

TEREYAĞI TEKNOLOJİSİ

Tereyağı Üretimi

Tereyağı üretimi, süt yağının bir konsantrasyon işlemidir. Tereyağının bileşiminde, süt kurumaddesini oluşturan öğelerin tümü bulunmaktadır. Ancak, oranları arasında farklılıklar mevcuttur. Örneğin, tereyağı yapımında sütün yağ içeriği yaklaşık 20 misli konsantre edilir, buna karşın yağ dışındaki bileşenlerde azalmalar meydana gelir.

	<u>% Yağ</u>
Süt	4.2
Krema	30-40
Tereyağı	80 (minimum)

Tereyağı üretiminde süt yağının konsantre hale getirilmesi ise üç aşamada olmaktadır:

1. aşama: Separatörden geçirilen sütün, yağsız süt ve krema olarak ayrılması (separasyon işlemi).
2. aşama: Kremanın yayıklanması ve yayıkaltının ortamdan uzaklaştırılması.
3. aşama: Tereyağı granülleri içinde ve arasında kalan suyun belirli miktarının uzaklaştırılması (ön işleme veya malakse işlemi).

Tereyağı üretimi aşağıdaki aşamaları kapsamaktadır;

- a. Kremanın hazırlanması
 - Sütün kabulü
 - Ön ısıtma
 - Yağ separasyonu ve standardizasyonu
- a. Nötralizasyon (1)
- b. Kremanın pastörizasyonu
- c. Koku tutucudan geçirme
- d. Olgunlaştırma
 - Biyolojik olgunlaştırma
 - Fiziksel olgunlaştırma
- f. Isı programı (kristalizasyon) (2)
- g. Yayıklama
- h. Tuzlama (3)
- i. İşleme (malakse)
- j. Paketleme
- k. Depolama

- 1) Yüksek asitli kremaların kullanılması durumunda uygulanır.
- 2) Isı programı, olgunlaştırma işlemini de kapsamaktadır. Bu nedenle klasik yöntemde olgunlaştırma, pastörizasyonu izleyen aşamada gerçekleştirilir. Isı programının uygulanması durumunda, olgunlaştırma anılan aşama içinde yer alır.
- 3) Tuzlu tereyağı üretiminde.

Tereyağının sınıflandırılması

Diğer süt ürünleriyle karşılaştırıldığında tereyağı bileşim bakımından homojen bir nitelik taşır. Üretiminde yararlanılan kremanın olgunlaştırılıp, olgunlaştırılmadığına ve tuzlu, tuzsuz oluşuna bağlı olarak çeşitli tipte tereyağı bulunmaktadır.

	<u>Yayıklama Asitliği</u>
1. Tatlı Krema Tereyağları (Olgunlaştırılmamış krema tereyağları)	> 6.0 pH
2. Ekşi Krema Tereyağları (Olgunlaştırılmış krema tereyağları)	a) 5.0-5.4 pH b) 4.5-4.7

pH

Tuz içeriklerine göre, tereyağları;

- az tuzlu (% 0.5-0.6),
- standart tuzlu (%0.8-1.0),
- extra tuzlu (% 2) olarak gruplandırılmaktadır.

Hammadde özellikleri

Diğer süt ürünlerinde olduğu gibi, tereyağı üretiminde de hammadde niteliği, ürün kalitesi açısından önemli faktördür. Süt, tereyağı üretiminde başlıca hammadde kaynağıdır. Ancak yayıklanacak madde hacmini azaltmak, yayıklama işleminin hızını artırmak, yayıkaltı miktarını dolayısıyla, toplam yağ kaybını azaltmak amacıyla, süttten mekanik yöntemlerle elde edilen "krema" tereyağı üretiminde hammadde olarak kullanılmaktadır. Hammadde kremanın öncelikle bakteriyolojik açıdan belirli nitelikleri taşıması gerekmektedir.

Bakteriyolojik nitelikleri ilaveten kremalarda titrasyon asitliği, lipoliz düzeyi, tat-aroma özelliklerinin kalite kriteri olarak kullanılması önerilmektedir. Doğal asitlik unsurlarının (protein, fosfat, sitrat vb.) büyük bölümünün, separasyon aşamasında yağsız süt fazına geçmesi nedeniyle, kremaların titrasyon asitliği, hammadde sütlere göre biraz daha düşüktür. Örneğin, titrasyon asitliği 8°SH olan süt'den üretilen kremanın titrasyon asitliği yaklaşık 7°SH civarındadır. Uygun olmayan koşullar altında, kremanın astiliğinde artışlar ortaya çıkar. Bazı ülkelerde tereyağı üretiminde kullanılacak kremaların sınıflandırılmasında titrasyon asitliği esas alınmaktadır. Değerlendirmeye göre titrasyon asitliği 8.8 °SH (%0.2 laktik asit)'den yüksek olmayan kremalar I.sınıf, 22.2°SH (%0.5 laktik asit)'den yüksek olmayan kremalar II.sınıf'dır. Temel hammadde olması nedeniyle kremanın normal bileşime sahip kaliteli sütlardan üretilmesi ve üretilen kremanın uygun koşullarda saklanması gerekmektedir.

Krema üretimi için, pratikte iki farklı yöntem uygulanmaktadır. Bunlar;

- a) Pastörizasyonu izleyen aşamada sütün separatörden geçirilerek krema üretimi
- b) Sütün direkt separatörden geçirilmesi, üretilen kremanın pastörize edilmesi

Ancak, tereyağında lipolizin neden olduğu tat bozukluğunu (ransid tat) önlemek amacıyla hammadde olarak kullanılan süt pastörize edilmiş bile olsa, separasyondan sonra kremanın pastörizasyonu önerilmektedir. Çünkü, kremanın soğukta muhafazası birçok mikroorganizma grubunun gelişimini elemine etmesine karşın, psikrofilik bakteriler bu koşullar altında çoğalabilmektedir. Anılan bakteri grubunun sentezlediği lipolitik ve proteolitik enzimler yüksek sıcaklıklarda (130°-140°C) bile stabilitelelerini koruyabilmektedir. Kremanın pastörizasyonunda psikrofilik bakteriler tahrip edilebilmesine karşın bu bakteriler tarafından üretilen enzimler aktivitelerini koruyabilmektedir. Bu nedenle kremanın üretimini izleyen aşamada hemen pastörize edilmesi gerekmektedir. Üretildikten sonra, pastörize edilmeyecekse, krema derhal 2-4°C'ye soğutulmalı ve 24 saat içinde pastörize edilmelidir. İlaveten, üretim ve muhafazası aşamasında kremadaki yağ globül membranı özelliklerini korumalıdır. Süt veya kremadaki yağ globülleri 0.5-20-µm büyüklüğünde olup etrafı fosfolipit-protein yapısında bir membran ile kuşatılmıştır. Membranın herhangi bir nedenle (homojenizasyon, aşırı kesme kuvveti, soğutma/ısıtma vb.) tahrip olması durumunda globül içinde yer alan trigliseridler enzim ile ilişkili hale gelmektedir. Bunun sonucunda trigliseridler hidrolize olarak yağ asitleri serbest hale geçmektedir. Serbest hale geçen yağ asitleri miktarının belirli bir sınır değerinin üzerine çıkması üründe ransid tadın belirginleşmesine neden olmaktadır. Bu nedenlerden ötürü kremanın üretiminde ve muhafazasında uygulanacak mekanik işlemlere (karıştırma, pompalama vb.) özen gösterilmelidir. Örneğin, krema aktarımında pozitif pompalar kullanılarak yağ globül membranının tahrip olması minimum düzeye indirilebilir. İlaveten, krema antibiyotik, dezenfektan, deterjan vb. maddeleri içermemelidir. Bu maddelerin varlığı, kültür aktivitesini olumsuz yönde etkileyerek, olgunlaştırılmış krema tereyağlarında sorunlar yaratır.

