

# THE INFLUENCE OF THE ELECTROSTIMULATION PROCESS ON POST-MORTEM TRANSFORMATIONS OF THE ENERGY RESERVES OF BEEF MUSCLE<sup>♦</sup>

## L'INFLUENCE DE L'ELECTROSTIMULATION SUR LES TRANSFORMATIONS POST-MORTEM DES RESERVES ENERGETIQUES DU MUSCLE DE BŒUF

**Felicia Dima\*, Camelia Vizireanu**

*"Dunărea de Jos" University of Galați, Faculty of Food Science and  
Engineering, 47 Domnească Street, 800008, Galați, Romania*

\*Corresponding author: [f\\_dima@yahoo.com](mailto:f_dima@yahoo.com)

Received: June 28, 2010

Accepted: September 9, 2010

**Abstract:** The experimental results show that electrical stimulation has a positive effect on the biochemical changes and technological properties of beef meat.

Given the beneficial changes reported in the literature, we used a portable device for electrical stimulation of the beef carcasses that can be used in small size slaughterhouses.

**Keywords:** *beef, electrostimulation, glycogen, total pigment, hemoglobin, metmyoglobin, oxymyoglobin, sensory evaluation*

---

<sup>♦</sup> Paper presented at the 6<sup>th</sup> edition of *Colloque Franco-Roumain de Chimie Appliquée, COFrRoCA 2010*, 7-10 July 2010, Orléans, France

## INTRODUCTION

De nombreuses études scientifiques ont été menées pour tester l'effet de l'utilisation de la stimulation électrique sur la viande. Les rapports décrivent des transformations biochimiques qui peuvent provoquer l'amélioration des qualités technologiques de la viande. La procédure de la stimulation électrique a été appliquée immédiatement après le retrait de la peau, de 20 à 30 minutes après l'abattage. Du point de vue de la qualité sensorielle, la stimulation électrique peut provoquer l'amélioration globale de la couleur de la viande de bœuf [1 – 5]. Les résultats expérimentaux montrent que la stimulation électrique a un effet positif sur les changements des propriétés biochimiques et technologiques de la viande bovine, des changements bénéfiques rapportés dans la littérature [6, 7]. Pour nos expérimentations nous avons utilisé un dispositif portable pour la stimulation électrique des carcasses de bœuf qui peut être utilisée dans les abattoirs de petite taille. Le fonctionnement et la fiabilité de l'appareil ont été testés dans quatre sites existants dans la région de Galați, sur cinq ans.

Les expériences décrites ici montrent la rapide diminution des réserves d'énergie et de pH, l'amélioration de la couleur de viande [8, 9].

## MATERIAUX ET METHODES

L'électrostimulation des demi-carcasses de bœuf a été effectuée en utilisant un appareil portatif, qui a fait l'objet du Brevet d'invention RO/116592 [10]. Les demi-carcasses ont été électrostimulées pendant les 30 minutes après l'abattage, immédiatement après l'enlèvement de la peau.

Des échantillons de viande ont été prélevés que sur des carcasses non stimulés et électrostimulées.

Les méthodes utilisées dans les expériences:

- le **glycogène** a été déterminée en utilisant la méthode Banu [11], donc la réaction de couleur avec antrone et la détermination de l'intensité du couleur avec un spectrophotomètre UV/VIS Spectromètre T80+, PG Instruments LTD, à  $\lambda = 620$  nm;
- le **pH** a été déterminé avec un pH-mètre digital METROHM 702 SM Titrino, sur un extrait aqueux à base de viande 1:10 (w/v);
- la détermination des **pigments totaux** et les proportions relatives des pigments hémoglobinique a été fait avec la méthode Broumand, en utilisant un extrait aqueux à base de viande (1:4; w/v); après une homogénéisation 3 minutes, l'extrait a été mis dans la centrifugeuse et le surnageant obtenu a été utilisé pour transformer les pigments dans des dérivés cyanure-metmyoglobinique par adjonction de cyanure de potassium et de ferricyanure ; la densité optique a été lu avec le spectrophotomètre UV/VIS Spectromètre T80+, PG Instruments LTD, entre 420 et 700 nm;
- **évaluation sensorielle** des échantillons a l'aide des 15 spécialistes, en utilisant une échelle de 1 à 10.

