

雪室貯蔵によるさつまいもの成分と機能性の変化について (雪室モデルを用いた検討)

神山 伸 滝本なづな 曽根英行

1. はじめに

多雪地域である新潟県では、古くから雪下貯蔵や雪中(雪室)貯蔵などの雪利用貯蔵が行われてきた。雪室貯蔵の方法としては、室内の貯雪庫に雪を蓄える「氷室型」と、雪で覆われた貯蔵庫を用いる「雪室型」に大きくわけられるが、いずれも低コストで年間を通した低温環境を保つことが可能であり、新潟県内にも多くの雪室が存在していた。電気冷蔵庫の普及により、平成に入るまでにそのほとんどが姿を消したが、近年ではこの二酸化炭素を排出せず環境にやさしい「雪冷熱エネルギー」が見直されており、雪室のような食品貯蔵を目的とした雪冷熱利用施設も年々増加している。

雪室は空気変動や振動を与えず、温度0℃付近、湿度90%以上の安定した低温高湿度を維持できることから、その高い保存性を目的として農作物を中心に利用されてきた。近年ではその食味向上効果が注目されており、例えばじゃがいもの雪室貯蔵では、植物が凍結抵抗性を得るための「低温馴化」作用により、デンプンの糖化が進行して遊離糖が大きく増加し、甘味が増加することが報告されている¹⁾。また、雪下貯蔵の代表例である雪下人参についても、通常の秋収穫人参よりも香りが強く、アミノ酸が増加して味が濃くなることが報告されている²⁾。さらに、雪室の0℃付近の低温は酸化反応が緩やかであり、食品の品質低下やオフフレーバー(劣化臭)の生成を防ぎながら低温熟成させることができることから、いくつかの加工品についても雪室貯蔵の有効性が示されている。新潟県立大学においても、コーヒー³⁾、⁴⁾や小麦粉⁵⁾、発酵チーズ⁶⁾のような加工食品において、雪室貯蔵により品質保持・食味向上効果がみられることを報告している。

食品の機能は「栄養」、「嗜好」、「生体調節性」の3つに分けられるが、高付加価値化のためにはそのいずれかの特性を向上させることが望まれる。上述のように、雪

室は食品の保存性と美味しさに寄与することから、「栄養特性」と「嗜好特性」の両面で有効性を持つが、食品の三次機能である機能性の向上に関する報告は少なく、雪室を用いた機能性食品の開発もほとんど行われていない。筆者らは、越後妙高の地域特産物である辛味調味料「かんずり」に関して、雪さらしにより塩蔵唐辛子の食味が向上するのみならず、その抗酸化活性が増加することを報告した⁷⁾。また、新潟県津南町の特産である雪下人参に関しても、抗酸化成分であるリコピンを多く含む京くれない人参を用いた機能性雪下人参が開発されており、高機能性ととも従来雪下人参と同等の良食味を兼ね備えていることを報告している⁸⁾。ここで、この機能性に特化するメリットとして、「健康ブーム」に代表されるような購買意欲への大きなアピール性が挙げられる。欧米では既に、食品ラベルにORAC (Oxygen Radical Absorbance Capacity、活性酸素吸収能) 法⁹⁾で測定した抗酸化性 (ORAC 値) が表記されており、消費者の購買意欲を促進する基準の一つとなっている。一方、農産物を含め食品には高い抗酸化性を持つものが多くあるが、この抗酸化性が雪室貯蔵でどのように変化するかについての研究例は少なく、抗酸化力を指標とした高付加価値化についての検討もほとんど行われていない。したがって、本研究では食品の機能性の中でも代表的な抗酸化作用に着目し、雪室貯蔵による農作物の成分と抗酸化性の変化を常温貯蔵および冷蔵室貯蔵と比較しつつ検討した。すなわち、比較的長期保存が可能な作物としてさつまいも類(黄色系: 紅はるか、紫色系: パープルスイートロードとアヤマラサキ)を選定し、雪室モデルに1ヶ月貯蔵した場合の抗酸化性の変化をORAC法で測定することにより、抗酸化力を指標とした雪利用貯蔵の有効性について検証を行った。

