南方系ヤマノイモ (*Dioscorea alata* L.) の 貯蔵中における品質変化†

田之上 隼 雄*・下 園 英 俊*

Quality Changes of *Dioscorea alata* L. Tuber during Storage

Hayao TANOUE* and Hidetoshi SIMOZUNO*

* Kagoshima Prefectural Agricultural Experimental Station,
5500, Kamifukumoto-cho, Kagoshima-shi 891-01

「KaU-09」, one clone of *Dioscorea alata* L., was grown in Kagoshima district and freshly harvested tubers were stored at different temperatures to examine the effect of storage condition on the quality of yam. Judging from external appearance of tuber during the storage at 15°C, 13°C and 10°C, it was suggested that appropriate storage temperature was 15°C, and at this temperature the tubers were stored for 6 months in healthy condition. The tubers stored at 10°C became soft at all parts and their cut section showed grayish color which was different from the creamy white color of the healthy tubers. On storage at 13°C injury was observed as the appearance of spots on the surface. In the course of 5 month-storage at 15°C, the content of viscous polysaccharides in the tuber decreased linearly (to 70% of the initial content) followed by the change in rheological properties (apparent viscosity, thread forming capacity) of the homogenate of yam, called "Tororo" in Japanese. On storage at 10°C, the tubers lost the viscous property, and this was assumed to be due to change in the property of viscous polysaccharide molecules. Amylase activity of the tuber stored at 15°C reached the maximum (3.5 times of the initial activity) after 8 month-storage.

(Received Feb. 12, 1991)

ヤマノイモの貯蔵性は種によって著しく異なることが知られている。従来からの我国における栽培種である *Dioscorea opposita* THUNB に属するながいも、つくねいも、いちょういもと *D. japonica* THUNB のじねんじょの貯蔵適温は0°Cで、実用的には2~5°Cで長期貯蔵が実施されている¹⁾²⁾。

一方、熱帯原産のヤマノイモは低温に弱く、その貯蔵適温は15~16°Cと言われている³⁾⁴⁾。その一種である *D. alata* L. も低温に弱く、本邦において栽培が困難と言われていたが⁵⁾、石畑⁶⁾は *D. alata* L. が南九州において栽培可能なことを実証し、著者ら⁷⁾も *D. alata* L. の中に粘性が強く、加工原料として有望な系統とし

て、「KaU-09」と「KaU-02」を選び出した。現在、これらの系統は産地に導入されつつあり、一部は冷凍とろろに加工されている。生いもは加工原料として長期貯蔵する必要があるが、我国における *D. alata* L. の栽培歴が浅く、本邦産 *D. alata* L. の貯蔵についての報告はほとんど見られない。

また、ヤマノイモの品質は独特の粘りによって評価され、粘りの強いものが求められているにもかかわらず粘りの主体となる粘質多糖の貯蔵中における変化については、従来の栽培種でも報告されていない。これは粘質多糖の測定法が確立されていなかったためと考えられるので、今回は前報⁷⁾で報告した粘質多糖の測定法を応用し、本

† ヤマノイモの利用に関する研究 (第3報)

* 鹿児島県農産物加工研究指導センター (〒891-01 鹿児島市上福元町 5500)

邦産 *D. alata* L. の貯蔵中における粘質多糖含量変化を明らかにするとともに、その長期貯蔵の可能性について検討した。

材料および方法

1. 材料

供試したヤマノイモは *D. alata* L. の中で、粘りが強く、加工原料として有望な「KaU-09」⁷⁾ とした。このイモは10月下旬頃から急速に肥大するため収穫時期の遅いほど収量は増加するが、低温に弱い欠点がある。更に加工向けとして栽培の機械化による原料生産費の低減が求められている。そこで供試したヤマノイモは、収穫時期の違いと収穫作業の機械化が貯蔵性に及ぼす影響を明らかにしておくため、収穫条件の異なるものを材料とした。「貯蔵温度と品質変化」を調べた材料は、すべて霜の降らない早い時期に収穫し、材料-1は蔓切、掘り起こしを機械化し、蔓からいもを分離する作業のみを手で行なった。材料-2と材料-3はすべての収穫作業を手で行なったが、前者は畑、後者は水田で栽培された。「長期貯蔵中における品質の経時変化」の試験では、降霜の無い時期に収穫した材料-4と、芋を肥大させるため収穫を遅くし、霜に2回会わせた材料-5を手で収穫した。

