

甘藷の γ 線照射と低温障害について

菅沼俊彦・松橋好文・藤本滋生・永浜伴紀

田之上隼雄*・河野利治*

(澱粉利用学研究室)

昭和57年8月10日 受理

Study on γ -Irradiation and Chilling Injury of Sweet Potato

Toshihiko SUGANUMA, Yoshifumi MATSUHASHI, Shigeo FUJIMOTO,
Tomonori NAGAHAMA, Hayao TANOUÉ* and Toshiharu KONO*

(Laboratory of Applied Starch Chemistry)

緒 言

食品分野における放射線照射の応用としては、馬鈴薯や玉ネギなどの根菜類の発芽抑制、米やソーセージなどの殺菌・殺虫効果によるシェルフライフの延長、あるいは果実の熟度調整などがあり、それぞれ実用段階に入りつつある^{3,4,10,18,19,20}。

甘藷塊根の γ 線照射に関しては、田之上がコガネセンガンと農林2号に γ 線照射したとき、5 kradですでに発芽抑制と糖増加の現象を認め、10 kradで完全に発芽が阻止されることを見いだしている¹⁶。また、小川らは甘藷切片に対する γ 線照射の効果を植物ホルモンの合成との関係で研究している¹¹。

一方、甘藷は低温感受性の強い作物の一つである。収穫後、低温におくと、生理的変調をきたして、品質が低下し、変色や腐敗しやすくなり、いわゆる低温障害がおこる^{6,8}。その温度は10°C以下とされている^{9,14}。

本研究では γ 線照射が甘藷に与える影響を照射後の生理的变化と貯蔵性、とくに低温障害の発現との関連において調べた。

材 料 と 方 法

1. 照射と貯蔵

昭和55年秋に鹿児島市中央青果市場で購入したコガネセンガン**、ならびに鹿児島県農業試験場作物部よ

り恵与されたミナミユタカとコガネセンガンを用いた。甘藷は、まず、200倍オスバン液***に15~20秒浸漬し、ガーゼで拭いて陰干ししたのち、実験に供した。

γ 線照射は本学共同利用RI実験室のガンマーセル220(⁶⁰Co)またはガンマーセル40(¹³⁷Cs)(Atomic Energy of Canada)で行った。甘藷をポリエチレン袋に数個ずつ入れ、線量率を790 krad/h(⁶⁰Co)または7.3 krad/h(¹³⁷Cs)として照射時間を計算し、室温で照射した。

照射後の甘藷は湿度を一定に保ち、かつ呼吸を妨げないように綿栓した上口デシケーターを容器として、13°C(適温貯蔵区)および4°C(低温貯蔵区)の恒温室に貯蔵した。

2. 諸成分の分析

ショ糖、還元糖、澱粉の定量はFig. 1に示す手順で行った。試料甘藷をみじん切りにしてよく混合し、その一部をとって糖分析またはアミラーゼ活性分析試料とした。分析に先だち、澱粉に対するセルロース(2%)、ショ糖に対するマルトース、デキストリン(各0.1%)の混在の影響を調べたが、本実験条件下では定量性に問題は生じなかった。

アミラーゼ活性の測定には、まず試料甘藷10gを50 mlの水とともにワーリングブレンダーで破碎(7,500 rpm×2 min)、遠心分離(15,000 rpm×15 min)後の上澄液を100 mlに定容して粗抽出液とした。これを0.02 M 酢酸緩衝液(pH 4.8, 0.02% トリトン X-100

* 鹿児島県農業試験場流通加工部 鹿児島市上福元町 5500 Kagoshima State Laboratory of Agriculture, Division of Food Marketing and Processing, 5500 Kamifukumoto-cho, Kagoshima 891-01

