

食品・青果物の冷凍

冷凍の目的

冷蔵と冷凍の違い

冷蔵: 食品を氷結点以上の温度で冷却および貯蔵

冷凍: 食品を冷却することで凍結させた後、氷結点以下の温度での貯蔵



貯蔵条件の違いから保存食品の劣化要因が異なる

◎ 冷凍食品における劣化要因とその防止法

○ 氷結晶の成長とその影響

食品の凍結では、食品中に含まれる水分が液体から固体へ相変化する、つまり、水分が氷となる。水分の氷結温度は、水分中の溶質濃度に比例して低くなる。

一般的な食品組織では、

凍結した食品を解凍した場合、食品内部から水分(ドリップ)が多少流出する。その際に氷結晶が成長していると、

凍結過程における氷結晶の成長

緩慢に凍結した場合

急速に凍結した場合

最大氷結晶生成帯

氷結晶の()が小さく、()が大きくなる温度領域を示す。一般に $-1\sim-5^{\circ}\text{C}$ の温度範囲と考えられているが、食品によって温度範囲は異なる。

食品を凍結させる際には、食品中心部の温度が氷結晶生成帯の温度域を()が推奨される。

過冷却

対象物の温度が凍結点以下になっても、()の状態を指す。

凍結過程では氷結晶の核が生成された後に、結晶として成長していく。過冷却では氷結晶の核が未形成であるため、氷結晶としての成長が進まず、未凍結の状態となる。

過冷却状態にある対象物は何らかの刺激を受けると、核の形成が促され、急速に結晶化する()という現象が生じる。

・貯蔵過程における氷結晶の成長

氷結晶の成長は、急速凍結を行った食品でも貯蔵中に進行する。

()の温度よりも()の温度が高い場合、()の氷結晶が成長し、細胞組織を破壊する。そのため、凍結食品の貯蔵・流通には()必要がある。

・ドリップ量への解凍過程の影響

氷結晶に起因するドリップ量の増大には解凍過程も関わる。解凍過程においても、凍結過程と同様に、()が重要となる。

凍結・解凍速度を高める手法

熱の伝達速度を高める。

熱の伝達の分類

- ① () …… 物体内部、もしくは物体間での熱のみの移動
- ② () …… 温度差によって生じる流体の流れで、固体あるいは液体と流体の間での熱の移動
- ③ () …… 物体が内部エネルギーを電磁波の形で放出することで生じる熱の移動

熱伝導

$$q=Q/A$$

熱の伝達速度
を高める。



熱流束
を高める

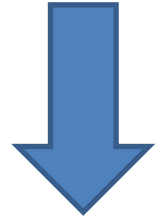
熱の移動が生じた場合

$Q(J/s)$: 単位時間に流れる熱量

$A(m^2)$: 熱の移動が生じた物体の面積

q (熱流束; $J \cdot s^{-1} \cdot m^{-2}$):

単位面積、単位時間あたりに流れる熱量



フーリエの法則

$$q = -\lambda \times \Delta t$$

熱流束は温度勾配に比例する。

温度勾配: Δt (常に負)

λ (ラムダ): 熱伝導率(物体によって異なる固有値)



○冷凍焼け

貯蔵期間中に冷凍物表面から乾燥が進行していく現象。

冷凍物温度よりも()際に

昇華が起きることで、乾燥がより進む。

また、乾燥が進むことで()と接触

しやすくなり、()しやすくなる。

乾燥と()が進行していくことで、冷凍物の

()や()が発生する。

・冷凍焼けの防止

-25℃以下の温度変化の少ない貯蔵、真空包装、グレーズ処理等が挙げられる。

真空包装

プラスチックなどの包装容器内の空気を吸引して脱気した後に密封することで包装内部を真空に近い状態にする包装

密閉することで氷の昇華を抑制し、冷凍物の乾燥を抑えることができる。
物理的に()を妨げることで冷凍物の酸化を防ぐことができる。

グレーズ処理

冷凍物表面に水を散布し、冷凍物表面に()を形成させる処理。通常では、凍結物を数回水に潜らせ、氷膜を形成させる。

グレーズ処理を施した冷凍物では、氷膜から昇華が起きるため、()を遅らせることができる。
また、氷膜が酸素との接触を物理的に遠ざけるため、酸化も防止できるとされる。

◎青果物の冷凍貯蔵中の品質変化

※青果物の冷凍における注意点

冷凍貯蔵中においても青果物の種類や冷凍条件により急速な成分変化が起きることがある。また、冷凍凍結の操作自体が青果物の品質劣化を引き起こすことがある。

マメ類・スイートコーン→

トマト→

イチゴ→

○青果物の冷凍貯蔵中の品質変化

①酵素による成分変化

酵素について

細胞により形成され、()を示す。
全ての酵素はタンパク質で構成され、
1種の酵素は1つの化学反応しか作用を示さない。
酵素は作用する物質を選択する()を示す。
触媒に適合した構造の基質でなければ、反応が進まない。

酵素の失活

酵素を構成するタンパク質の立体構造に
()が生じると、酵素は活性を失う。
失活すると、酵素の触媒としての機能が失われる。
タンパク質の変性は()、()、()等による
作用で生じるとされ、酵素の失活も同様の作用で生じる。