2. 貯蔵条件

肉眼観察で明らかに傷いも、病いもと識別できるものは除外し、みかんコンテナ (23 cm×34 cm×30 cm) に15 kg をバラ詰めし、収穫してから2日後に貯蔵試験に供した。強制通風式のプレハブ低温貯蔵庫を用い、温度は10℃、13℃、15℃に設定した。実測温度は設定温度の±1℃となった。湿度のコントロールは特に行なわなかったが、相対湿度85%以上を保持できた。ユニットクーラーからの冷気が直接いもに触れ、乾燥や障害を促進することのないように、収納したコンテナ5個を一ブロックとして、0.03 mm 厚のポリエチレンフィルムでハンカチ包装した。このことによってシート内が過湿となり、いもが濡れた状態になることはなかった。

3. 外観調査

肉眼による外観調査では腐敗または障害による変質に留意し、外観において少しでも変調を認めたイモは変質いもとして数え、健全いもと仕分けた。変質いも個数を調査個体総数 (約90個/区) で除して、その発生率とした。変質いもはその原因によって腐敗変質と生理障害いもに分類できた。

4. 粘質多糖含量

一区につき4~5個のヤマノイモを剥皮し、その1/4をとって卸し金でとろろとした。良く混合した後10 g を水とともにホモジナイズし、250 ml に定容した。遠心分離 (10 000 rpm, 15 分) した上澄液 20 ml に4 M NaCl 5 ml を加え、水で50 ml として検液とした。

(粘りの消失したヤマノイモはとろろの10倍液を検液とした)

検液の10 ml を前報⁷⁾の方法に準じてゲルろ過した。すなわち、トヨパール HW-65 (2.5 cmφ×50 cm), 同 HW-75 (2.6 cmφ×65 cm), 同 HW-40 (2.6 cmφ×65 cm) をこの順に連結し、0.4 M NaCl で溶出した。200 ml 以降の溶出液を10 ml ずつ分取し、フラクション18~32に溶出する粘質多糖をフェノール・硫酸法で比色し、精製粘質多糖で作製した標準曲線よりヤマノイモ100 g 中の多糖含量 (mg) を算出した。蛋白質は210 nm における吸光度で示した。

粘質多糖の質的な変化をチェックするため、DEAE-トヨパールによるイオン交換クロマトグラフィを行なった。

上記検液をイオン交換水に対して透析し (5℃, 12 時間); DEAE-トヨパール (2.5 cmφ×25 cm) にチャージした。0.2 M NaCl 500 ml と1.0 M NaCl 500 ml でグラジエント溶出し、88 滴ずつ回収した。

5. 見掛け粘度

とろろ10 g に水20 ml を加え、スターラーで約1時間攪拌して均一とした。遠心分離 (10 000 rpm, 15 分) した上澄液を検液とし、あらかじめ25℃に保温しておいたデジタルE型粘度計 (東京計器) のプレートに1 ml 入れ、ローターをセットしてから5分後に10 rpm における見掛け粘度を読み取った。

6. トロロの延伸性

前報⁷⁾の方法に準じて、とろろ中に差し込んだT型フックを500 mm/min で上昇させ、とろろがフックによって引き揚げられ、破断するまでのフックにかかる外力を記録し、破断点までのフックの移動距離 (L 値) と仕事量 (S 値) を求めた。

7. アミラーゼ活性⁸⁾

とろろ20 g に水40 ml を加え、ホモジナイズしてから遠心分離 (10 000 rpm, 15 分) した。上澄液をイオン交換水に対して透析し酵素液とした。酵素液0.25 ml に基質 (2% 可溶性澱粉を含む0.1 M 醋酸バッファー, pH 4.8) 0.25 ml を加え、37℃で10分間インキュベートして生成される還元糖をジニトロサリチル酸試薬で測

定し、生成糖量をマルトースとして求めた。上記条件で
1 分当り $1\mu\text{mol}$ のマルトースを生成する酵素量を 1
Unit とした。

結 果

1. 貯蔵温度と品質変化

本邦産 *D. alata* L. の貯蔵適温を知るため、 10°C 、 13°C 、 15°C で 3 か月間貯蔵し、その間の品質変化を調査比較した。

Fig. 1 Gel-permeation column chromatograms of water extracts of *D. alata* tubers stored at different temperatures