2. 実験方法

2.1 試料と貯蔵条件

試料として、2018年9月に購入したさつまいも3種(ベにはるか、パープルスイートロード、アヤマラサキ)を用い、常温、冷蔵室、雪室モデルのいずれかの条件で1ヶ月貯蔵した。常温貯蔵は温度・湿度を調整しない貯蔵室

〒950-8680 新潟県新潟市東区海老ヶ瀬471

新潟県立大学人間生活学部

かみやま しん (健康栄養学科教授 kammy@unii.ac.jp)

たきもと なづな (平成30年度健康栄養学科卒業生)

そね ひでゆき (健康栄養学科教授 sone@unii.ac.jp)

で行い、冷蔵室貯蔵は新潟県立大学の低温室（サンヨープレハブ冷蔵室、5℃設定）を用いて行った。雪室モデル貯蔵では、以前の報告⁶⁾と同様に、2℃に設定した低温高湿庫（BR-63SB、ホシザキ電気製）にクラッシュドアイスを設置し、その上段に試料を保存した。雪室モデル内の氷の交換は1週間に1回の頻度で行った。保存期間中はThermo RecorderおんどりTR-72wf-H（T&D Corporation）を用いて温度と湿度を記録した。

2.2 糖度測定と分析試料の調製

糖度測定においては、試料を刻んだ後フードミル（TML180,Tescom）で破砕したものについて、ポータブル糖度計（Portable Brix Meter BX-1、京都電子工業）を用いてBrix値（屈折率糖度）を測定した。水分量の測定では、破砕した試料について常圧乾燥法（105℃、5時間）により水分率を測定した。分析のための試料の調製では、破砕した試料2gに2倍量の蒸留水を加えてポリトロンホモジナイザーでホモジナイズ（均質化）し、遠心分離（12000×g、4℃、10分）したものを水溶性成分とした。また、沈殿を蒸留水で洗浄後、アセトン1mLを加え、室温で1時間振盪抽出したものを脂溶性成分とした。

2.3 ORAC測定法

それぞれの試料の抗酸化性は、Watanabeらの方法¹⁰⁾に準拠したORAC法で測定した。水溶性成分は75mmol/Lリン酸緩衝液（pH7.4）を用いたH-ORAC法、脂溶性成分は7%（w/v）メチル-β-シクロデキストリン-50%アセトン溶液を用いたL-ORAC法を用いて測定し、合計量を総ORAC値として評価した。蛍光値の測定においては、37℃に加温した蛍光プレートリーダー（CytoFluor 4000, Applied Biosystems）を用いて、励起波長485nm、検出波長530nmの条件で、2分おきにプレート底面側から蛍光を測定した。蛍光値の変化を農研機構の自動解析エクセルシートを用いて解析し、Troloxを標準物質として検量線を作成することにより、試料100gあたりのTrolox相当量（μmol/100g）として算出した。

2.4総ポリフェノール量

水溶性成分について、総ポリフェノール量をフォーリン・チオカルト法¹¹⁾によって測定した。没食子酸水溶液を標準液とし、試料20μLに10%（v/v）フェノール試薬希釈液を100μL加え、5分後に7.5%（w/v）炭酸ナトリウム溶液を80μL加え混和し、室温で60分放置後、波長650nmの吸光度をプレートリーダー（Vmax, Molecular Devices製）で測定した。検量線と希釈倍率から、試料

