報 文

〔*Nippon Nōgeikagaku Kaishi* Vol.69, No.3, pp.325~330, 1995〕貯蔵温度がじゃがいも塊茎の萌芽, 呼吸量糖含量及び
ポリフェノールオキシダーゼ活性に及ぼす影響

中川弘毅, 栗原大治, 千葉由紀子

佐藤隆英, 小倉長雄*

(千葉大学園芸学部, *現在 山脇学園短期大学)

平成 6 年 8 月 25 日 受 理

Effects of Storage Temperature of Potato Tubers on Sprouting,
Respiration Rate, Sugar Content, and Polyphenol Oxidase Activity

Hiroki NAKAGAWA, Daiji KURIHARA, Yukiko CHIBA,

Takahide SATO, and Nagao OGURA*

*Department of Bioresources Chemistry, Faculty of Horticulture, Chiba University, Matsudo, Chiba 271***Yamawaki Gakuen Junior College, 4-10-36 Akasaka, Tokyo*

Potato tubers were stored at 4°, 20°, or 33°C, and the sprouting time, respiration rate, sugar content, and polyphenol oxidase activity were examined. Sprouting was observed after about 70 days of storage at 20°C but was not found when storage was at 4 or 33°C after 160 days. Tubers transferred to 33°C after 70 days of storage at 20°C did not sprout during the next 160 days. When tubers were stored at 33°C for 42 days and then transferred to 20°C, sprouting was observed after 27 days. The respiration rates of potato tubers stored at 4° or 20°C were low. At 33°C, the respiration rate was initially high, but decreased during storage. The total sugar content of tubers stored at 22°C was low. At 4° or 33°C, however, this content increased rapidly to about 2%. The reducing-sugar content of tubers stored at 33°C was lower than when storage was at 4°C. Polyphenol oxidase activity in potato tubers stored at 20°C increased twofold during storage, but rapidly decreased during storage at 33°C.

(Received August 25, 1994)

結 言

青果物の貯蔵は収穫後速やかに品温を低下させ、その後も低温で貯蔵する法が一般的で広く用いられており有効である。しかし私共は青果物貯蔵前に高温処理を行ないその後の貯蔵性を高める研究を続けて来ており、既にトマト果実では緑白熟期収穫の果実を 33°C に 10~14 日間保った後に室温に戻し貯蔵すると 6 ヶ月以上の貯蔵が可能になる現象を見出し⁽¹⁾, その理由として考えられる生理的現象変化について報告してきた^{(2)~(6)}。またブロッコリー花蕾を 45°C の温水に約 14 分浸漬後に

貯蔵すると無処理のものよりクロロフィルの保持即ち外観上の鮮度保持が増加する現象も報告して来た^(7,8)。その他多くの青果物について高温処理法すなわち高温水に比較的短時間浸漬する法及び 30°C 以上の恒温器中に比較的長時間放置する 2 つの方法につき、温度と時間の条件を変えて熱を与える実験を試みてきたが、報告した以外の青果物にも恒温処理により貯蔵性の増加が認められたものが見られたが、結果にばらつきがあり未だ報告するには致っていない。

今回はじゃがいも塊茎(いも)を 33°C で恒温貯蔵を続けると貯蔵機関中は萌芽を抑制すること、いも中の

還元糖の増加が比較的少ないこと及びポリフェノールオキシダーゼ活性が急速に減少し活性は殆ど消失するなど興味ある現象を見出した。この現象はいもの品種、収穫期などに大きく左右されず共通にみられる現象と思われたので報告する。

実験方法

1. 材料：いもは千葉大学付属農場で7月6日に収穫した男爵を用い収穫後直ちに貯蔵実験を開始した。また10月収穫の北海道産の農林1号及び3月下旬に市販のいも（貯蔵いもおよび新しいいもとして販売されていた2種）を購入して実験材料とした。ここに示した実験データは7月収穫のいもの結果を示した。

2. 貯蔵法：貯蔵条件として33°Cの恒温器、20°Cの恒温室および4°Cの低温室を用いた。いもは段ボール箱に詰めて各温度区に貯蔵し、経時的に外観から萌芽の状態を観察すると共に3~4個を取出し、糖およびポリフェノールオキシダーゼ (PPO) 活性を測定した。また呼吸量測定にはいもをタイトボックスに密閉し同じ条件で貯蔵した。