Kremanın nötralizasyonu

Klasik tanımlamada, nötralizasyon ortamdaki asitliğin tamamını gidermek anlamında kullanılmasına karşın, tereyağı üretiminde, fazla asitliğin, kremaların pastörizasyon sıcaklığına dayanabileceği bir değere düşürülmesi anlamını taşımaktadır. Diğer bir deyişle krema nötralizasyonu, asitliğin kısmen giderilmesi işlemidir. Tereyağına işlenecek kremanın asitliği yüksek ise, nötralizasyon zorunlu bir

uygulamadır. Bu uygulama ile krema asitliğinin 10-11°SH (yaklaşık % 0.25 süt asidi)'a düşürülmesi gerekmektedir. Ancak, özellikle aşırı nötralizasyon katımıyla daha belirgin olarak ortaya çıkan tat-aroma ve kumluluk diye tanımlanan bazı fiziksel bozukluklar nedeniyle, asitliği 27°SH'dan fazla olan kremaların, üretiminde kullanılması önerilmemektedir.

Nötralizasyonun amaçları

Tereyağı üretiminde, asitliği yüksek kremler kullanıldığında, yayıklama aşamasında, yayıkaltına geçen yağ miktarı fazla olmaktadır. Çünkü, kremada asitliğin gelişmesiyle protein fraksiyonlarından kazein stabilitesini yitirmektedir. Bu fraksiyona ilaveten, pastörizasyon aşamasında serum proteinleri de denatüre olmakta ve doğal niteliklerini kaybeden proteinlerin oluşturdukları yapı içinde, fazla miktarda yağ globülü yer almaktadır. Yayıklama sonucunda, proteinler ve oluşturdukları yapı içinde yer alan yağ globülleri de yayıkaltına geçmekte, dolayısıyla tereyağı randımanı azalmaktadır.

Krema asitliğinin yüksek olması üretilen tereyağının dayanımını olumsuz yönde etkilemektedir. Bu etki, asitlik artışına bağımlı, serum fazındaki bakırın globül membranına taşınarak, oksidasyonda katalitik etkisinden ileri gelmektedir. İlaveten, kremanın pastörizasyonu sonucunda yukarıda açıklanan değişim yani Cu'ın globül membranına taşınması söz konusudur. Dolayısıyla asitliği yüksek kremlerin pastörizasyonunda oksidatif stabilize hızla bozularak üretilen tereyağların bitkisel yağ benzeri bir tada sahip olmasına sebebiyet vermektedir. Nötralizasyon işlemiyle, aşırı asitlik giderildiği için, oksidasyon hızı yavaşlatılmakta, dolayısıyla tereyağların dayanım sürelerinin uzatılması mümkün olabilmektedir.

Krema nötralizasyonunun yararları aşağıdaki gibi özetlenebilir;

- Tereyağının dayanım süresini artırması,
- Tereyağında özgün, tat-aroma gelişiminin olanaklı kılınması,
- Yayıkaltına geçen yağ kaybını azaltması,
- Her zaman aynı kalitede tereyağı üretimini sağlamasıdır.

Nötürlemede kullanılan maddeler

Nötralizasyon işlemi, fazla asitliğin katılan alkali ile birleşip tuz oluşturması prensibine dayanmaktadır. Bu amaçla kullanılacak maddeler, suda kolaylıkla ve yüksek oranda çözünebilirlerdir.

Sodyumlu nötürleyiciler: Suda çabuk ve yüksek oranda çözünebilmeleri nedeniyle nötürleme etkileri oldukça fazladır. Ancak bu grup içinde yer alan bazı alkaller (NaOH gibi), yüksek alkalite özelliklerinden dolayı, proteinlerin çözünmesine sebebiyet vermektedirler. Bu değişim, krema viskozitesinin artmasına ilaveten, bazı tat-aroma bozukluklarının ortaya çıkması sonucunu doğurabilmektedir. Ayrıca, sodyumlu nötralizan maddeler, özellikle işlem anında krema sıcaklığının yüksek olması durumunda yağların sabunlaşmasına, dolayısıyla üretilen tereyağlarında sabun tadının ortaya çıkmasına neden olabilirler. Tat-aroma üzerindeki belirtilen olumsuz etkileri nedeniyle, sodyumlu nötralizan maddelerin kullanılması pek önerilmemektedir. Bu grubun kullanılması halinde, kremlerin koku tutuculardan geçirilmesi gerekmektedir.

Genel olarak, nötralizasyon aşamasında kremadaki süt yağının sabunlaşma nedenleri:

- Aşırı alkali kullanımı,
- Nötürleyici madde konsantrasyonunun yüksekliği,
- Nötürleyici katımının hızlı yapılması
- Krema sıcaklığının yüksek olmasıdır.

Kalsiyumlu nötürleyiciler: Kalsiyum nötürleyicilerin, suda çözünebilme yetenekleri oldukça düşüktür. Ayrıca, kalsiyumun kazeine olan doğal ilgisi nedeniyle, anılan grup ayrıcalık taşımaktadır. Çözünebilme yeteneklerini az olması nedeniyle, çözünmeyen kısım kremanın serum fazında, emülsiyona benzer bir yapıda bulunur ve kazein partiküllerine bağlanma eğilimindedirler. Belirtilen ilişki sonucunda, kalsiyumlu nötürleyiciler, presipitasyona uğratarak kazeinin taneleşmesine ve krema viskozitesinin artmasına sebebiyet verirler. Bu durum, özellikle aşırı miktarda nötralizan madde kullanıldığında meydana gelmektedir. Örneğin, yüksek asitli kremler % 0.5 (6.6°SH) süt asidi düzeyine veya daha altındaki bir

değere nötrülenmeleri ve bunu izleyen aşamada plakalı sistemlerde yüksek derecede pastörize edilmelerinde, viskozitenin artması nedeniyle, kremanın ısıtıcı yüzeylerindeki akışı yavaşlamaktadır. Uygulama süresinin uzaması, kremada yanmaya neden olmakta ve sonuçta üretilen tereyağlarında kumlu bir yapının yanısıra acı, kirecimsi bir tat bozukluğu meydana gelmektedir. Kalsiyumlu nötrleyicilerin kullanımındaki diğer önemli bir sakınca da, yukarıda açıklandığı gibi, kalsiyumun kazeine olan ilişkisinden kaynaklanmaktadır. Kazeine bağlanan, nötralizan maddenin kremanın serum asitliğinin giderilmesinde etkisi bulunmamaktadır. Bu nedenle, krema asitliğinin istenilen düzeye düşürülmesinde, teorik olarak hesaplanan miktardan daha fazla, kalsiyumlu nötrleyicilere gereksinim duyulmaktadır. Konu ile ilgili yürütülen bir çalışmada, asitliği % 0.26 (11.55°SH) süt asidi düzeyine düşürülen kremanın, kurumadde fazındaki kalsiyum içeriğinin, serum fazındakine göre beş kat fazla olduğu bulunmuştur. Bundan dolayı, krema asitliğinin istenilen düzeye düşürmek için eğer kalsiyumlu nötrleyiciler kullanılıyorsa, teorik olarak hesaplanan miktardan yaklaşık % 20-25 daha fazla nötralizan maddenin ortama ilavesi önerilmektedir.