** 原料用甘藷として高澱粉多収品種の育成のために品種改良されたもので短紡錘形、黄褐色で浅い条溝がある。市場にでまわっている甘藷の中では貯蔵性に乏しい。

*** 10%塩化ベンザルコニウム液、武田薬品

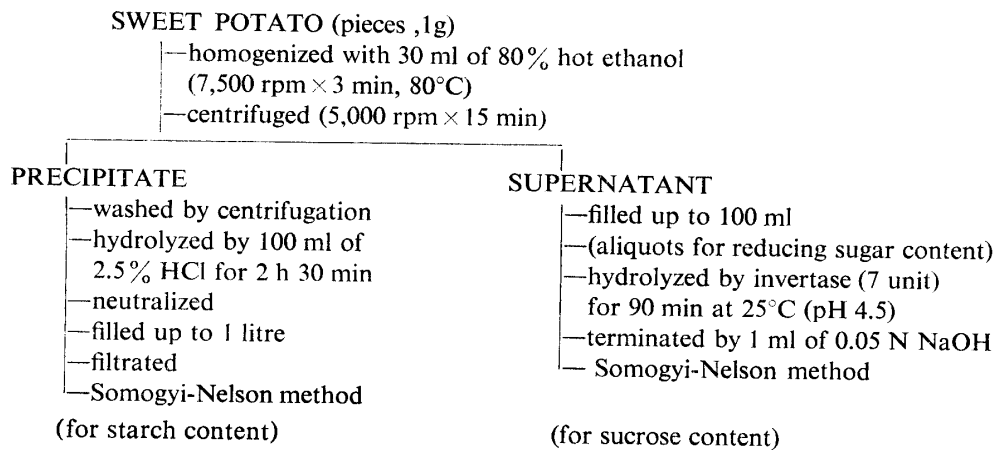


Fig. 1. Analyses of starch, sucrose and reducing sugar contents of sweet potato.

を含む¹⁵⁾で適当濃度に希釈し、その 0.5 ml を粗酵素液として、基質溶液 0.71% アミロペクチン (馬鈴薯澱粉より当研究室で調製) 0.5 ml に加えた。25°C で 5 分間 反応させ、0.05 N NaOH 1 ml で 反応停止後、Somogyi-Nelson 法⁵⁾で還元力増加を測定した。この条件下で 1 分間に 1 μ mole のマルトースを生じる酵素量を 1 酵素単位 (unit) とした。

インペルターゼ活性については、上記粗抽出液の透析液 0.5 ml を粗酵素液として、基質 0.1 M ショ糖溶液 (0.05 M 酢酸緩衝液, pH 4.6 または、0.05 M ピロリン酸緩衝液, pH 8.0⁷⁾) 0.5 ml に加え、25°C で 3 時間 反応後、0.05 N NaOH 1 ml で 反応停止し、Somogyi-Nelson 法で測定した。この条件下で 1 分間に 1 μ mole のショ糖を分解する酵素量を 1 酵素単位とした。

結 果

1. 照射後の経日変化

実験に用いた甘藷は、11月中旬に購入したコガネセンガン (170~240g/個) で、 γ 線照射量は 40 krad である。23日間の貯蔵中の重量の変化は、多いもので 3%、大部分は 1%程度であった。

外観的には、照射、未照射のいずれにおいても 13°C 貯蔵区では全く変化を認めなかったが、4°C 貯蔵区では貯蔵末期に部分的な褐変があらわれはじめた。

Fig. 2 に示すように、ショ糖、還元糖量の経日変化でみると、対照としての未照射・13°C 貯蔵区のほかは、いずれも貯蔵日数とともに両成分が増加する傾向にあり、なかでも照射・4°C 貯蔵区において顕著な増加が認められた。そして、照射甘藷を 13°C 適温貯蔵しても糖増加の傾向が認められることから、 γ 線照射によっても糖増加が引き起こされていることが注目さ

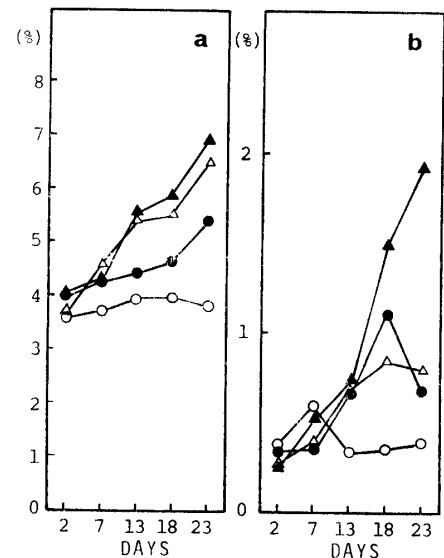


Fig. 2. Changes in sucrose (a) and reducing sugar (b) of 40 krad-irradiated sweet potato (Koganesengan) during storage.

