

# サツマイモの低温感受性遺伝子と貯蔵に伴う発現パターン の変動について

|       |                                           |
|-------|-------------------------------------------|
| 誌名    | 日本食品保蔵科学会誌                                |
| ISSN  | 13441213                                  |
| 著者名   | 永田,雅靖<br>渡邊,高志<br>荒木田,尚広<br>川村,武<br>福田,弥生 |
| 発行元   | 日本食品保蔵科学会                                 |
| 巻/号   | 47巻6号                                     |
| 巻号補足  |                                           |
| 掲載ページ | p. 277-283                                |
| 発行年月  | 2021年12月                                  |

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター  
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council  
Secretariat



## サツマイモの低温感受性遺伝子と貯蔵に伴う 発現パターンの変動について

永田 雅 靖<sup>\*1§</sup>・渡 邊 高 志<sup>\*1</sup>・荒木田尚広<sup>\*2†</sup>  
川 村 武<sup>\*2</sup>・福 田 弥 生<sup>\*2</sup>

<sup>\*1</sup> 国立研究開発法人農業・食品産業総合研究機構食品研究部門

<sup>\*2</sup> 茨城県農業技術総合センター農業研究所

† 現所属：茨城県農林水産部産地振興課

### Low Temperature-Sensitive Genes in Sweet Potatoes (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) and Their Expression Patterns during Storage

NAGATA Masayasu<sup>\*1§</sup>, WATANABE Takashi<sup>\*1</sup>, ARAKIDA Naohiro<sup>\*2†</sup>,  
KAWAMURA Takeshi<sup>\*2</sup> and FUKUDA Yayoi<sup>\*2</sup>

<sup>\*1</sup> NARO Food Research Institute, 2-1-12 Kannondai, Tsukuba, Ibaraki 305-8642

<sup>\*2</sup> Ibaraki Agricultural Research Center, 3402 Kamikuniichou, Mito, Ibaraki 311-4203

† Present address: Ibaraki Prefectural Government, 978-6 Kasaharachou, Mito, Ibaraki 310-8555

This study shows several genes in sweet potatoes, whose expression level changed during low-temperature storage. In addition, the relationship between their expression and occurrence of chilling injury was investigated. The expression levels of phenylalanine ammonia-lyase A (PALA), ACC oxidase, regulatory protein NPR1, 70 kDa heat shock protein, and  $\alpha$ -amylase were increased upon storage at 5–10 °C; however those of  $\beta$ -amylase (BAM) and starch synthase were decreased. The effects of continuous changes in storage temperatures on the expression of PALA and BAM were investigated. The changes in their expression levels during storage at 5 °C within 10 days could be recovered by storage at 20 °C for 5 days; however, at 5 °C for more than 15 days, the recovery phenomenon was not observed. PALA expression level increased at below 10 °C, but was absent at over 13 °C. Heat shock treatment at 40 °C for 2 days did not affect the expression levels of these genes. These findings indicate the irreversible physiological changes in sweet potatoes according to low-temperature storage periods and can be used as expression makers of chilling injury.

(Received May 13, 2021; Accepted Sep. 2, 2021)

**Key words:** *sweet potato, chilling injury, gene expression, reversibility, storage*

サツマイモ, 低温障害, 遺伝子発現, 可逆性, 貯蔵

近年, 日本のサツマイモは, 東アジア地域で人気があるため, 輸出量も増えている<sup>1)</sup>。2020年の輸出量は, 5,268 t, 20.6億円で, 2010年に比べて, それぞれ重量ベースでは9.4倍, 金額ベースでは13.1倍に伸びている。サツマイモを輸出する際には, 他の野菜品目と冷蔵コンテナに混載されることが多く, 低温での輸送中には外観の変

化が少ないものの, 現地に到着して常温になると数日で低温障害が顕在化し, 内部の褐変や, 組織の軟化, 腐敗などが起きるなど, 流通上の大きな問題となっている<sup>2)</sup>。

また, サツマイモは, 年1作で, 秋に収穫されるが, 秋以降の時期に供給するためには, 生芋の貯蔵を行う必要がある。これまで先人たちの研究により, 生芋の最適

<sup>\*1</sup> 〒305-8642 茨城県つくば市観音台2-1-12

§ Corresponding author, E-mail: masayasu.nagata@affrc.go.jp

<sup>\*2</sup> 〒311-4203 茨城県水戸市上国井町3402

† 〒310-8555 茨城県水戸市笠原町978-6

貯蔵温度は13℃前後であり、13℃よりも高い温度では、呼吸などによる消耗やカビの発生が顕著であり、13℃よりも低い温度で貯蔵すると低温障害が発生することが知られていた<sup>3)</sup>。

サツマイモの低温反応、低温障害に関して、植物生理学の分野でこれまで多くの研究が行われてきた。LIEBERMANらは、15℃貯蔵に比べ、7.5℃貯蔵した場合、4週間では両者の差はないが、5週になると、酸化あるいはリン酸化酵素の活性が低下すること、また、クロロゲン酸などのポリフェノールの合成が進み、アスコルビン酸が減ることを示した<sup>4)</sup>。YAMAKIらは、低温処理したミトコンドリアにおける脂質組成の変化を報告している<sup>5)</sup>。田之上らは、低温貯蔵前に40℃で2日間貯蔵することによって、貯蔵中の腐敗の発生が減少することを報告している<sup>6)</sup>。