Kremanın nötralizasyonunda, magnezyumlu nötrleyicilerden de yararlanılmaktadır. Suda çözünebilme yetenekleri oldukça iyi olması nedeniyle asitliği giderme etkileri kalsiyumlulardan daha üstündür.

Nötrleyici ilavesi

Kremaya, nötrleyici madde ilavesi son derece özen gösterilmesi gereken bir uygulamadır. Hatta, bu uygulama kullanılan nötrleyici çeşidinden daha fazla önem taşımaktadır. Katım anında krema sıcaklığının yaklaşık 23-32°C civarında olması önerilmektedir. Uygulama anında, yaratacağı sakıncalardan dolayı (yağların sabunlaşması, nötrleyici maddenin proteinlere bağlanması vb.), kremanın aşırı ısıtılmasından kaçınılmalıdır. Yukarıda belirtilen sıcaklıklarda, karıştırılarak homojen hale getirilen kremanın asitliğinden yararlanılarak katılacak alkali miktarı saptanır. Gereksinim duyulan miktar, konsantrasyon % 10 olacak şekilde su içinde çözülür. Bikarbonatlı alkalilerde konsantrasyon % 15'e çıkartılabilir. Nötrleyici solüsyonu, krema karıştırılarak yavaş yavaş ilave edilmelidir. Eğer nötrleyici hızla katılır ve katım anında krema sıcaklığı yüksek ise, sodyumluların kullanıldığında, yağların bir bölümünün sabunlaşması, kalsiyumluların kullanılmasında ise nötrleyici maddenin proteinler tarafından adsorbe edilmesi meydana gelmektedir.

Çifte nötrleme

Titrasyon asitliği 27°SH ve daha fazla olan kremaların nötralizasyonunda, sodyumlu ve kalsiyumlu nötrleyiciler yalnız kullanıldıklarında karşılaşılan tat ve fiziksel bozukluklar gibi bazı sorunları kısmen gidermek amacıyla "çifte nötrleme" uygulanmaktadır. Bu uygulamada kalsiyumlu ve sodyumlu nötrleyiciler bir arada kullanılmaktadır. Krema asitliği öncelikle kalsiyumlu nötrleyici ile 18°SH'a getirilmekte, arkasından sodyumlu nötrleyici ile istenilen düzeye indirilmektedir.

Nötrleyici madde ilavesiyle ilgili örnek problem;

Asitliği 35°SH olan % 75 yağlı 100 kg krema, %0.1 yağlı yağsız süt ile % 30 yağ oranı standardize edilmiştir. Standardizasyon sonrası kremanın asitliği 18°SH saptanmıştır. Bu verilere göre, katılacak nötrleyici madde miktarını hesaplayınız.

Uygulamada, nötrleyici madde olarak NaHCO₃'ün kullanıldığı kabul edilmiştir. Bu tip problemlerin çözümünde yararlanılan formül $(A_1 - A_2) \cdot n \cdot k = A'$ 'dir. Eşitlikte:

A: Katılacak nötrleyici madde miktarı (g)

A₁: Kremanın başlangıç asitliği (°SH)

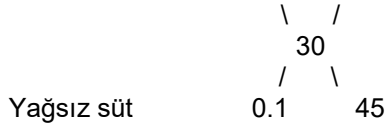
A₂: İstenilen asitlik düzeyi (°SH)

n: 1 kg kremanın asitliğini 1°SH düşürmek için gerekli nötrleyici miktarı (g)

K: toplam krema miktarı (kg)'ni ifade etmektedir.

Çözüm: Öncelikle standardizasyondan sonraki % 30 yağlı krema miktarının bulunması gereklidir. Bu amaçla Pearson karesini kullanabiliriz,

Krema 75 29.9



29.9 kg kremaya 45 kg yağsız süt ilave ediliyorsa,

$$\frac{100 \text{ kg kremaya}}{X} = \frac{X \text{ kg yağsız süt ilave edilecektir.}}{150.5 \text{ kg yağsız süt,}}$$

Toplam krema miktarı ((K)= 100+150.5 = 250.5 kg, bu sonuçlara göre, standardizasyondan sonra elimizde % 30 yağlı 250.5 kg krema bulunmaktadır ve bu kremanın titrasyon asitliği 18°SH dir. Kremanın asitliğini 8°SH'a düşürecekimizi kabul edersek, katılması gereken NaHCO₃ miktarı,

$$A=(18-8). (100+150.5). 0.21^* = 525.05 \text{ g'dır.}$$

*n değeri; NaOH için 0.10 g, Na₂CO₃ için 0.13 g., Ca(OH)₂ için 0.09g., Mg(OH)₂ için 0.07 g'dır.

Kremanın pastörizasyonu

Süreleri değişmekle birlikte, tereyağına işlenecek kremaya HTST pastörizasyon normlarının üzerinde ısı uygulaması yapılmaktadır. Pratikte uygulanan sıcaklık zaman kombinasyonlarında ülkeler arasında da farklılıklar gözlenmektedir. Örneğin Danimarka'da kremanın yüksek sıcaklıkta pastörizasyonu yasal zorunluluktur. İngiltere'de yine yasal olarak krema pastörizasyonunda minimum sıcaklık 72°-76°C arasında değişmekte, süre ise en az 15 s. verilmektedir. Ancak, süreleri değişmekle birlikte, genelde kremaya 85°C veya daha yüksek sıcaklıklarda ısı uygulanmaktadır. Ayrıca yağ oranına bağlı olarak viskozitenin yüksekliği kremanın ısı iletim katsayısını düşürmekte, dolayısıyla ortamda bulunan mikroorganizmalar yüksek sıcaklıklarda tahrip olmaktadır. Söz konusu etken, krema pastörizasyonunda yüksek sıcaklık uygulaması zorunlu kılan faktörlerden biridir.

Konu ile ilgili çalışmalarda önerilen sıcaklık zaman kombinasyonları, aşağıdaki gibidir;

72°-76.7°C/15 s.; 87°C/15 s.;95°-105°C/15 s.; 100°-110°C/ süresiz;
90°-95°C/30 s.; 85°C/ 1 dak.; ≥95°C.

Isı uygulamasının temel amaçları aşağıdaki şekilde özetlenebilir;

- Mikrobiyel bozuklukları önlemek amacıyla, mikroorganizmaların % 99-100'ün imhası (Lethal etki).
- Oksidatif bozulmalarda antioksidan etkiye sahip hidrojen sulfid (sulfidril grupları) gruplarının açığa çıkmasını sağlayarak, oksijen tansiyonunun azaltılması ve böylece tereyağlarında oksidasyon sonucunda ortaya çıkan yağimsı, donyağı gibi tat-aroma bozukluklarının engellenmesi,
- Isıya dayanıklı, özellikle mikrobiyel orijinli lipaz enzimini inaktif duruma getirerek, tereyağlarında ransid tat gelişiminin inhibe edilmesi.
- Bazı durumlarda, yemimsi diye nitelendirilen tat bozukluğunun kısmen önlenmesi. Bu etki, muhtemelen tat bileşenleri ve enzimlerin ısıyla tahrip olmasından kaynaklanmaktadır. Tat bileşenleri ve enzimlerin varlığı bu tip bozulmayı teşvik etmektedir. Isı uygulamasının 110 °C ye ulaşmasıyla bu etki daha da belirginleşmektedir.
- Agglutinin ve peroksidaz enzimi gibi bakterisidler ile bakteriofaj'ların tahrip edilmesi ve dolayısıyla kremanın olgunlaşma koşulları iyileştirilmesi.