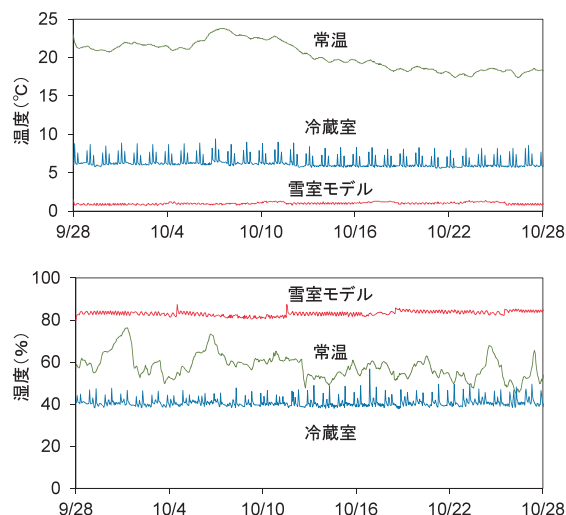


図1.貯蔵期間中の温度（上）と湿度（下）の変化

常温、冷蔵室、雪室モデルのそれぞれにおける温度（℃）と湿度（%）の変化を示した。

100gあたりの総ポリフェノール量を算出した。

2.5 色調の測定

色調の測定はTES-135A プラス（佐藤商事）を用いて行い、付属の校正シートを用いて白色校正を行った。色差計の絶対測定モードにより、L*a*b*表色系で測定した。さつまいも類は、中心を半分に切った断面を各5点ずつラップの上から計測した。 $[(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$ で求めた試料間の色差を ΔE^*_{ab} として表し、×0.92の値をNBS（米国標準局）単位として評価した。

2.6統計解析

数値は試料4点から得られた結果について、その平均値と標準偏差で表した。統計処理として、群間の平均値の差について一元配置分散分析とTukey-Kramer法による多重比較で有意差検定を行った。解析はRプログラム（v3.3.1）を用いて行い、5%を有意水準とした。

3.結果と考察

3.1貯蔵条件

それぞれの貯蔵条件における貯蔵期間中の温度と湿度の変化を図1に示した。1ヶ月間の温度と湿度の変化は、常温貯蔵が17.4～23.8℃（平均20.2℃）、45.1～76.4%（平均57.9%）、冷蔵室貯蔵が5.6℃～9.4℃（平均6.2℃）、37.7～56.8%（平均40.7%）、雪室モデルが0.7℃～1.5℃（平均1.0℃）、79.6～87.5%（平均83.2%）であった。このことから、雪室モデルは実際の雪室モデルと同様の安定した低温高湿環境であることが示され、雪室モデルとして適切であることが確認された。

3.2 試料断面の状態と色調

貯蔵前および貯蔵後の試料について、切断面の写真を図2に示した。3種のいずれの芋とも、貯蔵前（初発）と常温貯蔵では表皮に近い部分に白い乳液状のヤラピン（樹脂配糖体の一種で、苦味や変色の一因となる）が多くみられたが、冷蔵室、雪室モデル貯蔵ではみられず、低温貯蔵によるヤラピン減少が示唆された。

また、紫芋に関して、食用品種であるパープルスweetロードと加工用品種であるアヤマラサキともに、いずれの貯蔵においても初発に比べて断面の紫色が濃くなる傾向がみられた（図2）。ここで、冷蔵室に保存したものは、べにはるかでは表皮に近い部分で低温障害による変色がみられ、アヤマラサキでも根端部分が硬く乾燥してスポンジ状になっていた（写真の矢印部分）。これに対して雪室モデル保存のものは、0℃近い低温にもかかわらず1ヶ月の保存では大きな変化はみられなかった。さつまいもは低温障害を起こすため、通常は10℃以上で保存されるが、冷蔵室貯蔵のものよりもより低温である雪室モデル貯蔵で低温障害が軽微であった。したがって、雪室における低温高湿度は高温・高湿度によるキュアリング処理（高温・高湿度処理により表皮にコルク層を形成し、低温障害を防ぐ）と同様、さつまいもの低温障害を軽減する可能性が示唆された。

貯蔵による色の変化を明確にするために、それぞれの切断面について色彩計で色調を測定した結果を表1に示した。べにはるかにおいては貯蔵前と貯蔵後との間の色差は小さかったが、紫芋であるパープルスweetロードにおいては初発と比べていずれの貯蔵条件でも色調が大きく変化しており、アヤマラサキにおいては著しく異

