPRE AUTORI

STICI Valentina  <https://orcid.org/0000-0001-6368-1710>

doctorand, Școala Doctorală a Parteneriatului instituțiilor de învățământ și cercetare din agricultură, Universitatea Agrară de Stat din Moldova, Republica Moldova

E-mail: sticiv.uasm@gmail.com

COSTIN Tatiana

cercetător științific, Universitatea Agrară de Stat din Moldova, Republica Moldova

Data prezentării articolului: 24.02.2022

Data acceptării articolului: 12.04.2022