Column: Toyopearl HW-65 (2.5 cm ϕ $\times$ 50 cm)

HW-75 (2.6 cm ϕ $\times$ 65 cm) - HW-40 (82.6 cm $\times$ 65 cm)

Eluent: 0.4 M NaCl

Fraction size: 10 ml/tube after elution of 200 ml

●---Carbohydrate (Phenol- H_2SO_4 , $A_{490\text{nm}}$)

○---Protein ($A_{210\text{nm}}$)

A---Before storage

B---stored at 15°C for 3 months

C---stored at 10°C for 3 months

Table 1 Weight loss and decay of *Dioscorea alata* tubers stored at different temperatures

Material	Weight loss (%)			Decay (%)		
	10°C	13°C	15°C	10°C	13°C	15°C
Material-1	20.6	18.9	7.8	100*	53.2**	20.0***
-2	10.4	10.0	4.3	100	27.9	5.3
-3	20.0	18.9	6.3	100	48.9	7.9

*Low temperature injury, **Low temperature injury and rot, ***Rot. Material-1 was harvested mechanically and Material-2, 3 were harvested by hand. Approximately 90 samples of tubers were used for measurement of weight and decay.

(1) 重量および外観変化

ヤマノイモは貯蔵中の重量変化が多く、その大部分は呼吸量に基づくと言われる⁹⁾。今回実施した条件下においては、10℃区が約21%と多かった。この区のアノイモは組織が軟化し、汁液がしみ出ており、これが重量減の原因と考えられた。13℃区でも一部であるが同じような変化が観察された。15℃貯蔵いもでは特筆すべき外観変化はなく、重量減も3か月で6%と少なかった。

変質いもは、腐敗変質と生理障害による変質に分類された。低温に起因すると思われる生理障害は10℃区に発生し、いも全体の組織が灰褐色となり、軟化して容易に崩壊する状態に至った。13℃区にも同じような障害が観察されたが、13℃区における生理障害はいも全体に及ぶものでなく、スポット状に発生するといった違いが見られた。熱帯産の *D. alata* L. を10℃以下で貯蔵したとき同じような障害の発生することが報告されている³⁾¹⁰⁾。15℃では腐敗変質が主で、表皮特に条溝部での乾腐が見られた。

Table 1 で明らかのように、機械掘りした材料-1と手掘りの材料-2では腐敗に差が見られた。収穫時における損傷が原因と考えられたので、高湿下、32℃で7日間キュアリングしたところ腐敗変質を軽減できた。

(2) 粘質多糖含量の変化

粘質多糖含量ととろろの物性は原則として健全な組織について測定したが、10℃貯蔵いもは全体的に変質し、健全組織が得られなかったため、変質（低温障害）組織とした。

貯蔵前後におけるゲルろ過パターンを Fig. 1 に示した。15℃貯蔵ではそのパターンに本質的な変化はなく、フラクション18～32に溶出する粘質多糖と、60～68の

糖成分が貯蔵後に減少する様子がうかがえる。一方、10℃で貯蔵し、低温障害で変質したいもでは粘質多糖のピークは存在せず、健全組織に見られないフラクション40～50のピークが出現した。この画分は透析後も残っていることから比較的高分子と考えられる。

イオン交換クロマトグラフィによる溶出パターンも健全いもと低温障害で変質したいもで異なった。Fig. 2

Fig. 2 Elution profiles of water extracts of *D. alata* tuber stored at 15°C and 10°C on DEAE-Toyopearl 650

Column: DEAE-Toyopearl

650 (2.5 cm ϕ $\times$ 25 cm)

Eluent: 0.2 M NaCl $\rightarrow$ 0.5 M NaCl
(linear gradient)

Fractoin size: 88 drops/tube

●---carbohydrate (A_{490nm}),

○---protein (A_{210nm})

A---stored at 15°C for 3 months

B---stored at 10°C for 3 months

Table 2 Change in viscous polysaccharide content and physical properties of *Dioscorea alata* tubers stored at different temperatures

