

## 低温貯蔵によるクリに含まれる糖質の変化

齋藤 泰宏\*<sup>1</sup> 本多 裕司\*<sup>2</sup>

## 要 旨

低温貯蔵によるクリに含まれる糖質の変化を検討するために、クリに含まれる遊離糖組成、澱粉含量、澱粉の糊化特性、およびアミロペクチンの鎖長分布を分析した。クリの可食部に含まれる遊離糖の9割はスクロースであり、低温貯蔵後に顕著な増加が見られるとともに、澱粉含量も低温貯蔵後に減少した。クリに含まれる澱粉の糊化開始温度 ( $T_p$ ) は低温貯蔵後に約2℃上昇し、糊化エンタルピー変化 ( $\Delta H$ ) は1.6-3.8 J/g減少した。また、クリに含まれるアミロペクチンの鎖長分布を分析したところ、低温貯蔵後にグルコース重合度6-12の糖鎖 (fa) が減少した。得られた分析値から相関関係を解析したところ、遊離糖含量と fa、 $\Delta H$  および澱粉含量との間に負の相関が見られた。以上の結果から、低温貯蔵時にクリは耐凍性を獲得するための適合溶質としてアミロペクチン短鎖から遊離糖を生成し、結果としてクリの甘味が増加する事が考えられた。

キーワード：クリ／低温貯蔵／遊離糖／澱粉／アミロペクチン

## 1. 緒言

クリはブナ科クリ属の木の一つであり、アジア、ヨーロッパ、北アメリカの温帯地域に広く分布している。このうち、果実を食用として利用するものは日本で「天津甘栗」と広く呼ばれているチュウゴクグリ (*C. mollissima* BL.)、地中海沿岸で栽培が盛んなヨーロッパグリ (*C. sativa* MILL.)、アメリカの東北部や東南部、アパラチア山脈周辺部に自生しているアメリカグリ (*C. dentata* BORKH.)、そして日本で栽培されているニホングリ (*C. crenata* SIEB. et ZUCC.) である (志村, 2000)。ニホングリはシバグリが原生種と考えられており、北海道中部から九州南端まで広く自生している。ニホングリの収穫量は約15,700 t (令和元年) であり、茨城県 (3,090 t)、熊本県 (2,810 t)、および愛媛県 (1,350 t) の3県で収穫量の半数を占める (農林水産省大臣官房統計部, 2020)。一方、石川県におけるクリの収穫量は113 t であり、その大半が奥能登地方 (輪島市、珠洲市、穴水町、能登町) で栽培されている。奥能登地方で生産されているクリは「能登栗」の愛称で親しまれており、その代表品種は全国的に広く栽培されている「丹沢」、「筑波」、および「石鎚」である。最近では、「能登栗」の出荷体制の確立や販路の開拓などブランド化に向けた様々な取り組みが行われてきている。

クリは8月下旬から10月下旬まで収穫すること

ができ、9月下旬から10月上旬にかけてクリの最盛期を迎える。クリの最盛期は集中的に出荷量が増えるため、販売期間の延長と集中的なクリの出荷を防ぐためにクリを貯蔵するようになったとされている (山中, 2000)。クリの貯蔵に関する研究は中国やヨーロッパなど世界各地で行われており、国内でも河野ら (河野ら, 1984) を始めとして多くの研究が行われてきた。これまでに、低温貯蔵することで澱粉含量が減少し、糖含量が増加することが明らかにされている (永井ら, 1992; 加島ら, 2016)。一方、クリに含まれる澱粉の性質に関する報告は多くされているものの (真部ら, 1966; 竹田ら, 1987; 杉本ら, 2004)、低温貯蔵による澱粉の性質の変化について詳細な研究はされていない。クリの可食部の澱粉は糖質関連酵素によって遊離糖に変換されると考えられており、澱粉の組成と性質は低温貯蔵による甘味の増加に影響を与えている可能性がある。したがって、低温貯蔵前後のクリの遊離糖組成およびその含量を調べることで、クリ本来の甘みを活かした調理法を提案する事が可能となる。特に、健康志向の消費者にとって砂糖などの甘味料を添加せず、低温貯蔵することによって甘味を増加させた栗は魅力的であり、高付加価値が期待される。

本研究では、奥能登地方で栽培された「丹沢」、「筑波」、および「石鎚」の低温貯蔵による遊離糖の組成および澱粉の性質の変化について調査した。さらに、得られた結果を基にして、低温貯蔵によるクリの甘味の増加メカニズムについても考察した。