宮崎は、キュアリング処理と貯蔵条件がサツマイモの糖代謝変化に与える影響を明らかにした<sup>7)</sup>。増田らは、サツマイモへの低温処理が糖含量と貯蔵性に及ぼす影響を明らかにした<sup>8)</sup>。Jiらは、4℃で6週間貯蔵した前後におけるトランスクリプトームの違いを、*de novo*アセンブリを行い、13℃の対照区と比較した<sup>9)</sup>。Liらは、低温コンディショニングと低温貯蔵の組み合わせによって、低温障害の発生抑制について検討した<sup>10)</sup>。XIEらは、4℃および14℃貯蔵28日における遺伝子発現の違いを解析し、膜、抗酸化、糖代謝、植物ホルモン関連の遺伝子について、貯蔵前後の発現量の比較を行った<sup>11)</sup>。

過去の文献<sup>9),11)</sup>では、低温貯蔵の前後での遺伝子発現の比較が行われているが、低温貯蔵中の変化や、その後に常温に戻した場合に低温障害が顕在化するときの遺伝子発現は明らかではなかった。

そこで、サツマイモを材料に、低温(5℃)で一定期間貯蔵後に室温(20℃)に移す場合と、最適貯蔵温度(13℃)で連続的に貯蔵する場合の切断面の変化と、遺伝子発現の経時的な変化を調べた。とくに、遺伝子発現は、次世代シーケンサーを用いて網羅的解析を行い、5℃貯蔵によって、特異的に発現が変化する遺伝子を特定した。さらに、遺伝子発現の情報をもとに、リアルタイムPCRでそれら低温に反応する遺伝子の発現解析に用いるプライマーを設計・合成し、短期的な5℃貯蔵により、それらの低温応答性遺伝子の発現変化を明らかにした。

## 実験方法

### 1. 材料

サツマイモ (*Ipomoea batatas*, 品種 ‘ベニアズマ’) は、茨城県農業総合センター農業研究所(茨城県水戸市)で慣行条件により栽培したものを用いた。サツマイモは、収穫の翌々日から貯蔵試験に用いた。

### 2. 貯蔵条件

(1) 試験 (1) 低温障害の確認 サツマイモを2区に分けた。一方は、低温処理区で、5℃20日貯蔵後、20℃

7日貯蔵した。もう一方は、最適貯蔵温度区で、13℃27日貯蔵した。サンプリングは、貯蔵前(day 0)および、それぞれ貯蔵開始から5日、20日、22日、27日で行った(n=3)。貯蔵試験には、クールインキュベーターCN-25C(三菱電機エンジニアリング)を用いた。サツマイモは、ポリエチレン袋(400mm×300mm×厚さ0.03mm)で折り込み包装した。

(2) 試験 (2) 短期的変化と可逆性の確認 サツマイモを5℃で5日低温処理するとともに、その後に、20℃で5日貯蔵する試験区を設け、遺伝子発現を調べた(n=3)。

(3) 試験 (3) 可逆性の限界期間の確認 サツマイモの5℃低温処理期間を、5、10、15、20日として、それぞれのあとに20℃5日の貯蔵を行い、遺伝子発現を調べた(n=3)。

(4) 試験 (4) 貯蔵温度による反応の確認 サツマイモを、1℃、5℃、10℃、13℃、20℃で各5日貯蔵し、遺伝子発現を調べた(n=3)。

(5) 試験 (5) 高温処理による影響の確認 サツマイモに、40℃2日間高温処理を行った。また、高温処理後に5℃5日貯蔵し、遺伝子発現を調べた(n=3)。

### 3. RNA抽出

RNA抽出用のサンプルは、サツマイモ塊根の中央部から3cm厚さの円筒を切り出して切断面の様子を観察するとともに、その中心部から縦横高さが各3cmの立方体となる組織を切り出し、手早く1~2mmの厚さにスライスして、すぐに液体窒素で凍結し、-80℃で保管した。

RNAの抽出は、TRIzol Plus RNA Purification Kit and Phasemaker Tubes Complete System(Thermo Fisher)を用いた。各サンプルのRNA濃度は、Microspectrophotometer Nano-200(Medical Scientific Co., Ltd.)で測定した。

### 4. RNA-seq

RNA-seqは、タカラバイオ(株)による依頼分析により行った。核酸定量後、Agilent 2200 TapeStationによる品質検定を行い、TruSeq Standard mRNA Sample Prep Kit(Illumina)を用いて、mRNAライブラリを作成した。Agilent 2100 Bioanalyzerを用いてシーケンスライブラリーの品質を検定後、NovaSeq 6000を用いて、150baseペアエンドシーケンス(約1億リード/検体)解析を行った。現状では、*Ipomoea batatas*のゲノム配列は公開されていないため、マッピングには、サツマイモの近縁種である*Ipomoea trifida*のゲノム配列: NSP306\_trifida\_chr\_v3.fa.zip, 遺伝子情報: NSP306\_trifida\_v3.hc.gene\_models.gff3.zip, 遺伝子機能情報: NSP306\_trifida\_v3.hc.func\_anno.txt.zipを用いて各種解析を行った。