	Before storage	After 3 months storage		
		10°C	13°C	15°C
Polysaccharide content				
(mg/100 g of fresh weight)	611	N. D	589	571
S value	119	N. D	117	120
L value	17	N. D	16	15
S $\times$ L value	2023		1870	1800

S value: Tensilon units (equivalent to 0.0075 Joule)

L value: Elongation (cm) until breaking point

N. D : not detected

に示すように、健全いもではフラクション 50~60 に多糖のピークがあるが、変質いもではフラクション 20~50 の広い範囲にピークが現れた。精製した粘質多糖はフラクション 50~60 に溶出することが確かめられており、フラクション 20~50 のピークは粘質多糖が電荷的に変化したものと考えられる。

粘質多糖含量ととろろの物性値は Table 2 に示した。これらの含量、物性値は、材料-1, 2, 3 についての測定値の平均値とした。粘質多糖含量は貯蔵前生いも重 100 g 当り 611 mg 含まれたが、3 か月貯蔵後、13°C 区 589 mg/100 g、15°C 区 571 mg/100 g となった。10°C 区では、前述したように正常な位置に粘質多糖のピークが検出されなかった。

粘質多糖含量ととろろの物性との関連では、引っ張り試験におけるとろろの延伸性 (L 値) との相関が高かったが⁷⁾、L 値も貯蔵によって減少し、粘質多糖の変化とはほぼ一致した。10°C で貯蔵し、低温障害で変質したものとろろは引っ張り時、フックにかかる外力がほとんどなく、記録されなかった。

2. 長期貯蔵中における品質の経時変化

「KaU-09」の貯蔵温度として 15°C が適切であることが判明したので、15°C における貯蔵可能日数を把握する目的で経時的な品質評価を長期にわたって実施した。

(1) 外観、重量変化

10 か月にわたる貯蔵において重量はほぼ直線的に減少した。1 か月当りの重量減少は 1.2% となり、前述の結果も考慮して、適切な温度条件下での貯蔵中における重量減が極めて少ないのは「KaU-09」の利点と評価される。

収穫時期が早く、降霜に遭遇しなかった材料-4 の腐敗は貯蔵 2 か月頃までに 5% 発生したが、その後新たに増加することはなかった。このヤマノイモの 10 か月貯蔵後の外観は一見良好な状態であったが、切断したとき内部にスポット状の黒変部分が観察された。とろろに加工したとき、これらは異物とみなされるため除去する必要がある。剥皮、調整後の重量ロス は 37.4% に達し、貯蔵前原料の 18.9% の約 2 倍量に相当した。黒変が貯蔵のどの時点で発現するのかについては再度の試験で確認する必要があるが、6 か月までの調査においてはほとんど観察されていないので、剥皮した後残存する変色部位を除去する調整作業の煩わしさおよびトリミングで生じる重量ロスが問題となる加工原料としての貯蔵可能日数は 6 か月程度と判断される。

一方、収穫時期が遅く、霜に遭遇した材料-5 の変質

Fig. 3 Changes in viscous polysaccharide content and physical properties of *D. alata* tuber stored at 15°C

- Viscous polysaccharide content (mg/100 g)
- Apparent viscosity of water extracts of Tororo (homogenate of yam) at 10 rpm (mPa. S)
- ▲---L value of Tororo (cm)

Fig. 4 Change in amylase activity of *D. alata* tuber stored at 15°C

は急速で、貯蔵 3 か月後の変質いも (腐敗変質と生理障害いもの合計) は 63% に達した。このことより、長期貯蔵を目的とするいもは早めに収穫することの重要性が伺える。

(2) 粘質多糖含量ととろろの物性

これについては、貯蔵中変質の少なかった材料-4 の測定結果を Fig. 3 に示した。

粘質多糖含量は貯蔵前 610 mg/100 g であったが、貯蔵 5 か月まではほぼ直線的に減少し、420 mg/100 g と

なった。しかしその後の変化は少なく、420~430 mg/100g で推移した。とろろの延伸性およびとろろ水抽出液の見掛け粘度もおおむね粘質多糖含量の減少傾向と一致した。粘質多糖が貯蔵中減少し続けるものでないことから、長期貯蔵における貯蔵可能日数を判断する指標にはなり得ないように思える。