(○): un-irradiated; 13°C, (●): irradiated; 13°C, (△): un-irradiated; 4°C, (▲): irradiated; 4°C

れる。このことは次の実験で一層はっきりした。

2. 照射線量の影響

12月中旬に購入したコガネセンガン (200~300g/個) を 50, 100, 300 krad 照射し、4°C および 13°C で 30日間貯蔵後の変化を調べた。

糖含量、酵素活性の分析結果を Fig. 3 に示す。貯蔵後の変化を明らかにするため、対照としての未照射 0 日目の甘藷の分析結果を図中に矢印で示した。

13°C の適温貯蔵区でも、照射量に応じてショ糖が増加している。一方、4°C 貯蔵区では未照射甘藷自体、30日間の低温貯蔵によって高レベルにまでショ糖が増

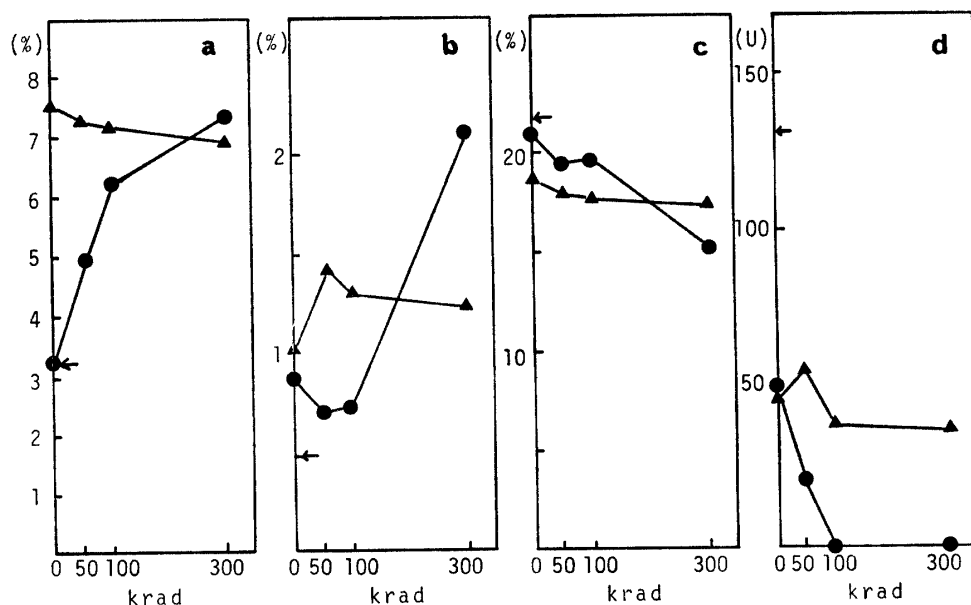


Fig. 3. Effects of the dosage on sucrose (a), reducing sugar (b), starch (c) and amylase activity (d) of sweet potato (Koganesengan) during storage (30 days) at 13°C (●) or 4°C (▲). Arrows (→) indicate values of intact potato (0 krad; 0 day).

加し、照射甘藷ではそれ以上の増加を認めることはできなかった。

還元糖の結果は、300 krad・13°C 貯蔵区以外では13°C 貯蔵区より 4°C 貯蔵区の方が増加は大きく、照射量による依存性はあまり認められなかった。300 krad・13°C 貯蔵区の著しく大きい値は、あとに述べる腐敗の様相と関係があるのかもしれない。

澱粉は照射量に応じて減少する傾向が認められ、とくに 13°C 貯蔵区ではシヨ糖増加と対応する減少傾向を示した。

アミラーゼ活性は、未照射甘藷自体30日間の貯蔵によって低下するが、照射甘藷においては、線量に応じてその程度が大きくなり、とくに 13°C 貯蔵区では著しい低下がみられた。

