
Determinació de l' a_w i del contingut d'humitat i de sal de la superfície de llonganisses mitjançant espectroscòpia NIR

RESUM: L'objectiu d'aquest estudi va ser avaluar la capacitat de l'espectroscòpia d'infraroig proper (NIR) per predir l'activitat d'aigua (a_w) i el contingut d'humitat i de sal de la superfície de llonganisses durant la seva etapa d'elaboració. Els continguts d'humitat i de sal, i l' a_w , definida com la quantitat d'aigua lliure disponible per al creixement de microorganismes i per a la realització de diferents reaccions químiques, són paràmetres relacionats amb el procés d'assecat i de maduració de productes crus-curats. El NIR és un mètode d'anàlisi no destructiu aplicable en línia durant el control del procés de producció. Es van escanejar periòdicament llonganisses amb diferents formulacions i sotmeses a diferents condicions d'assecat amb un espectrofotòmetre model Matrix-F (Bruker), tot utilitzant dues sondes diferents. La millor predicció per peça sencera es va obtenir amb una sonda sense contacte amb el producte, amb un coeficient de determinació (R^2) superior a 0,9 i amb un error de predicció (RMSEP) d'1,56 per a humitat, de 0,22 per a NaCl i de 0,007 per a a_w . De l'estudi es conclou que el NIR té la capacitat per determinar paràmetres químics relacionats amb el procés d'assecat de les llonganisses amb un error acceptable.

PARAULES CLAU: Espectroscòpia d'infraroig proper (NIR), activitat d'aigua (a_w), contingut d'aigua, sal (NaCl), carn, control de procés.

ABSTRACT: The goal of this study was to evaluate the capacity of near infrared spectroscopy (NIR) to predict water activity (a_w) and moisture and salt contents of the surface of fermented sausages during the drying process. The moisture and salt contents, and the a_w , described as the amount of disposable free water for the growth of microorganisms and for the realization of different chemical reactions, are parameters related with the drying process of dry cured products. NIR is a non destructive method of analysis useful for the on line control of a production process. Fermented sausages with different formulations and submitted to different drying conditions were periodically scanned with a spectrophotometer model Matrix-F (Bruker) using two different probes. The best prediction for intact product was obtained with a probe without contact with the product; this achieves a coefficient of determination (R^2) higher than 0.9 and errors of prediction (RMSEP) of 1.56 for moisture, 0.22 for NaCl and 0.007 for a_w . From the study it is concluded that the IR has the capacity to determine chemical parameters related with the drying process of fermented sausages with an acceptable error.

CARLES COLLELL
I JOSEP COMAPOSADA
IRTA.Tecnologia dels Aliments.
Finca Camps i Armet.
17121 Monells (Girona).

KEYWORDS: Near infrared spectroscopy (NIR), water activity (a_w), moisture, salt (NaCl), meat, process control.

INTRODUCCIÓ

Els productes carnis fermentats i curats són àmpliament consumits al nostre país. Per tal de fabricar aquest tipus de productes, s'utilitzen peces de magre i de greix que, una vegada picades, es barregen amb sal, amb sucres, amb sals nitrificants i amb espècies, són embotides en tripes, artificials o naturals, i són sotmeses a un procés de fermentació i de maduració. Actualment, el control del procés es realitza sobre la base de l'experiència, mitjançant l'opinió d'un expert o a partir de mètodes destructius d'anàlisi. Un control deficient del procés d'assecat pot causar problemes de textura, com, per exemple, l'encrostat superficial (Ordóñez i Hoz, 2001). Aquest defecte de consistència es produeix quan la humitat relativa de l'assecador és molt baixa al principi de l'etapa de maduració, la qual cosa provoca una ràpida deshidratació superficial i la creació d'una crosta que dificulta la pèrdua d'aigua de l'interior del producte. Diversos estudis han relacionat aquests problemes amb diferents paràmetres químics, com és el cas de l'activitat d'aigua, la humitat i el contingut de sal (Arnau, 1998). Per tant, el control d'aquests paràmetres pot ser útil per millorar el procés de maduració. Per a la indústria, és necessari el fet de tenir un control més precís de les diferents fases del procés productiu. Per això hi ha un gran interès a usar equips en línia per predir paràmetres químics durant les etapes de producció.

