

一般財団法人 杉山産業化学研究所 2022 年度研究助成 成果報告書

研究課題：食品冷凍における最適貯蔵温度に関する研究

弘前大学 農学生命科学部

君塚 道史

1. 研究目的

冷凍時の最適保存温度は保存対象となる食品の最大凍結濃縮相におけるガラス転移温度 (T_g') が指標となり、この温度以下で保存すれば品質は保持されることが示唆されている。しかしながら、同じ食品であっても T_g' は広い温度範囲に複数確認される場合も多く、実際の品質変化との関連性について十分に理解されているとは言い難い。本研究では様々な食品に対して凍結条件と品質変化の関係を考察し、過不足のない冷凍保存条件を提案する事が目的となる。

2. 研究概要

1) 凍結保存条件と冷凍パン生地の品質変化

【目的】

凍結保存後における冷凍パン生地の品質変化には、酵母の凍結障害と氷結晶による生地の変化が挙げられる。しかしながら、既往研究の多くは酵母の障害を対象としており、氷結晶の影響のみを考察した研究は少ない。また、氷結晶による品質劣化のメカニズムについても、その殆どがグルテン膜の機械的な損傷を示唆する程度に留まっている。そこで本研究では、酵母未添加の未焼成生地を試料として、氷結晶生成による品質低下のメカニズムと冷凍パン生地の最適保存条件を明らかにすることを目的とした。

【方法】

パン生地の調製：強力粉 250g, 蒸留水 150g, 上白糖 15g, スキムミルク 10g, 塩 5g, マーガリン 12.5g を縦型ミキサーにて 20 分間混合したものを試料とした。

凍結, 保存, 解凍条件： LN_2 , ドライアイススノー, $-15^\circ C$ エアーブラスト, $-15^\circ C$ 冷凍庫にて 0.5~1 時間凍結したものと、その後これらを設定温度 $-30, -60, -130^\circ C$ の冷凍庫で 2, 4, 8 週間保存したものを試料とした。何れの場合も氷水で 30 分間解凍後、 $25^\circ C$ で 1 時間放置してから測定を行った。

【結果】

$-15^\circ C$ 冷凍庫及び LN_2 で凍結すると、未凍結品と比べ生地の最大圧縮荷重は有意に低下した。また、色差 (a 値) についても $-130^\circ C$ 凍結や LN_2 凍結で値は高くなるが、これ以外の凍結条件で変化は見られなかった。また、保存試験については保存日数や凍結条件によらず $-15^\circ C$ と $-130^\circ C$ 保存の最大圧縮荷重と色差 (a 値) の変化が大きかった。したがって、パン生地の冷凍保存時における品質変化は冷却速度に因らず、主に凍結時の到達温度や保存温度の影響を受けることが示唆された。即ち、 $-15^\circ C$ 凍結時は主に粗大な氷結晶によりグルテン構造は損傷するが、 LN_2 凍結や $-130^\circ C$ 保存でも品質変化を生じた事から、凍結速度が大きい場合であっても、凍結時の到達温度が低温の場合は凍結濃縮などによりタンパク質変性などの品質変化を生じていると考えられた。

2) 凍結保存条件とメト化の進行

【目的】

冷凍マグロにおけるオキシミオグロビンからメトミオグロビンへの変化 (メト化) については多くの研究が行われている。代表的なものとしては尾藤による一連の研究が挙げられるが、この研究により $-35^\circ C$ 以下で保存するとメト化は抑制される事が明らかにされ、冷凍マグロが広く流通するきっかけとなった。尚、 $-35^\circ C$ 以下でメト化が抑制される要

因としては凍結濃縮相のガラス化などが示唆されているが詳細は不明である。本研究では、マグロ肉の抽出液を試料とし、 -30°C フリーザーまたはドライアイススノーで凍結後、種々の温度で保存した場合のメト化について考察した。