貯蔵中の外観上の変化を Table 1 に示す。健全なものを A、部分的に褐変しはじめたものを B、組織が軟

化し腐敗したものを C、著しく腐敗したものを D と表した。

重量の変化は D で 5%程度、それ以外は前項と同様に 1%程度であった。

未照射では 4°C、13°C 両貯蔵区ともすべて A であった。しかし、照射甘藷では 50 krad・13°C 貯蔵区以外では腐敗の症状が認められた。同じ線量では 4°C 貯蔵区が、また同じ貯蔵温度下では照射量が大きくなるにつれて、いずれも腐敗の程度が大きくなった。このように γ 線照射は、その後の低温貯蔵でも適温貯蔵でも腐敗を助長することが明らかとなった。

3. 放射線感受性の品種間差

コガネセンガンとミナミュタカについて比較した。それぞれ、20, 30, 40 krad 照射 (^{137}Cs) し、13°C で 7 日間貯蔵後、凍結粉碎して、-80°C で保存したものを分析した。

Fig. 4 に示すように、コガネセンガン、ミナミュタカの両品種間では、シヨ糖、還元糖、澱粉含量が異なるが、いずれも 0~40 krad の照射範囲においてはあまり変化の違いは認められなかった。

アミラーゼ活性については両品種間で異なる傾向がみられた。前項の実験結果と同様、照射線量とともに明らかに活性が低下しているが、ミナミュタカではこのような傾向が認められなかった。

このような品種間の感受性の相異は Fig. 5 に示すように、酸性インベルターゼ活性にも認められ、ミナ

Table 1. The rotting of γ -irradiated sweet potato during storage (30 days)

Temp.	γ -irradiation (krad)			
	0	50	100	300
13°C	AAA	AAA	AAB	CCD
4°C	AAA	ABB	BBB	DDD

Each group consists of three potato roots. Notation A, B, C and D represent sound, brown-spotting, rotten and completely rotten potato roots, respectively.

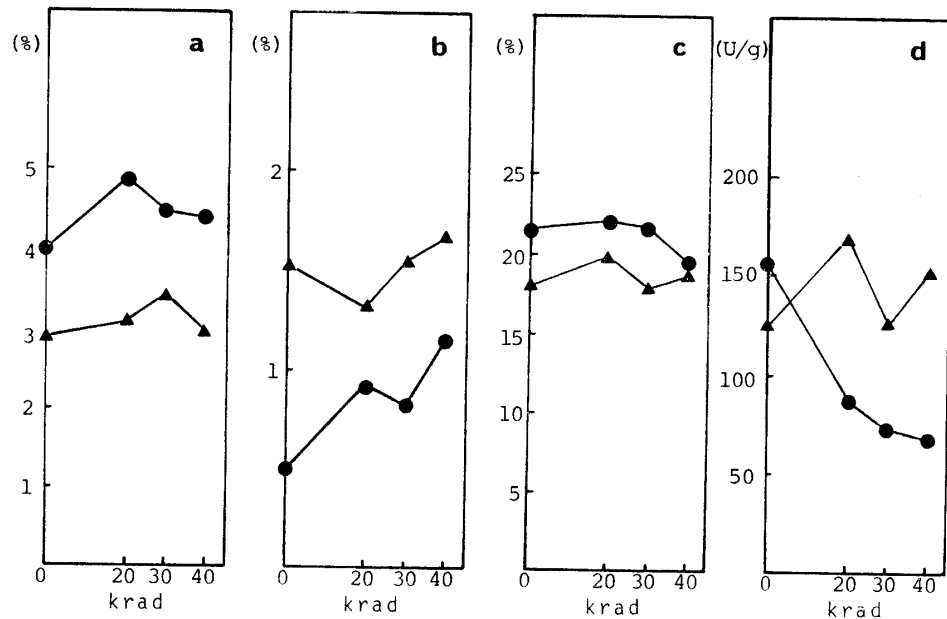


Fig. 4. Effects of the dosage on sucrose (a), reducing sugar (b), starch (c) and amylase activity (d) of Koganesengan (●) and Minamiyutaka (▲) during storage (13°C; 7 days).