Kremadaki kötü tat-koku bileşenlerinin uzaklaştırılması

Hammadde olarak yararlanılan krema arzu edilmeyen tat ve kokuya sahip olduğunda ısı

uygulamasından sonraki aşamada koku tutucudan/gaz alıcıdan geçirilir. Bu uygulama yardımıyla, kötü tat ve kokuya neden olan uçucu bileşenlerin ortamdaki uzaklaştırılması mümkün olmaktadır. Uygulamada sıcaklığı 78-85°C olan krema vakum altında çalışan üniteye alınır (veya buharlaşma yüzeyini genişletmek amacıyla krema üniteye püskürtülür). Vakum altında kremanın yaklaşık 60-62°C'de kaynaması sağlanarak, gaz formuna dönüşen kötü tat ve koku bileşenleri ortamdaki uzaklaştırılır. Anılan uygulama pastörizasyondan önce de gerçekleştirilebilir. Uygulamada 78°C'ye ısıtılan krema vakum kabine (0.5-0.6 atm) pompalanır ve izleyen aşamada plakalı ısı değiştiriciye geri gönderilerek pastörize edilir.

Kremanın olgunlaştırılması

Olgunlaştırma iki farklı amaca yönelik yürütülen bir uygulamadır. Amaçlardan birincisi, karakteristik tat - aroma bileşenlerinin oluşumunun sağlanması (biyolojik olgunlaşma), diğeri ise yayıklamada tereyağı agregatlarının ve granüllerinin oluşabilmesi diğeri bir deyişle yayıklamanın gerçekleşebilmesi için süt yağında yer alan yağ asitlerinin yeterli düzeyde kristalleşmesidir (fiziksel olgunlaştırma).

Biyolojik olgunlaştırma

Kontrollü koşullar altında yürütülen uygulamada, kremaya belirli suşları içeren laktik kültürler ilave edilerek, tat-aroma bileşenlerinin oluşumu sağlanır. Tereyağı üretiminde mezofilik aromatik kültürler kullanılır. Tereyağı üretiminde çoğunlukla kullanılan starter kültürler;

- **Lactococcus lactis* subsp. *lactis*
- **Lactococcus lactis* subsp. *cremoris*
- **Lactococcus lactis* subsp. *lactis* biovar. *diacetylactis*
- **Leuconostoc mesenteroides* subsp. *cremoris* (*Leuc. citrovorum*)

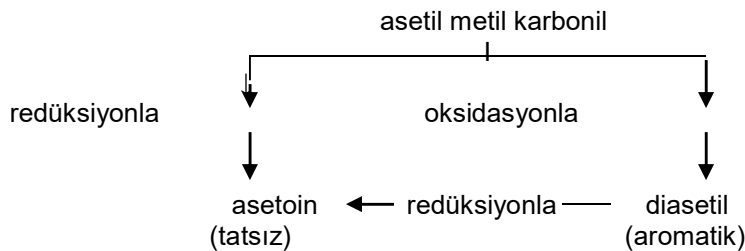
Özetle tereyağı kültürlerinde iki grup bakteri yer almaktadır:

- Asit üreticiler
- Aroma üreticiler.

Mezofilik starter kültürleri, sitrik asidin tamamını, laktozun ise % 17-18'ni fermente edebilmektedir. Ortam pH'sı yaklaşık 4.5 olduğunda, daha yüksek asitliği tolere edememeleri nedeniyle anılan grubun gelişimi yavaşlamaktadır. Sitrik asit fermentasyonunun tamamlanmasına yakın dönemde diasetil/asetoin konsantrasyonu maksimuma ulaşmaktadır.

Tereyağlarında karakteristik tat-aromanın oluşmasında en etkili bileşen diasetil'dir. İlâveten, laktik asit, asetik asit, sitrik asit, karbondioksit, asetaldehit, asetoin gibi bileşikler de tat-aromanın belirginleşmesinde katkıda bulunurlar. Karakteristik tereyağı tat-aroması için gerekli diasetil içeriği 1-2 ppm olarak belirtilmektedir.

Diasetil'in oluşumu özellikle ortamın oksijen tansiyonu ve pH'sı ile ilişkilidir. Olgunlaştırma aşamasında sitrik asit fermentasyonu sonucu oluşan asetil metil karbonil ancak yüksek oksijen tansiyonunda ve yüksek asitlikte (düşük pH) okside alarak diasetil'e dönüşmektedir. Buna karşın, oksijen tansiyonun yetersiz, asitliğin düşük olduğu durumlarda ise, asetil metil karbonil redüksiyona uğrayarak tatsız asetoin'e dönüşmektedir.



Krema asitliğinin belirli bir düzeye ulaşması durumunda olgunlaşma tamamlanır. Ulaşılan pH değerine

göre başlıca iki grup bulunmaktadır:

- a- Olgunlaştırma işlemi 4,5-4,7 pH'da tamamlanan kremalar
- b- Olgunlaştırma işlemi 5,0-5,4 pH'da tamamlanan kremalar

Olgunlaştırma aşamasında tereyağı kültürü kremaya direkt ilave edilmektedir. Uygulama, belirli inkübasyon sıcaklığı, süresi ve inokülüm (ilave edilen kültür) miktarında yürütülmektedir. Tereyağı kütleri için inkübasyon sıcaklığı 16°-22°C inokülüm miktarı ise (bulk kültür kullanılması durumunda) % 3-6 arasında değişim göstermektedir. Inkübasyon sıcaklığı, olgunlaştırma asitliği gibi bir çok faktöre bağımlı değişim sergileyen, olgunlaşma süresi 12 ile 24 saat arasındadır.

Genelde, laktik kültürlerce diasetil, asetaldehit, butanone-2 vb. karbonil bileşenlerinin sentezlenmesi 5.0 ile 4.0 pH arasında gerçekleşir. Bu nedenle, tat-aroma üzerine dominant etkiye sahip karbonil bileşenlerinin fazla miktarda oluşumu için kremanın olgunlaştırılmasında alternatif uygulamalar da önerilmektedir.

Örneğin, birinci aşamada, 21°C'de 5.5 pH'ya kadar asitliği geliştirilen krema, ikinci aşamada 13°C'ye soğutulurak, 4.6 pH'ya kadar olgunlaştırma işlemi sürdürülür. Böylece, yararlanılan kültürün asit üretimine göre daha fazla miktarda karbonil bileşeninin oluşumu sağlanır. Tat-aroma bileşenlerinin miktarı üzerine olgunlaştırma sıcaklığı, olgunlaştırma sonundaki asitlik düzeyi, kültür özellikleri, kremanın yağ oranı vb. birçok faktör etkilidir.

Özetle, olgunlaştırma aşamasında, tereyağı kültürü kremaya ilave edilerek, yukarıda belirtilen koşullarda uygulama sürdürülür. Bu aşamada kremanın sürekli karıştırılması (düşük hızda) gerekmektedir. Böylece, kremanın oksijen tansiyonu artırılarak asetil metil karbonil'in diasetil dönüşümü sağlanır. İlave olarak, sürekli karıştırma kremanın emülsiyon stabilitesinin korunmasında etkilidir. Emülsiyon stabilitesi bozulmuş yani yağ ve serum fazı birbirinden ayrılmış kremalardan üretilen tereyağlarında yapısal bozukluklar (kumumsu yapı) ortaya çıkmaktadır.

