

14<sup>TH</sup>EUROPEAN MEETING  
OF MEAT RESEARCH WORKERS

BRNO, CZECHOSLOVAKIA

AUGUST 26th - 31st 1968

SECTION

B 4

Dipl.Ing.habil. J. Kondratenko

Forschungsinstitut für Fleischwirtschaft - Sofia

Das Gefrieren von Fleisch durch Modulieren der Parameter  
Geschwindigkeit und Temperatur der Luft bei Wärmeaus-  
tausch durch Strahlung

Auf Grund Untersuchungen der Leistungsfähigkeit moderner Tunnel für schnelles Abkühlen von Fleisch und Gegrüertunnels mit Wärmeaustausch durch Strahlung, wurde analytisch die Wirkung der Parameter-Geschwindigkeit und Temperatur der Luft auf die Dauer der einzelnen Perioden - Abkühlung, Einfrieren und Unterkühlung - bei zwei- und einphasigem Gefrieren verschiedener Arten von Fleisch festgestellt.

Es wurde festgestellt, dass während der ersten Periode des Gefrierens - die Abkühlung des Fleisches, hat die Senkung der Temperatur der Luft eine grössere Wirkung auf die Verminderung der Zeitdauer, als das Erhöhen der Luftgeschwindigkeit.

Während der zweiten Periode - das eigentliche Gefrieren, hat das Erhöhen der Luftgeschwindigkeit eine grössere Einwirkung für die Verminderung der Zeitdauer als die Senkung der Lufttemperatur. Dabei hat die Einhaltung niedriger Lufttemperaturen auch eine grosse Bedeutung für die Verminderung der Gefrierdauer und der Gefriereschwindigkeit.

Während der dritten Periode - die Unterkühlung des Fleisches bis zur Endtemperatur des Gefrierens, hat die Senkung der Lufttemperatur eine weit grössere Wirkung auf die Gefrierdauer, als die Erhöhung der Luftgeschwindigkeit.

Diese Resultate sind logisch auch nach folgenden Überlegungen. Bei der Abkühlung des warmen und feuchten Fleisches beim Gefrieren beschleunigt die Senkung der Lufttemperatur und das vergrösserte Temperaturgefälle das Abfallen der Oberflächentemperatur und die Abkühlung des Körpers.

Der Gebrauch von hohen Luftgeschwindigkeiten während der ersten Periode des Gefriervorganges, ist mit höherer Feuchtigkeitsabgabe von der feuchten Oberfläche verbunden, was zu grösseren Gewichtsverlusten resultiert.

Bei dem eigentlichen Gefrierprozess, d.h. beim Phasenwechsel des Wassers muss man die Erstarrungswärme abführen, die den grössten Teil der Wärme beim Gefriervorgang darstellt. Bei erstarrter Oberfläche des Fleisches ist der Gebrauch von hohen Luftgeschwindigkeiten und demzufolge höheren Wärmeabgabezahlen von der Fleischoberfläche zur Luft völlig berechtigt.

Wegen der Erniedrigung der kryoskopischen Temperatur der Säfte im Produkt deren Konzentration ansteigt, ist eine Erniedrigung der Lufttemperatur am Platze um eine entsprechende Temperaturdifferenz zu behalten.

Bei der Unterkühlung der Ware zu der Endtemperatur des Gefrierprozesses verkleinert sich die Temperaturdifferenz zwischen Produkt und Luft. Es ist darum notwendig diese Temperaturdifferenz konstant zu halten oder zu vergrössern, indem man die Lufttemperatur und die Temperatur der Strahlungsflächen absinken lässt. Eine Vergrösserung der Luftgeschwindigkeit hat einen kleineren Nutzen.

Der Wärmeaustausch durch Strahlung beim Abkühlen und Gefrieren der Lebensmittel vergrössert die gesamte Wärme-

austauschzahl und erniedrigt die nötige Luftmenge im Umlauf, was die Energetik des Gefriervorganges verbessert.