\*<sup>1</sup> 石川県立大学大学院 生物資源環境学研究所 食品科学専攻

\*<sup>2</sup> 石川県立大学 生物資源環境学部 食品科学科

## 2. 実験材料および方法

### (1) 実験材料

本研究で試料としたクリは2018年に松尾栗園(石川県輪島市)より供与された「丹沢」、「筑波」、および「石鎚」の3品種を用いた。本研究における分析では、各品種の収穫直後(低温貯蔵前)の生グリおよび $-1^{\circ}\text{C}$ に設定した冷蔵庫(HTV-ED20H, 日立)内で45日間貯蔵(低温貯蔵後)した生グリを使用した。特に断らない限り、実験試薬は市販の特級品を用いた。

### (2) 遊離糖含量の測定

クリを剥皮後、家庭用ミルサー(IFM-800DG, 岩谷産業)で細片化した試料の可食部1gに80%エタノール20mLを添加し、振盪器(MMS-3010, EYELA)で20時間振盪抽出した。得られた抽出液を遠心分離(6,300g, 10min)し、上清を分析試料として高速液体クロマトグラフィー(High performance liquid chromatography)(D-2000 Elite chromatograph system, HITACHI)、および高圧イオンクロマトグラフィー(High performance anion exchange chromatography with pulsed amperometric detection: HPAEC-PAD)(ICS-3000, Dionex)を用いてグルコース、フルクトース、スクロースおよびマルトース含量を測定した。各試料は3回分析し、その平均値を採用した。HPLCのカラムはShodex Asahipak NH2P-50 4E(4.6mm I.D.  $\times$  250mm, 昭和電工)を使用し、検出器はコロナ荷電粒子検出器(ESA Biosciences)を用いた。また、移動相にはアセトニトリルおよび超純水を用い、流量0.6mL/min、カラム温度 $30^{\circ}\text{C}$ でアセトニトリル:超純水=75:25(%)の割合で分析した。HPAEC-PADのカラムはCarbopac PA-1(2 $\times$ 250mm, Thermo Scientific)を用い、カラム温度は $30^{\circ}\text{C}$ を保持した。溶離液には超純水および250mM水酸化ナトリウムを用い、流量0.25mL/minで超純水:250mM水酸化ナトリウム=60:40(%)の割合で分析した。

### (3) 栗粉の調製

クリを剥皮し、可食部を薄くスライスしたものを凍結し、凍結乾燥した。得られた凍結乾燥物を家庭用ミルサーで粉碎し、16メッシュの篩で篩過したものを栗粉とした。

### (4) 澱粉含量の測定

クリの可食部に含まれる澱粉含量はMegazyme社のTOTAL STARCH assay kitを用いて、添付の説明書の10分の1スケールで分析した。分析試料は(2)の遊離糖抽出液中の沈澱物を減圧乾燥した後、マルチビーズショッカー(MB1200, 安井機器)で粉碎(2,500SV, 40sec)したものを分析試料とした。

### (5) 示差走査型熱量計(DSC)による糊化温度の測定

栗粉に含まれる澱粉の糊化特性を調べるためにmicro DSC III (SETARAM)を用いて測定した。測定条件は $30^{\circ}\text{C}$ を測定開始温度とし、 $30^{\circ}\text{C}$ から $95^{\circ}\text{C}$ まで $1^{\circ}\text{C}/\text{min}$ で昇温した。澱粉の糊化に関するパラメーターである $T_0$ (糊化開始温度)、 $T_p$ (糊化ピーク温度)、 $T_c$ (糊化終了温度)、 $T_r$ (糊化温度範囲)、および $\Delta H$ (糊化エンタルピー変化)は機器付属の解析ソフトで決定した。

### (6) HPAEC-PADによるアミロペクチンの鎖長分布測定

栗粉5mgに100%メタノールを添加し、 $65^{\circ}\text{C}$ で10分間加熱して試料を脱脂した。脱脂後、遠心分離(2,500g,  $4^{\circ}\text{C}$ , 10min)して得られた沈澱物に90%(v/v)メタノールを5mL加え再度遠心分離した。この操作を二回繰り返して得られた沈澱物に蒸留水を5mL添加し、 $95^{\circ}\text{C}$ で1時間湯浴して沈澱物を糊化させた。湯浴後、サンプルをピペッティングした後に1mLとり、600mM酢酸ナトリウム緩衝液(pH 4.4)50 $\mu\text{L}$ 、2%(w/v)アジ化ナトリウム水溶液10 $\mu\text{L}$ 、1,400Uイソアミラーゼ(*Pseudomonas amyloclavata* (ATCC21262)由来, 林原)10 $\mu\text{L}$ を添加してインキュベート( $40^{\circ}\text{C}$ , 22h)した。インキュベート後、6%(w/v)アンモニア水60 $\mu\text{L}$ 、水素化ホウ素ナトリウム25mgを添加し、室温で20時間静置して試料を還元させた。試料を還元後、遠心エバポレーター(CVE-2000, EYELA)を用いて減圧濃縮( $60^{\circ}\text{C}$ , 1day)した。