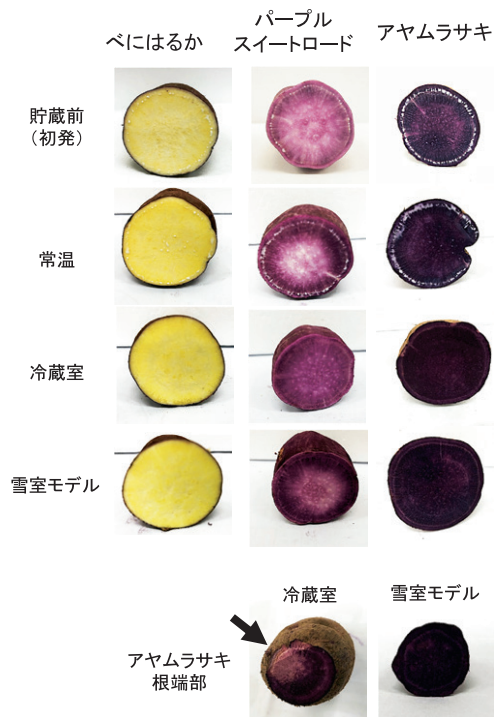


図2. 貯蔵前と貯蔵後の試料の切断面

貯蔵前と貯蔵後のべにはるか、パープルスweetロード、アヤマラサキの中央部分の切断面を示した。アヤマラサキに関しては、冷蔵室と雪室モデル貯蔵の根端部分についても切断面を示した（図右下部分）。

なっていた。これらのことから、紫芋においては常温、冷蔵、雪室のいずれの条件でも貯蔵により抗酸化成分であるアントシアニン色素が増加するものと考えられる。

3.3 貯蔵による成分変化

貯蔵による成分変化として、糖度、水分量、総ポリフェノール量について測定した結果を表2に示した。糖度に

表1. 貯蔵における断面の色調変化

		L*	a*	b*	初発に対する色差（NBS単位 ^{1）}
べにはるか	初発	89.5±0.4	1.9±0.4	20.5±4.5	—
	常温	88.8±0.8	3.1±0.4	20.8±2.1	1.3
	冷蔵	87.9±1.8	3.6±0.6	20.6±3.9	2.2
	雪室	88.6±1.0	3.3±0.4	21.6±2.4	1.9
パープルスweetロード	初発	56.4±2.4	30.0±1.7	-6.0±2.4	—
	常温	63.3±5.0	24.1±3.3	-4.4±2.1	8.4
	冷蔵	56.4±2.5	32.6±2.3	-10.4±1.3	4.7
	雪室	58.3±6.8	29.6±5.1	-8.1±2.7	2.6
アヤマラサキ	初発	30.6±1.8	29.4±2.0	-8.0±2.2	—
	常温	30.9±1.0	35.2±3.7	-14.5±4.9	8.0
	冷蔵	31.2±0.5	35.1±1.1	-13.6±1.1	7.4
	雪室	30.0±1.8	32.4±3.0	-15.6±1.3	7.5

¹ NBS単位は、色差 ΔE^*_{ab} に0.92を乗じることによって算出した。評価は以下の通り。
0～0.5：極めてわずかに異なる、0.5～1.5：わずかに異なる、1.5～3.0：感知し得るほどに異なる、3.0～6.0：著しく異なる、6.0～12.0：きわめて著しく異なる、12.0<：別の色系

関しては、糖度計によりBrix値（屈折率糖度）を測定したが、べにはるかとパープルスイートロードでは、初発と比較して冷蔵室貯蔵、雪室モデル貯蔵ともに有意に増加していた。アヤマラサキにおいては、冷蔵室貯蔵で有意な増加が認められ、有意ではないものの雪室モデル貯蔵においても上昇傾向が認められた。これらのことから、さつまいもの低温貯蔵においてもじゃがいもと同様に低温糖化により糖度が上昇することが確認された。水分量に関しては、1ヶ月の貯蔵期間ではいずれの貯蔵法でも有意な変化は認められなかった。

また、総ポリフェノール量をフォーリン・チオカルト法で測定したが、べにはるか、パープルスイートロード、アヤマラサキのいずれも貯蔵条件による違いは認められず、初発との間にも有意差はみられなかった。したがって、1ヶ月間の貯蔵において色素量は増加するものの、総ポリフェノール量としては大きな変化は見られないものと考えられる。

3.4 貯蔵による抗酸化性の変化

それぞれの試料に関して、ORAC法で評価した抗酸化活性を図3に示した。高度にアントシアニン色素を含む加工用紫芋であるアヤマラサキは、黄色系（カロテノイド色素）であるべにはるかの5倍以上の総ORAC値を示した。貯蔵によるORAC値の変動に関して、べにはるかは1ヶ月間の貯蔵では、常温、冷蔵室、雪室モデルのいずれの条件においても総ORACに有意差はみられなかった。一方、紫芋に関しては、常温、冷蔵室、雪室モデルのいずれも初発と比較して貯蔵後に総ORAC値が増加する傾向がみられた。食用品種であるパープルス