### 5. 定量的PCR

1 μgのRNAから、PrimeScript RT reagent Kit(Perfect Real Time)(タカラバイオ)を用いてcDNA

を合成した。次世代シーケンサーによる解析結果および、既存の文献を参考に、低温障害の検出に用いるプライマーを (Table 1) 合成し、TB Green Premix Ex Taq II (Tli RNaseH Plus) (タカラバイオ) の系で、Thermal Cycler Dice Real Time System III with PC/MRQ (タカラバイオ) により、定量PCRを行った。

## 実験結果および考察

### 1. 試験 (1) 低温障害の確認

(1) 切断面の変化 13℃に貯蔵したサツマイモの切断面は、27日貯蔵したものまで変化がなかった (Fig. 1)。一方、5℃で低温処理したサツマイモは、5日では切断面に変化がなく、20日貯蔵したものでは維管束にわずかな褐変が認められたが、外観に変化は見られなかった。その後20℃に移したサツマイモでは、貯蔵2日 (通算22日) で、維管束に明らかな褐変が見られるとともに、7日 (通算27日) では内部組織に明らかな褐変と、外観の一部に変色が見られた。

(2) RNA-seq遺伝子発現解析 リード配列の92.7~94.4%がマッピングされた。44,158遺伝子について、発現のカウント数から、TPM (Transcripts Per Million)

を算出したデータを使って解析を行った。最初に、発現量が0のものについても計算処理ができるよう、便宜的にTPMの全データに0.001を加えた後、2を底とした対数に変換した。また、すべての試験区で発現が認められない遺伝子は、計算から除外し、34,560遺伝子について検討した。

次世代シーケンサーのデータから、定量PCRの実験系に移す第1段階として、5℃から20℃に貯蔵温度を変化させた貯蔵区や、13℃で貯蔵した貯蔵区でも遺伝子発現の変化が小さい遺伝子を探索した結果、比較的発現量が大きく、変動が小さい遺伝子として、61遺伝子が得られた。とくに、itf13g17610.t1 (ubiquitin), itf07g01300.t1 (glutathione-S-transferase like), itf07g04750.t1 (ADP-ribosylation factor) は、変動係数 (SD/AV) がそれぞれ、0.039, 0.057, 0.064であり、変動幅が小さいため、ノーマライザーとして使用することに適した遺伝子と考えられた。

一方、低温に反応して特異的に発現が上昇する遺伝子として、itf02g10760.t1 (laccase), itf08g04260.t1 (alpha-amylase-like), itf02g08520.t1 (phenylalanine ammonia-lyase) など、183遺伝子が同定された。

Table 1 Primer pairs used for real-time PCR analysis

| Annotation                                                       | Abbreviation | Accession # | Forward primer       | Reverse primer           |
|------------------------------------------------------------------|--------------|-------------|----------------------|--------------------------|
| <i>Ipomoea batatas</i> ubiquitin extension protein               | UBI          | JX177358    | CCCTCGAGGTTGAATCGTCA | CGGGATGCCTTCCTTGTC       |
| <i>Ipomoea batatas</i> phenylalanine ammonia-lyase               | PAL          | M29232      | TATCGCCTCCCGTGACAATG | CCCAATCACTGCTGGCCTTA     |
| <i>Ipomoea batatas</i> phenylalanine ammonia-lyase A             | PALA         | D78640      | CCCTGTTCTTCGGATCACCT | AATCATTTGGTGTGGCCGTTTG   |
| <i>Ipomoea batatas</i> ACC oxidase                               | ACO          | GU230145    | CCCAGCAAGTGATGCTGTCA | GGGTAAACTTTCTCATCATCTCCA |
| <i>Ipomoea batatas</i> regulatory protein NPR1                   | NPR1         | EF190039    | TTGCAAAAAGGCTCACTCGG | TACACAACCGCTCCTTTGGG     |
| <i>Ipomoea batatas</i> isolate Hsp70-4 70-kDa heat shock protein | HSP          | JQ063092    | CCATGGATGAGGATGCTCCC | CCTCCTCAATCTTGGGACCG     |
| <i>Ipomoea batatas</i> alpha-amylase                             | AAM          | KT281131    | AATACTTCGCCGAGTTCGC  | ATCCGGCTTTCCGTCGA        |
| <i>Ipomoea batatas</i> beta-amylase                              | BAM          | D01022      | ATGAGAGACTCCGAACAGCC | TTTCACCTGCCTGCTCAACA     |
| <i>Ipomoea batatas</i> starch synthase                           | SS           | AF068834    | CATTCCGAACATGCCCCATC | GTCCCATCTTTCTCTTGGC      |