【方法】

抽出液の調製：本マグロ（赤身、未凍結品）のミンチと蒸留水を遠沈管に入れ、ボルテックスで混和後、 4°C にて5分間、13,000rpmで遠心した上澄み液を保存試料とした。尚、メト化率については尾藤の改良法により求めた。

凍結、保存、解凍条件：抽出液が入った遠沈管をドライアイススノー、 -30°C エアースラスト、 -30°C 冷凍庫にて凍結後、 -15 、 -20 、 -25 、 -30 、 -35 、 -60°C で1~9週間保存した。解凍については 5°C の恒温振とう水槽に30分間入れて行った。

【結果】

-30°C 以下で保存すると、いずれの凍結条件もメト化は殆ど進行しなかった。しかしながら、 -15 ~ -20°C 保存では、冷却速度が大きいドライアイススノー凍結の方が、冷凍庫凍結に比べてメト化の進行は抑制された。この要因としては、凍結速度が大きいと凍結直後の氷結晶サイズは微細であり、粗大化するまでに時間を要した為と考えられる。即ち、冷却速度が小さく、保存温度が高い場合は粗大化により氷結晶粒界の面積が減少し、凍結濃縮によりメト化の進行は促進されるが、初期の氷結晶が小さい場合は氷結晶粒界の面積が増大する為にもその凍結濃縮も弱く、また粗大化による凍結濃縮に時間を要する為、メト化の進行は抑制されたと考えられる。以上の結果は冷凍時及び保存時における氷結晶サイズの変化により凍結濃縮相の濃度は変化し、食品の品質に影響を及ぼすことを示唆している。

3) 凍結条件とO/Wエマルション（植物脂肪クリーム）の品質変化

【目的】

クリームを凍結すると油脂や水の結晶化により、脂肪球にある脂肪球被膜（タンパク質やリン脂質で構成）が損傷し、解凍後は凝集すると考えられている。しかしながら、凍結による品質変化のメカニズムについて、特に氷結晶の影響が明らかにされていない。本研究では市販の植物脂肪クリームを試料として、解凍後の粘度や色調の変化から凍結による品質変化のメカニズムを明らかにすることを目的とした。

【方法】

凍結、保存、解凍条件：植物脂肪クリーム（植物性脂肪分40%）を真空包装後、 LN_2 、ドライアイススノー、 -15 、 -30 、 -60 、 -130°C 冷凍庫で0.5~2時間凍結した。その後、 25°C の恒温振とう水槽内で10分間解凍して各種の品質評価を行った。

【結果】

解凍後のみかけ粘度は未凍結と比べていずれも高くなるが、特に冷却速度が大きい LN_2 やドライアイス凍結は、冷凍庫凍結（設定温度 -15 、 -30 、 -60 、 -130°C ）よりも粘度の変化は小さかった。また、解凍後の色調（L値）も LN_2 とドライアイス凍結は未凍結と同程度の値であるが、冷凍庫凍結では値が低く、さらに設定温度で値の差は殆ど無かった。一方で、解凍直後のクリームの外観を比較すると、いずれも固形状態となり流動性はなかった。しかしながら、粘度測定後は LN_2 とドライアイス凍結のみ液状となり、流動性は回復した。これは粘度測定用のローターが回転することで凝集が分散した為と考えられる。したがって、凍結による植物脂肪クリームの品質変化は凍結速度に強く依存することが明らかとなった。尚、凍結速度で解凍後の品質変化が異なる要因としては次のように考えられる。冷却速度が小さい場合は粗大な氷結晶により脂肪球被膜が損傷したと考えられる。一方で、 LN_2 やドライアイス凍結も凍結濃縮は進行するが、氷結晶が微細である為には膜の損傷までには至らなかったと考えられる。即ち、急速凍結による品質変化は直接的な膜損傷よりも、例えば疎水性相互作用による凝集が主である為には粘度測定後は流動性が回復したと考えられる。

3. 謝辞

本研究を遂行するにあたり、ご支援賜りました一般財団法人杉山産業化学研究所に心より御礼申し上げます。