## RESULTATS ET DISCUSSIONS

Les valeurs des expérimentations ont été obtenues de plus de 100 demi-carcasses utilisées dans les déterminations.

On a défini les paramètres de fonctionnement pour l'appareil portatif d'électrostimulation dans le Tableau 1.

*Tableau 1. Paramètres des expérimentations*

Expérience	Tension [V]	Durée totale de l'électrostimulation [s]			Durée des impulsions [s]			Durée de la pause [s]		
I	70	40	50	60	0,5	1,0	1,5	0,5	1,0	1,5
II	80	40	50	60	0,5	1,0	1,5	0,5	1,0	1,5
III	85	40	50	60	0,5	1,0	1,5	0,5	1,0	1,5
IV	90	40	50	60	0,5	1,0	1,5	0,5	1,0	1,5

Electrostimulation affecte l'ultra structure myofibrillaire et la biochimie post-mortem du muscle [9, 12]. Le pH diminue sur l'influence de l'électrostimulation, a cause de l'intensité et l'amplitude de la glycolyse. L'augmentation de l'acidité affecte les protéines de sarcoplasma et aussi la myoglobine, ce qui conduit à la modification des spectres d'absorption des pigments [13, 14]. Sous la stimulation électrique, l'activité enzymatique mitochondriale augmente, ce qui maintient le niveau de la myoglobine ( $\text{Fe}^{2+}$ ) constant et disponibles pour l'oxygénation.

### Détermination du glycogène

Quand l'animal est abattu, la diminution des réserves de glycogène et le niveau de glycogène résiduel dépend de la teneur initiale, la durée de l'abattage et de la température. Il existe des différences significatives entre la dégradation du glycogène dans le tissu musculaire électrostimulé et les échantillons de contrôle, fait qui a été souligné par des chercheurs.

Les déterminations de la quantité de glycogène ont été effectuées sur des échantillons prélevés des demi-carcasses de bœuf électrostimulé, après 1 heure et 24 heures de l'abattage. Les résultats ont été comparés avec les échantillons de contrôle.

Nos déterminations effectuées sur les muscles des quartiers avant de bœuf ont montré une diminution du niveau de glycogène chez aux demi carcasses électrostimulées, en comparaison avec les échantillons de contrôle. Cette diminution a un effet positif sur la maturation de la viande, en évitant "cold shortening" phénomène.

Mais, à la base des résultats obtenus pour la première série d'analyses pour le pH, le niveau de l'ATP et la quantité d'acide lactique, on a décidé que les meilleurs ensembles des paramètres sont pour 85 V et 90 V, une procédure à durée total de 40 secondes (ES-40), 50 secondes (ES-50) et 60 secondes (ES-60), à une durée d'impulsion de 1 s et 1 s pause. L'évolution de la teneur en glycogène en fonction des paramètres établis pour l'électrostimulation et la période post-abattage est présentée dans le Tableau 2.

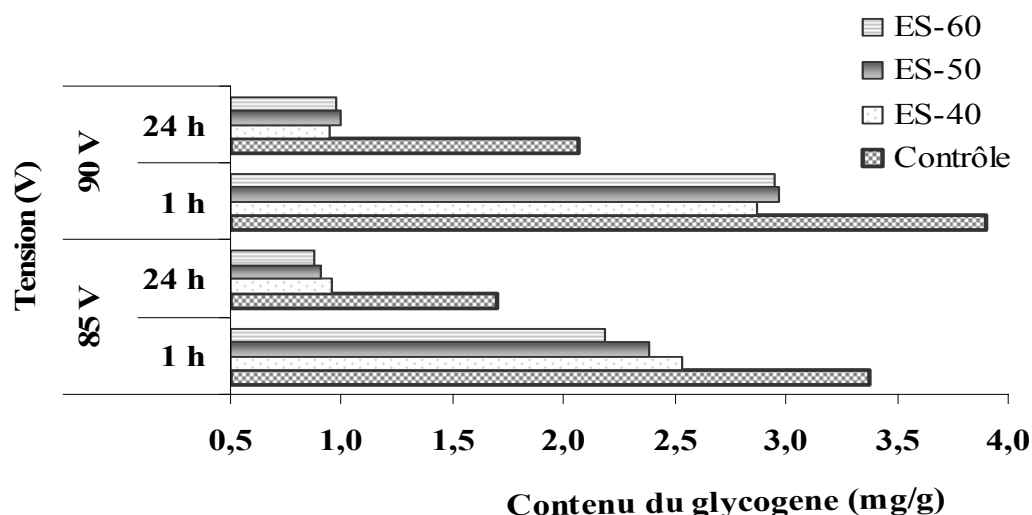
**Tableau 2.** Evolution du contenu de glycogène dans les quartiers avant de bœuf électrostimulés, à 1 heure et 24 heures après l'abattage, (mg.g<sup>-1</sup>)