L'objectiu d'aquest estudi ha estat avaluar la capacitat del NIR per predir el contingut d'humitat i de sal i l'activitat d'aigua a la superfície de llonganisses desenvolupant models de predicció per a aquests paràmetres.

Tecnologia NIR i revisió bibliogràfica

La base de l'espectroscòpia d'infraroig proper (NIR) és la utilització d'una font d'emissió de llum d'una longitud d'ona coneguda (entre 700 i 2.500 nm) que permeti obtenir una imatge de la composició orgànica

de la substància que s'està irradiant. Es tracta d'un mètode d'anàlisi quantitatiu no destructiu, en el qual la llum que s'absorbeix o que es reflecteix es representa gràficament en forma d'espectres; aquests espectres es poden utilitzar per obtenir informació sobre l'estructura i la composició de la mostra. En l'espectroscòpia NIR, és possible el fet de registrar els espectres de mostres sòlides, líquides i gasoses sense cap tractament previ de la mostra. Existeixen diverses maneres de registrar l'espectre NIR: en les mesures en reflectància, els espectres mostren l'energia reflectida per la mateixa mostra i captada pel detector; aquest mètode és l'adequat per a mostres sòlides i semisòlides amb una superfície representativa de la totalitat de la mostra.

La identificació visual d'una substància mitjançant l'observació dels espectres NIR és complicada, ja que aquests estan constituïts per bandes molt amples i normalment solapades. La utilització de mètodes quimiomètrics i de regressió multivariable, juntament amb el desenvolupament de la informàtica, ha permès el desenvolupament de l'espectroscòpia NIR. D'aquesta manera, aquesta tecnologia permet la identificació de mostres, l'anàlisi de barreges complexes sense la necessitat de separacions prèvies i la possibilitat de determinar simultàniament diversos analits.

L'espectroscòpia NIR és un mètode d'anàlisi ràpid, econòmic i no destructiu, l'ús del qual ha augmentat considerablement en els últims anys a causa de la demanda de la indústria. S'ha fet molta recerca en l'avaluació de la composició de la carn i dels productes carnis i s'ha estudiat amb èxit la seva aplicació en línia per determinar paràmetres químics en carn picada de porc (Tøgersen *et al.*, 1999; González-Martín *et al.*, 2002).

La capacitat de l'espectroscòpia NIR per predir els paràmetres químics majoritaris de la carn (contingut d'aigua, proteïnes totals i lípids totals) ha estat àmpliament descrita en nombrosos treballs: en carn de vedella (Eichinger i Beck, 1992; Tø-

gersen *et al.*, 2003; Alomar *et al.*, 2003), de porc (Brøndum *et al.*, 2000; Ortiz-Somovilla *et al.*, 2007), de pollastre i d'aus de corral (Valdes i Summers, 1986; Albeni i Bergoglio, 2001; Berzaghi *et al.*, 2005), de xai (Cozzolino *et al.*, 2000) i de conill (Masonero *et al.*, 1994). Alguns estudis realitzats amb la intenció de correlacionar l'espectroscòpia NIR amb paràmetres com, per exemple, cendres, colesterol i col·lagen (Masonero *et al.*, 1994; Young *et al.*, 1996; Alomar *et al.*, 2003; Berzaghi *et al.*, 2005) no van donar uns resultats satisfactoris. Els resultats descrits posen de manifest la baixa sensibilitat de la tècnica per determinar components minoritaris, tot i que, en algun cas, podria ser a causa de la fiabilitat dels mètodes de referència.