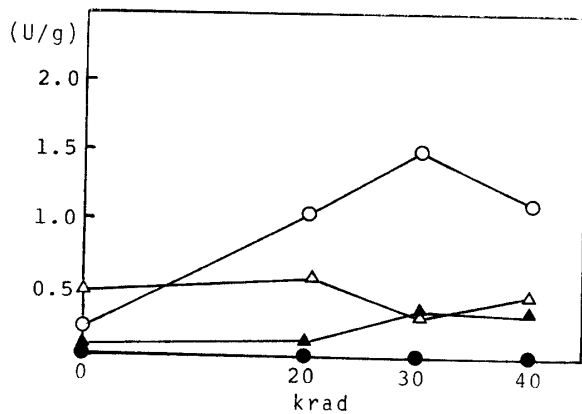


Fig. 5. Effects of the dosage on acid and alkaline invertase activities of Koganesengan and Minamiyutaka during storage (13°C; 7 days).

- (○): acid invertase of Koganesengan,
 (●): alkaline invertase of Koganesengan,
 (△): acid invertase of Minamiyutaka,
 (▲): alkaline invertase of Minamiyutaka.

ミユタカでは照射による活性変化がみられないのに対して、コガネセンガンでは活性が上昇した。

4. ホモジネートの γ 線照射

以上の諸現象が生甘藷における生理的反応かどうかを知るために、組織を破碎して γ 線照射の影響をしらべた。

まず、次の3種のホモジネートを調製して比較した。ホモジネート(A): 甘藷 40g に蒸留水 200ml を加え

て破碎 (7,500 rpm×2 min) したものを、ホモジネート(B): (A) をガーゼでろ過し澱粉は含有しているもの、(C): (B) をさらに遠心分離 (3,600 rpm×15 min) して澱粉除去したものである。各ホモジネートを試験管に10ml ずつ分注して、それぞれ、50 krad, 300 krad の照射を行い、チモールを入れて、4°C と 13°C においた。2日目と10日目にそれぞれを遠心分離 (15,000 rpm×15 min) して、その上澄液を分析試料とした。

ホモジネート(A)の結果を Fig. 6 に示す。照射による変化が生甘藷の場合と異なり、ショ糖は 4°C 貯蔵でもあまり変化なく、13°C 貯蔵区ではむしろ減少する傾向にあり、未照射ホモジネートにおいてもっとも顕著な減少がみられた。ホモジネート(B)および(C)の系でも同様の傾向が認められた。

これに反して、還元糖は一般に増加の傾向を示したが、(A)と(B)で大きく(C)ではほとんど変化がなかった。未照射・13°C 貯蔵区では10日目に急に減少した。この挙動は(A),(B),(C)すべての系で認められた。

アミラーゼ活性も生甘藷の照射の場合と異なり、活性低下は認められなかった。

考 察

いも類の中で、甘藷は馬鈴薯について生産量が多く、青果物あるいは加工原料として重要な農産物である。しかし、両者いずれも貯蔵性に難点があり多くの研究がなされている。馬鈴薯の貯蔵に関しては、 γ 線照射

