

凍結速度の相違による氷結晶量の測定

Measurements of ice crystal masses by differences of freezing speeds

黒田磨哉

指導教員 阿部周司¹⁾ 梶原一人¹⁾

1) 東京工科大学 応用生物学部 応用生物学科 高機能性食品研究室

キーワード：凍結速度、示差走査熱量計、キュウリ、氷結晶

緒言

動物細胞、植物細胞に関係なく細胞外より細胞内の溶質濃度が高くなっている、温度を下げていくと細胞外が先に凍結することが知られている。緩慢凍結では細胞外が先に凍結し、細胞外の氷結晶の形成に細胞内の水分も使われるため細胞外に大きな氷結晶が形成し、その氷結晶が細胞にダメージを与える。これに対し急速凍結では、急激な温度低下により細胞内外が同時に凍結点に到達する。そのため、細胞内外に均質で小さな氷結晶が形成されるため細胞へのダメージが少ないと考えられている。凍結速度と氷結晶の大きさに関する知見はあるものの凍結速度の相違による氷結晶量に関する知見は少ない。そこで本研究では、細胞のモデルとして水分含量の多いキュウリを用いて異なる凍結速度によって生成する氷結晶の量に差があるか検討することを目的とした。

試料と方法

試料 キュウリ(福島県産)の果肉部を使用した。

融解熱の測定 示差走査熱量計(DSC)を用いてキュウリを 5°C から -35°C まで異なる凍結速度(1 ～ 20°C/min)で降温し、その後 -35°C から 20°C まで一定の速度(5°C/min)で昇温し、DSC 曲線から融解熱を測定した。

水分含量測定 試料を約 1g 秤量し 105°C の加熱乾燥機で一晩加熱して恒量とした。加熱前後の重量差から水分含量を求めた。

氷結晶の割合 DSC で算出した融解熱と試料重量、水の融解熱から次式(1)を用いて氷結晶量を算

出した。また水の融解熱は一般的に知られている 333J/g を使用した。

$$\frac{\text{試料重量(g)} \times \text{DSC で測定した融解熱(J/g)}}{\text{水の融解熱(J/g)}} \cdots (1)$$

氷結晶量を試料中の水分量で割って氷結晶量の割合を算出した。

結果

10°C/min の速度で冷却しその後昇温した DSC 曲線を図 1 に示す。降温時のピークは凝固熱、昇温時のピークは融解熱である。他の凍結速度でも同様の形状の曲線が得られた。

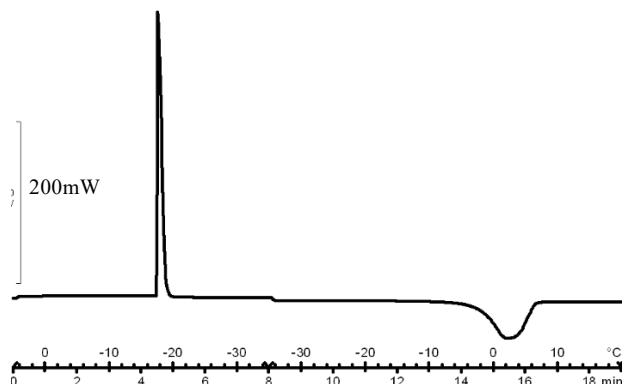


図 1 10°C/min で冷却した DSC 曲線

融解熱を測定した結果を表 1 に示す。表 1 から凍結速度が速くなると融解熱が減少することが明らかになった。

表 1 異なる凍結速度における融解熱の算出結果
(n=5-8)

凍結速度 (°C/min)	1	5	10	20
融解熱(J/g)	314± 9	309 ±5	303 ±6	280 ±4

水分含量の測定結果は $95.60 \pm 0.11\%$ (n=4)であった。

(1)式を用いて融解熱から氷結晶量、水分含量から水分量をそれぞれ求め、含水量に対する氷結晶量の割合を算出した結果を図 2 に示す。氷結晶量の割合は凍結速度が $1^{\circ}\text{C}/\text{min}$ で $98.9 \pm 2.9\%$ 、 $5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ で $97.1 \pm 1.6\%$ 、 $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ で $95.3 \pm 2.0\%$ 、 $20^{\circ}\text{C}/\text{min}$ で $88.0 \pm 1.3\%$ であった。この結果から凍結速度が速いほど氷結晶量が減少することが明らかになった。

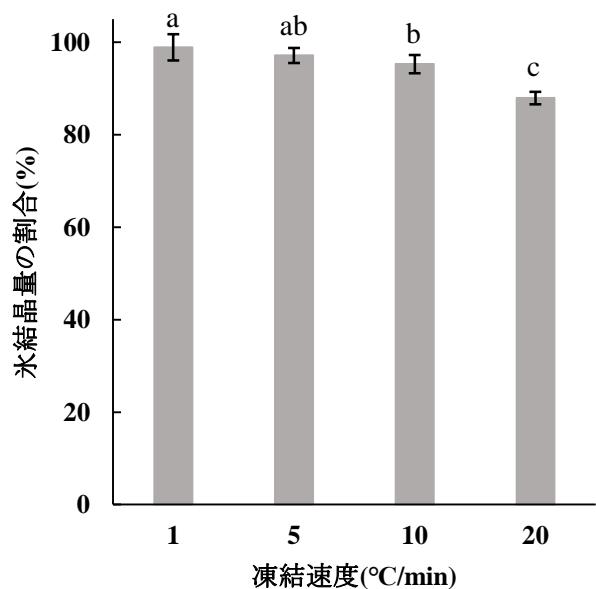


図 2 凍結速度による氷結晶量の割合の変化

考察

食品中の水分には自由水、準結合水、結合水があり、食品が凍結する際は自由水が先に凍結し、結合の比較的弱い準結合水の一部が凍結して結合水は凍結しない。この準結合水の水分子は自由度が低く凍結に時間を要することが知られている¹⁾。したがって凍結速度が遅い場合、準結合水の凍結に必

要な時間が十分あり準結合水は氷結晶になるが、凍結速度が速い場合、準結合水の凍結に必要な時間が足りず、準結合水は凍結せず不凍水になったため本実験結果が得られたと考えられる。

本実験結果から、急速凍結では形成する氷結晶の大きさが小さくなるだけでなく、氷結晶量も減少するため細胞に与えるダメージが少ないということが明らかになった。

参考文献

- 1)鈴木徹.新版食品冷凍技術,「食品冷凍総論」.日本冷凍空調学会,東京,pp5-6.(2009)