S'ha estudiat la capacitat de l'espectroscòpia NIR per predir característiques tecnològiques com el pH, la capacitat de retenció d'aigua i de color (Liu *et al.*, 2004), les característiques sensorials (Byrne *et al.*, 1998; García-Rey *et al.*, 2005) i en la classificació de la carn en funció de races, de músculs, de categories comercials o de règims alimentaris (Alomar *et al.*, 2003), per diferenciar entre carn fresca i prèviament congelada (Thyholt i Isaksson, 1997) o per detectar frauds (Ding i Xu, 2000). Els resultats varien en funció de cada estudi, però, en general, mostren una capacitat limitada per predir paràmetres tecnològics i una bona capacitat de classificació de les mostres en grups.

En productes crus curats, l'espectroscòpia NIR s'ha utilitzat satisfactòriament per determinar característiques sensorials o de composició química: en pernills (García-Rey *et al.*, 2005; Ortiz *et al.*, 2006) i en embotits (Ortiz-Somovilla *et al.*, 2005; Gaitán-Jurado *et al.*, 2008).

TREBALL EXPERIMENTAL

Fabricació de llonganisses i adquisició d'espectres

Es van fabricar cent noranta-dues llonganisses amb un 70 % de magre d'espatlla i un 30 % de cansalada grassa amb tres continguts diferents

de sal (10, 20 i 30 g/kg). Després de ser embotides, es van penjar en una cambra per a la seva fermentació a 25° C, amb un 90-95 % d'humitat relativa (HR), durant dos dies, fins que el pH va disminuir per sota de 5,0. Posteriorment, una part proporcional de cada grup de salat va ser penjada en tres cambres d'assecatge a 12° C, amb una HR d'un 60-70 %, un 65-80 % i un 75-90 %, durant un període de seixanta-vuit dies, la qual cosa va donar lloc a nou lots de llonganisses.

L'adquisició d'espectres es va realitzar amb un espectrofotòmetre FT-NIR model Matrix-F (Bruker Optik GmbH, Ettlingen, Alemanya). Es van provar dues sondes de fibra òptica per a l'anàlisi en reflectància difusa: sonda IN 268-2 (model Solvias Reflector) de contacte, amb un diàmetre de mesura de 3 mm, i capçal d'il·luminació Q410/A (model Nema 4) sense contacte amb la mostra, a una distància aproximada de 17 cm (la distància òptima segons el fabricant), amb un diàmetre de mesura aproximada de 10 mm (figura 1).

Es van registrar espectres NIR de tres llonganisses de cada grup de salat als zero i als dos dies de procés i tres llonganisses més de cada un dels nou lots d'assecat als cinc, als nou, als vint-i-un, als vint-i-sis, als trenta-

cinc, als cinquanta-un i als seixanta-vuit dies de procés. Després de l'adquisició dels espectres, la superfície de la llonganissa va ser mostrejada realitzant un tall longitudinal de 2 mm d'amplada. A continuació, les mostres van ser envasades al buit i congelades a -20° C. Al final del procés, es van picar les mostres i van ser escanejades de nou amb el NIR, amb l'objectiu d'observar l'efecte del picat en la precisió dels models. Totes les mostres van ser escanejades per quadruplicat amb ambdues sondes, tant en peça sencera com en peça picada. Els espectres es van prendre en mode de reflectància, dels 12.000 cm⁻¹ als 4.000 cm⁻¹.

Una vegada presos els espectres, es van fer les anàlisis fisicoquímiques per duplicat. L'activitat d'aigua (a_w) es va mesurar a 25° C amb un equip Novasina Thermoconstanter TH-500; el contingut d'humitat es va determinar per pèrdua de pes després de vint-i-quatre hores a 103 ± 2° C, i el contingut de NaCl es va determinar amb un titulador potenciomètric 785 DMP Titrino.

Anàlisi de dades i realització dels models

Es van utilitzar el programari OPUS/QUANT, versió 6.0, i el mètode de regressió per mínims quadrats

parcials (PLS) per desenvolupar els models de calibratge i de validació.