3. 呼吸量の測定：ポリプロピレン製のタイトボックス（内容量10 l）に一定量のいも（約1 kg）を入れ密閉し、一定期間毎に注射器でボックス中の空気を採取し、酸素濃度を東レのジルコニヤ式酸素計を用いて測定し吸収された酸素をO₂mg/kg/hrの値で表した。測定後はボックス中の空気を新鮮な空気と交換して貯蔵を続けた。重量測定には呼吸測定に用いたいもで行った。

4. 糖および粗酵素の抽出：いも10 gに50 mM Tris-HCl緩衝液（pH 7）20 mlを加えポリトロン（Kinematic Ag Littlc社製、スイス）でホモジナイズ後10,000×gで15分冷却遠心を行ない上澄液を定容（30 ml）とし、この液を糖及びPPO活性測定に用いた。

5. 全糖および還元糖の測定：試料中の水溶性の糖を直接完全力を持つ還元糖と希塩酸で加水分解後に還元力を示した糖（蔗糖）とし総量を全糖とした。還元糖は百瀬らの方法⁽⁹⁾に準じて次のように行った。適当に希釈した試料1 mlに2%無水炭酸カリと5%チオ硫酸ナトリウム混液0.3 ml及び0.3%3,6-ジニトロフタルモノピリビジン酸溶液0.5 mlを加えて、沸騰水中で10分加熱し冷却後純水を加えて10 mlに定容し450 nmの

吸光度を測定し還元糖量を求めた。還元糖の検量線は0~1 mgのグルコース溶液を用いて同様の方法で作製した。全糖量は試料10 mlに3%塩酸5 mlを加え、65°Cの温水中で15分加水分解し冷却後水酸化ナトリウム溶液で中和し、定容後還元糖と同様の方法で測定した。全糖量から還元糖を引いた値をシュクロースの値とした。

6. ポリフェノールオキシダーゼ (PPO) 活性の測定：T.C. Wongらの方法⁽¹⁰⁾に準じて次のように行った。1 cm角の比色用セルに0.1 Mカテコール1.5 mlに0.1 Mリン酸緩衝液（pH 6.0）1.5 mlを加え30°Cの温水中で5分保温後粗酵素液0.2 mlを加え、30秒後から420 nmの吸光度の増加を連続的に日立自記分光光度計（556型）を用いて測定した。活性は1分間に420 nmの吸光度を0.001増加させる酵素量を1単位とし、いも新鮮重量1 g当たりの量に換算して表示した。

実験結果

1. 萌芽の状態

各温度区に貯蔵したいもの萌芽の状態を観察し、Fig. 1に示した。20°C区のいもは貯蔵開始後約70日で萌芽の兆しが観察されはじめその後出芽した。休眠はこれ以前に打破されたものと思われた。しかし4°Cおよび33°Cのいもは166日の貯蔵期間中は萌芽は全く認められなかった。20°C区のいもを42日後及び71日後に未だ萌芽の兆しの見られない、いもを選んで33°Cに移して貯蔵した。このいもは萌芽が大幅におくれ、貯蔵開始後

Fig. 1 Effect of storage temperature on sprouting time of potato tubers during storage.

↑ : Sprouting day.

() : days of storage.

⇒ : a change of storage temperature.

150 日および 141 日に萌芽の兆しが見られ、その後は出芽したが芽の伸びはおそかった。この現象は萌芽寸前のいもでも 33°C で萌芽は抑制されたことを示した。また 33°C 区のいもを貯蔵 10 日および 42 日後に 20°C 区に移して貯蔵すると移動後 54 日、27 日後に萌芽の兆しが見られた。この日数は貯蔵開始からは 64 日、69 日となり、20°C 区のいもの萌芽期 70 日目とほぼ一致した。このことは 33°C 貯蔵中に高温障害のような生理障害を受けていないことを示している。また 33°C に 10 日貯蔵後に 4°C 区に移したいもも萌芽は認められず障害が生ずることもなかった。4°C 区のいもを 90 日後に 20°C に移すと 18 日後には萌芽した。これらの傾向は 10 月収穫および市販のいもにも同様に認められた。

2. 呼吸量及び重量変化

各貯蔵区のいもの呼吸量の変化を Fig.2 に示した。20°C 区のいもの呼吸量は貯蔵初期はやや高かったが 30 日を過ぎる頃より低下し低い呼吸量を保った。休眠打破期に特に呼吸量の上昇は見られなかった。4°C 区のいもの呼吸量の初期には 20°C 区と同様やや高かったが、その後は低い呼吸量を貯蔵期間中保った。33°C 区のいもは貯蔵初期は 6 mg/kg/hr と高い呼吸量を示したが次第に低下し、30 日後には 1/2 に、70 日後には 1/3 に低下したが 20°C 及び 4°C 区に比較すると高い呼吸量を保った。

重量の変化を呼吸量測定時に測定し、100 日後のいもでは 4°C 区で約 2%，20°C 区で約 5%，33°C 区で約 10% の重量減がみられた。しかし段ボール箱に貯蔵した 33°C 区のいもは表面にしわがみられ、10% 以上の重量減が

Fig.2 Effect of storage temperature on respiration rate of potato tubers during storage.