Tension (V)	ES-40	ES-50	ES-60	Moyenne	Contrôle	Différence
<b>1 heure après l'abattage</b>						
85	2,53	2,38	2,19	2,37	3,38	1,01
90	2,87	2,97	2,95	2,93	3,90	0,97
<b>24 heures après l'abattage</b>						
85	0,96	0,91	0,88	0,92	1,70	0,78
90	0,95	1,00	0,98	0,98	2,07	1,09

Les différences constatées entre le contrôle et les échantillons électrostimulés sont importantes, entre 0,78 mg.g<sup>-1</sup> et 1,09 mg.g<sup>-1</sup> (Figure 1).

Par conséquent, à 1 heure après l'abattage il y a une diminution du glycogène de 29,88% à 85 V et une diminution de 24,87% à 90 V, à partir du contrôle.

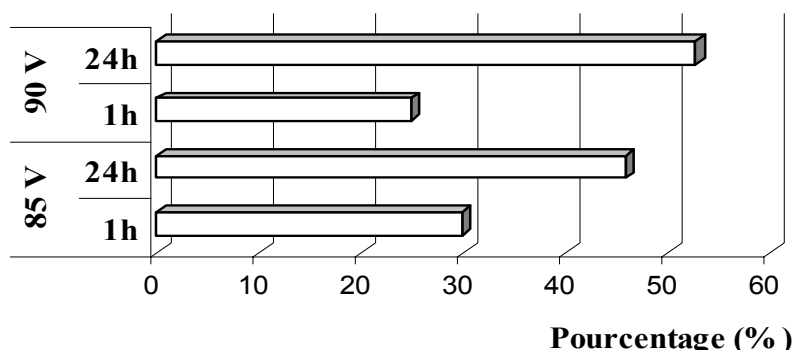
À 24 heures après l'abattage, le niveau de la diminution du glycogène été de 45,88% pour les échantillons électrostimulés à 85 V et de 52,66% pour celles à 90 V, ce qui souligne l'effet positif de l'électrostimulation sur la biochimie du tissu musculaire post abattage.



**Figure 1.** L'évolution du contenu en glycogène, à 1 heure et 24 heures après l'abattage

Nous pouvons également observer une corrélation directe entre la tension appliquée et la teneur en glycogène (Figure 2).

Les résultats montrent que l'électrostimulation détermine une diminution significative de la teneur en glycogène, la rigidité des ensembles de fibres musculaires en plus vite et une réduite durée de rigidité. Les résultats ont été corrélés à ceux liées à la diminution du pH.



**Figure 2.** L'évolution du contenu en glycogène – variation (%)

### Détermination du pH

Des valeurs inférieures à  $pH = 6,0$  ont été obtenues après 4 heures post-abatage pour les demi-carcasses électrostimulées et après 10 heures pour le contrôle. Cela montre que, pour les demi carcasses de contrôle, il y a un risque plus élevé de «cold shortening» pour s'installer, surtout si les demi carcasses sont conservées dans l'air froid à des températures inférieures à  $+10^{\circ}C$ . L'évolution de  $pH$  musculaire est indiquée au Tableau 3.

**Tableau 3.** L'évolution du  $pH$  pendant 24 heures après l'électrostimulation

Durée [h]	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
<b>pH-contrôle</b>	6,87	6,84	6,70	6,50	6,40	6,20	6,00	5,78	5,66	5,58	5,54	5,52	5,51
<b>pH - ES</b>	6,84	6,25	6,05	5,95	5,86	5,70	5,60	5,55	5,52	5,50	5,49	5,48	5,46

Les différences les plus significatives, respectivement une moyenne de 0,37 unités de  $pH$ , ont été remarqués à 3 heures après l'abattage. Il faut mentionner que l'option qui utilise 85 V, une durée de procédure de 50 s, impulsion 1 s et pause 1 s, montre une différence maximale de  $pH$  de 0,74 unités après 4 heures (Figure 3).