Per tal de millorar l'exactitud dels calibratges, les dades espectrals van ser sotmeses a diversos pretractaments espectrals: primera derivada, normalització vectorial (SNV), normalització de mínims i de màxims i correcció de la dispersió multiplicadora (MSC). La millor combinació de pretractament i de regions de calibratge va ser seleccionada segons el valor més baix d'error estàndard de predicció (RMSEP) i intentant usar un nombre limitat de factors PLS, ja que un nombre reduït de transformacions matemàtiques permet relacionar-les millor amb els espectres d'origen.

Les mostres es van dividir equitativament en dos grups (calibratge i validació), de manera que cada grup cobrés la totalitat del rang de valors químics. Els diferents models de calibratge es van crear per predicció externa (Test Set Validation).

Els estadístics usats van ser els errors estàndard de calibratge (RMSEE) i de predicció (RMSEP), els coeficients de determinació en calibratge (R^2_c) i de predicció (R^2_p) i el valor estadístic RPD (relació entre la desviació estàndard de les dades de referència i l'error de predicció). Alguns autors consideren que una equació és acceptable si el valor de RPD és superior a 3 (Conzen, 2006).

RESULTATS I DISCUSSIÓ

El rang de valors químics de les mostres utilitzades tant per al calibratge com per a la validació va ser de 16,77-66,14 % per a la humitat, de 0,754-0,982 % per l' a_w i d'1,07-3,86 % per a NaCl.

La figura 2 mostra una comparació entre els espectres presos amb les dues sondes i en les dues presentacions: peça sencera i mostra superficial picada. El capçal d'il·luminació Q410/A proporciona un major senyal de reflexió respecte de la sonda de contacte a la regió compresa entre els 12.000 i els 7.000 cm⁻¹. Això potser es deu al fet que el primer il·lumina amb més intensitat la mos-

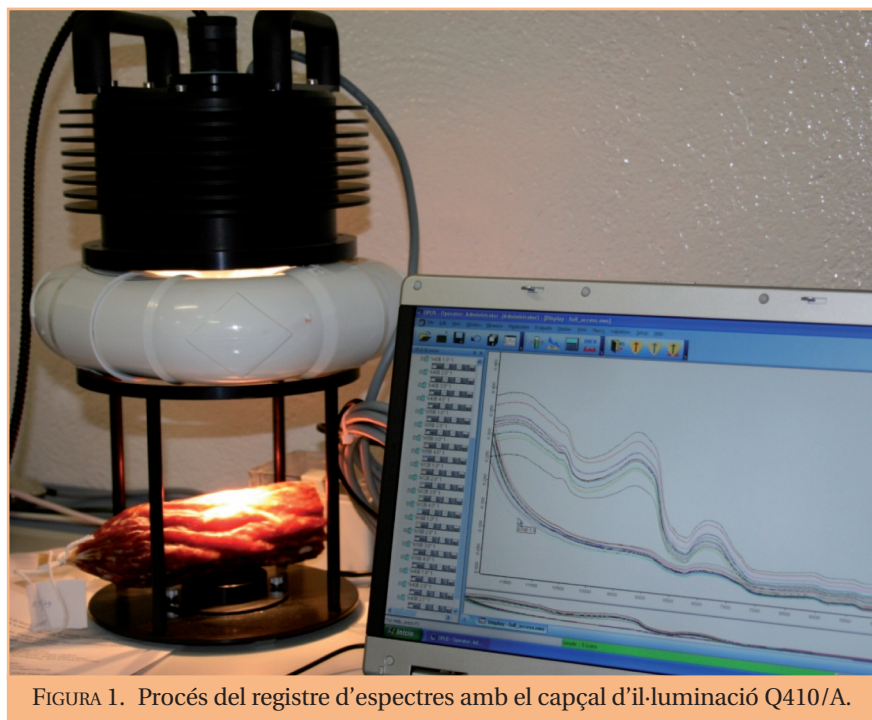


FIGURA 1. Procés del registre d'espectres amb el capçal d'il·luminació Q410/A.