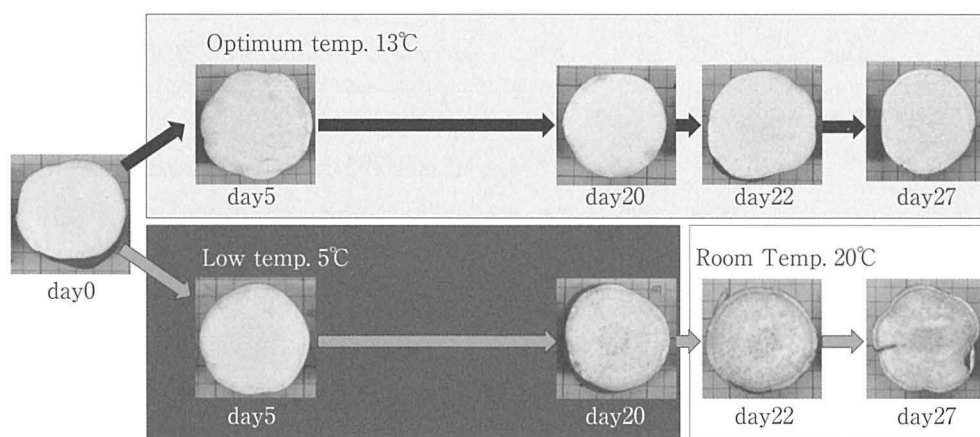


Fig. 1 Cut surface of sweet potato tubers stored at different conditions

Low temperature storage (5℃, day 0-day 20, ■), followed by room temperature storage (20℃, day 20-day 27, □) or optimum temperature storage (13℃, day 02-day 27, □).

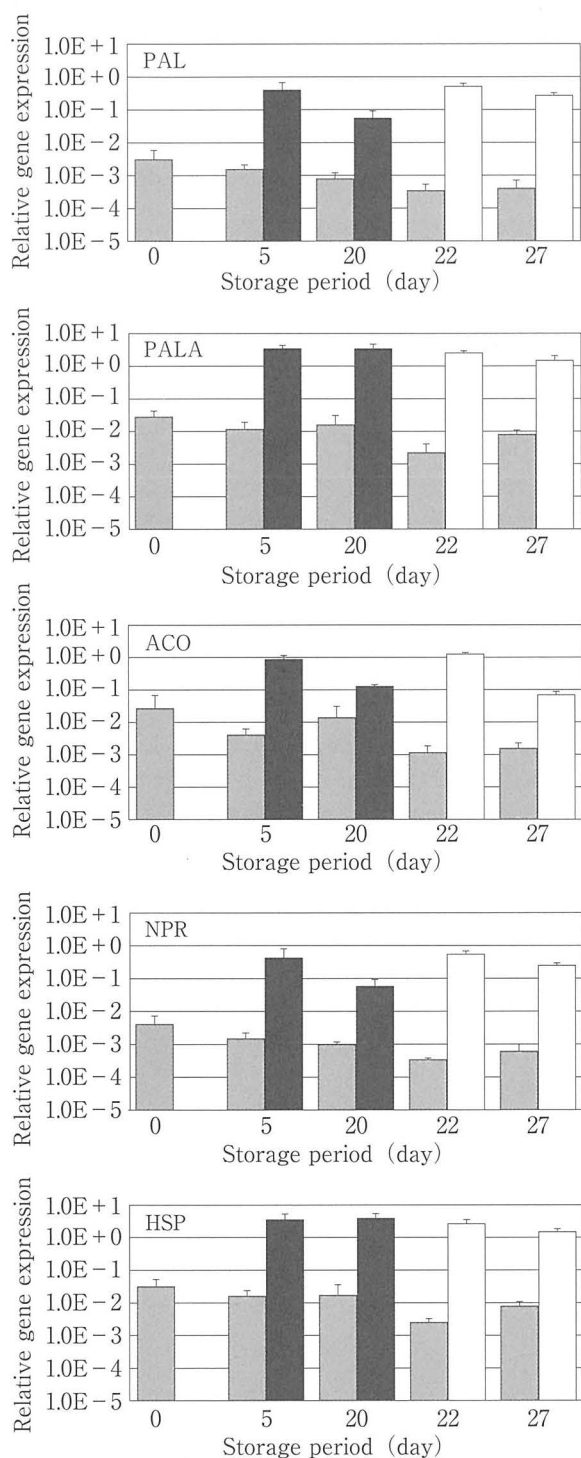


**Fig. 2** Changes in polyphenol and stress-related gene expression levels in sweet potato tubers stored at low temperature (5 °C, day 0-day 20, ■), followed by room temperature (20 °C, day 20-day 27, □) or optimum temperature (13 °C, day 0-day 27, ▒).

PAL (phenylalanine ammonia-lyase), PALA (phenylalanine ammonia-lyase A), ACO (ACC oxidase), NPR (regulatory protein NPR1), HSP (heat shock protein Hsp 70-4). Each bar presents mean  $\pm$ SD (n=3).