Fiziksel olgunlaştırma (Kremanın soğukluk isteği)

Yayıklama aşamasında yağ globüllerinin bir araya gelerek agregatların ve granüllerin oluşabilmesi diğer bir deyişle yayıklamanın gerçekleşebilmesi için süt yağı kompozisyonunda yeralan trigliseridlerin (yağ asitlerinin) kısmen kristal kısmen likit formda bulunması gerekmektedir. Yayıklama bölümünde açıklanacağı gibi yağ globüllerinin bir araya gelmesinde (agregatlaşma) kristallerin varlığı, destek fonksiyonuna sahip kristal yapının oluşumunda önem taşımaktadır.

Kristalleşme (kristalizasyon) iki aşamada gerçekleşir:

- a) kristal çekirdeğin oluşumu
- b) kristallerin büyümesi

Trigliserid molekülleri erimiş durumda yüksek kinetik enerjiye sahiptir. Buna bağımlı her bir molekül hareket edebilme yeteneğindedir. Çünkü molekülleri bir arada tutabilme eğilimini sağlayan moleküller arası kuvvet termal hareketi önleyebilecek düzeyde değildir. Eğer erimiş yağ soğutulursa moleküllerin termal hareketi azalır ve moleküller arası güç (örn. hidrojen bağları, van der Waals kuvvetleri) trigliserid moleküllerini bir araya getirir.

Kristalizasyonun başlatılabilmesi için ortamın soğutulması (süper cooling* derecesine inme) moleküllerin enerjisinin azaltılması gerekmektedir. Özetle, sıcaklığın azaltılması çekirdek oluşumunu, çekirdeğin varlığı ise kristal oluşumunu sağlar. Kristalde, moleküllerin bir araya gelme düzeninin farklılığı nedeniyle birden fazla kristal şekli bir arada bulunabilir. Bu özellik "polimorfizm" olarak tanımlanır. Birçok madde farklı polimorfik formlarda kristalize olur. Bu formlardan sadece bir tanesi, mevcut koşullarda stabil'dir. Diğerleri ise metastabil ve stabil formlara dönüşebilir. Genelde metastabil formlar uzunca bir süre varlıklarını koruyabilirler. Farklı polimorfik formlar, farklı kristal kafes sistemi ve erime noktalarına sahiptirler. Saf gliseridler üç farklı polimorfik modifikasyon sergilerler. Bunlar α , β' ve β 'dir. α kristalleri basit kafes yapısındadır. Moleküllerin birbirlerine yakın olmaması nedeniyle sıkı bir yapı oluşturamazlar. β' ve β kristalleri sıkı (compact) yapıdadır. Genelde α formu en düşük β formu en yüksek stabiliteye

sahiptir. Hızlı soğutmada, başlangıç aşamasında α formu likit fazda reversibil özellikte üretilir. Soğukluk korunduğu takdirde α formu irreversibil olarak β' formuna ve ileriki aşamada ise çok daha stabil olan β formuna dönüşür. Polimorfik formların sergilediği bu özellik nedeniyle, biyolojik olgunlaşmasını tamamlamış krema, yayıklama sıcaklığına (veya daha düşük sıcaklık derecesine) soğutulurak (4° - 7° C) bu sıcaklık derecesinde minimum 4 saat, genellikle 12-16 saat bekletilmelidir. Bu nedenle yayıklama sıcaklığına soğutulan ancak bu sıcaklıkta bekletilmeksizin hemen yayıklanan kremalardan tereyağı üretimi mümkün değildir. Stabil kristal formlarının (β' , β) oluşması için yukarıda belirtilen sıcaklıklarda ve sürede kremanın bekletilmesi zorunludur.

Kremanın soğutulması kristal oluşumuna ilaveten, aşağıda belirtilen özellikler üzerine de etkilidir.

- Starter kültürünün gelişimini engellemek; laktik bakterilerin metabolik aktiviteleri $< 10^{\circ}$ C de oldukça sınırlıdır. Böylece aşırı asit gelişimi gibi olumsuzluklar elemine edilerek, biyolojik olgunlaşma kontrol altında tutulabilirler.
- Yağ kaybını minimuma indirmek; likit yağı bağlayabilme özelliği nedeniyle kristal fazın fazlalığı, yayıkaltı ile verilen yağ kaybı azaltmaktadır.
- Tereyağının kıvamını etkilemek; kristal ve likit faz arasındaki oran kristal şekilleri ve boyutları kıvam (sürülebilme) üzerine etkilidir.
- Aroma bileşenlerinin stabilitesinin sağlanması; örneğin diasetil'in buharlaşma ısı yaklaşık 20° C'dir. Soğutma ile ortamda diasetil'in uzaklaşması engellenir.

*Süper cooling: maddenin soğutulması sırasında ilk kristal çekirdeğin oluştuğu derecedir. Her bir madde için değişik olan bu değer, o maddenin donma noktasının altında bir sıcaklık derecesidir.

Olgunlaştırma asitliğinin tereyağı dayanımına etkisi

Biyolojik olgunlaştırma sonucu kremada ulaşılan asitliğin tereyağı dayanımına etkisi iki yönden incelenebilir;

- Mikrobiyolojik bozulmalar açısından:** Asitlik artışı, bazı kontaminantların gelişimini engellediği için dayanımı olumlu yönde etkilemektedir. Olgunlaştırılmış kremalarda bulunan laktik asit, laktat tuzları, starter bakterileri tarafından oluşturulan antibiyotikler tereyağında bozuk tada neden olan bazı mikroorganizmaların (*Ps.flourescens*, *Ps.putrefaciens* vb.) gelişimini inhibe etmektedir. Ancak, yüksek asitlikte gelişebilen maya ve küflere engel olunamamaktadır.
- Kimyasal bozulmalar açısından:** Olgunlaştırma sonucu kremada asitliğin artması, tereyağında oksidatif stabilitenin azalmasına sebebiyet vermektedir. Çünkü süt veya kremada Cu plazma proteinlerine bağlıdır. Asitliğin artması (pH'nın düşmesi) ile plazma proteinlerine bağlı Cu yağ globül membranına taşınmaktadır. Oksidasyonda dominant etkiye sahip Cu'nun membran proteinlerince adsorbe edilmesi katalitik etki yaparak oksidasyona neden olmaktadır. Bunun sonucunda değişik nitelikte tat-aroma bozuklukları (metalik depo tadı vb.) ortaya çıkmaktadır. Genelde, yayıklama asitliği 6.5 pH olan tatlı krema tereyağlarında oksidatif bozulmaların meydana gelmediği, yayıklama pH'sı 4.8-5.0 olan kremalardan üretilen tereyağlarının, yayıklama pH'sı 4.5 olanlara kıyasla oksidatif stabilitelelerinin (dayanımlarının) daha iyi olduğu belirtilmektedir.

Isı programı (Kristalizasyon)

Klasik yöntemle tereyağı üretiminde olgunlaştırma (biyolojik ve fiziksel) aşamasında bazı değişiklikler yapılarak "ısı programı" adı altında günümüz teknolojisi kapsamına dahil edilmektedir. Uygulamada özellikle soğutma yoğunluğuna bağlı küçük veya büyük kristallerin eldesi amaçlanmaktadır. Böylece tereyağının sürülebilme yeteneği üzerinde önemli etkiye sahip likit yağın kristaller tarafından adsorbe edilebilme düzeyi kontrol altında tutulabilmektedir. Sonuçta, globüllerin dışındaki fazda (sürekli faz) likit yağ miktarı ayarlanarak tereyağının sürülebilme yeteneğinde mevsimlere bağlı değişim elemine edilebilmektedir. İyot sayısı esas alınarak yürütülen bu program kapsamında biyolojik olgunlaştırma da yer almaktadır. Isı programı klasik üretim yöntemindeki olgunlaştırma aşamasının günümüzde uygulanan modifikasyonudur.