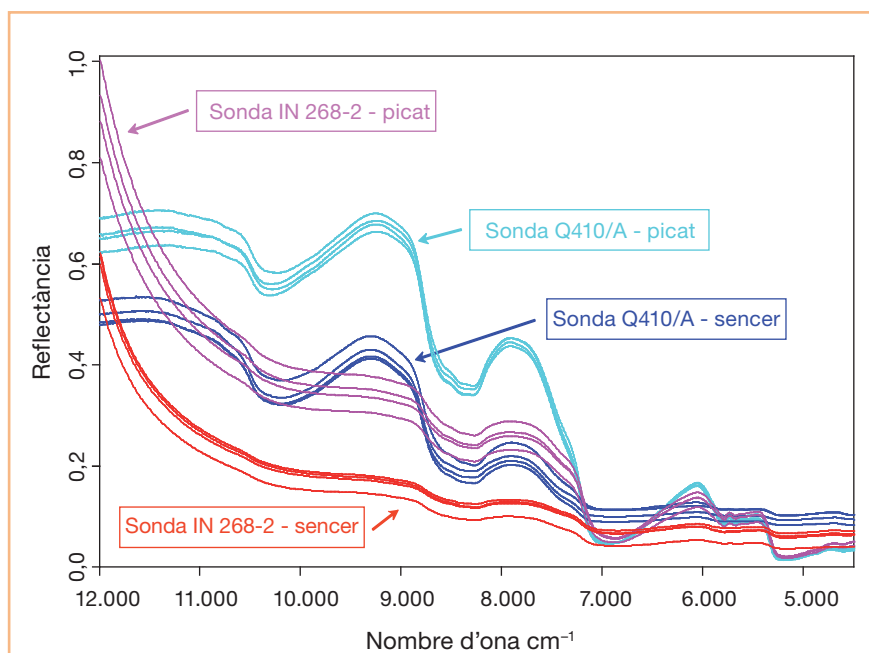


FIGURA 2. Espectres originals obtinguts amb les dues sondes i amb les dues presentacions.

tra i que una part d'aquesta energia no s'absorbeix i retorna com a reflexió especular; una cosa similar passaria amb les mostres picades en relació amb les mostres senceres. A la regió compresa entre els 7.000 i els 4.200 cm^{-1} , els espectres tenen un

comportament similar; aquesta és la regió que s'usa majoritàriament a l'hora de desenvolupar els models.

Als espectres es veuen diverses bandes d'absorció (mostrades a la gràfica com a valls), a 5.153 cm^{-1} i a 6.800-7.000 cm^{-1} , que han estat rela-

cionades per diversos autors amb zones relacionades amb l'aigua (Rød-botten *et al.*, 2000; Cozzolino i Murray, 2002). Visualment, s'aprecien altres zones, a 5.800-5.675 cm^{-1} i a prop dels 8.277 cm^{-1} , relacionades amb el greix (Cozzolino i Murray, 2002; Conzen, 2006).

La taula 1 mostra els resultats de calibratge i de validació. Si s'analitzen els valors de RMSEP, s'observen diferències entre les dues presentacions. Els millors resultats s'obtenen en mostra picada, que milloren els obtinguts amb la mostra intacta; això es deu al fet que molturar les mostres tot disminuint l'heterogeneïtat de mides de partícula provoca una disminució de les diferències entre els espectres d'una mateixa mostra. Conseqüentment, obtenim models més robustos com més homogènia és la mostra. S'observa una disminució de la precisió en aplicar models obtinguts amb peces senceres. Tot i això, aquests models presenten uns $\text{RPD} > 3$ en la majoria dels casos, que és el valor establert per Cozzolino i Murray (2002) com a valor a partir del qual s'obtenen bones prediccions.