減圧濃縮した試料に1M水酸化ナトリウムを100 $\mu\text{L}$ 添加して1時間静置し、超純水900 $\mu\text{L}$ を添加して遠心分離(11,200g,  $4^{\circ}\text{C}$ , 10min)した。遠心分離で得られた上清をHPAEC-PAD分析に供した。分析カラムはCarbopac PA1(4 $\times$ 250mm, Thermo Scientific)用した。溶媒は超純水(A)、250mM水酸化ナトリウム水溶液(B)、1mol/L酢酸ナトリウム溶液(C)を使用し、流量0.25mL/minで測定した。また、溶媒の溶出条件はA:B:C=60:40:0(%)で測定を開始し、80分後にA:B:C=10:40:50(%)になるようにグラジエントをかけ、85分にC:100%、85-90分はA:B:C=60:40:0(%)となるようにした。HPAEC-PADで検出した各糖鎖のピーク面積を求め、全体のピーク面積の合計を100%とした際の各ピークの面積比を求めた。

### (7) 統計解析

本実験で得られた15項目(フルクトース、グルコース、スクロース、マルトース、遊離糖含量、 $T_0$ 、 $T_p$ 、 $T_c$ 、 $T_r$ 、 $\Delta H$ 、fa (DP6-12)、fb1 (DP13-24)、fb2 (DP25-36)、fb3 (DP37-50)、および澱粉含量)

について、t 検定、Spearman の順位相関行列、および主成分分析をエクセル統計 2016 (Version 3.20, BellCurve for Excel) を用いて解析した。

### 3. 結果

#### (1) クリの可食部に含まれる遊離糖の組成と含量

各品種のクリ可食部に含まれる遊離糖の組成は、スクロースが9割を占めていた(表1)。また、低温貯蔵前および低温貯蔵後における遊離糖の組成を比較したところ、丹沢と石鎚は低温貯蔵後にグルコースおよびフルクトースの割合が約2%増加し、筑波はスクロースの割合が約5%増加していた。一方、各品種のクリ可食部の遊離糖含量は、低温貯蔵前が丹沢3.02g、筑波1.59g、石鎚4.82gであったのに対し、低温貯蔵後は丹沢6.34g(増加率110%)、筑波5.55g(増加率249%)、石鎚5.63g(増加率17%)と丹沢および筑波で顕著に増加していた(図1)。特に筑波は低温貯蔵によってスクロースが4.5g増加し(増加率266%)、丹沢も2.7g(増加率102%)増加した。一方、すべての品種のクリに含まれていた微量のマルトースは低温貯蔵後に消失した。

#### (2) クリに含まれる澱粉の含量と諸性質

図2は、各品種のクリに含まれる澱粉量を比較した図である。低温貯蔵前のクリに含まれる澱粉含量は、丹沢70.3%、筑波75.5%、石鎚69.3%であり、低温貯蔵後は丹沢62.8%、筑波73.7%、石鎚61.1%であった。これらを比較すると、低温貯蔵によって、各品種に含まれる澱粉含量は減少する傾向にあることがわかった。

次にクリに含まれる澱粉の糊化特性についてDSCを用いて分析した。低温貯蔵前のクリの $T_0$ および $T_c$ は丹沢63.4℃、73.3℃、筑波59.3℃、69.8℃、石鎚59.5℃、70.1℃であった(表2)。低温貯蔵後のクリの $T_0$ および $T_c$ は、丹泡65.1℃、75.9℃、筑波62.2℃、74.0℃、石鎚61.5℃、69.5℃と低温貯蔵前に比べすべての品種で $T_0$ が1-3℃上昇した。一方で、石随に関しては低温貯蔵による $T_c$ の上昇は見られなかった。低温貯蔵前後の $\Delta H$ を比較してみると、低温貯蔵することによって丹沢1.6J/g、筑波3.8J/g、石鎚1.6J/gの減少がみられた。

#### (3) クリの可食部に含まれる澱粉のアミロペクチンの鎖長分布

クリに含まれるアミロペクチンを構成する糖鎖はHPAEC-PAD法によってDP(グルコース重合度)50程度までのピークを分離することができた。糖鎖の鎖長分布パターンはHanashiroらによって12DP間隔で周期性があることが報告されている(Hanashiro et al, 1996)。今回はHanashiroらの報告に従って、fa(DP6-12)、fb1(DP13-24)、fb2(DP25-36)、およびfb3(DP37-50)とサイズ分画した(表3)。品種間でfb1-fb3の割合を比較してみると、アミロペクチンの鎖長分布に占めるfb1の割合はすべての品種で約55%であり、fb2とfb3の割合は約11%、3%であった。また、低温貯蔵の前後において、これらの画分に1-3%程度の差は見られたが、特徴的な変化は見られなかった。

