

SEVENTH MEETING OF EUROPEAN MEAT RESEARCH WORKERS
WARSZAWA: SEPTEMBER 18th to 23rd, 1961

THE EFFECT OF FREEZING UPON THE STRUCTURAL CHANGES
OF MEAT

Sonja Karan-Djurdjić

Beograd - Jugoslavija

LES MODIFICATIONS DE LA STRUCTURE DE LA VIANDE
PENDANT LA CONGÉLATION

L'étude des facteurs qui influent sur la structure de la viande pendant sa congélation (grandeur, forme, position et quantité de cristaux de glace, degré d'endommagement des cellules musculaires etc.) présente un intérêt théorique particulier et est aussi un facteur très important de qui dépend la qualité de la viande congelée. C'est pourquoi on trouve dans la littérature à ce sujet de nombreuses données.

PLANK, EHRENBAUM et REUTER 1916. (13) expliquent théoriquement les phénomènes de la formation des cristaux de glace dans la viande congelée et dans les aliments en général. Ils ont constaté que pendant la congélation lente des tissus animaux, une partie de l'eau, par suite de l'osmose, sort des cellules musculaires, s'accumule dans les espaces intercellulaires et s'y congèle en forme de cristaux. Plus la congélation est lente, plus grande est la sortie de l'eau des tissus. Lors de la congélation très rapide l'eau n'a pas de temps de sortir et se congèle dans les cellules mêmes. Ces théorèmes sont restés jusqu'à nos jours la base de toutes les connaissances de la congélation des tissus animaux.

KALLERT (8) a constaté que lors de la congélation très rapide (à -193°C) il se forme un grand nombre de cristaux de glace régulièrement disposés à l'intérieur des fibres-mêmes des muscles. Lors d'une congélation plus lente, le nombre des cristaux est plus petit et leurs dimensions sont plus grandes. Lors de la congélation très lente (à -10°C) les cristaux sont grands; ils sont disposés irrégulièrement et de préférence dans les espaces intercellulaires.

BATE-SMITH (1) soulignent également que la viande, ainsi que les autres systèmes biologiques, présentent une image très différente lors de la congélation rapide, respecti-

vement lente.

CALLOW (4) affirme que les cristaux de glace se forment dans les tissus musculaires morts de préférence hors des fibres musculaires. Ce n'est que pendant la congélation rapide qu'il se produit aussi un grand nombre de centres de cristallisation dans les cellules musculaires.

BENDALL et MARSH (2) sont arrivés à la conclusion que la microstructure des muscles congelés après la raideur postmortelle dépend de la vitesse de congélation. Le tissu musculaire congelé rapidement contient beaucoup de petits cristaux de glace dans les cellules relativement peu endommagées de sorte qu'après la décongélation l'eau reste à la place qu'elle occupait avant. Dans le tissu musculaire congelé lentement, au contraire, les cristaux de glace sont disposés irrégulièrement dans les espaces intercellulaires.

MORAN (10) a fait des expériences avec la congélation de la gélée gélatineuse de différentes concentrations. Il affirme que la vitesse de refroidissement et la concentration de la gélatine influent sur sa microstructure.

Il existe beaucoup de théories qui affirment que les cristaux de glace sont la raison principale de l'endommagement des cellules pendant la congélation. KALLERT (9), par exemple, considère que sous l'action des cristaux de glace il peut se produire une destruction des tissus musculaires. C'est surtout le cas lorsque les tissus sont soumis à la congélation lente, cas dans lequel les cristaux pressent et déforment le sarcolème. Pourtant cet auteur suppose que dans le cas des animaux à sang chaud prédomine, à cause de l'élasticité des tissus, l'endommagement des éléments des tissus de ligament.

CALLOW (4, 5) souligne que les cristaux de glace sont d'autant plus grands que la vitesse de congélation est plus petite, ce qui a pour effet la déformation plus forte des cellules musculaires.

Par une série d'essais MORAN (11) a étudié l'influence du temps critique de congélation, à savoir, la durée de congélation qui ne produit pas encore les changements structurels des tissus, et a constaté que la vitesse optimale du refroidissement de la viande est celle qui baisse sa température de $+5^{\circ}\text{C}$ jusqu'à -5°C dans un délai de 30 minutes.