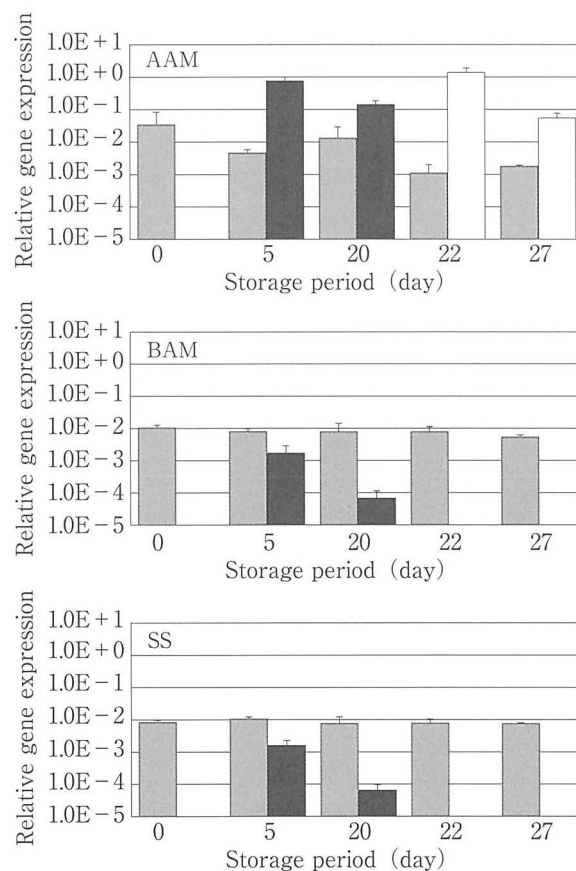


**Fig. 3** Changes in starch metabolism-related gene expression levels in sweet potato tubers stored at low temperature (5 °C, day 0-day 20, ■), followed by room temperature (20 °C, day 20-day 27, □) or optimum temperature (13 °C, day 0-day 27, ▒).

AAM ( $\alpha$ -amylase), BAM ( $\beta$ -amylase), SS (starch synthase). Each bar presents mean  $\pm$ SD (n=3).

低温に反応して特異的に遺伝子発現が低下する遺伝子として, itf01g03420.t1 (starch synthase), itf13g16360.t1 ( $\beta$ -amylase), itf07g00140.t1 (starch branching enzyme) など170遺伝子が同定された。

(3) 定量PCR 予備試験の結果から, ubiquitin extension protein (JX177358; UBI) を, 発現量比較の際のノーマライザーとして用いた。以下, 遺伝子名 (Gene ID; 省略名) の記述とする。

低温処理では, 酵素的褐変に関連するphenylalanine ammonia-lyase (M29232; PAL) およびphenylalanine ammonia-lyase A (D78640; PALA) が, 5 °C 5 日貯蔵の時点から顕著に発現しており, 13 °C 貯蔵とは明らかに異なっていた (Fig. 2)。とくに, PALAの発現は, 切断面が褐変しない早期の段階から検出可能であり, 低温に遭遇したことを示すマーカーとして活用できるものと考えられた。さらに, 同様の発現上昇が観察される遺伝子として, ACC oxidase (GU230145; ACO), regulatory protein NPR1 (EF190039; NPR1), 70-kDa heat shock protein (JQ063092; HSP) などが観察され

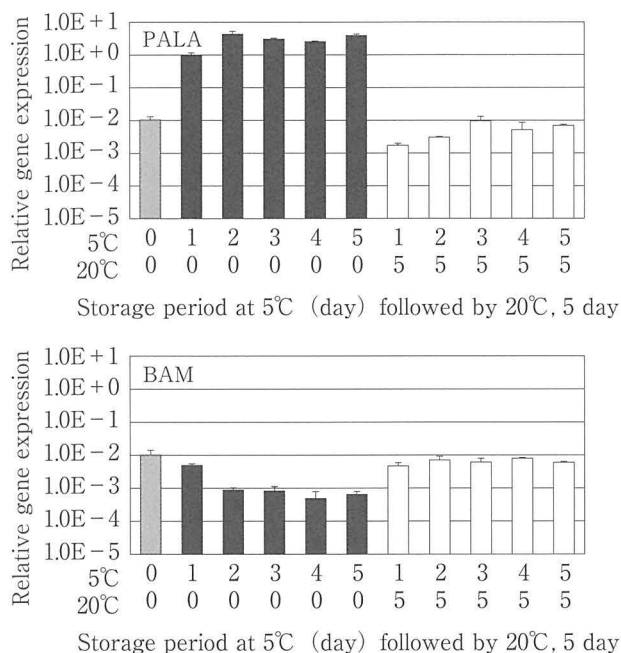


Fig. 4 Relative gene expression of sweet potato PALA and BAM during low temperature storage followed by room temperature storage

PALA (phenylalanine ammonia-lyase A), BAM ( $\beta$ -amylase). Each bar presents mean  $\pm$ SD ( $n=3$ ).