▲ : 4°C
● : 20°C
■ : 33°C

Fig.3 Effect of temperature on changes of total sugar contents of potato tubers during storage.

↑ : change of temperature from 20°C to 33°C
□ : after storage at 3°C
other symbols are the same as in Fig.2.

生じたものと思われた。

3. 糖含量の変化

各区の貯蔵期間中の全糖量の変化を Fig.3 に示した。20°C 区のいもは貯蔵中の全糖量の変化は少なく 0.5% 以内であったが、4°C 及び 33°C 区のいもは貯蔵直後より急増し 33°C 区では 30 日後に、4°C では 70 日後に約 2% に達し以後も高い値を保った。20°C 区のいもを貯蔵開始後 40 日及び 70 日後に 33°C 区に移して貯蔵しても全糖量の急増が認められた。しかし 70 日後のいもの全糖量は約 1% にとどまった。以上からいもは低温のみならず高温に貯蔵しても糖含量が上昇することを認めた。し

Fig.4 Effect of temperature on reducing sugar contents of potato tubers during storage.

Symbols are the same as in Fig.2.

Fig. 5 Changes of total sugar content of potato tubers upon the change of storage temperature from 33°C to 20°C.

Symbols are the same as in Fig. 2 and 3.

Fig. 6 Effect of temperature on changes of polyphenol oxidase (PPO) activity of potato tubers during storage.

Symbols are the same as in Fig. 2.

かし還元糖を比較すると Fig. 4 に示した様に 4°Cでは高く全糖の 50%を還元糖が占めるのに対し, 33°C区では 20%と低い値を示し差異のあることを認めた。糖含量の高いいもは好まれず特にポテトチップなど加工用には不適とされており, 糖含量の高いいもは糖を減少させるため 20°Cで貯蔵するリコンディショニングが行われている。33°C区の糖含量の高いいもを 20°C区に移すと糖含量は次第に減少し 0.5%以下になる (Fig. 5)。4°C区のいもも 20°C区に移すと Fig. 5 とほぼ同様の速度で糖含量は低下した。

4. ポリフェノールオキシダーゼ (PPO) 活性の変動

各貯蔵区の PPO 活性変動を Fig. 6 に示した。20°C区の PPO 活性は貯蔵中に活性が増大し 30 日後には約 2 倍となり高い活性を保ったが 100 日を過ぎる頃より減

Fig. 7 Changes of polyphenol oxidase (PPO) activity of potato tubers by the change of storage temperature from 33°C to 20°C.

↓: a change of temperature from 33°C to 20°C.

Symbols are the same as in Fig. 2.

少傾向が見られた。4°C区の PPO は貯蔵期間中大きな変動はなく保たれた。33°C区の PPO は貯蔵開始の初期から活性は減少し始め 20 日後には 1/3, 40 日後には 1/5 と著しく減少し貯蔵期間が長くなるに伴い活性は更に低下した。20°C区で貯蔵し活性の高くなったいもを 33°C区に移して貯蔵すると活性は 10 日で 1/2, 30 日で 1/8 に減少した。また 33°C区で貯蔵した活性の低下したいもを 20°Cに移すと活性が上昇したが, 貯蔵前の活性までは回復しなかった (Fig. 7)。いもを 33°Cに保つと PPO 活性が著しく減少する現象は他のいもでも認められ, これらのいもをホモジネイトしても褐変が著しく減少したことも認めている。

考 察

じゃがいも (いも) は全国的に広く栽培され, 収穫後には 1~2 ヶ月の内生休眠があり, また比較的低温にも強いので低温で強制的に休眠状態を持続させて長期の貯蔵が可能な青果物である。しかし比較的容易ないもにも貯蔵上の問題点即ち萌芽, 低温障害, 貯蔵病害, 重量減などによる損失と低温貯蔵中に糖が増加する現象があり, 解決を要する点が残されている。

萌芽は休眠が覚めると生じて来る現象であり, 出芽はいもの品質を著しく低下させるため現在は主に低温及び放射線照射により防止を行っている。休眠期間は品種により⁽¹¹⁾, また耐低温性も品種や栽培条件により異なるので小餅ら⁽¹²⁾はいもを品種別に貯蔵温度を異に