Après 24 heures, il y a une baisse significative des valeurs du  $pH$ ,  $pH$  moyenne = 5,40, ce qui représente 6,6% de moins que l'échantillon de contrôle, pour une tension de 85 V appliquées à l'électrostimulation, et de 4,6% au-dessous, pour tension de 90 V.

Il résulte que dans le muscle il ne peut pas s'installer le "cold shortening", même si la température de stockage est inférieure à  $10^{\circ}C$  et la baisse des réserves de l'ATP est en dessous de 50%.

La diminution du  $pH$  est modifiée, en conséquence, avec la tension appliquée et la durée de l'électrostimulation (Tableau 4).

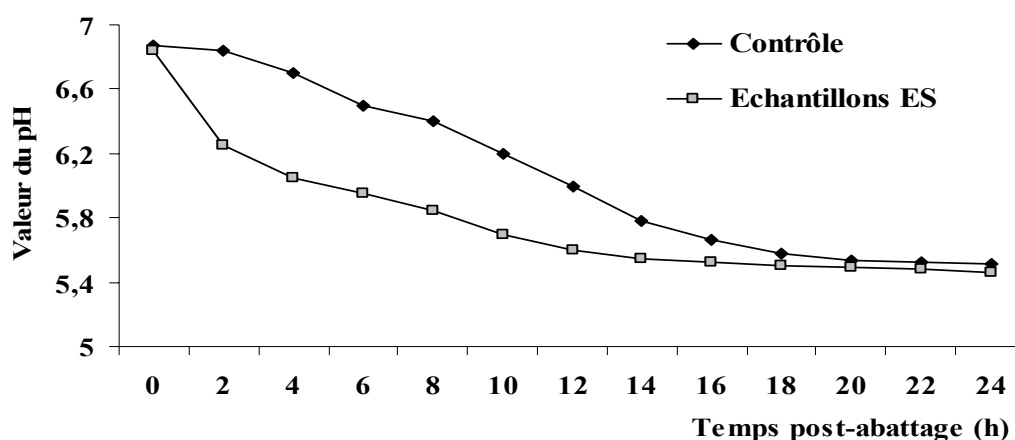


Figure 3. Variation du pH pendant 24 heures après l'électrostimulation à 85 V

Tableau 4. Détermination de pH en fonction de tension appliquée et la durée de la procédure

Tension (V)	Echantions électrostimulées			Contrôle	Différence	
	ES-40	ES-50	ES-60		Value moyenne	[%]
Echantillons à 1 heure post-abatage						
85	6,83	6,81	6,76	6,98	0,18	2,58
90	6,80	6,71	6,72	6,86	0,12	1,75
Echantillons à 3 heures post-abatage						
85	6,23	6,17	6,24	6,75	0,54	8,00
90	6,08	6,14	6,15	6,69	0,57	8,52
Echantillons à 10 heures post-abatage						
85	5,70	5,67	6,65	6,17	0,40	5,97
90	5,75	5,76	5,71	6,08	0,34	5,59
Echantillons à 24 heures post-abatage						
85	5,49	5,40	5,49	5,79	0,19	3,28
90	5,50	5,34	5,50	5,60	0,16	2,86

Nous avons également remarqué une corrélation entre l'évolution de la température et la baisse des valeurs du pH, la température des demi-carcasses de bœuf électrostimulées est différente de cela des demi carcasses de contrôle. Les changements de la température dans les demi-carcasses de bœuf sont indiqués au Tableau 5.

Tableau 5. Variation de la température des carcasses, 24 heures après l'électrostimulation (°C)

Temps [h]	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
<b>Echantillons ES [°C]</b>	37,2	34,1	28,2	22,0	15,0	13,1	11,0	9,3	8,1	7,0	6,1	5,1	4,0
<b>Contrôle [°C]</b>	37,8	31,0	22,1	17,2	12,3	10,1	9,0	7,5	7,0	6,1	5,5	5,0	4,5

Les demi carcasses de contrôle peut avoir la température inférieure à +10 °C seulement après 10 heures de stockage, dans des conditions de réfrigération, tandis que les demi carcasses électrostimulées ont la température supérieure à 14 °C, corroborées avec la chute rapide du pH. Cela pourrait expliquer pourquoi le "cold shortening" n'est pas installé pour les demi-carcasses électrostimulées, qui ont de la rigidité normale aux valeurs de pH moins de 6,0.