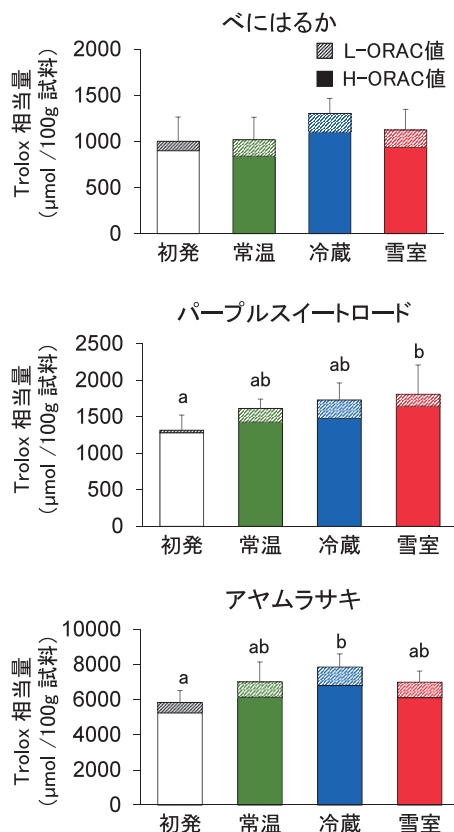


図3. 貯蔵における ORAC 値の変化

貯蔵前とそれぞれの条件における貯蔵後の試料について、H-ORAC値（塗りつぶし）とL-ORAC値（斜線）の合計量として総ORAC値を示した。a,bの記号は統計的な有意差を表す（各条件の間で同じ文字を持たないものは、 $p<0.05$ で有意差あり）。

イトロードでは雪室モデルで初発に対して有意に増加しており、加工用品種であるアヤマラサキにおいては冷蔵室貯蔵において有意に増加していた。ここで、上述の

表2. 貯蔵における糖度、水分、ポリフェノール量の変化

		糖度 (%)	水分 (%)	総ポリフェノール量 (mg 没食子酸相当量/100g 試料)
べにはるか				
	初発	13.3±0.6 ^a	59.9±2.0	123.8±16.3
	常温	14.2±1.2 ^{ab}	59.6±1.8	123.2±16.5
	冷蔵	20.2±0.4 ^b	60.4±3.9	137.0±10.0
	雪室	18.3±1.1 ^b	59.4±3.9	131.8±10.7
パープルスイートロード				
	初発	10.5±0.7 ^a	72.4±6.3	152.4±12.2
	常温	11.5±0.5 ^{ab}	66.1±1.7	171.2±11.5
	冷蔵	16.0±1.3 ^b	66.7±1.7	177.5±21.1
	雪室	13.5±0.9 ^b	68.5±2.0	170.7±15.9
アヤマラサキ				
	初発	13.3±1.9 ^a	61.0±1.2	595.2±47.2
	常温	13.4±3.3 ^{ab}	62.1±2.3	551.5±69.1
	冷蔵	25.6±2.0 ^b	59.3±2.6	588.8±70.6
	雪室	18.3±2.5 ^{ab}	62.9±2.4	544.3±27.6

^{a,b}の記号は統計的な有意差を表す（各条件の間で同じ文字を持たないものは、 $p<0.05$ で有意差あり）

ように総ポリフェノール量の変化は小さかったことから、抗酸化性の上昇はポリフェノール類全体量の増加ではなく、アントシアニン色素等の抗酸化性の高い成分の増加が関与しているものと考えられる。

4. おわりに

以上の結果から、さつまいもの低温貯蔵では、じゃがいも等と同様に低温糖化によって糖度が増加するとともに、苦味・変色の原因となるヤラピンが減少し、また紫芋においては抗酸化性の上昇がみられることが示された。雪室モデル貯蔵の糖度は冷蔵室貯蔵のものよりもやや低い値であり、抗酸化性においても冷蔵室保存との間で有意差はみられなかったが、冷蔵室貯蔵でみられた低温障害が軽減されていたことから、より長期間の保存が可能であるものと期待される。今後、貯蔵期間の延長と機能性向上に繋がる条件について検討するとともに、実際の雪室に貯蔵した試料についてもその食味と機能性を評価することにより、雪室貯蔵の有効性を実証することが望まれる。