上記の比較では差が見られなかったため、各DPにおける変化を比較した。図3に各品種の低温貯蔵後の面積比から低温貯蔵前の面積比を差し引いたグ

表1 生グリの可食部に含まれる遊離糖組成(%)

遊離糖組成		フルクトース	グルコース	スクロース	マルトース
丹沢	低温貯蔵前	0.3±0.5	0.5±0.6	98.4±0.7	0.9±0.2
	低温貯蔵後	2.3±1.3	2.8±1.6	94.9±2.9	N.D.
筑波	低温貯蔵前	2.1±1.3	1.0±1.3	91.2±7.8	4.5±2.7
	低温貯蔵後	1.7±1.2	2.0±1.4	96.2±2.6	N.D.
石鎚	低温貯蔵前	0.5±0.5	0.7±0.6	97.9±0.4	0.9±0.7
	低温貯蔵後	1.9±0.7	1.7±1.3	96.4±2.0	N.D.

(平均値 ± 標準偏差, n=3), N.D.: Not Detected

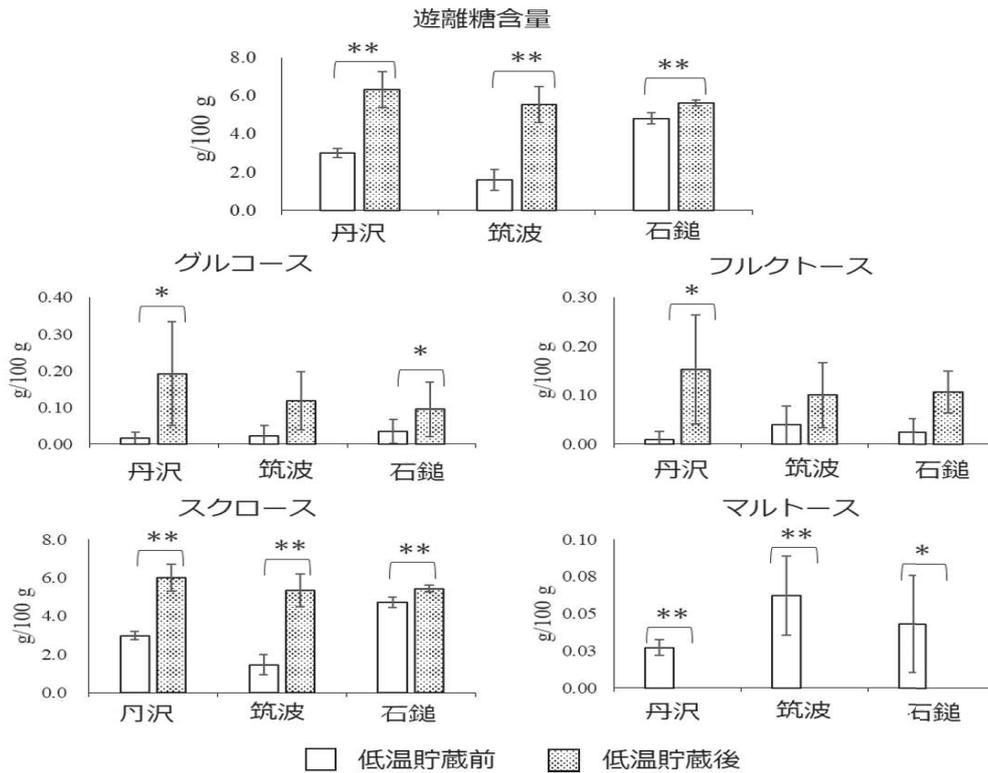


図1 低温貯蔵における生グリー可食部の遊離糖含量の変化  
遊離糖含量はグルコース、フルクトース、スクロースおよびマルトース含量を合算した値  
t検定 \* :  $p < 0.05$ , \*\* :  $p < 0.01$  (平均値 ± 標準偏差, n=4)

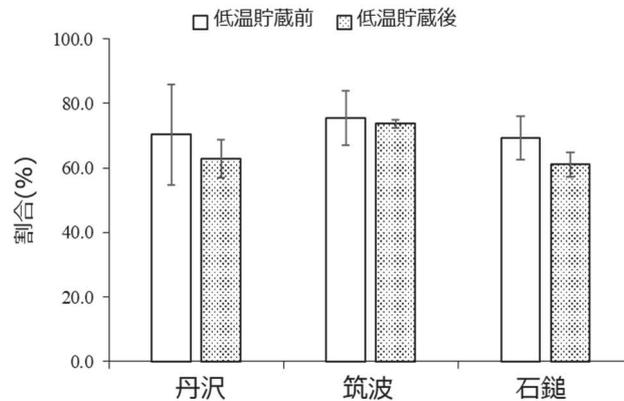


図2 低温貯蔵によるグリーに含まれる澱粉含量の変化

(平均値 ± 標準偏差, n=3)