して貯蔵した時の萌芽, 異状いもの発生率, 重量減及び糖の蓄積について報告し, 2~5°Cでの貯蔵が良いと述べている。放射線の利用は日本でも1972年に許可されCo-60よりの γ 線を5~15 Krad照射することで萌芽を抑制し⁽¹³⁾, 効果が認められ実用化されている。しかし消費者には放射線に対するアレルギー的な面があり照射いものは好まれておらず, 照射施設も増設されていない。萌芽抑制には低温貯蔵がよいが貯蔵温度が低いほど水溶性糖の増加がみられ, 糖の含量は10%にも達し, このようないものは本来の味を損なうし, ポテトチップなどの加工品製造の際に褐変が強くなり品質を著しく低下させるためリコンディショニングなどの操作が必要とされている^(14,17)。

そこで私共はいもの高温貯蔵法を試みた。高温処理貯蔵法には高温の恒温室に保つ法及び温水浸漬処理法を試みそれぞれに処理温度と時間の条件を決めるために2年間の予備実験を経て33°Cの恒温で貯蔵する法がよいことを認めたので今回の実験データを得た。

33°Cに貯蔵したいものは長期間萌芽は見られず, 休眠が覚める迄(70日)は20°C(室温)に放置してもその後33°Cに貯蔵すれば萌芽は抑制されることを認めた。また逆に33°Cに約40日貯蔵したいものも20°Cに戻すと, 20°Cで始めから貯蔵したいものが萌芽する時期とほぼ一致して萌芽した。このことは33°C貯蔵中に生理障害を受けていない点及び33°C貯蔵の前歴(ブロッコリーの高温処理でみられた処理効果が残存した⁽⁷⁾)が残らないことを示した。この傾向は他のいもでも認められ品種や収穫時期には関係せず生じる現象と思われた。

33°C区のいもの呼吸量は4°, 20°C区に比して高く重量減も多かったが, 呼吸量測定のみものでは33°C貯蔵でも, 外観上しわもなく重量減も約10%に抑えられた。しかし段ボール箱で貯蔵したいもにはしわが見られ, 包装の問題が残ることが考えられた。20°C区のいもの呼吸量は4°C区のいもと同程度に抑えられた。また休眠が覚めると呼吸代謝が変換するとの報告⁽¹¹⁾があり, 呼吸量の上昇を期待したが, 特に見られなかった。33°C区のいものは呼吸量が多いので糖の蓄積は少ないと考えたが, 33°Cに貯蔵直後より上昇し4°C区同様2%に達した。33°C区で蓄積した糖は蔗糖が多く, 4°Cに比して還元糖が少ない特徴を示した。低温貯蔵中に糖が増加し温度が低い程澱粉が減少し糖が増加する現象は既に1948年にArreguin-lozanoとBonnerにより糖代謝に

関する酵素の活性変動と共に報告されている⁽¹⁵⁾。また糖(蔗糖)の蓄積されたいものを10°Cに戻すと逆反応が生じることも認められ, リコンディショニングとして利用されている⁽¹⁷⁾。しかしこれらの機構については成書中にも述べられているが未だ明解ではない^(13,16)。しかし糖代謝に関連する酵素系が関与していると考えられており, ホスホフルクトキナーゼが強く係っていることが指摘され⁽¹⁶⁾ているので, この酵素活性変動を β -アミラーゼ, 酸性ホスファターゼと共に測定したが貯蔵区による差や明解な活性変動の結果は得られなかった(未発表)。低温での糖や蓄積の機構は興味ある多くの問題を含んでおり, また33°Cでの糖や蓄積も興味があり恐らく代謝機構は4°Cとは異なると考えられ今後の研究課題と思う。

青果物の酵素的褐変は損傷, 剥皮, 切断などの際に生ずる現象であり, ポリフェノール含量とPPO活性の強さが褐変度に影響する。多量のポリフェノール含量が褐変度を左右する場合と強いPPO活性が褐変度を左右する場合が報告されている⁽¹⁸⁾。また必ずしもこれらには関係なくPPOの生体内阻害物質が影響するとの報告もある⁽¹⁹⁾。

いものは剥皮, 切断の際の褐変にPPO(チロシナーゼ)が働くといわれている。今回いものホモジネイトの調製の際に貯蔵区間に著しい褐変度の差を認めたのでPPO活性変動を調べた結果, 20°C区は貯蔵中に活性が倍増し, 4°C区では大きな活性変動はなかったが, 33°C区では貯蔵直後より活性の急激な減少がみられ, 長期貯蔵のいものは殆ど活性が消失するまでに減少した。33°C区のいものを20°C区に移すと活性はある程度回復した。また20°C区で貯蔵し活性の高くなったいものも33°C区に移すと活性は急激に低下する興味ある現象を見出した。このような現象の報告は未だ無いと思われる。