### Détermination des pigments totaux

L'analyse des données montre que l'électrostimulation à 85 V n'a pas eu d'effet significatif sur la teneur en pigments totaux dans les jambes de bœuf adulte ou le muscle long dorsal (Tableau 6).

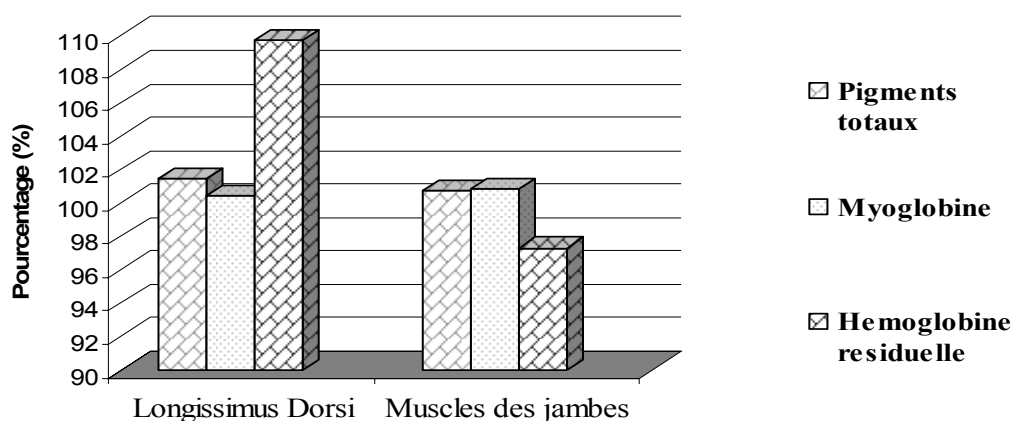
**Tableau 6.** Contenu des pigments totaux, myoglobine et hémoglobine résiduelle [mg.g<sup>-1</sup>]

Parte anatomique, échantillons	Pigments totaux		Myoglobine		Hémoglobine résiduelle	
	Contrôle	ES à 85 V	Contrôle	ES à 85 V	Contrôle	ES à 85 V
<b>Longissimus dorsi</b>						
Échantillons 1	2,85	2,48	2,51	2,94	0,37	0,43
Échantillons 2	2,76	2,53	2,49	2,78	0,23	0,29
Échantillons 3	2,82	2,60	2,56	2,95	0,22	0,39
Échantillons 4	2,78	2,35	2,44	2,69	0,43	0,25
Moyenne	2,80	2,49	2,50	2,84	0,31	0,34
<b>Les muscles des jambes</b>						
Échantillons 1	2,94	2,55	2,54	2,89	0,39	0,35
Échantillons 2	2,85	2,60	2,56	2,99	0,25	0,43
Échantillons 3	3,05	2,68	2,62	2,97	0,37	0,35
Échantillons 4	2,88	2,52	2,64	2,95	0,36	0,31
Moyenne	2,91	2,57	2,59	2,95	0,34	0,36

La variation de la quantité totale des pigments de muscle n'affiche pas des différences importantes, 2,76 – 3,05 mg.g<sup>-1</sup> pour le contrôle et de 2,35 – 2,68 mg.g<sup>-1</sup> pour les échantillons électrostimulées.

Prenant en considération le fait que le saignement des animaux a été réalisée dans des conditions similaires, dans un délai à peu près égal de durée, on a pu noter que la variation du taux de myoglobine et d'hémoglobine dépendre sensiblement selon le type musculaire (Figure 4).

Mais la détermination d'oxymyoglobine nous a offert beaucoup des changements. Les demi-carcasses électrostimulées à 85 V montrent une augmentation de 31,2% du contenu d'oxymyoglobine dans les muscles des jambes et de 40,6% dans *Longissimus dorsi*, en comparaison avec les échantillons de contrôle (Tableau 7).