Yaz ve kış optimum kıvamda, sürülebilme yeteneğine sahip tereyağı eldesi için, kontrollü koşullar altında yürütülen işlemlere "Isı Programı" veya "Kristalizasyon" denir.

Süt yağının özellikleri, mevsimlere, hayvanın yediği yeme vb. faktörlere bağımlı olarak değişim göstermektedir. Örneğin, ilkbahar, yaz aylarında süt yağının doymamış yağ asitleri içeriği diğer bir deyişle iyot sayısı artarken, sonbahar ve kış aylarında anılan özelliklerde, azalmalar meydana gelmektedir.

Bu değişimlerin doğal sonucu olarak, iyot sayısı yüksek kremalardan üretilen tereyağları normalden daha yumuşak, iyot sayısı düşük kremalardan üretilen tereyağları ise normalden daha sert, hatta kırılğan yapıda olabilmektedir.

Trigliseridlerin bünyesinde yer alan yağ asitlerinin, taşıdıkları karbon sayısına bağımlı olarak, bazı fiziksel özellikleri birbirlerinden farklıdır. Örneğin, oda ısısında bazı yağ asitleri katı, bazıları ise likit formda bulunmaktadır. Genelde yağın büyük bölümünün kristalleşmesi 8°C ile 20°C arasında meydana gelmektedir. Yağ asitleri kompozisyonundaki mevsimsel farklılık katı/likit yağ oranını da etkilemektedir. Bu nedenle kış yağlarında likit yağ oranı 18°C'de % 50 iken, yaz tereyağlarında % 65 civarındadır. Tereyağında yüksek erime noktasına sahip trigliseridlerin katı forma geçme (sertleşme) sıcaklığı, kış mevsiminde 23°C, yazın 20.5°C'dir. Düşük erime noktasına sahip trigliseridlerin ise katı hale geçme sıcaklığı kışın 13°C, yazın 12.5°C'dir.

Pastörizasyon işlemi yağ globülleri içinde yağın sıvılaşmasına, erimesine neden olmaktadır. Bunun arkasında krema soğutulduğunda yağ globülleri içindeki yağın bir kısmı kristalleşmektedir. Soğutmanın hızlı yapılması durumunda kristaller küçük, fakat sayıları fazladır. Soğutma yavaş olduğunda ise, yağ kristalleri büyük, ancak sayıları azalmaktadır. Kristaller arasında erime noktası düşük sıvı formda yağ bulunur. Hızlı bir soğutma işlemi yağın daha fazla bir kısmının kristalize olmasına yani katı fazın artmasına etkili olmaktadır. Bu durum, çok sayıda küçük kristallerin oluşmasına, toplam yüzey alanının artmasına neden olmaktadır. Oluşan kristaller adsorbsiyon yolu ile likit yağı daha fazla tuttuğundan yayıklama ve malakse işleminde yağ globüllerinden az miktarda sıvı yağ açığa çıkmaktadır. Dolayısıyla sürekli yağ fazı daha az olacağından yağ sert olmaktadır. Soğutma yavaş olursa kristaller daha büyük ve az olduğundan, toplam yüzey alanı azalmakta, dolayısıyla daha az sıvı yağ adsorbe edilecek ve böylece yayıklama ve malakse işleminde de daha fazla yağ globüllerden çıkacağından sürekli faz artacak ve tereyağı yumuşak olacaktır.

Isı programında, uygulamada bazı değişiklikler olmasına karşın, yaz ve kış metotları olmak üzere temel iki yöntem esas alınmaktadır. Kış uygulaması 8-19-16 metodu, yaz uygulaması ise 19-16-8 metodu olarak da bilinmektedir. Uygulamada temel prensiplere bağımlı kalınarak, sıcaklık derecelerinde değişiklik yapılabilir.

Kış metodu (8-19-16)

Kültürlenmiş tereyağı üretiminde kış metodunun uygulanması aşağıdaki gibidir:

Pastörizasyondan sonra krema 8°C veya daha düşük sıcaklığa soğutulur. Krema bu sıcaklıkta 2 saat bırakılır. Bu süre içinde yağ kristalizasyonunu geliştirmek amacıyla krema sürekli karıştırılır. Sürenin bitiminde, 25°C'lik ılık su vasıtasıyla kremanın sıcaklığı 18-21°C'ye yükseltilir. Krema sıcaklığı 18-21°C'ye ulaşınca kültür ilave edilir. Kaba kristallerin oluşumundan kaçınmak için krema sıcaklığı 22°C'nin üzerine çıkmamalıdır. 6-8 saatlik bir inkübasyon döneminden sonra, kremanın viskozitesi artar ve pH 5.1-5.2'ye ulaşınca, krema 16°C'ye soğutulur. Belirtilen metodun doğru uygulanması, kış tereyağlarının kıvamı üzerine olumlu etki yapmaktadır. Çünkü uygulama ile düşük erime noktasına sahip gliseridlerin relatif olarak büyük miktarlarda sürekli faza geçmesi sağlanmaktadır.

Uygulamada pastörizasyondan sonra kremanın soğutulmasıyla yağ globüllerinde hızlı bir kristalizasyon başlatılır. İzleyen aşamada ortamın 18-21°C'ye ısıtılması ile kristallerin birçoğu likit forma dönüşür. Bu nedenle ortamdaki kristal sayısı azalır. Kremanın sıcaklığı 16°C'ye indirilir ve bu sıcaklıkta bırakılarak yavaş bir kristalizasyon sağlanır. Böylece mevcut kristallerin etrafında yeni kristaller oluşarak kristallerin büyümesi sağlanır. Oluşan büyük kristaller, likit fazı zayıf bir şekilde bağlar. Bu nedenle likit faz, globüllere uygulanan basınçla membrandan kolaylıkla geçebilirler. Globül dışında çıkan likit faz, sürekli fazın artmasına dolayısıyla üretilen tereyağının kıvamının, klasik yöntemle üretilenlere göre daha yumuşak olmasına sebebiyet verecektir. Son aşamada yani yayıklama öncesinden krema 10-14°C'ye

soğutulur ve yayıklanır.

Yaz metodu (19-16-8)

Kış metodunda, düşük erime noktasına sahip yağların olabildiğince sürekli faza geçmesi amaçlanırken, yaz metodunda anılan grubun sürekli fazdaki miktarının az olması amaçlanır. Böylece tereyağı sıkı bir yapı kazanır. Yaz metodunda, pastörizasyondan sonra krema 19-21°C'ye soğutulur ve bu sıcaklıkta kültür ilave edilerek olgunlaşmaya bırakılır. 5-8 saat arasında süren olgunlaşma döneminde, kremanın pH'sı 5.1-5.2'ye ulaşınca, ortam 14-16°C'ye soğutulur. Bu sıcaklıkta yaklaşık 5 saat bırakılarak, ortam pH'sının 4.8'e ulaşması sağlanır. İzleyen aşamada krema 6-9°C'ye soğutulur. Hızlı bir kristalizasyon sonucu küçük kristallerin oluşması sağlanır. Toplam yüzey alanları büyük olan küçük kristalleri fazla miktarda likit fazı adsorbe ederler. Kuvvetli bir şekilde, kristallere bağlanan likit fazın, mekanik işlemler (yayıklama, malakse) sonucunda sürekli faza geçme miktarı az olduğu için, üretilen tereyağlarının kıvamı, klasik yöntemle üretilenlere göre daha sıkı olmaktadır.