Si comparem les dues sondes utilitzades (sonda de contacte IN 268-2

TAULA 1. Estadístics de les equacions seleccionades en calibratge i en validació externa

		Calibratge			Validació			
		RMSEE	R^2_c	RPD	RMSEP	R^2_p	RPD	
Sonda de contacte	Intacte	Humitat (%)	1,810	0,984	7,79	1,860	0,983	7,66
		a_w	0,013	0,948	4,37	0,013	0,948	4,39
		NaCl (%)	0,228	0,902	3,19	0,326	0,804	2,27
	Picat	Humitat (%)	0,691	0,997	19,70	0,678	0,997	19,70
		a_w	0,005	0,991	10,30	0,006	0,988	9,22
		NaCl (%)	0,110	0,978	6,74	0,130	0,969	5,67
Capçal d'il·luminació	Intacte	Humitat (%)	1,470	0,992	10,80	1,560	0,990	9,78
		a_w	0,007	0,986	8,57	0,007	0,984	7,96
		NaCl (%)	0,132	0,969	5,64	0,220	0,910	3,34
	Picat	Humitat (%)	0,563	0,998	24,00	0,622	0,998	21,60
		a_w	0,006	0,987	8,87	0,007	0,985	8,26
		NaCl (%)	0,061	0,993	12,30	0,120	0,972	6,03

i capçal d'il·luminació Q410/A), la sonda d'il·luminació obté models més robustos, probablement a causa de la major quantitat d'energia incident i del fet que l'àrea mostrejada és més gran i, per tant, més representativa de la mostra analitzada.

Per tal de predir els paràmetres químics relacionats amb el procés d'assecat a la superfície de llonganisses en diferents estadis del procés de maduració, és necessari el fet d'utilitzar models amb mostra sencera. Els models que es van utilitzar amb el capçal d'il·luminació Q410/A van obtenir bons resultats ($R^2_p = 0,99$, RMSEP = 1,56 en humitat; $R^2_p = 0,98$, RMSEP = 0,007 en a_w , i $R^2_p = 0,91$, RMSEP = 0,22 en NaCl) analitzant les llonganisses senceres i aplicant solament normalitzacions vectorials.

Els resultats obtinguts en la predicció de la humitat superficial de la mostra picada (RMSEP < 0,7) milloren els obtinguts per Ortiz-Somovilla *et al.* (2007). Quan es tracta de la mostra sencera, l'error és acceptable per al nostre objectiu. No s'han trobat estudis similars per determinar l' a_w de llonganisses mitjançant la tecnologia NIR. L' a_w és un paràmetre físic que està relacionat amb paràmetres com el contingut d'aigua (la predicció del qual per NIR està àmpliament descrita), el contingut de clorur sòdic i altres substàncies afegides, i la matriu càrnia (Comaposada *et al.*, 2000). La relació que existeix entre l' a_w i la duresa del producte (Serra *et al.*, 2005) ens indica que és important el fet de no superar uns certs nivells per evitar la formació d'una crosta resseca a l'exterior. L'error obtingut es considera acceptable per al control del procés d'assecat de llonganisses en un entorn industrial. El contingut en sal és el paràmetre que es pot predir menys acuradament. La radiació NIR no interactua directament amb compostos inorgànics, però aquests es poden determinar indirectament perquè afecten l'enllaç O-H i, consegüentment, modifiquen la forma i la posició de l'espectre a les regions relacionades amb l'aigua. Aquest mateix efecte el

poden causar les variacions de temperatura (Begley *et al.*, 1984), la qual cosa pot afectar la qualitat dels resultats.

CONCLUSIONS

1) La predicció mitjançant NIR dona una aproximació ràpida i fiable del contingut d'humitat i de l' a_w a la superfície de les llonganisses, alhora que dona informació del contingut de sal.

2) La selecció adequada de la sonda millora la predicció de l' a_w a la superfície de les llonganisses.

3) A partir d'aquests models, és possible el fet de desenvolupar un sistema per al control en línia de l'assecat de productes embotits crus-curats.

AGRAÏMENTS

Els autors agraeixen la participació financera de la Comunitat Europea en el VI Programa Marc per a la Recerca, el Desenvolupament Tecnològic i les Activitats de Demostració (projecte Q-PORKCHAINS FOODCT-2007-036245). Les opinions expressades en aquesta publicació són responsabilitat única dels autors i no reflecteixen necessàriament l'opinió de la Comissió Europea. En Carles Collell agraeix a l'Institut Nacional de Investigació y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA) el finançament dels estudis de doctorat a la Universitat de Girona, alhora que agraeix especialment a l'Institut d'Estudis Catalans (IEC) i a l'Associació Catalana de Ciències de l'Alimentació (ACCA) la concessió del Premi per a Estudiants de l'ACCA Sant Jordi 2009.