(3) アミラーゼの消長

ヤマノイモに含まれるアミラーゼは種によって異なっている^{11)~13)}。今回供試した「KaU-09」に含まれるアミラーゼはヤマノイモの菓子原料適性を低下させるため¹¹⁾、貯蔵中における消長を明確にしておくことは、それを利用していく上で重要になる。Fig. 4 に示したように、貯蔵8か月頃まで急速に増加した後減少に転じた。アミラーゼ活性と加工原料適性、特に菓子素材としての関連を考えたとき、貯蔵いもは加工適性が低下すると言えるようである。

要 約

本邦産 *D. alata* L. の一系統「KaU-09」の貯蔵条件と貯蔵中における品質変化を検討した。

1. 貯蔵温度と外観変化

10℃, 13℃, 15℃ で3か月間貯蔵したときの外観変化から適切な貯蔵温度として15℃を選定した。外観変化は収穫法（機械掘りと手掘り）や収穫時期（収穫前の降霜の有無）によって影響され、降霜のない時期に手掘りで収穫したヤマノイモでは貯蔵中の変質（腐敗変質と生理障害）が少なかった。これらを15℃で10か月貯蔵したとき、重量減少率は1.2%/月と極めて少なく、腐敗による変質が貯蔵初期に5%発生したのみで、10か月後も外観は一見良好に見えた。ただし、長期貯蔵いもは内部黒変が発生し、剥皮調整後の重量ロスが問題となる加工原料としての貯蔵可能日数は6か月程度と判断された。10℃貯蔵では低温による生理障害が発生し、その肉質の色は、健全いもがクリーム色であるのに対し、灰褐色となり、組織が軟化した。13℃においても同じような障害がスポット状に発生した。

2. 組織内成分の変化

(1) 粘質多糖含量

10℃で貯蔵し、低温による生理障害の発生したヤマ

ノイモの粘りは消失し、その水抽出液のゲルろ過やイオン交換クロマトグラフィによる多糖画分の溶出位置は健全いものそれと異なった。15℃貯蔵においては、貯蔵5か月まで粘質多糖がほぼ直線的に減少し、貯蔵前原料の約70%になった。しかしその後の変動は少なかった。物性は多糖の変化と一致した挙動を示した。

(2) アミラーゼ活性

15℃で貯蔵したとき、アミラーゼは増加し続け、8か月目で最高（貯蔵前の3.5倍）に達した。

終りに、本稿を草するにあたり数々の御助言と御検閲を賜った鹿児島大学永浜伴紀教授に厚くお礼を申し上げます。

文 献

- 1) 内藤幸雄・山川 宏・今井 収：農業および園芸，42，1267 (1967)。
- 2) 中村武次郎：農業および園芸，45，1401 (1970)。
- 3) COURSEY, D.G.: *J. Food Technol.*, 3, 143 (1968)。
- 4) OLORVND, A.D. and MACKLON, A.: *J. Sci. Food Agri.*, 27, 405 (1976)。
- 5) 農村漁村文化協会：農業技術大系，野菜編10，佐藤一郎執筆，p. 43
- 6) 石畑清武・福村和則・中崎 明：鹿大農場研報，9，13 (1984)。
- 7) 田之上隼雄・穂原関夫・石畑清武：日食工誌，35，595 (1988)。
- 8) 馬場 透・田丸保夫・河野利治・渡辺敦夫：日食工誌，34，178 (1987)。
- 9) EMMANUEL, N.U., EMMANUEL, O.A. and SAMUEL, I.O.A.: *Phytochemistry*, 16, 1159 (1977)。
- 10) ROBERT, E.H., ALLEY, E.W. and CHIEN, Y.W.: *The Commercial Storage of Fruits, Vegetables, and Florist and Nursery Stocks*, Agriculture Handbook Number 66, (U.S. Department of Agriculture), p. 72 (1986)。
- 11) 中村道徳：農化，24，197 (1951)。
- 12) EMIOLA, L.O.: *J. Biochem.*, 87, 289 (1980)。
- 13) 田之上隼雄・下園英俊・松原弘一郎：日本澱粉学会平成2年度大会研究発表講演要旨集，p. 197，鹿児島 (1990)。

(平成3年2月12日受理)