**Figure 4.** Variation du contenu des pigments dans les différents parts anatomique [%]

Le pourcentage d'augmentation varie de façon significative dans les 4 types d'échantillons analysés (à partir de 4 demi carcasses différentes): entre 29,7 et 56,0% pour le muscle *Longissimus dorsi* et entre 23,1% et 39,0% pour les muscles des jambes.

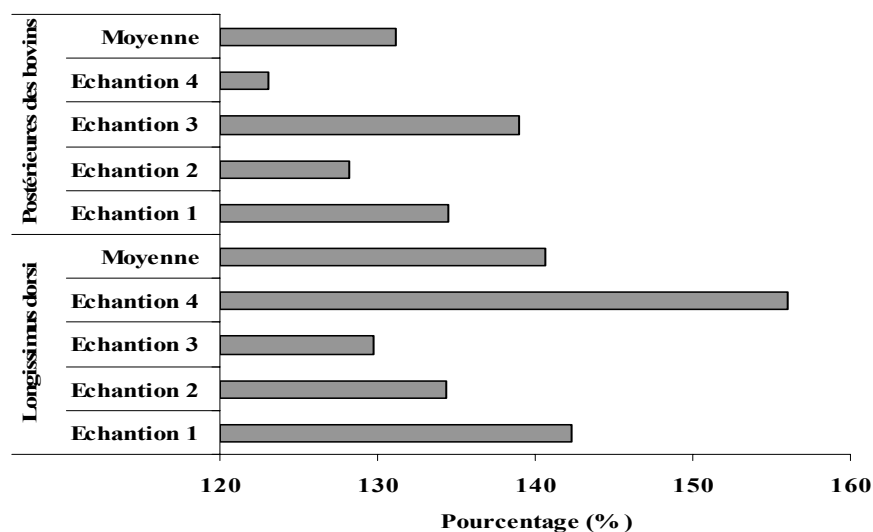
**Tableau 7.** Oxymyoglobine - contenu dans différents tissus musculaire [ $\text{mg.g}^{-1}$ ]

Tissu musculaire	Contrôle	Echantillons ES à 85 V
<b>Longissimus dorsi</b>		
Échantillons 1	0,26	0,37
Échantillons 2	0,32	0,43
Échantillons 3	0,37	0,48
Échantillons 4	0,25	0,39
Moyenne	0,30	0,42
<b>Les muscles des jambes</b>		
Échantillons 1	0,29	0,39
Échantillons 2	0,39	0,50
Échantillons 3	0,41	0,57
Échantillons 4	0,39	0,48
Moyenne	0,37	0,49

Figure 5 nos montrent que les résultats sont relativement proches des résultats trouvés sur le Semimembranossus et *Longissimus dorsi* [13].

Les expérimentations ont montré que, sous l'électrostimulation, la couleur des demi carcasses de bœuf devient plus intense et plus brillant, étant donné de l'augmentation de pigment oxygéné.





**Figure 5.** Variation du contenu de l'oxymyoglobine [%]

Bien que dans la littérature de spécialité se trouvent beaucoup d'explications concernant l'augmentation de l'oxymyoglobine dans le tissu musculaire électrostimulé, les auteurs estiment qu'il y a davantage des facteurs qui conduisent à un effet cumulatif et corrélés, en favorisant la transformation de myoglobine dans oxymyoglobine:

- le degré de réflexion de la lumière est influencé par l'effet du désordre de la faible acidité sur les protéines du tissu musculaire, respectivement sur le niveau d'eau libre;
- la quantité d'eau libre est également renforcée par les modifications dans la structure de sarcomère, puisque l'eau trouvée entre les deux filaments épais est évacuée à l'extérieur des fibres musculaires;
- l'eau des espaces extracellulaires a créé des surfaces haute réfléchissantes.