ラフを示した。各品種において、低温貯蔵後にDP6-10の割合が減少し、DP13-24の割合が増加する傾向が見られた。

#### (4) 統計解析

本実験で得られた15項目(フルクトース、グルコース、スクロース、マルトース、遊離糖含量、 $T_0$ 、 $T_p$ 、 $T_c$ 、 $T_r$ 、 $\Delta H$ 、fa (DP6-12)、fb1 (DP13-24)、fb2 (DP25-36)、fb3 (DP37-50)、および澱粉含量)の変数を用いて主成分分析を行った(図4)。主成分分析によって得られた第1主成分(58.4%)と第2主成分(17.4%)によって全体の約76%の情報を説明するこ

とができた。また、得られた結果から各主成分における因子負荷量が絶対値0.5以上の変数をその主成分を特徴づけるものとして意味づけをした。ローディングプロットの第1主成分の因子負荷量を見ると、0.5以上の変数はグルコース(0.96)、フルクトース(0.89)、遊離糖含量(0.85)、fb2(0.84)、スクロース(0.83)、 $T_0$ (0.83)、 $T_p$ (0.78)および $T_c$ (0.74)が該当し、-0.5以下の変数はマルトース(-0.87)、 $\Delta H$ (-0.85)およびDP6-12(-0.86)が該当した。一方、第2主成分の因子負荷量で0.5以上の変数は $T_r$ (0.68)、 $T_c$ (0.67)、 $T_p$ (0.59)および澱粉含量(0.56)が該当し、-0.5以下の

表2 クリに含まれる澱粉の糊化特性

糊化特性		$T_o$ (°C)	$T_p$ (°C)	$T_c$ (°C)	$T_r$ (°C)	$\Delta H$ (J/g)
丹沢	低温貯蔵前	63.4 ± 0.4	68.3 ± 0.4	73.3 ± 0.6	9.9 ± 0.2	8.6 ± 0.3
	低温貯蔵後	65.1 ± 0.3	70.3 ± 0.2	75.9 ± 0.3	10.8 ± 0.1	7.0 ± 0.4
筑波	低温貯蔵前	59.3 ± 0.5	64.9 ± 0.3	69.8 ± 0.4	10.5 ± 0.6	10.3 ± 1.4
	低温貯蔵後	62.2 ± 0.3	67.8 ± 0.2	74.0 ± 0.3	11.8 ± 0.6	6.5 ± 0.9
石鎚	低温貯蔵前	59.5 ± 0.5	65.4 ± 0.5	70.1 ± 0.4	10.6 ± 0.5	8.7 ± 0.5
	低温貯蔵後	61.5 ± 0.1	65.5 ± 0.2	69.5 ± 0.2	8.0 ± 0.0	7.1 ± 0.5

$T_o$ : 糊化開始温度,  $T_p$ : 糊化ピーク温度,  $T_c$ : 糊化終了温度,  $T_r$ : 糊化温度範囲,  $\Delta H$ : 糊化エンタルピー変化  
t検定 \*:  $p < 0.05$ , \*\*:  $p < 0.01$  (平均値 ± 標準偏差, n=3)

表3 クリに含まれるアミロペクチンの鎖長分布 (%)

DP (グルコース重合度)	fa (DP6-12)	fb1 (DP13-24)	fb2 (DP25-36)	fb3 (DP37-50)	
丹沢	低温貯蔵前	30.4 ± 0.2	55.9 ± 0.7	11.6 ± 0.2	2.1 ± 0.5
	低温貯蔵後	26.6 ± 5.5	57.3 ± 1.8	13.4 ± 2.9	2.7 ± 0.8
筑波	低温貯蔵前	29.8 ± 0.2	56.7 ± 0.7	10.8 ± 0.2	2.7 ± 0.7
	低温貯蔵後	29.5 ± 0.4	56.6 ± 0.8	11.5 ± 0.0	2.4 ± 0.4
石鎚	低温貯蔵前	30.0 ± 1.2	56.0 ± 1.8	11.1 ± 0.4	2.9 ± 0.4
	低温貯蔵後	29.5 ± 0.3	57.0 ± 0.8	11.0 ± 0.3	2.5 ± 0.5

(平均値 ± 標準偏差, n=3)