以上主にいもの高温貯蔵法についての結果を4°, 20°C区のいもと比較しての結果を記したが, 興味ある結果が得られ, この結果の傾向はいものに共通の現象と考えられた。今後は高温貯蔵したいもの品質や加工品としての適性などについて調査を続けたいと考えている。

要 約

じゃがいも塊茎を4°, 20°, 33°Cの各温度に貯蔵し, 萌芽の状態, 呼吸量, 糖含量及びポリフェノールオキシダーゼ活性変動を測定し次の結果を得た。

(1) 20°C区のいもは貯蔵約70日後に萌芽の兆しが見られたが4°C及び33°C区のいもは160日の貯蔵期間中萌芽は認められなかった。20°C区に約70日間貯蔵したいもを33°C区に移して貯蔵しても萌芽は抑制された。また33°C区に42日貯蔵したいもを20°C区に移すと27日即ち20°C区で萌芽が見られた時期に萌芽が見られた。

(2) 呼吸量は4°Cで低く、20°Cでも低く保たれ休眠打破期に呼吸の上昇はみらなかった。33°Cでは貯蔵初期は高い呼吸量を示したが次第に低下した。

(3) 糖含量は貯蔵期間中20°C区で最も少なく、4°C及び33°C区では貯蔵直後より増加し約2%に達した。しかし還元糖量は33°C区のいもが低く保たれた。

(4) PPO活性は20°C区で倍増し、4°Cでは大きな変化はなかった。33°C区では貯蔵直後より活性は低下し、40日以後は著しく減少した。しかし20°Cに移すと活性はある程度恢復した。

予備実験を担当していただいた当時農産製造学研究室の学生であった樫村妙子さん、遠藤哲也君の努力に謝意を表する。

- (1) 小倉長雄, 中川弘毅, 竹花秀太郎: 農化, 49, 189—196 (1975).
- (2) 小倉長雄, 中川弘毅, 竹花秀太郎: 農化, 49, 271—274 (1975).
- (3) 小倉長雄, 林 竜二, 荻島太一, 阿部雄幸, 中川弘毅, 竹花秀太郎: 農化, 50, 519—523 (1976).
- (4) 小倉長雄, 中川弘毅: 化学と生物, 17, 786—790

(1979).

- (5) O. Yoshida, H. Nakagawa, N. Ogura and T. Sato: *Plant & Cell Physiol.*, 25, 505—509 (1984).
- (6) Y. Shirai, T. Sato, N. Ogura and H. Nakagawa: *Agric. Biol. Chem.*, 48, 797—801 (1984).
- (7) 風見大司, 佐藤隆英, 中川弘毅, 小倉長雄: 農化, 65, 19—26 (1991).
- (8) 風見大司, 佐藤隆英, 中川弘毅, 小倉長雄: 農化, 65, 27—33 (1991).
- (9) 百瀬 勉, 向井良子, 河辺節子, 鈴木順子, 山本恭子: 分析化学, 11, 956—959 (1962).
- (10) T.C. Wong, B.S. Luh and J.R. Whitaker: *Plant Physiol.*, 48, 19—23 (1971).
- (11) 田川 隆: 化学と生物, 3, 18—19 (1965).
- (12) 小餅昭二, 佐藤正人: 農業および園芸, 56, 150—154 (1981).
- (13) 瓜谷郁三: ポストハーベットの科学と技術, 藤巻正生編, 光琳, 東京 (1984) p.p.53—60.
- (14) 小餅昭二, 佐藤正人: 農業及び園芸, 56, 283—285 (1981).
- (15) Arreguin - lozano and J. Bonner: *Plant Physiol.*, 24, 720—729 (1948).
- (16) T. ApRees, W. Dixon, C. Pollock and F. Franks: Low temperature sweetening of higher plants., J. Friend and M Rhodes eds. Academic Press. London. pp41—61 (1981).
- (17) 佐藤正人: 食品工業, 24, 1—21 (1981).
- (18) 中林敏郎: 食品の変色とその化学, 中林敏郎, 木村進, 加藤博通共著, 光琳, 東京 (1968) pp.99—106.
- (19) Y. Komiyama, M. Harakawa and M. Tuji: *Agric. Biol. Chem.*, 44, 937—941 (1980).