Aufbauend auf den erzielten Ergebnissen, wurde ein neues Verfahren entwickelt, das den Namen "moduliertes Gefrieren" bekam. Bei diesem Verfahren, welches eine Weiterentwicklung der Theorie des schnellen Gefrierens von R. PLANK darstellt, werden Parameter die ihre Grösse - Luftgeschwindigkeit und Lufttemperatur während der einzelnen Perioden des Gefriervorganges wechseln.

Im Diagramm 2 sind die Ergebnisse bei Gefrieren von Rindfleisch nach dem klassischen und dem modulierten Verfahren gezeigt.

Im Diagramm 3 ist die Verminderung des Energieverbrauches bei dem modulierten Gefrieren dargestellt.

Im Diagramm 4 sind die Ergebnisse bei dem modulierten Gefrieren von Fleisch bei Luftgeschwindigkeiten von 8m/sek gezeigt. Die praktische Ausnützung solcher Geschwindigkeiten ist bei Gebrauch von Luftdüsen möglich, wobei die Menge der umlaufenden Luft kleiner ist und eine exakte Luftverteilung im Gefriertunnel durchzuführen ist.

Bei zweiphasigem Gefrieren von gekühltem Rindfleisch, wurden bei dem klassischen Gefrieren Gewichtsverluste in Höhe von 0,625 % festgestellt, bei modulierten Gefrieren nur 0,445 %, also um 28,8 % niedriger. Die gesamte Erniedrigung des Energieverbrauches für den Antrieb der Kältemaschine und der Ventilatoren im Gefriertunnel war 25 %.

Bei dem modulierten einphasigen Gefrieren erleichtert sich das Einfahren der Kältemaschine in den normalen Betriebszustand, weil während der ersten Periode des Gefriervorganges die grosse Wärmebelastung des Kältekompressors nicht mit dem Wärmeäquivalent der Ventilatoren des Gefriertunnels belastigt ist. Beim Einschalten der Ventilatoren, was nach dem Abkühlen des Fleisches geschieht,

vergrössert sich die Belastung des Elektromotors des Kompressors, bleibt aber unter seiner Nennleistung. Durch das Modulieren entweicht man die Überlastung des Elektromotors des Kompressors im Anfang des einphasigen Gefrierens und verkürzt die Zeit für das volle Öffnen des Saugventils.

Bei dem klassischen einphasigen Gefrieren von Fleisch, wo bei während des Abkühlens des Fleisches mit hohen Luftgeschwindigkeiten gefahren wird, tritt ein intensives Abführen von grossen Mengen Wasser von seiner Oberfläche. Die Geschwindigkeit der Kristallbildung in der Oberflächenschicht des Fleisches ist auch höher, was zur Bildung kleinerer Eiskristalle führt. Das Fleisch bekommt eine helle, blasse Oberflächenfarbe.

Wegen der kleineren Gewichtsverlusten von der Fleischoberfläche bei dem modulierten Gefrieren, ist die Grösse der Eiskristalle in der Oberflächenschicht bedeutender und das Fleisch im gefrorenen Zustand hat eine frische rote Farbe.

14<sup>TH</sup>EUROPEAN MEETING  
OF MEAT RESEARCH WORKERS

BRNO, CZECHOSLOVAKIA

AUGUST 26th - 31st 1968

SECTION

B 4

Я. КОНДРАТЕНКО

Научно-исследовательский технологический  
институт мясной промышленности, София

ЗАМОРАЖИВАНИЕ МЯСА МЕТОДОМ МОДУЛИРОВАНИЯ  
ПАРАМЕТРОВ СКОРОСТИ И ТЕМПЕРАТУРЫ ОХЛАЖДАЮ-  
ЩЕГО ВОЗДУХА В УСЛОВИЯХ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ ИЗЛУЧЕНИЕМ

Исследуя эффективность современных тоннелей для быстрого охлаждения мяса и морозильных тоннелей с теплопередачей излучением, аналитически было установлено влияние факторов скорости и температуры охлаждающего воздуха на продолжительность отдельных периодов - охлаждение, кристаллизация и переохлаждение - процессов двухфазного и однофазного замораживания различных видов мяса.

Было установлено, что в течение первого периода процесса замораживания - охлаждения мяса, понижение температуры воздуха оказывает большее влияние на сокращение продолжительности процесса, чем повышение скорости воздуха.