REFERÈNCIES

ALBENI F.; BERGOGLIO, G. (2001). «Characterization of different strains of broiler chicken carcass measurements, chemical and physical parameters and NIRS on breast muscle». *Meat Science*, 57: 133-137.

ALOMAR, D.; GALLO, C.; CASTANEDA, M.; FUCHSLOCHER, R. (2003). «Chemical and discriminant analysis of bovine meat by near infrared reflectance spectroscopy (NIRS)». *Meat Science*, 63: 441-450.

ARNAU, J. (1998). «Principales problemas tecnológicos en la elaboración del jamón curado». A: *El jamón curado: Tecnología y análisis de consumo. Simposio especial 44th ICoMS*. Barcelona: Eurocarne.

BEGLEY, T. H.; LANZA, E.; NORRIS, K. H.; HRUSCHKA, W. R. (1984). «Determination of sodium chloride in meat by near-infrared diffuse reflectance spectroscopy». *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 32: 904-907.

BERZAGHI, P.; DALLE ZOTTE, A.; JANSSON, L. M.; ANDRIGHETTO, I. (2005). «Near infrared reflectance spectroscopy as a method to predict chemical composition of breast meat and discriminate between different n-3 feeding sources». *Poultry Science*, 84: 128-136.

BRØNDUM, J.; MUNCK, L.; HENCKEL, P.; KARLSSON, A.; TORNBERG, E.; ENGELSEN, S. B. (2000). «Prediction of water-holding capacity and composition of porcine meat by comparative spectroscopy». *Meat Science*, 55: 177-185.

BYRNE, C. E.; DOWNEY, G.; TROY, D. J.; BUCKLEY, D. J. (1998). «Non-destructive prediction of selected quality attributes of beef by near-infrared reflectance spectroscopy between 750 and 1.098 nm». *Meat Science*, 49: 399-409.

COMAPOSADA, J.; GOU, P.; ARNAU, J. (2000). «The effect of sodium chloride content and temperature on pork meat isotherms». *Meat Science*, 55 (3): 291-295.

CONZEN, J. P. (2006). *Multivariate calibration. A practical guide for developing methods in the quantitative analytical chemistry*. Ettlingen: Bruker Optik GmbH.

COZZOLINO, D.; MURRAY, I.; (2002). «Effect of sample presentation and animal muscle species on the analysis of meat by near infrared reflectance spectroscopy». *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, 10: 37-44.

COZZOLINO, D.; MURRAY, I.; SCAIFE, J. R.; PATERSON, R. (2000). «Study of dissected lamb muscles by visible and near infrared reflectance spectroscopy for composition assessment». *Animal Science*, 70: 417-423.

DING, H. B.; XU, R. J. (2000). «Near-infrared technique for detection of beef hamburger adulteration». *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48: 2193-2198.

EICHINGER, H.; BECK, G. (1992). «Possibilities for improving breeding value estima-