青果物の冷凍貯蔵中の品質変化

①酵素による成分変化

一般的に凍結により酵素タンパク質は変性し、活性が（ ）するが、その程度は酵素種により大きく異なる。また、完全に酵素が失活することは少なく、冷凍貯蔵中に酵素による青果物の成分変化が発生する。通常では温度が低い程、酵素による成分変化は（ ）が、凍結時の細胞内の氷結晶生成や細胞液の濃縮等により酵素と基質の会合が促され、酵素による成分変化が起こる。

基質との会合

②冷凍温度による成分変化の違い

冷凍中においても酵素反応、酸化反応等の化学反応は進むが、（ ）により大きく律速される。ビタミンC(アスコルビン酸)含量の減少、色や風味の変化は、貯蔵温度が2.8℃上昇することで、2～3倍増加するという報告例もある。冷凍温度による成分変化の違いに関する研究から、現在では冷凍食品の保管温度は（ ）℃以下に設定されている。一方で、-20℃～-80℃では、いずれの温度下においてもイチゴのアントシアニンは同じように減少する。原材料や内容成分の違いにより温度の影響は大きく異なる。

アントシアニン・・・色素成分であるが、抗酸化物質としても知られる。

③解凍時のドリップによる品質劣化

青果物においても、解凍時にドリップが発生する。ドリップの発生量は青果物の種類により大きく異なる。デンプンを多く含む青果物、マメ類、イモ類、カボチャ等ではドリップは少ない。軟弱でも保水力のある組織をもつインゲンマメやホウレンソウではドリップは少ないが、果実類やその他の野菜類ではドリップが多量に発生し、著しい外観劣化や内容成分の損失が起きる。このとき、ドリップの発生により植物組織の張りが失われ、ビタミンCやアントシアニン等の水溶成分が流出する。ドリップが多量に発生する青果物では、通常、半解凍の時に食べるか、凍結状態のまま、調理あるいは加工を行う。

④青果物種における特異的な品質変化

- ・バナナ果皮の褐変

- ・イチゴ果実の異臭

- ・ナツミカンの苦味増大

急速凍結によりこれらの品質変化は軽減できるが、その後、-20℃で貯蔵すると品質変化が進行する。

冷凍貯蔵における成分変化の防止法

①ブランチング処理

凍結前の加熱処理を指す。熱により青果物内の酵素を（ ）させ、冷凍貯蔵中の成分変化を防止する。一方、過度な加熱を行うと、熱による青果物の品質劣化が大きくなるので、最小限の処理条件で行う必要がある。

加熱処理方法は蒸気または熱湯を用いる方法が一般的であるが、誘電加熱(電子レンジ)でのブランチングも一部では行われている。

必要となる加熱処理条件は対象とする青果物種、酵素種により異なる。

ニンジン→90°C・3min

グリーンピース→85～90°C・1.5～4min

ブロッコリー→100°C・4～5min

一般的には、耐熱性のある酵素（ ）、（ ）の失活を目安としたものが多い。

青果物成分の貯蔵時における変性に関わる酵素はこれ以外にも多数存在する。

一方で、これら2つの酵素が失活できるような条件の処理を施せば、ほとんどの酵素が失活できているとみることができる。

ブランチングによる失活処理後の酵素の再活性化

酵素が含まれる組織の熱処理が適正でないと、酵素が失活後に活性を取り戻す現象が報告されている。

原因

酵素への熱処理試験と異なり、青果物組織へ熱を加えるため、組織表面が目標温度に達しても、()は目標温度に達していないことがある。そのため、酵素の失活が不完全となり、()な失活に至っていない。

ブランチングによる副次効果

酵素の失活以外にも青果物の()、()、夾雑物の除去などの効果がブランチングにより示される。

ブランチングによる品質損失

一方、ブランチングにより野菜の炭水化物、有機酸、ミネラル、ビタミン、精油類等の損失が引き起こされる。これらの損失は、処理温度よりも()の影響が大きく、処理物のサイズ、表面積等により大きく異なる。また、温湯浸漬より()によるブランチングの方がこれらの損失は少なくなるとされている。

青果物のブランチング適性

パセリ等の香草類は()が揮発性であるため、ブランチングによる損失が非常に大きい。12か月冷凍貯蔵した場合、ブランチングしないものでも、ブランチングしたものより品質は良好であると報告されている。

その他にも、トマト、レッドペッパー、キャベツ、キュウリ、スライスマッシュルーム等はブランチングしないものの方が貯蔵後の品質が良好となると報告されている。

アスパラガスについては、収穫後直ちに深温凍結すれば、ブランチングをしなくても良好な風味と組織の維持を行うことができる。

②加糖・シロップ浸漬

粉糖をまぶして凍結することで、食味の改善だけでなく、糖により果実内部の水分を引出されることで()を作り、酸化を防止することができる。()と同様の効果を持つ。

また、()を確実に防止するには、シロップ漬けが行われている。このとき、シロップにビタミンC(アスコルビン酸)を添加すると褐変の防止効果が大きくなる。