変数は fb3 (-0.54) のみ該当した。また、低温貯蔵の前後でスコアプロットを比較してみると、低温貯蔵前のプロットは第2象限または第3象限に位置するのに対し、低温貯蔵後のプロットは第1象限または第4象限に位置していた。

次に、主成分分析と同様の変数を用いて Spearman の順位相関行列を行い、絶対値 0.7 以上のものを相関が高いと意味づけた (表4)。高い相関が見られたものの中でもフルクトースとグルコース ( $r = 0.89$ )、スクロース ( $r = 0.83$ )、遊離糖含量 ( $r = 0.83$ )、fa ( $r = -0.94$ )、および fb1 ( $r = 0.94$ ) との間、グルコースとスクロース ( $r = 0.89$ )、遊離糖含量 ( $r = 0.89$ )、fa ( $r = -0.94$ ) との間、スクロースとマルトース ( $r = -0.88$ ) の間、マルトースと遊離糖含量 ( $r = -0.88$ ) および  $\Delta H$  ( $r = 0.94$ ) との間、fb2 と  $T_o$  ( $r = 0.94$ )、 $T_p$  ( $r = 0.94$ )、および  $T_c$  ( $r = 0.89$ ) との間に有意な相関が見られた。

#### 4. 考察

本研究では、低温貯蔵によるクリの遊離糖組成および澱粉の性質の変化について分析した。クリに含まれる遊離糖組成の9割がスクロースであり、低温貯蔵することによってスクロース含量の増加が認められた。低温貯蔵後のスクロースの増加は過去にも報告されているが (永井ら, 1992; 加島ら, 2016)、低温貯蔵後のマルトースの消失は今回新たに発見された知見である。低温貯蔵によるクリ果実内のスクロースの増加について、菅原らは低温貯蔵中に澱粉からスクロースへの転換反応 (図5) に関わる種々の酵素群が活性化したと推察している (菅原ら, 1987)。本研究においても、クリに含まれる澱粉含量は低温貯蔵後に減少する傾向にあり、澱粉含量とスクロースの間には負の相関 ( $r = -0.77$ ) が見られた。