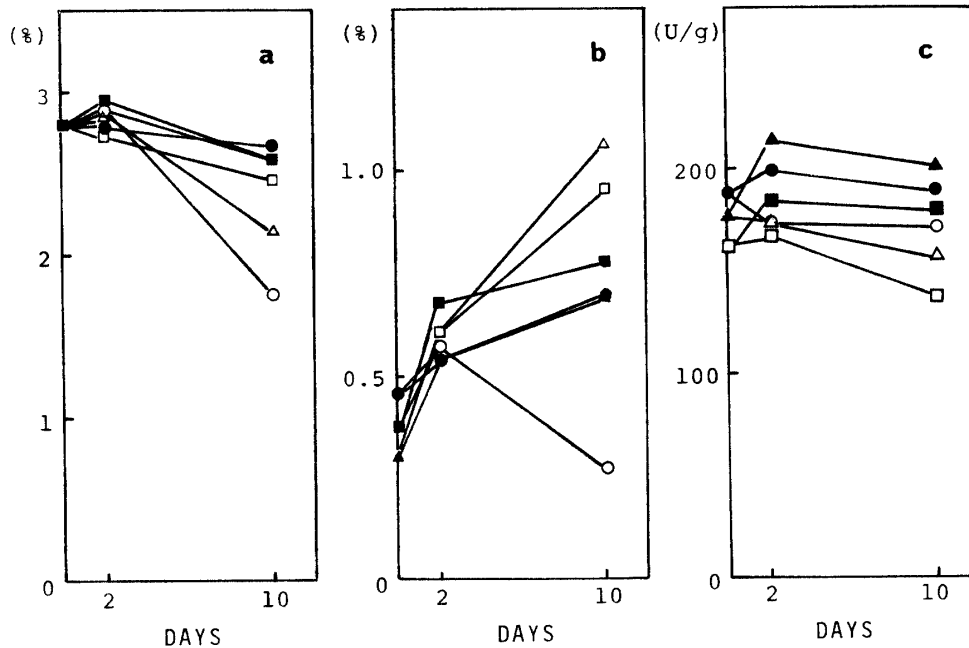


Fig. 6. Change in sucrose (a) reducing sugar (b) and amylase activity (c) of irradiated homogenate (A) of sweet potato (Koganesengan) during storage.

(○): 0 krad; 13°C, (△): 50 krad; 13°C, (□): 300 krad; 13°C, (●): 0 krad; 4°C, (▲): 50 krad; 4°C, (■): 300 krad; 4°C.

による発芽抑制^{18,19,20}), また低温貯蔵したときの糖増加機構などの研究が行われている^{2,12}).

甘藷の貯蔵性については, 低温障害が問題とされ, その発現機構に関して瓜谷らのグループがミトコンドリア膜の変性を中心に詳細な研究を行っている²¹).

一方, γ 線照射において, 100 krad 以上の線量では酵素蛋白の変性や失活がおこるとされている¹). われわれは, このような高線量の照射を甘藷に施したときの糖質成分やその関連酵素の動向, ならびに, 低温障害の発現に及ぼす影響に注目して本研究を行った.

通常甘藷の貯蔵条件として 13°C, 湿度90%程度が好適とされている. 今回の実験においても, 未照射甘藷(コガネセンガン)では, 13°Cの適温下23~30日の貯蔵で外観的に健全さを保ち, 成分的にもとくに変化が認められなかった. しかし, 4°Cの低温貯蔵では外観的には健全であるにもかかわらず, 澱粉含量の低下とショ糖, 還元糖の増加がみられ, なんらかの生理的変調が生じつつあることが示された(Fig. 2, 3). 一方, 照射甘藷については, 適温貯蔵においても照射線量に比例してショ糖, 還元糖の増加が認められ(Fig. 3), また部分的褐変の度合も大きくなって, 300 krad照射では完全に腐敗した(Table 1).

低温貯蔵においては, さらにこの傾向が顕著に認め

られ(Table 1), γ 線照射がいわゆる低温障害を助長させる方向に作用していると考えられる.

ホモジネートについての実験結果(Fig. 6)と対応させて考察すると, 前述の生甘藷の場合(*in vivo*系)と異なり, *in vitro*系では照射・低温貯蔵区でもショ糖の増加が認められず, 未照射群ではむしろ減少の傾向を示した. アミラーゼ活性(約95%が β -アミラーゼ活性¹³)も, 両系で異なった傾向を示し, 生甘藷では照射により活性低下がひきおこされたが, 組織破砕物の*in vitro*系では明確な変化は認められなかった. したがって, 照射甘藷におけるショ糖増加やアミラーゼ活性の低下現象は, γ 線の直接的作用によるものではなく, 照射により惹起される甘藷の生理的反応の結果としての間接的現象であることが示唆される.