- tion of meat quality in cattle by using the near-infrared measurements technique». *Archiv für Tierzucht*, 35: 41-50.
- GAITÁN-JURADO, A. J.; ORTIZ-SOMOVILLA, V.; ESPAÑA-ESPAÑA, F.; PÉREZ-APARICIO, J.; PEDRO-SANZ, E. J. de (2008). «Quantitative analysis of pork dry-cured sausages to quality control by NIR spectroscopy». *Meat Science*, 78: 391-399.
- GARCÍA-REY, R. M.; GARCÍA-OLMO, J.; PEDRO, E. de; QUILES-ZAFRA, R.; LUQUE DE CASTRO, M. D. (2005). «Prediction of texture and colour of dry-cured ham by visible and near infrared spectroscopy using a fiber optic probe». *Meat Science*, 70: 357-363.
- GONZÁLEZ-MARTÍN, I.; GONZÁLEZ-PÉREZ, C.; HERNÁNDEZ-MÉNDEZ, J.; ÁLVAREZ-GARCÍA, N.; MERINO LÁZARO, S. (2002). «Determination of fatty acids in the subcutaneous fat of Iberian breed swine by near infrared spectroscopy. A comparative study of the methods for obtaining total lipids: solvents and melting with microwaves». *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, 10: 257-268.
- LIU, Y. L.; LYON, B. G.; WINDHAM, W. R.; LYON, C. E.; SAVAGE, E. M. (2004). «Prediction of physical, colour and sensory characteristics of broiler breasts by visible/near infrared reflectance spectroscopy». *Poultry Science*, 83: 1467-1474.
- MASONERO, G.; XICCATO, G.; DALLE ZOTTE, A.; PARIGI BINI, R.; BERGOGLIO, G. (1994). «Analysis of freeze-dried rabbit meat by NIRS». *Zootecnica e Nutrizione Animale*, 20: 319-329.
- ORDÓÑEZ, J. A.; HOZ, L. de la (2001). «Embutidos crudos curados. Tipos. Fenómenos madurativos. Alteraciones». A: MARTÍN BEJARANO, S. [ed.]. *Enciclopedia de la carne y de los productos cárnicos*. Vol. 2. Cáceres: Martín & Macías.
- ORTIZ M. C.; SARABIA, L.; GARCÍA-REY, R.; LUQUE DE CASTRO, M. D. (2006). «Sensitivity and specificity of PLS-class modeling for five sensory characteristics of dry-cured ham using visible and near infrared spectroscopy». *Analytica Chimica Acta*, 558: 125-131.
- ORTIZ-SOMOVILLA, V.; ESPAÑA-ESPAÑA, F.; PEDRO-SANZ, E. J. de; GAITÁN-JURADO, A. J. (2005). «Meat mixture detection in iberian pork sausages». *Meat Science*, 71: 490-497.
- ORTIZ-SOMOVILLA, V.; ESPAÑA-ESPAÑA, F.; GAITÁN-JURADO, A. J.; PÉREZ-APARICIO, J.; PEDRO-SANZ, E. J. de (2007). «Proximate analysis of homogenized and minced mass of pork sausages by NIRS». *Food Chemistry*, 101: 1031-1040.
- RØDBOTTEN, R.; NILSEN, B. N.; HILDRUM, K. I. (2000). «Prediction of beef quality attributes from early post mortem near infrared reflectance spectra». *Food Chemistry*, 69: 427-436.
- SERRA, X.; RUIZ-RAMÍREZ, J.; ARNAU, J.; GOU, P. (2005). «Texture parameters of dry-cured ham m. biceps femoris samples dried at different levels as a function of water activity and water content». *Meat Science*, 69: 249-254.
- THYHOLT, K.; ISAKSSON, T. (1997). «Differentiation of frozen and unfrozen beef using near-infrared spectroscopy». *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 73: 525-532.
- TØGERSEN, G.; ARNESEN, J. E.; NILSEN, B. N.; HILDRUM, K. I. (2003). «On-line prediction of chemical composition of semi-frozen ground beef by non-invasive NIR spectroscopy». *Meat Science*, 63: 515-523.
- TØGERSEN, G.; ISAKSSON, T.; NILSEN, B. N.; BAKKER, E. A.; HILDRUM, K. I. (1999). «On-line NIR analysis of fat, water and protein in industrial scale ground meat batches». *Meat Science*, 51: 97-102.
- VALDES, E. V.; SUMMERS, J. D. (1986). «Determination of crude protein and fat in carcass and breast muscle samples of poultry by near infrared reflectance spectroscopy». *Poultry Science*, 65: 485-490.
- YOUNG, O. A.; BERKER, G. J.; FROST, D. A. (1996). «Determination of collagen solubility and concentration in meat by near infrared spectroscopy». *Journal of Muscle Foods*, 7: 377-387.