また、遊離糖含量と fa との間に負の相関 ( $r = -0.77$ ) があることから、クリ果肉中の糖分解酵素がアミロ

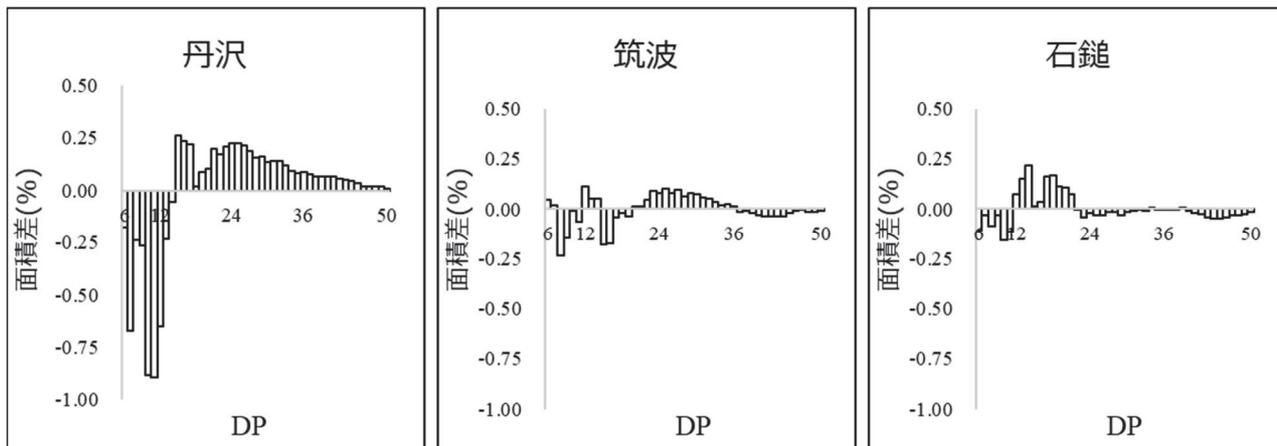


図3 低温貯蔵前後におけるクリに含まれるアミロペクチンの鎖長分布の変化  
低温貯蔵後の各DPの面積比から低温貯蔵前の各ピークの面積比を引いた値

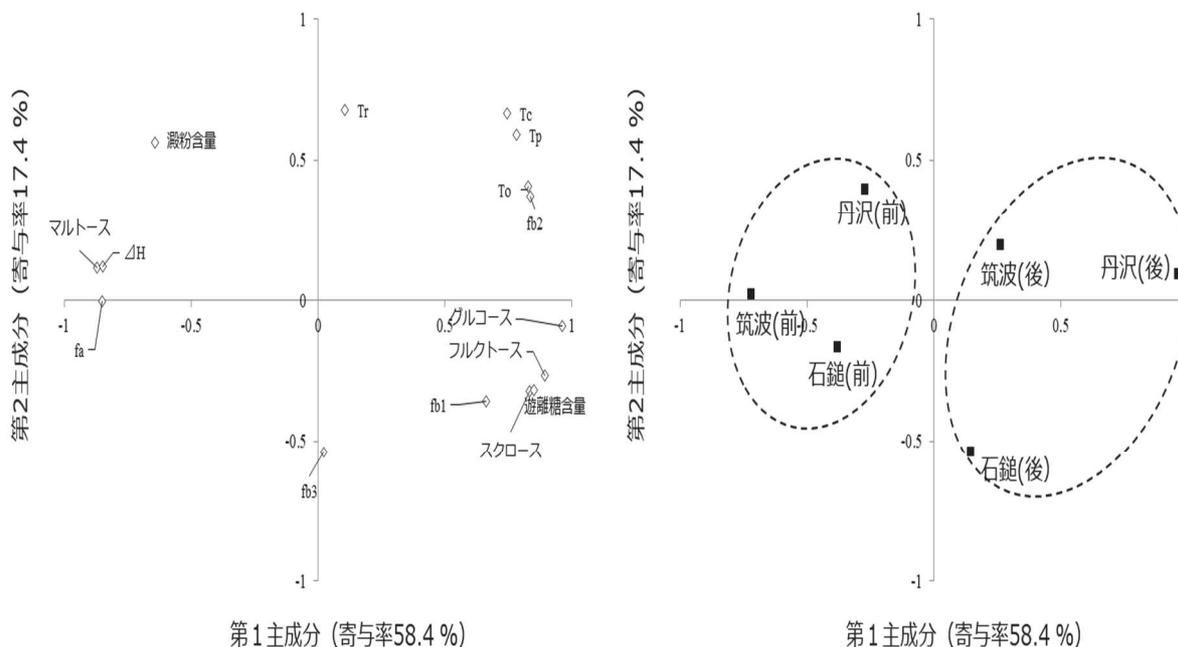


図4 主成分分析による低温貯蔵による生グリへの影響の評価  
(左) ローディングプロット (右) スコアプロット

ペクチンの短鎖を主に分解することで遊離糖を生成する可能性が考えられた。低温貯蔵によるクリの遊離糖増加のメカニズムは未だ解明されていないが、クリの凍結温度に近い温度で貯蔵すればするほど糖含量が増加する事が報告されている(菅原ら, 1987)。

本研究と先行研究の結果から、低温貯蔵による糖含量の増加はクリが耐凍性を獲得するために糖を適合溶質として生成した事が考えられた。適合溶質とは電氣的に中性で水和性が高く、大量に蓄積しても細胞に対して有害でない低分子溶質をさし、糖類やアミノ酸類が該当する。植物は適合溶質を蓄積することによって、凍結耐性が増大する際に起こる細胞内からの脱水を抑制し、障害発生を低減させる事が

提唱されている(上村ら, 2001)。つまり、低温貯蔵の過程においてクリ果実内で澱粉-スクロース転換系に関わる種々の酵素が活性化され、低分子化合物である遊離糖を生成する事でクリが凍結耐性を獲得した可能性が考えられた。

ところで、スクロースを添加した澱粉は糊化を阻害する事が報告されている(平島, 2007)。この現象は、スクロースが自由水の減少を引き起こすことによって、澱粉粒子が十分に膨潤する事ができないために多くの熱量を要するためであると報告されている(Ahmad et al, 1999; Eliasson, 1992)。本研究においても、低温貯蔵後にスクロースが顕著に増加したことから、クリに含まれる澱粉の糊化特性が変化する事が考えられた。以上のことから、低温貯蔵の



蔵前と比較してクリ可食部の澱粉含量の微減およびアミロペクチンの短鎖領域の減少も見られた。以上の事から、低温貯蔵によるクリ果実の凍結を回避するために、澱粉 - スクロース転換経路中の酵素を活性化させ、アミロペクチンの短鎖を主に分解してスクロースを適合溶質として生成したと考えられた。

### 謝辞

本研究を進めるにあたり、松尾和広氏（松尾栗園、石川県輪島市）のご厚意によって実験試料のクリを供与して頂きました。貴重なクリを供与して頂いたことに対しまして、改めて深謝申し上げます。また、アミロペクチンの鎖長分布分析において使用したイソアミラーゼクリスタルは（株）林原から提供していただきました。ご厚意に感謝いたします。