CALLOW (4) affirme que le volume d'un cristal de glace est d'un onzième plus grand que le volume de l'eau de son origine; cela conduit à l'augmentation de la pression interne (de 13 atmosphères environ) ce qui influe naturellement sur la structure du tissu.

BENDALL et MARSH (2) concluent à la base des études microscopiques, que le sarcolème est endommagé pendant la congélation, ce qui facilite la sortie du liquide de la cellule.

On connaît aussi la théorie de PLANK (14) d'après laquelle pendant la congélation de la viande (c.à d. son exposition à l'influence de températures de plus en plus basses) on peut discerner quatre périodes.

SAVIĆ et DJURDJIĆ (16) soulignent, à la base des études de changements colloïdaux de la viande de bœuf congelé dans les différentes périodes de maturité, les avantages saillants de la congélation de la viande avant la raideur postmortelle, même sans tenir compte du procédé de la décongélation.

La qualité de la viande congelée dépend en grande partie du procédé de la décongélation. La plus grande partie des auteurs (KALLERT, CALLOW, BATE-SMITH, TUCHSCHNEID, JASPER, PIETTRE et autres) recommandent le procédé lent de la décongélation.

CALLOW (5) affirme que la perte de jus pendant la décongélation peut être augmentée par n'importe quel facteur qui influe sur l'augmentation de la viande.

EMPAY (7), SAIR et COOK (15) considèrent que pH de la viande a une influence prépondérante sur la qualité de la viande après la décongélation.

COOK (6) affirme que la quantité de perte du poids pendant la décongélation de la viande varie dépendant de sa vitesse. La perte en général n'existe pas lorsque la congélation est momentanée (p. ex. dans l'air liquide à -193°C) et arrive même jusqu'à 8% et plus, si elle dure plus d'une heure.

SAVIĆ et DJURDJIC (16) affirment que le procédé lent de la décongélation montre des avantages manifestés vis à vis du procédé rapide dans le cas de la viande congelée avant la raideur postmortelle. La décongélation de la viande mûre peut se faire avec le même succès soit par le procédé lent ou rapide.

Le but et la technique du travail

Nous avons donné à notre étude le but suivant:

- examiner l'effet des basses températures sur les changements de structure de la viande mûre ou fraîche c.à d. de la viande congelée après ou avant la raideur post-mortelle.
- examiner l'influence du procédé de la décongélation sur la qualité de la viande mûre ou fraîche.

Les matériaux pour l'étude et leur traitement.-

Pour cette étude nous avons employé la viande provenant de boeufs en état de bonne santé de 4 à 7 ans. Immédiatement après l'abatage nous avons extirpé le musculus glutaeus d'une et d'autre côté de la bête et nous les avons vite transportés au laboratoire.

Le muscle (musc. glutaeus) d'une côté du corps a été préalablement nettoyé des fascies grossières, coupé en pièces et déposé dans des glacières à des températures bien

déterminées. Le temps entre l'abatage et l'exposition de la viande à la congélation n'a jamais dépassé deux heures. Le muscle (musc. gluteus) d'autre côté a été exposé à la température de $+1^{\circ}$ jusqu'à $+3^{\circ}\text{C}$ pendant 24 heures, pour le faire mûrir, et après ce délai nous l'avons préparé de la même manière que le muscle précédent.

La congélation a été faite dans des glacières dans lesquelles il était possible d'atteindre et entretenir la température de 0° jusqu'à -40°C .

La décongélation de la viande congelée a été faite par le procédé rapide et lent. Dans le cas du procédé rapide, après avoir tiré les pièces de viande congelée des glacières, nous les avons exposées directement à la température de $+18^{\circ}\text{C}$ et les avons gardées dans les mêmes conditions jusqu'à l'obtention de la température de $+1^{\circ}\text{C}$ au centre de la pièce; après cela nous les avons conservées à la température de la glacière ($0^{\circ} - 4^{\circ}\text{C}$). La décongélation par le procédé lent a été faite en deux étapes: a/ en exposant la viande à la température de 0° à $+1^{\circ}\text{C}$ jusqu'à l'obtention de la température interne de -1°C et b/ en l'exposant à la température de $+18^{\circ}\text{C}$ à 21°C jusqu'à l'obtention de la température interne de $+1^{\circ}\text{C}$.