た。一方、デンプン代謝関連の酵素遺伝子では、低温により、 $\alpha$ -amylase (KT281131; AAM) の発現が誘導される一方で、 $\beta$ -amylase (D01022; BAM) および starch synthase (AF068834; SS) は、低温によって発現が徐々に低下し、常温に戻しても発現は回復しなかった (Fig. 3)。このような低温に対するAAMとBAMの反応の違いは、糖代謝全般と関連付けて、今後、さらなる検討が必要と考えられる。

## 2. 試験 (2) 短期的変化と可逆性の確認

5°Cで5日低温処理したところ、PALAは、貯蔵1日で発現し、2日に最大の発現となり5日まで継続した (Fig. 4)。他の低温誘導遺伝子も同様のパターンを示したので、ここでは省略する。また、BAMは、貯蔵1日で発現が低下しはじめ、2～5日は低い状態を維持した。SSも同様の発現パターンのため、これ以降の試験では、PALAとBAMのみの結果を示す。これらの結果から、サツマイモは、貯蔵1日から低温に反応していることがわかった。その一方で、5°Cで5日低温処理後、20°Cに移して5日後のサツマイモでは、低温によって誘導された遺伝子が、室温5日で可逆的に発現がほぼ初期値に戻っていることが示された。これらの結果から、低温処理期間が5日以内であれば、その後の20°C 5日の貯蔵により低温誘導の遺伝子発現が可逆的に戻ることを示す、新たな知見が得られた。

## 3. 試験 (3) 可逆性の限界期間の確認

上記の貯蔵試験で、PALAとBAMの遺伝子発現の可

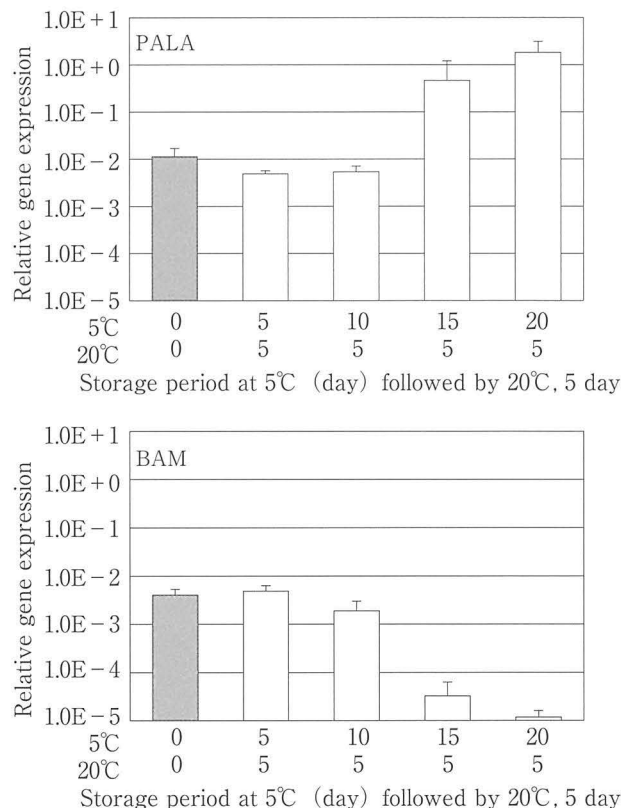


Fig. 5 Relative gene expression of sweet potato PALA and BAM during low temperature storage (5°C, day 0-day 20) followed by room temperature storage (20°C, 5 days)

PALA (phenylalanine ammonia-lyase A), BAM ( $\beta$ -amylase). Each bar presents mean  $\pm$ SD ( $n=3$ ).

逆性が示されたので、その時間的限界について検討した。5°Cで、5日、10日低温処理を行い、その後20°C 5日貯蔵したところ、PALAの発現は可逆的に減少して回復したが、5°Cで15日、20日低温処理後、20°C 5日貯蔵した場合には、PALAの発現は上昇したまま回復せず、不可逆的に遺伝子発現が固定化することがわかった。低温障害の可逆・不可逆性の境目は、10日と15日の間にあると推察された (Fig. 5)。BAMについて、発現の変化を調べたところ、5°Cで、5日、10日低温処理を行い、その後20°C 5日貯蔵したところ、BAMの発現は可逆的に増加して回復したが、5°Cで15日、20日低温処理後、20°C 5日貯蔵した場合には、BAMの発現は減少したまま回復せず、不可逆的に遺伝子発現が固定化することがわかった。このことは、5°Cの低温処理であれば、10日以内の貯蔵後に、20°Cに戻すことによって、5日後に低温処理前の遺伝子発現レベルに戻せる可能性があるが、15日以上低温処理が続くと、遺伝子発現は戻ることなく、低温障害の発生が予想される状況になることを示している。

サツマイモを輸出する場合、シンガポールなどの東南アジアには、船便で20日程度かかるが、5°Cの混載では、低温障害が起り、現地で室温への順化を行っても効果

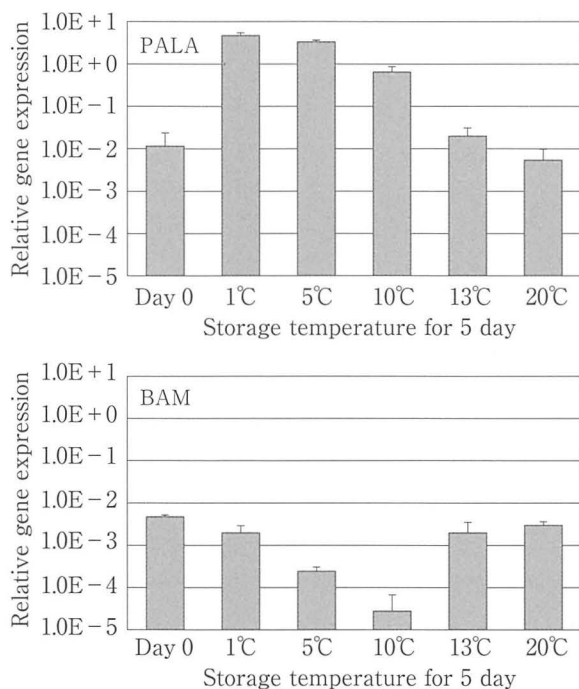


Fig. 6 Relative gene expression of sweet potato PALA and BAM stored at different temperature for 5 days