### 引用文献

- 上村松生・鎌田崇. 2001. 植物の凍結耐性増大過程における細胞内適合溶質の役割. 低温生物工学会誌. 47(2): 49-50.
- 加島隆洋・今泉茂巳. 2016. 熟成技術によるクリ新品種の商品展開(第1報). 岐阜県産業技術センター研究報告. 10.
- 片山健二. サツマイモにおけるデンプン特性の変異に関する育種学的研究. 育種学研究. 74: 201-204.
- 河野澄夫・小野寺武夫・早川昭・岩本陸夫. 1984. クリの予冷と低温貯蔵. 園芸学会雑誌. 3(2): 194-201.
- 志村勲. 2000. 果樹園芸大百科7 クリ. 社団法人農山漁村文化協会. 5-8.
- 菅原渉・河野澄夫・太田英明. 1987. 低温貯蔵中における生栗の品質変化. 日本食品低温保蔵学会誌. 13(1): 3-9.
- 杉本温美・嶋崎安代・朝岡正子・不破栄次. 2004. 栗果肉の食味評価と理化学的特性との関連について. 近畿大学農学部紀要. 37: 31-37.
- 竹田千重乃・竹田靖史・檜作進. 1987. 栗澱粉の構造と性質. 澱粉科学. 34(1): 31-37.
- 永井耕介・堀本宗清・澤正樹・吉川年彦. 1992. クリの低温貯蔵中における糖含量の変化. 兵庫県立中央農業技術センター研究報告. 農業編. 40: 29-34.
- 農林水産省大臣官房統計部. 2020. 令和元年度西洋なし、かき、くりの結果樹面積、収穫量及び出荷量. ([https://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/sakumotu/sakkyou\\_kazyu/attach/pdf/index-35.pdf](https://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/sakumotu/sakkyou_kazyu/attach/pdf/index-35.pdf) 2020.9.24閲覧)
- 平島円. 2007. 澱粉糊の調理特性に及ぼす呈味物質の影響. 日本調理科学会誌. 40 (2): 47-51.
- 真部孝明・久保進. 1966. クリの成分と加工法に関する研究(第1報). 日本食品工業学会誌. 13(11): 471-475.
- 山中俊彦. 2000. 果樹園芸大百科7 クリ. 社団法人農山漁村文化協会. 207-210.

Ahmad, F. B., Williams, P. A. 1999. Effect of sugars on the thermal and rheological properties of sago starch. *Biopolymers*. 50: 401-412.

Eliasson, A. C. 1992. A calorimetric investigation of the influence of sucrose on the gelatinization of starch. *Carbohydrate Polymers*. 18: 131-138.

Hanashiro, I., Abe, J., Hizukuri, S. 1996. A periodic distribution of the chain length of amylopectin as revealed by high-performance anion-exchange chromatography. *Carbohydrate Research*. 28: 151-159.

Vandeputte, G. E., Vermeylen, R., Geeroms, J., Delcour J. A. 2003. Rice Starches. I. Structural aspects provide insight into crystallinity characteristics and gelatinisation behaviour of granular starch. *Journal of Cereal Science*. 38: 43-52.

## **Changes in Carbohydrate Content of Japanese Chestnuts (*Castanea crenata*) during Cold Storage**

Saito, Yasuhiro (Division of Food Science, Graduate School of Ishikawa Prefectural University)

Honda, Yuji (Department of Food Sciences, Ishikawa Prefectural University)

### **Abstract**

We investigated the changes in chestnuts' carbohydrate content (Tanzawa, Tsukuba, and Ishizuchi) after cold storage (-1 °C, 45 days) treatment. Free sugar contents (Glucose, Fructose, Sucrose, and Maltose) in raw chestnuts after the treatment were higher than those in raw chestnuts without the treatment. Starch contents in the chestnuts were decreased after the treatment. The onset temperature in starch gelatinization ( $T_p$ ) of raw chestnuts were increased by approximately 2 °C after the treatment. The treatment also decreased enthalpy change ( $\Delta H$ ) of starch gelatinization in raw chestnuts. Short chains (DP, degree of polymerization: 6-12) of amylopectin in the chestnuts were increased by the treatment, resulting in a decrease of middle chains (DP 13-24). Spearman's rank correlation coefficients indicated that the free sugar contents were negatively correlated to DP 6-12,  $\Delta H$ , and starch contents. The principal component analysis suggested that the cold storage treatment affected the enhancement of sweetness in the chestnuts and the change of its starch gelatinization properties. We concluded that chestnuts produce free sugar from amylopectin (low DP) to protect freezing as a compatible solute, increasing the chestnuts' sweetness.

Key words : chestnuts, cold storage, free sugar, starch, amylopectin