### Évaluation sensorielle de la couleur

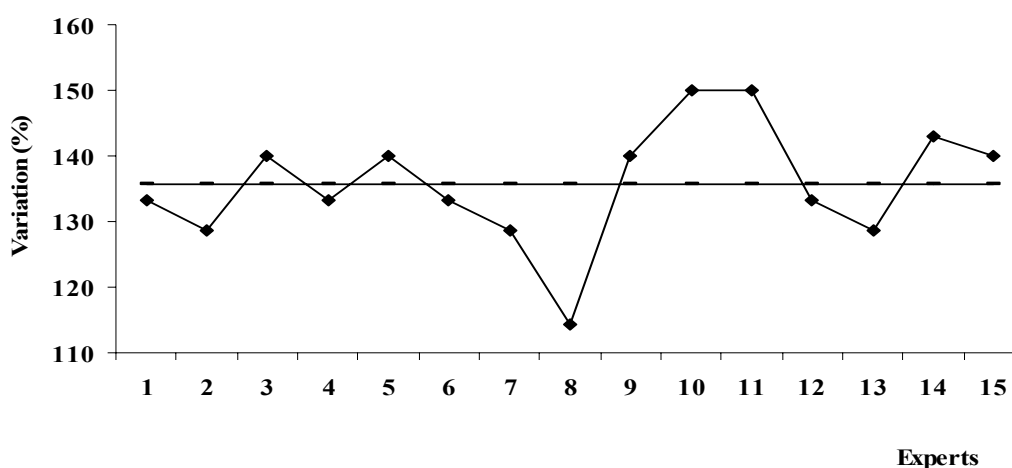
La couleur rouge intense du tissu musculaire des demi carcasses électrostimulées a également été évaluée visuellement, à travers de la méthode des points, par 15 experts dans le domaine, dans une coupée fraîche de la viande de bœuf.

Donc ils ont évalué sur une échelle de 1 à 10 et les résultats sont présentés au Tableau 8.

**Tableau 8.** Appréciation sensorielle de la couleur du tissu musculaire (notes)

Experts	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Contrôle	6	7	5	6	5	6	7	7	5	6	6	7	7	7	5
Echantillons ES à 85V	8	9	7	8	7	8	9	8	7	9	9	8	9	10	7

La variation de couleur des échantillons, électrostimulés et contrôle, a été évaluée par rapport aux standards des couleurs, la moyenne appréciation est de 135,7 % (Figure 6). Dans la figure est présenté le niveau de variation exprimée en pourcentage. En comparant ce test avec les résultats obtenus dans les expériences de laboratoire, on peut remarquer que les appréciations visuelles sont similaires, mais un peu mieux, ce qui renforce la théorie selon laquelle l'influence majeure du degré de réflexion de la lumière a pour résultat une augmentation de la quantité de l'eau libre et les modifications induites par l'électrostimulation dans la structure du sarcomère.



**Figure 6.** *Appréciation de la couleur - évaluation sensorielle [%]*

Même si les appréciations sont relativement différentes, l'examen visuel de la viande de bœuf a confirmé, par sa valeur moyenne, l'amélioration de la couleur de viande.

## CONCLUSIONS

L'électrostimulation effectuée sur les demi-carcasses au moyen d'un appareil portatif, breveté par les auteurs, a induites des transformations dans la structure musculaire de la viande de bœuf, ça représente des avantages par rapport aux échantillons de contrôle.

L'accélération de la glycolyse en suivent à l'application de la stimulation des carcasses de bovins, dans les conditions définies, ont été mises en évidence:

- une diminution du glycogène dans *Longissimus dorsi* muscles, de 30% après 1 heure et 46% après 24 heures post-abattage, en appliquant 85 V;
- une diminution du glycogène dans les muscles de la jambe de 25% à 1 heure et 53% à 24 heures après l'abattage, en appliquant 90 V;
- la chute rapide de *pH* sous la valeur de 6,0, après 4 heures post-abatage pour les échantillons électrostimulés et après 10 heures pour le contrôle; nous avons également remarqué une corrélation entre l'évolution de la température et la baisse de la valeur du *pH* ;
- dans ces conditions a diminuée la possibilité de survenance du phénomène « cold shortening » en termes de stockage à des températures inférieures à 10 °C;

- la variation du taux de myoglobine et d'hémoglobine résiduelle dépendre sensiblement de type des fibres musculaire;
- une augmentation du contenu d'oxymyoglobine entre 29,7 et 56,0% pour le muscle *Longissimus dorsi* et entre 23,1% et 39,0% pour les muscles des jambes, électrostimulées à 85 V;
- l'examen visuel de la viande de bœuf a confirmé l'amélioration de la couleur, les échantillons électrostimulés ont présenté une couleur rouge plus intense et plus brillant, à la cause de l'augmentation de pigment oxygéné.