Yaz metodunda, 19 ve 16°C'de çok az veya hiç kristal meydana gelmez. 8°C'ye kadar hızlı soğutma küçük kristallerin oluşumunu sağlar. Kış metodunda ise, 8°C'ye kadar soğutma küçük kristallerin oluşumunu sağlar. 19°C'ye ısıtma ile bazı kristaller erir ve ortamda çok az kristal kalır. 16°C'ye soğutma da, kristal çekirdeklerinin etrafında yeni kristaller oluşarak, kristallerin büyümesine neden olur. Yaz ve kış metodlarından tek bir ısı programından yararlanmak yerine iyot sayısına bağımlı olarak değişiklik yapılabilir.

Yayıklama

Yayıklama aşamasında kremanın tereyağına dönüşümü üç ana başlık altında toplanabilir:

- a) Yağ/su emülsiyonunun bozulması ve destabilizasyonu
- b) Yağ partiküllerinin agregasyonu ve konsantrasyonu
- c) Su/ yağ stabil emülsiyonunun sağlanması (malakse aşamasını da kapsamaktadır)

Genelde, tereyağı oluşumu kremadaki yağ/su emülsiyonunun, su/yağ emülsiyonuna dönüştürülmesini kapsar. Süt/kremada süt serumu (plazması) ve yağ globülleri yağ/su emülsiyon tipine bir örnektir. Emülsiyonlar, birbirleriyle karışmayan en az iki sıvıdan birinin diğeri içinde bir emülgatör yardımıyla damlacıklar halinde dağılması ile oluşan homojen görünümle heterojen dispers sistemlerdir. Globüller halinde dağılan faza "dispers faz veya iç faz" içinde dağıldığı ortama "dispersiyon ortamı veya dış faz" adı verilir. Ancak bilindiği gibi, süt yağı serum fazı içinde globüler (yuvarlak) formda bulunur. Bu formda bulunması "yüzey tansiyonu/gerilimi"nin bir sonucudur. Moleküller arası çekim kuvvetleri nedeniyle ortaya çıkan yüzey gerilimi likitlerin başlıca özelliklerinden biridir. Bir sıvı damlasında sıvı kitlesi içindeki herhangi bir molekül kendini çevreleyen moleküllerce bütün yönlerde eşit çekim kuvvetinin (kohezyon) etkisi altındadır. Ara yüzeylerdeki (sıvı/sıvı; sıvı/hava) bir molekül ise iki farklı çekim kuvvetinin etkisi altındadır. Birincisi, ait olduğu sıvının diğer moleküllerince yani kohezyon çekim kuvvetleri nedeniyle iç tarafa, ikinci ise ara fazın diğer fazını oluşturan moleküllerce ara yüzeyde yer alan molekül dışa doğru çekilmektedir (adhezyon). Dolayısıyla ara yüzeylerdeki moleküller dengesiz çekim kuvvetlerinin tesiri altındadır. Kohezyon > adhezyon olduğunda yüzeylerdeki molekülleri sıvının içine doğru çeken bir kuvvet meydana gelir, ve sıvı birim hacimde en küçük yüzey alanına sahip küresel bir şekil alır. İlaveten sıvının yüzeyinde gergin bir zar oluşur. Özetle, kohezyon ve adhezyon çekim kuvvetleri arasındaki fark, emülsiyon stabilitesini belirleyici en önemli parametredir. Sıvı/sıvı arafazında gerilim sıvı fazların birbirine karışması engelleyen bir kuvvettir. İki sıvı faz arasında arayüzey gerilimi ne kadar büyük ise, bu fazlardan birinin diğeri içinde dağılması için gerekli enerji okadar fazladır. Emülsiyonlar termodinamik açıdan kararsızlardır. Son aşamada yağ ve serum/plazma fazları birbirinden ayrılırlar.

Süt/krema emülsiyon stabilitesinin korunmasında, diğer bir ifade ile yağ globüllerinin bir araya gelerek faz ayrışması (yağ ve serum fazı) engelleyen bazı faktörler bulunmaktadır. Bunlar;

- Yağ globül membranı; fosfolipit, protein kompleksinden oluşan membran globüllerin etraflarını kuşatarak onların birleşmelerini-bir araya gelmelerini önler

- Yağ globül membranında yeralan yüzey aktif maddeler (fosfolipit, proteinler vb.). Anılan maddeler yüzey gerilimini azaltarak emülsiyonlarda stabilitenin korunmasında katkıda bulunur.
- Yağ globüllerinin elektriksel yükü; globül yüzeyinde yeralan protein, fosfolipit vb.leri suda iyonlaşabilen (COO⁻) gruplarına sahip olmalarından kaynaklanır. Negatif elektrik yüklü globüller arasındaki elektriksel itmeler, birleşmeyi önlemektedir.
- Yağ globül membranında bulunan glikoproteinlerin hidrofilik özellikteki karbonhidrat kısımlarının bağladığı su molekülleri de stabilitenin korunmasında etkilidir.

Kremadaki yağ/su emülsiyonunun bozulması için ön koşullar;

- Yağ fazının kısmen katı (kristal), kısmen likit formda bulunması,
- Yağ globül membranının tahrip edilmesi ya da zayıflatılması,
- Mekanik olarak kesme kuvvetinin uygulanmasıdır.

Yayıklamanın gerçekleşebilmesi için kristal ve likit yağ fazları arasında denge bulunmalıdır. Yağ fazlarının tamamen likit veya tamamen kristal formda bulunması halinde yayıklama işlemi gerçekleştirilemez.

Yayıklamada kristal yağ fazı önemli iki görevi bulunmaktadır. Birincisi, yağ globül membranının elastikiyetinin azalması ve buna bağımlı mekanik etki ile kolayca tahrip olması, ikincisi ise agregatların oluşumunda destek fonksiyonuna sahip kristal yapının oluşumudur. Likit yağ fazı ise koruyucu membranını kısmen kaybetmiş veya zayıflamış globüller arasında “yapıştırıcı” fonksiyonuna sahiptir.

Kristal ve likit fazların yağ globülleri içinde yer alma düzenleri belirli özellikleri sergiler. Kristal faz yağ globül membranının iç çeperlerinde, likit faz ise merkezde yer alır.

Globül membranının tahrip edilmesinde veya zayıflatılmasında etkili diğer faktör ise yağ globül membranının yüzey aktif madde özelliği taşımasıdır. Membran materyalinin bir bölümü fosfolipitler (örn: lesitin) gibi, yağ ve suda bir bölümü ise glikoproteinler gibi suda çözünebilir gruplara sahiptirler.

Anılan maddeler, molekül yapılarında yeralan gruplara bağımlı, su-yağ ve su-hava arayüzeylerinde pozisyon arayacaklardır.