L'étude de la disposition et de la grandeur des cristaux de glace dans la viande gelée. - Ces études ont été faites sur des préparations d'une épaisseur de 10 - 15 microns, découpées par le microtom à glissement, de la marque Reichert (No 12 939). La température du microtom a été réduite à la température de l'expérience par le refroidissement graduel pendant les deux jours précédents, afin d'éviter l'emploi de CO_2 . Les feuilles coupées ont été soigneusement déposées par la pince et l'aiguille sur la plaque microscopique - 76 x 26 x 1,2 mm et couvertes par les plaquettes microscopiques - 18 x 18 x 0,17 mm (les plaques et les plaquettes microscopiques ont été préalablement refroidies). Immédiatement après, elles ont été photographiées par l'appareil microphotographique Watson

(No 120622), qui était pendant les deux jours préalables également refroidis graduellement à la température de l'expérimentation.

Par une méthode analogue ont été faits les microphotographies de la viande décongelée.

Résultats obtenus

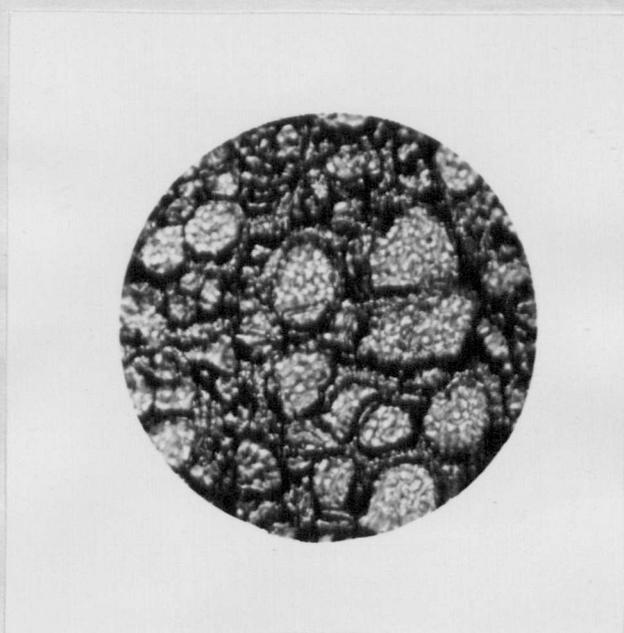


Figure 1. Coupe horizontale de la viande congelée fraîche à -33°C (obj. 40x, ocul. 6x)

La figure 1. nous montre clairement que les cristaux de glace dans la viande congelée immédiatement après l'abattage sont très petits, très nombreux et régulièrement disposés en plus grande partie dans les cellules musculaires mêmes. La forme de la coupe des cellules musculaires est plus ou moins ronde et régulière, ce qui correspond sans doute à la structure granuleuse des cristaux de glace.



Figure 2. Coupe horizontale de la viande mûre congelée à -33°C (obj. 10x, ocul. 6x)



Figure 3. Coupe longitudinale de la viande mûre congelée à -33°C (obj. 10x, ocul. 6x)

Les figures 2 et 3 montrent que les cristaux de glace dans la viande qui est congelée 24 heures après de l'abatage (la viande mûre) sont disposés à l'intérieur mais aussi à l'extérieur des cellules. Ces cristaux sont de grandeur

inégalement et de forme irrégulière; ils sont considérablement plus grands et remplissent la plus grande partie de la fibre musculaire. On voit rarement à la photographie les coupes horizontales des fibres musculaires de forme régulièrement rondes ou ovales, parce que les cristaux grossiers de glace ont considérablement déformé les cellules. Sous la pression des granules de la glace entassée, certaines cellules ont été endommagées, crévées et leur contenu était versé dans les espaces intercellulaires, ce qui a provoqué l'entassement de la glace. (Fig. 3).

Par les résultats obtenus on constate que le degré de mûrissement de la viande est un facteur très important qui influe sur le nombre, la grandeur et la disposition des cristaux de glace pendant la congélation. L'importance du mûrissement devient encore plus grande lorsqu'on prend en considération que dans la pratique actuelle de l'industrie de la viande on