PALA (phenylalanine ammonia-lyase A), BAM ( $\beta$ -amylase). Each bar presents mean  $\pm$ SD ( $n=3$ ).

がないことが、遺伝子レベルで明らかになった。

#### 4. 試験 (4) 貯蔵温度による反応の確認

貯蔵温度の影響について、1°Cから20°Cの範囲で検討した結果、低温感受性のPALAは、1°C、5°C、10°Cで誘導されたが、13°Cと20°Cでは誘導されなかった (Fig. 6)。一方、BAMは、1°Cでは明確には減少せず、5°Cよりも10°Cで発現量の低下が顕著であった。このことは、PALAなど、低温で発現が増加する遺伝子では、低温を与えてから1~2日で極大に達する (Fig. 4) のに対し、BAMなど低温で発現が減少する遺伝子では、低温を与えてから1~2日で発現が下がり (Fig. 4)、さらに20日まで徐々に減少した (Fig. 3)。これらのことから、低温で発現が増える遺伝子と減る遺伝子では、低温感受には共通部分があるが、発現が減少する場合には、mRNAの分解に関わる酵素の活性など、もう1段階の異なる発現制御機構が働いている可能性が示唆された。また、10°Cと13°Cの温度差はわずかであるが、10°C以下と、13°C以上では、低温感受性の遺伝子の発現が、全く異なることが明らかとなった。

#### 5. 試験 (5) 高温処理による影響の確認

40°C 2日の高温処理を行い、その後5°C 5日貯蔵した場合のPALAの変化を調べたが、高温処理の有無にかかわらず、5°C 5日で同程度の発現上昇が観察された (Fig. 7)。また、BAMは、40°C 2日で発現が5°C 5日よりも低下するのに加え、40°C 2日の後、5°C 5日貯蔵した場合には、さらに発現が低下した。これらの結果から、高

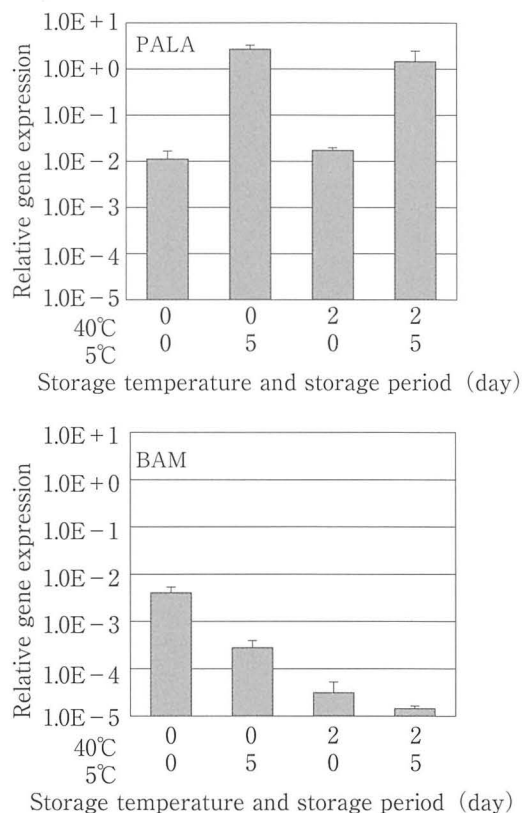


Fig. 7 Relative gene expression of sweet potato PALA and BAM treated with and without high temperature (40°C, day 0-day 2) followed by low temperature (5°C, 5 days)

PALA (phenylalanine ammonia-lyase A), BAM ( $\beta$ -amylase). Each bar presents mean  $\pm$ SD ( $n=3$ ).

温処理を行っても、低温感受性遺伝子の発現抑制に効果は認められなかった。

田之上らは、40°Cで2日高温処理した後、低温にした場合に、低温障害が抑制されると報告しているが<sup>6)</sup>、遺伝子発現の観点からは、それを裏付けるデータは得られなかった。

以上から、サツマイモの貯蔵では、低温処理で特異的に発現が増加するPAL, PALA, ACO, NPR1, HSP, AAMなどの遺伝子があること、これら遺伝子は、低温処理1日から発現が増加していることがわかった。また、低温処理で特異的に発現が減少するBAM, SSなどの遺伝子があることも明らかになった。