品種間の放射線感受性の違いについては, 酵素活性を指標にして実験を行った. 酸性インペルターゼは, 恒常的に活性が認められるアルカリ性インペルターゼと異なり, 切断障害に伴って特異的に活性の上昇がみられる酵素である⁷). コガネセンガンとミナミュタカを用いて照射甘藷の酸性インペルターゼ活性を比較したところ, コガネセンガンではこの活性が上昇するが, ミナミュタカでは変化しなかった(Fig. 5). アミラーゼ活性でも同じ結果が得られた(Fig. 4). 一方, 照射

後の呼吸量の変化を指標とする実験結果については、県農業試験場の報告¹⁷⁾がある。これによると、ミナミユタカは照射後1~2日目に呼吸量の増加があり1週間後にはほぼ一定の水準に落ちつくのに対し、コガネセンガンでは照射の影響が1週間後も続く。これらの結果はいずれもコガネセンガンの方がミナミユタカに比べ、 γ 線に対する感受性の高いことを示しており、コガネセンガンの貯蔵性の低さとも関係があるのかもしれない。

以上のように、甘藷(コガネセンガン)に対する γ 線照射において、発芽抑制の線量よりはるかに強い線量では、その後の貯蔵中のいわゆる低温障害を阻止するのではなく、かえってこういった生理的変調を助長する作用が認められた。また、照射甘藷の酸性インベルターゼ活性の上昇などから判断して、 γ 線照射は切断のような機械的損傷と同じように、傷害としてコガネセンガンに作用していると考えられる。

要 約

甘藷の γ 線照射による生理活性の変動を、とくに低温障害の発現に関連して調べた。品種はコガネセンガンを用い、照射は発芽抑制に用いられる線量(5~15 krad)を越えて40~300 kradとした。照射甘藷は綿栓つきデシケーターを容器として、適度の湿度と呼吸を保ちながら13°C(適温)および4°C(低温)で7~30日間貯蔵した。貯蔵後の外観的变化と成分変化(ショ糖、還元糖、澱粉含量、アミラーゼ活性)を調べた結果は次のとおりである。

1. γ 線照射がコガネセンガンに与える影響として、第1に、照射甘藷では13°C適温に貯蔵しても照射線量に比例してショ糖含量が増加しアミラーゼ活性が低下すること、第2に4°C低温貯蔵区において、未照射甘藷は30日まで外観的に健全さを保っているが、照射甘藷では、照射量に応じて明らかに腐敗の程度がひどくなり、いわゆる低温障害を助長することが観察された。

2. 甘藷ホモジネート(*in vitro*系)について上と同様の照射・貯蔵実験を行った結果、生甘藷の場合(*in vivo*系)に認められたショ糖増加とアミラーゼ活性の低下といった現象は、*in vitro*系では認められなかった。したがって、これらの現象は γ 線の直接作用の結果でなく、照射によって引き起こされる生甘藷の生理的反応に基づくものであると考えられる。

3. コガネセンガンとミナミユタカの γ 線照射に対する感受性を、酸性インベルターゼ活性を指標とし

て調べたところ、コガネセンガンでは活性の上昇が観察されたがミナミユタカでは変化が認められなかった。したがって、コガネセンガンの方がミナミユタカより放射線感受性が高く、このことは貯蔵性の低さと関連して興味があるところである。