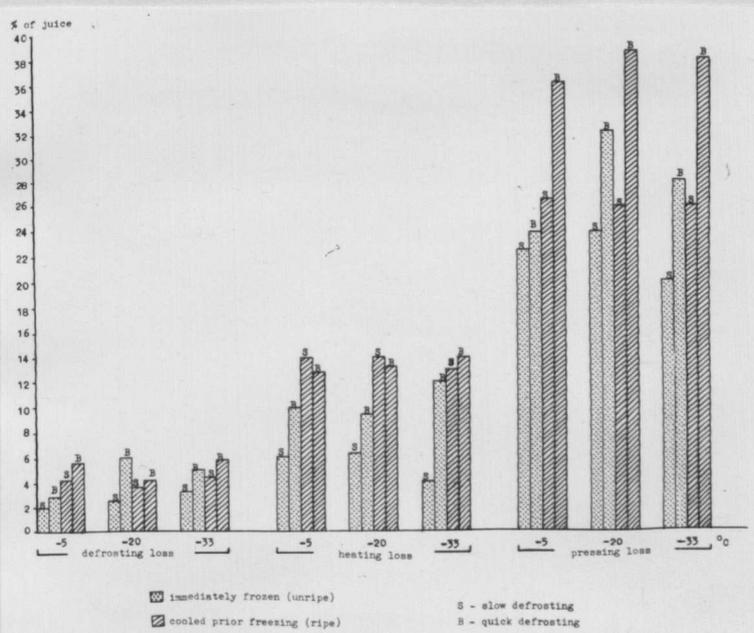


Figure 4. L'influence du degré de mûrissement, du stockage à la température de congélation pendant deux mois et du procédé de décongélation, sur la perte spontanée de jus de la viande, la perte de jus lors du chauffage et de la compression

se sert presque exclusivement du procédé rapide de congélation. La disposition des petits cristaux de glace principalement intracellulaire et régulière, l'aspect des cellules indéformées et les espaces intercellulaires à peine perceptibles (fig. 1), prouvent que dans la viande fraîche se produisent de relativement petites perturbations dans la disposition de l'eau qui s'est trouvée

libre au moment de la congélation ainsi que celle qui a été retirée du colloïde de la viande au cours de congélation. Il en résulte la conclusion que la congélation de la viande fraîche peut avoir une influence favorable sur sa qualité après décongélation. A la même conclusion nous conduisent aussi les résultats montrés par les figures 4. et 5. qui montrent que l'endommagement des qualités colloïdales de la viande congelée à l'état frais est bien plus petit que dans le cas de la viande mûre.

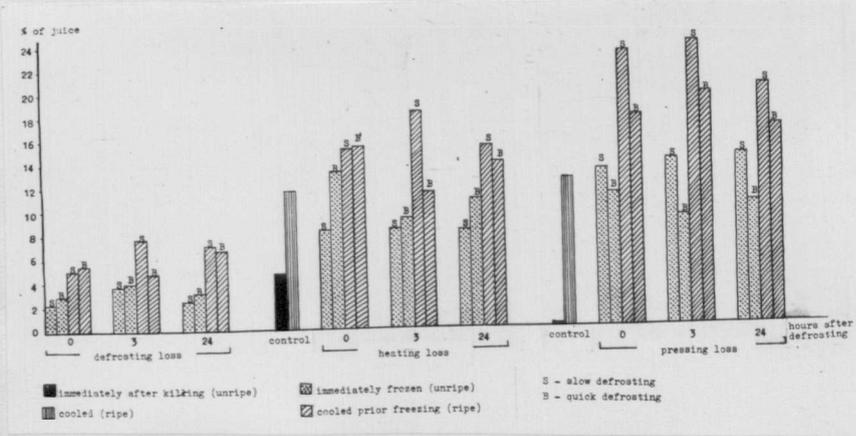


Figure 5. L'influence du degré de mûrissement et du procédé de décongélation sur la perte spontanée de jus et sur la perte de jus pendant l'échauffement et la compression

La viande congelée fraîche, indifféramment était elle en cet état stockée (fig. 4) ou non (fig. 5) et sans tenir compte du procédé de décongélation offre toujours une série d'avantages: une plus petite perte de poids pendant la décongélation, la compression et l'échauffement.