その一方で、10日の低温処理後に室温 (20°C) に戻すと、遺伝子発現が可逆的に戻るが、低温処理期間が15日を過ぎると、室温に戻しても遺伝子発現が戻らない不可逆的な状態に移行することがわかった。これらは、従来では知られていない新しい知見である。このことは、短期間の貯蔵を行う場合には、低温期間を10日程度に限定することによって低温障害の発生を抑制できる可能性を示している。今後は、品種や、収穫後の貯蔵条件によって、これらの反応がどのように変化するのか詳細に検討

することによって、より長期間の貯蔵が可能になるものと考えられた。

また、貯蔵温度も、10℃以下で低温障害が発生する可能性があることが、遺伝子発現レベルで明らかになった。

サツマイモの貯蔵性には、サツマイモの品種や栽培条件、さらに付着したカビなどの植物病原菌なども複雑に関与していると考えられるが、今回検討したサツマイモの遺伝子発現は、低温によって誘導される遺伝子の発現程度を調べることによって、サツマイモの生理的状态を推定することが可能になるものと考えられた。

サツマイモの低温反応は、未だ十分に解明されていないのが現状であり、低温感受性遺伝子や様々な品質関連遺伝子の発現変化をひとつの評価手法として、サツマイモの長期貯蔵や輸出の際の好適条件の検討が可能になるものと考えられる。

## 要 約

本研究では、サツマイモの5℃貯蔵に伴って発現量レベルが変動する数種の遺伝子を明らかにした。さらに、これらの遺伝子発現と低温障害の発生との関連性を検討した。サツマイモを5～10℃で貯蔵すると、phenylalanine ammonia-lyase A (PALA), ACC oxidase, regulatory protein NPR1, 70-kDa heat shock protein,  $\alpha$ -amylaseの発現量が有意に増加したが、その一方で、 $\beta$ -amylase (BAM) およびstarch synthaseは、発現量が減少した。貯蔵温度の継続的な変化がPALAとBAMの発現に対する影響を調べた。5℃で10日以内貯蔵した場合、それらの遺伝子発現は、その後の20℃5日貯蔵によって回復したが、5℃で15日以上貯蔵した場合には、回復は見られなかった。PALAの発現レベルは、10℃以下で増加したが、13℃以上では認められなかった。40℃2日の高温処理は、これらの遺伝子の発現レベルに影響を与えなかった。これらの結果から、サツマイモの不可逆的な生理的变化は、低温貯蔵の期間に依存ことを示すとともに、上記の遺伝子は、低温障害の発現マーカーとして使えることが明らかになった。

## 文 献

- 1) 財務省：財務省貿易統計（検索ページ）、統計品別推移表（2020）（<https://www.customs.go.jp/toukei/search/index1.htm>）（2021/3/9 アクセス）
- 2) 農研機構：輸送中のかんしょに対する腐敗防止方策標準作業手順書（2020）（[https://www.naro.affrc.go.jp/publicity\\_report/publication/files/SOP20-502K20200806.pdf](https://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/publication/files/SOP20-502K20200806.pdf)）（2021/3/9 アクセス）
- 3) KADER, A. A.: Postharvest Technology of Horticultural Crops, University of California, CA. (2002)
- 4) LIEBERMAN, M., CRAFT, C. C., AUDIA, W. V. and WILCOX, M. S.: Biochemical studies of chilling injury in sweetpotatoes, *Plant Physiol.*, **33** (5), 307～311 (1958)
- 5) YAMAKI, S. and URITANI, I.: Mechanism of Chilling Injury in Sweet Potatoes, Part V, Biochemical Mechanism of Chilling Injury with Special Reference to Mitochondrial Lipid Components, *Agr. Biol. Chem.*, **36** (1), 47～55 (1972)
- 6) 田之上隼雄・下園かおり・前屋義孝：甘しょの貯蔵性向上のための高温処理条件，鹿児島農試研報，**17**, 59～69 (1989)
- 7) 宮崎丈史：サツマイモの成分変化に及ぼすキュアリング処理と貯蔵条件および加熱処理の影響，園学雑，**59** (3), 649～656 (1990)
- 8) 増田大祐・福岡信之・後藤秀幸・加納恭卓：収穫後のサツマイモへの低温処理が糖含量ならびに貯蔵性に及ぼす影響，園芸学研究，**6** (4), 597～601 (2007)
- 9) JI, C. Y., CHUNG, W.-H., KIM, H. S., JUNG, W. Y., KANG, L., JEONG, J. C. and KWAK, S.-S.: Transcriptome profiling of sweetpotato tuberous roots during low temperature storage, *Plant Physiol. Biochem.*, **112**, 97～108 (2017)
- 10) LI, X., YANG H. and LU G.: Low-temperature conditioning combined with cold storage inducing rapid sweetening of sweetpotato tuberous roots (*Ipomoea batatas* (L.) Lam) while inhibiting chilling injury, *Postharvest Biol. Technol.*, **142**, 1～9 (2018)
- 11) XIE, Z., ZHOU, Z., LI, H., JANG, J., TANG, Z., MA, D., ZHANG, B., HAN Y. and LI, Z.: High throughput sequencing identifies chilling responsive genes in sweetpotato (*Ipomoea batatas* Lam.) during storage, *Genomics*, **111** (5), 1006～1017 (2019)

（令和3年5月13日受付，令和3年9月2日受理）