ここで、アヤマラサキ等の機能性に特化した紫芋は、良食味であることは必ずしも必要条件ではなく、さまざまな加工製品についても機能性による高付加価値化をアピールすることが可能である。「はじめに」で記述したように、新潟県津南町の特産である雪下人參においては、機能性人參である京くれない人參を用いることにより、「雪くれない」として機能性をアピールしたブランドを構築しつつある。機能性を指標とした場合では、規格外の農産物を利用できるメリットがあるとともに、流通期間の短い作物においては、通年流通の商品開発が容易であるという利点も併せ持つ。同じように、収穫時期と流通期間が限定されているさつまいもにおいても、雪利用により抗酸化性による機能性向上を示すことができれば、加工品として通年流通の高付加価値化商品を開発することが期待できる。

今後、本研究で用いた紫芋を含むさまざまな機能性食品について、その抗酸化力を指標とした雪利用貯蔵の有効性が確認されることにより、機能性による雪利用食品の高付加価値化が一般的になることを希望している。

参考文献

- 1) 下條明, 佐藤嘉一, 安藤健介, 長谷川雅明, 加納義高, 高橋聡, 渡辺聡 (2012) 「『ばれいしょ』の雪室貯蔵による品質向上効果の検証～低炭素社会にふさわしい雪による新たなニイガタブランドの創造～」. 食品の試験と研究 46 : 69.
- 2) 石原和夫, 鈴木裕行, 土田早苗, 馬克己, 萩幸男,

横山泰裕 (2005) ニンジンの雪下貯蔵に伴う香気成分の変化. 園芸学研究 4 : 353-357.

- 3) 曾根英行, 押味真里菜, 伊藤美咲, 石黒真理子, 辻友美, 小林和也, 渡辺聡, 神山伸 (2014) 雪室貯蔵によるコーヒー豆の香気成分の変化について (雪室を再現したモデル実験による検討). Trace Nutrients Research 31 : 12-16.
- 4) 神山伸, 押味真里菜, 伊藤美咲, 大内彩也夏, 磯島秋穂, 曾根英行 (2019) 雪室熟成によるコーヒーの香気と呈味の変化. New Food Industry 61 : 657-664.
- 5) 神山伸, 櫛原詩野, 本間千裕, 萩原真, 曾根英行 (2017) 雪室貯蔵が小麦粉の品質と製パン性に与える影響. 日本食品工学会誌 18 : 19-24.
- 6) 神山伸, 田山舞, 須崎奈美, 太田ひかる, 金子未来, 曾根英行 (2018) 雪室モデルを用いたチーズの雪利用貯蔵の有効性に関する検討. 日本食品工学会誌 19 : 137-144.
- 7) 神山伸, 曾根英行, 勝沼芽依, 小林和也, 渡辺聡 (2014) 雪さらしによる赤色唐辛子の成分と機能性の変化 (越後妙高辛味調味料「かんずり」). 人間生活学研究 5 : 1-7.
- 8) 神山伸, 上浦桜民, 甘利礼奈, 酒井史彰, 曾根英行 (2018) 雪下京くれない人參と雪下はまべに五寸人參の食味及び成分, 抗酸化性の比較. Trace Nutrients Research 35 : 58-65.
- 9) Cao G, Alessio HM, Cutler RG (1993) Oxygen-radical absorbance capacity assay for antioxidants. Free Radic. Biol. Med. 14 : 303-311.
- 10) Watanabe J, Oki T, Takebayashi J, Yamasaki K, Takano-Ishikawa Y, Hino A, Yasui A (2012) Method validation by interlaboratory studies of improved hydrophilic oxygen radical absorbance capacity methods for the determination of antioxidant capacities of antioxidant solutions and food extracts. Anal. Sci. 28 : 159-165.
- 11) ISO (2005) Determination of substances characteristic of green and black tea - Part 1 : Content of total polyphenols in tea - Colorimetric method using Folin-Ciocalteu reagent. ISO 14502- 1