Yayıklamada ortaya çıkan değişimleri açıklamaya yönelik birçok teori ileri sürülmüştür. Bunlar içinde “köpük teorisi” diğerlerine kıyasla daha tatminkar açıklamalar ve yorumlar getirmektedir. Yayıklamanın önkoşulu olarak belirtilen kesme kuvveti yayığın dönme hareketi ile sağlanmaktadır. Bu aşamada havanın kremaya karışması ile yüzey aktif madde-hava interaksyonu gerçekleşerek, köpük oluşmaktadır. Yayıklama paralel oluşan köpüğün giderek yoğunluk kazanması ve yüzey gerilimini artması, yağ globül yüzeylerinden membran materyalinin (fosfolipit, glikoprotein v.b) uzaklaştırarak, membranın zayıflamasına neden olmaktadır. İlâveten köpüğün yüzey geriliminin artmasından dolayı, yağ globülleri köpük içine çekilmekte böylece köpük içinde yağ globülleri konsantre hale gelmektedir. Yayıklama devam ederken, köpüğü oluşturan protein parçacıkları bünyelerindeki suyu dışarı vererek, giderek küçülmektedirler. Bu küçülme nedeniyle sıkı bir yapı kazanan köpük içinde bulunan yağ globüllerine basınç uygulanmaktadır. Yayığın dönmesinin yarattığı mekanik etki ve köpüğün uyguladığı basınç nedeniyle yağ globüllerinde bulunan likit yağ membranın zayıflayan kısımlarında veya lesitin köprücükleri vasıtasıyla globül dışına çıkarak su/hava arayüzeylerinde yayılacaklardır. Bu değişim yağ globüllerinin likit faz yardımıyla biraraya gelmelerini sağlamaktadır. Diğer bir deyişle likit faz “yapıştırıcı” fonksiyonuna sahiptir. Sonuçta tereyağı agregatları ileri aşamada ise granüller oluşmaktadır.

Yukarıda açıklandığı gibi yayıklamada kristal yağ fazın önemli görevleri bulunmaktadır. Yağ globülleri etrafında bir tabaka oluşturan kristal faz yağ globülleri üzerine uygulanan basınç nedeniyle membrana nüfuz ederek tahribata sebebiyet vermektedir. Tahrip olan veya zayıflayan bölgelerden likit yağ kolaylıkla dışarı çıkabilmektedir.

Özetle, yayıklamanın gerçekleşebilmesi için likit ve kristal yağ fazları arasında bir dengenin bulunması zorunluluktur. Nitekim yayıklama sıcaklığının optimum değerinin altında (örn:1-2°C) aşırı miktarda likit

faz kristal faza dönüşmekte, dolayısıyla globüllerin birbirlerine yapışması güçleşmektedir. Yüksek sıcaklıklarda, yağ fazının tamamına yakın bölümü likit formda bulunmakta, granül yapısında ana iskeleti oluşturan kristal fazın azlığı nedeniyle agregatlaşma meydana gelmemektedir. Yayıklamamanın sonuna doğru likit fazın köpük elemine etme özelliği nedeniyle köpük ortadan kalkacaktır.

Uygulamada, yayıklama işleminin ilerlemesine paralel yüzey aktif madde hava interaksyonuna bağımlı köpük oluşmakta ve kremanın viskozitesi artmaktadır. Yayıklamanın başlangıç aşamasında (5-10 dk içinde) yayık durdurularak, kremada fermentasyon sonucu meydana gelen gazlar (CO₂ vb) ve hava, tahliye musluğu açmak suretiyle dışarı alınmalıdır. Alınmadığı zaman, gaz/havanın yaratacağı basınç yayıklama işleminin sağlıklı bir şekilde yürütülmesini olanaksız kılar. Bu aşamada yayık düşük hızla çalıştırılmalıdır (örn: 20 devir/dak). Daha sonra yayık normal devirde çalıştırılır. Yayıklama devam ettikçe oluşan tereyağı agregatları köpükte toplanır. İlerleyen aşamada, globül dışına çıkan likit yağın köpük engelleyici özelliği köpüğün ortadan kalkmasına sebebiyet verir. Böylece köpükteki tereyağının ayrılması sırasında başlangıçta krema ile bulaşık olan yayık camı berraklaşır. Sonuçta, tereyağı granülleri ile yayıkaltı birbirinden tamamen ayrılır.

KAYNAKLAR

- Atamer, M. 1993. Tereyağı Teknolojisi. Ankara Üniversitesi Yayınları. Yayın No: 1313. Ankara 90s.
- Dairy Hand Book (tarihsiz) Alfa-Laval Yay. Sweden.
- Downey, W.K. 1969. Lipid Oxidation as a Source of Off-Flavour Development During the Storage of Dairy Products. J. of the Soc. of Dairy Tech.
- Downey, W.K. 1975. Butter Quality. Published by An Foras Taluntais 19 Sadyamount Avenue Dublin4, Dairy Research & Review Series No. 7, 142p.
- Fox, P. F. 1995. Advance Dairy Chemistry, Volume 2: Lipids, Second Edition. Chapman and Hall, London. 443 p.
- Gönül, N. 2000. Çok Fazlı Sistemler I. Yüzey Kimyası ve Biyokimyası Kolloidler Ankara Üniv. Eczalık Fak. Yay. No:81
- Gönül, N. 2000. Çok Fazlı Sistemler II. Süspansiyon ve Emülsiyon Teknolojisi. Ankara Üniv. Eczalık Fak. Yay. No:82
- Hunziker, O.F., 1940. The Butter Industry. Illinois. USA.
- Keogh, M.K. 1995. Chemistry and Technology of Milk Fat Spreads, 213-245.(alınmıştır ; Advanced Dairy Chemistry Volume 2. Lipids. Edited by P.F. Fox Chapman-Hall).
- Mulder, H., Walstra, P. 1974. The Milk Fat Globule. Centre For Agricultural Publishing and Documentation Wageningen/Netherlanans.
- Nielsen, E.W. and Ulum, J.A. 1989. Dairy technology 1. Danish Turnkey Dairies Ltd., Denmark, 286 p.
- Nielsen, E.W. and Ulum, J.A. 1989. Dairy technology 2. Danish Turnkey Dairies Ltd., Denmark, 286 p.
- Oğuz, B. 1976. Türk Halkının Kökenleri 1. İstanbul Matbaası, İstanbul, 928 s.
- Oysun, G. 1996. Tereyağ Teknolojisi. Ege Üniversitesi Ziraat Fak. Yay. Teksir no: 38/1, İzmir.
- O'Conner, T.P. and O'Brien N.M. 1995. Lipid Oxidation: Advanced Dairy Chemistry Volume 2, Lipids, Second Edition, Edited by P.F. Fox, Chapman & Hall, UK, 309-333 p.
- Sauter, F., Puchinger, L. and Schoop, U. 2003. Studies in organic archaeometry VI¹Fat analysis sheds light on everyday life in prehistoric Anatolia:traces of lipids identified in chalcolithic potsherds excavated near Boğazkale, Central Turkey. ARKIVOC (xv);15-21
- Ünsal, A. 1997. Süt Uyuyunca, Türkiye peynirleri. Yapı Kredi Yayınları 4. Baskı, İstanbul. 221 s.
- Üçüncü, M. 1984. Tuz (NaCl) ve tuz üretim teknikleri. Ege Üniv. Müh. Fak. Der., 2(2), 107-122.
- Walstra, P. 1995. Physical Chemistry of Milk Fat Globules. 131-173. Alınmıştır: Advanced Dairy Chemistry Volume 2. Lipids. Edited by P.F. Fox Chapman-Hall.
- Walstra, P. and Jenness, R. 1984. Dairy Chemistry and Physics. Wiley Interscience Publishers, New York 58-197.
- Yaygın, H. 1985. Tereyağ Üretim Teknikleri. Süt Ürünleri Semineri. İstanbul Ticaret Odası. İstanbul.
- Yetişemiyen, A. (Editör). 2010. Süt Teknolojisi (Bölüm 1), Ankara Üniversitesi Yayınları No:1560, Ankara Üniversitesi Basımevi, Ankara, Türkiye, 298 sayfa. ISBN: 978-975-482-750-7.