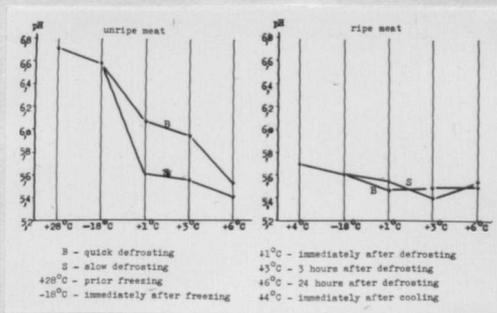


Figure 6. L'influence du degré de mûrissement et du procédé de décongélation sur le changement de la pH de la viande

Complètement en accord avec les changements mentionnés sont aussi les changements de la pH de la viande, congelée avant et après la phase glycolytique de mûrissement (fig. 6). Du fait que pH de la viande mûre est inférieur au moment de sa congélation, on peut conclure que ses protéines miofibrilles

ont en grande partie perdu leur tension électrostatique, ce qui a pour conséquence un plus grand dégonflement. La tension

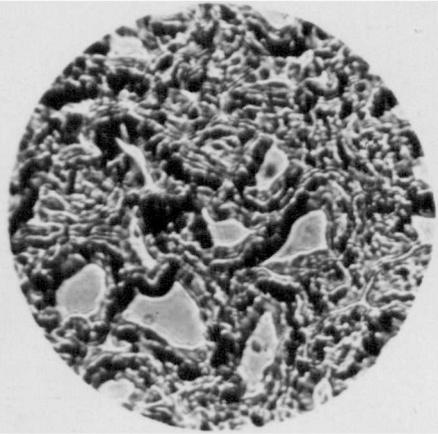
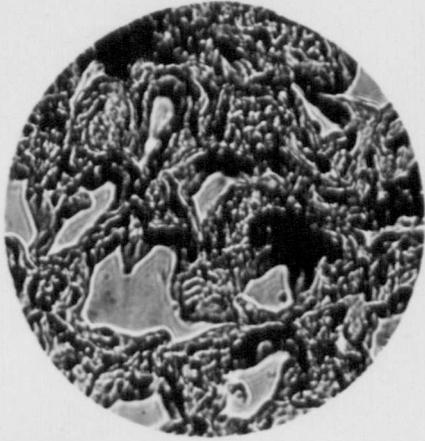


Figure 7. La viande fraîche dégelée par le procédé rapide (obj. 40x, ocul. 6x)

Figure 8. La viande fraîche dégelée par le procédé lent (obj. 40x, ocul. 6x)

relativement haute de la viande fraîche nous indique que ce genre de viande perdra pendant la décongélation moins de jus



Figure 9. La viande mûre dégelée par le procédé rapide (obj. 40x, ocul. 6x)

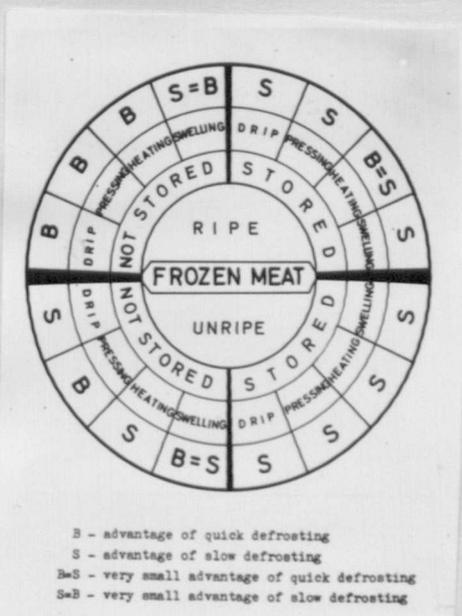
Figure 10. La viande mûre dégelée par le procédé lent (obj. 40x, ocul. 6x)

et qu'elle sera aussi plus appropriée pour le traitement mécanique et thermique et, dans une certaine mesure, encore apte à gonfler.

Une question très intéressante présente le choix du procédé de la congélation de la viande congelé à différentes périodes de mûrissement.

Les prises microphotographiques de la viande congelée à -33°C (jusqu'à l'obtention de la température interne de -18°C) et immédiatement décongelée parallèlement par le procédé rapide et lent montrent qu'en cas de la viande fraîche la décongélation lente est un meilleur procédé; la viande fraîche décongelée par la méthode rapide (fig. 7) montre l'accumulation de jus dans les espaces intercellulaires plus considérable que dans la même viande décongelée par le procédé lent (fig. 8). D'autre part, la viande mûre, décongelée par n'importe quel procédé, ne montre pas de différences essentielles dans la quantité de jus accumulée dans les espaces intercellulaires.