В течение второго периода - кристаллизации, повышение скорости воздуха оказывает большее влияние на сокращение продолжительности этого процесса, чем понижение температу-

ры воздуха. При этом, поддержание более низких температур воздуха также существенно влияет на сокращение времени кристаллизации и на скорость замораживания.

В течение третьего периода - переохлаждения мяса до крайней температуры замораживания, понижение температуры воздуха оказывает существенно большее влияние на сокращение продолжительности процесса, чем повышение скорости воздуха.

Эти результаты являются логичными и по следующим соображениям. В процессе охлаждения теплого и влажного мяса при его замораживании, понижение температуры воздуха и увеличение температурного перепада ускоряют понижение поверхностной температуры и охлаждение мяса.

Использование высоких скоростей воздуха в течение первого периода замораживания связано с опасностью увеличения влагоотдачи с поверхности мяса, что приводит к увеличению весовых потерь.

В процессе кристаллизации, т.е. фазового превращения воды мяса в лед, следует отнимать теплоту фазового превращения, являющейся преобладающей частью тепла, которое следует отводить в процессе замораживания. В условиях отвердевшей поверхности продукта, использование повышенных скоростей воздуха и увеличение коэффициента теплоотдачи с поверхности мяса к охлаждающему воздуху вполне оправдано.

Из-за понижения криоскопической температуры сгущающихся соков продукта, которые в процессе кристаллизации

увеличивают свою концентрацию, полезным является также понижение температуры воздуха для поддержания соответствующей температурной разницы.

В процессе переохлаждения продукта к крайней температуре замораживания, температурный перепад между продуктом и воздухом уменьшается. Поэтому необходимо поддерживать или увеличивать этот температурный перепад понижением температуры охлаждающего воздуха или экраном излучения. Увеличение скорости воздуха приносит меньшую пользу.

Радиационный теплообмен (теплообмен излучением) при охлаждении и замораживании пищевых продуктов увеличивает общий коэффициент теплопередачи и снижает необходимое количество воздуха в циркуляции, что ускоряет процесс замораживания.

На основании полученных нами результатов был создан метод, названный "модулированное замораживание". При этом методе, который является развитием теории быстрого замораживания Р.Планка, используются скорость и температура воздуха, меняющие свою интенсивность в течение отдельных периодов процесса замораживания пищевых продуктов.

Нами получены результаты при замораживании мяса методом модулированного замораживания при скорости воздуха 8 м/сек. Практическое использование таких скоростей предполагает применение воздушного душирования посредством сопел, при котором уменьшается количество воздуха

в циркуляции и обеспечивается гомогенное скоростное поле в товарном объеме морозилки.

При двухфазном замораживании охлажденного говяжьего мяса весовые потери при замораживании классическим методом составляли 0,625%, а при модулированном замораживании - 0,445%, т.е. были на 28,8% ниже. Общее уменьшение расхода электроэнергии на привод холодильной машины и вентиляторов морозилки при модулированном замораживании составляло 25%.

При модулированном однофазном замораживании облегчается ввод холодильного компрессора в нормальный рабочий режим, поскольку в течение первого периода замораживания большая тепловая нагрузка на холодильный компрессор не обременяется и тепловым эквивалентом вентиляторов морозилки. Впоследствии, при включении вентиляторов, нагрузка на электромотор компрессора возрастает, но не превышает номинальную мощность. Модулированным замораживанием избегается опасность перегрузки электромотора компрессора в начале однофазного замораживания и сокращается время для полного открывания всасывающего вентиля компрессора.

При однофазном классическом замораживании мяса высокими скоростями воздуха в период охлаждения наступает интенсивный отвод большого количества влаги с его поверхности. Скорость кристаллообразования в поверхностных слоях мяса тоже выше, что приводит к образованию бо-

лее мелких ледяных кристаллов. Это придает замороженному мясу более светлый, бледный цвет.

Из-за меньших весовых потерь с поверхности мяса при однофазном модулированном замораживании, величина ледяных кристаллов в поверхностном слое должна быть больше и мясо в замороженном состоянии имеет более свежий, розовый цвет.