L'analyse des résultats expérimentaux montre que, certaines des défauts technologiques constatées à la viande de bœuf peuvent être réduites, la qualité globale est accrue et, par conséquent, les pertes économiques par "cold shortening" phénomène peut être évités.

## REFERENCES

1. Bekhit, A.E.D., Faustman, C.: Metmyoglobin reducing activity, *Meat Science*, **2005**, 71 (3), 407–439;
2. Chan, W.K.M., Faustman, C., Yin, M., Decker, E.A.: Lipid oxidation induced by oxymyoglobin and metmyoglobin with involvement of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and superoxide anion, *Meat Science*, **1997**, 46 (2), 181–190;
3. Lee, S., Phillips, A.L., Liebler, D.C., Faustman, C.: Porcine oxymyoglobin and lipid oxidation in vitro, *Meat Science*, **2003**, 63 (2), 241–247;
4. Nanke, K.E., Sebranek, J.G., Olson, D.G.: Color characteristics of irradiated aerobically packaged pork, beef, and turkey, *Journal of Food Science*, **1999**, 64 (2), 272–278;
5. Sorheim, O., Westad, F., Larsen, H., Alvseike, O.: Colour of ground beef as influenced by raw materials, addition of sodium chloride and low oxygen packaging, *Meat Science*, **2009**, 81, 467–473;
6. Simmons, N.J., Daly, C.C., Cummings, T.L., Morgan, S.K., Johnson, N.V., Lombard, A.: Reassessing the principles of electrical stimulation, *Meat Science*, **2008**, 80, 110–122;
7. Pearce, K.L., Hopkins, D.L., Williams, A., Jacob, R.H., Pethick, D.W., Phillips, J.K.: Alternating frequency to increase the response to stimulation from medium voltage electrical stimulation and the effect on objective meat quality, *Meat Science*, **2009**, 81, 188–195;
8. Nam, K.C., Ahn, D.U.: Effects of ascorbic acid and antioxidants on the color of irradiated ground beef, *Journal of Food Science*, **2003**, 68 (5), 1686–1690;
9. García-Segovia, P., Andrés-Bello, A., Martínez-Monzó, J.: Effect of cooking method on mechanical properties, color and structure of beef muscle (M. pectoralis), *Journal of Food Engineering*, **2007**, 80, 813–821;
10. Dima, F., Banu, C., Alexe, P.: Méthode et dispositif pour la stimulation électrique des carcasses de bœuf à semi-basse tension, *Patent RO.116592/2001*, **2001**;
11. Banu, C., Ionescu A., Alexe P.: *Méthodes et techniques des laboratoire pour l'industrie alimentaire*, Université "Dunarea de Jos" Galati, **1989**, Roumanie;
12. Palka, K., Daun, H.: Changes in texture, cooking losses, and myofibrillar structure of bovine M. semitendinosus during heating, *Meat Science*, **1999**, 51, 237–243;
13. Nanke, K.E., Sebranek, J.G., Olson, D.G.: Comparison of assays for metmyoglobin reducing ability in beef inside and outside semimembranosus muscle, *Journal of Food Science*, **2002**, 67 (3), 978–984;
14. Lawrence, T.E., Dikeman, M.E., Hunt, M.C., Kastner, C.L., Johnson, D.E.: Effects of calcium salts on beef longissimus quality, *Meat Science*, **2003**, 64 (3), 299–308;
15. Lawrence, T.E., Dikeman, M.E., Hunt, M.C., Kastner, C.L., Johnson, D.E.: Effects of enhancing beef longissimus with phosphate plus salt, or calcium lactate plus non-phosphate water binders plus rosemary extract, *Meat Science*, **2004**, 67 (1), 129–137;

16. Liu, Y., Chen, Y.R.: Analysis of visible reflectance spectra of stored, cooked and diseased chicken meats, *Meat Science*, **2001**, 58, 395–401;
17. Brewer, S.: Irradiation effects on meat colour- review, *Meat Science*, **2004**, 68 (1), 1–17;
18. Tornberg, E.: Effect of heat on meat proteins - Implications on structure and quality of meat products: A review, *Meat Science*, **2005**, 70, 493–508.