Les avantages de la congélation rapide et lente



sont présentés par un schéma circulaire. Le schéma montre que lors du choix du procédé de la décongélation il faut tenir compte non seulement du degré de mûrissement de la viande avant la congélation, mais aussi, si elle est destinée, à la consommation ou à la fabrication. On voit par ce schéma que le mode de fabrication implique également le choix du procédé de décongélation.

Le choix du procédé de décongélation en ce qui concerne le degré de mûrissement du stockage et du mode de traitement technologique

Conclusion

1. Le degré de mûrissement est le facteur prédominant dans la formation du nombre de centres de cristallisation et de la grandeur des cristaux individuels de glace.

2. Dans la viande congelée fraîche les cristaux très petits et très nombreux sont régulièrement disposés dans les cellules musculaires mêmes. Les cellules musculaires ont gardé leur forme primitive et les espaces intercellulaires sont à peine remarquables.

Dans la viande mûre congelée, les cristaux de glace, quoique de localisation intercellulaire prépondérante, sont beaucoup plus grossiers, ont une forme irrégulière et ne sont pas si nombreux. Les cellules musculaires sont partiellement endommagées et les espaces intercellulaires sont plus grands.

3. La décongélation lente est un meilleur procédé pour la décongélation de la viande fraîche. Dans le cas de la viande mûre ces deux procédés donnent les mêmes résultats.

Littérature

1. Bate-Smith E.C.: The Quick-Freezing of Meat. A Review of some Scientific Aspects. Modern Refrigeration, November 16th 1944, 47, 267.
2. Bendall J.R., Marsh B.B.: The Biochemistry of Muscular Tissue in Relation to Loss of Drip during Freezing. Food Investigation Miscellaneous Paper, 1951, No 35.
3. Bendall J.R.: The Role of the Marsh Factor in Rigor Mortis and Thaw-Rigor. Bull.Inst.Internat.Froid, 1955, Supp.1, 60

4. Callow E.H.: Frozen Meat.
Journal of the Science of Food and Agriculture,
1952, No 4, str. 145.
5. Callow E.H.: Meat-Food Science.
A Symposium on Quality and Preservation of
Foods,
Cambridge, 1952, str. 11.
6. Cook W.: The Mechanism of Freezing and Drying in Food
Products.
Proc.8th Intern.Congr. Refrig., 1951, str. 357.
7. Empey W.A.: Studies on the Refrigeration of Meat. Conditions
Determining the Amount of "Drip" from Frozen
and Thawed Muscle.
J.Soc.Chem.Ind., 52 T, 1933, 230.
8. Kallert E.: Der Einfluss der Gefriereschwindigkeit auf
die Entstehung von Gefrieränderungen im
Muskelgewebe.
Fleisch. u.Milchhygiene, 1923, H. 22, str.197.
9. Kallert E.: Der Einfluss der Gefriereschwindigkeit auf
die Entstehung von Gefrieränderungen im
Muskelgewebe
Fleisch u.Milchhygiene, 1923, H. 23/24, str.
203.
10. Moran T.: The Freezing of Gelatin Gel.
Proc.Roy.Soc., 1926., 112 A, 30.
11. Moran T.: Post-Mortem and Refrigeration Changes in
Meat. Journal of the Society of Chemical
Industry, 1935, May 24, Vol. LIV, No 21,
str. 149.
12. Pieltre M.: Conservation par le froid des denrées
d'origine carnée.
Paris, 1950.
13. Plank R., Ehrenbaum E., Reuter K.: Die Konservierung von
Fischen durch das Gefrierverfahren.
Ztsch. f.d.ges.Kälte-Ind., 1916.
14. Plank R.: Gefrierzeit von Eis und wasserhaltigen
Lebensmitteln Ztsch.f.d.ges.Kälte-Ind., 1916.
15. Sair L., Cook W.H.: Relation of pH to Drip Formation in
Meat.
Can.J.Research, 1938, 16 D, str. 255.
16. Sonja Karan-Djurdjić, I. Savić: Contribution to the
study of influence of autolytic processes
upon the quality of frozen meat,
Sixth Meeting of Meat Research Institutes
Utrecht, august 29th - september 3 rd 1960.

17. Tressler D., Evers C.: The Freezing Preservation of Foods
New York, 1947.
18. Tuchscheid M.W.: Die Kältebehandlung schnellverderblicher Lebensmittel.
Hannover, 1951.