謝辞 γ 線照射の実験にあたり、御協力を頂いた本学共同利用 RI 実験室の西山安夫技官に深く感謝いたします。

文 献

- 1) Alexander, P. and Lett, J. T.: Effects of ionizing radiations on biological macromolecules. *Comprehensive Biochemistry*, vol. 27, p. 267-357, Elsevier (1967)
- 2) Becker, D. P. und Somogyi, J. C.: Zum Wirkungsmechanismus des Saccharoseanstiegs in bestrahlten Kartoffeln. I. Zusammenhang zwischen dem Anstieg des Saccharosegehaltes und der Phosphorylaseaktivität nach Gammabestahlung. *Mitt. Gebiete Lebensm. Hyg.*, **68**, 409-418 (1977)
- 3) 茶珍和雄・緒方邦安: γ 線照射によるタマネギの発芽抑制に対する照射時期ならびに貯蔵温度の影響. 日本食品工業学会誌, **18**, 378-382 (1971)
- 4) 茶珍和雄: 放射線貯蔵. 青果保蔵汎論, 緒方邦安編, p. 216-226, 建帛社, 東京 (1977)
- 5) Hiromi, K., Takasaki, Y. and Ono, S.: Kinetics of hydrolytic reaction catalyzed by crystalline bacterial α -amylase. III. Influence of temperature. *Bull. Chem. Soc. Japan*, **36**, 563-569 (1963)
- 6) Lyons, J. M.: Chilling injury in plants. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, **24**, 445-466 (1973)
- 7) Matsushita, K. and Uritani, I.: Change in invertase activity of sweet potato in response to wounding and purification and properties of its invertase. *Plant Physiol.*, **54**, 60-66 (1974)
- 8) 屯田卓夫: 生理障害. 青果保蔵汎論, 緒方邦安編, p. 260-277, 建帛社, 東京 (1977)
- 9) 屯田卓夫: 青果物の流通と低温障害. 食品工業, **55** (2F), 58-62 (1980)
- 10) 緒方邦安・茶珍和雄: 放射線照射と果実・野菜の生体反応—発芽抑制と果実の熟度調整をめぐって. 化学と生物, **10**, 234-242 (1972)
- 11) 小川正己: ガンマー線の植物代謝に及ぼす生化学的影響. 化学と生物, **9**, 274-278 (1971)
- 12) Samotus, B. and Schwimmer, S.: Predominance of fructose accumulation in cold-stored immature potato tuber. *J. Food Sci.*, **27**, 1-4 (1962)
- 13) 菅沼俊彦・今窪富夫・藤本滋生・永浜伴紀: 希薄甘藷汁液からの β -アミラーゼの回収. 昭和54年度日本農芸化学会大会講演要旨集, p. 441 (1979)
- 14) 鈴木繁男: いも類—貯蔵と低温. 冷凍, **46**, 817-820 (1971)
- 15) Takeda, Y. and Hizukuri, S.: Effect of Triton X-100 on sweet potato β -amylase. *Biochim. Biophys. Acta*, **185**, 469-474 (1969)
- 16) 田之上隼雄: 貯蔵環境が甘藷塊根内炭水化物に及ぼす

- 影響について、鹿児島大学農学研究科修士論文 (1968)
- 17) 田之上隼雄・前屋義孝：原料甘藷の貯蔵と加工適性、流通と加工に関する試験成績書，p. 81-101, 鹿児島県農業試験場流通加工部 (1982)
- 18) 梅田圭司・高野博幸・佐藤友太郎：放射線によるジャガイモの発芽抑制 (第1報)「男爵」および「島原」の照射時期と発芽率，日本食品工業学会誌，**16**, 508-514 (1969)
- 19) 梅田圭司・川嶋浩二・高野博幸・佐藤友太郎：放射線によるジャガイモの発芽抑制 (第2報)「農林1号」の発芽抑制線量と照射が二次加工製品に与える影響，日本食品工業学会誌，**16**, 515-519 (1969)
- 20) 梅田圭司：食品照射の実用化とその背景，化学と生物，**12**, 532-538 (1974)
- 21) Yamaki, S. and Uritani, I.: The mechanism of chilling injury in sweet potato VI. Changes of lipid components in the mitochondrial membrane during chilling storage. *Plant & Cell Physiol.*, **13**, 67-79 (1972)

Summary

The effect of γ -irradiation on sweet potato was investigated in terms of physiological fluctuation during storage, especially of susceptibility to chilling injury. A variety of sweet potato, named "Koganesengan", was irradiated with γ -ray of ^{60}Co in the range of 40-300 krad much exceeding that of 5-15 krad usually applied on the sprouting-inhibition of potato tuber or onion. The irradiated sweet potato roots were stored at 4°C or 13°C in a glass vessel of desiccator with a cotton plug to retain humidity and an aerobic condition. The changes in appearance (the rotting) and in components (sucrose, reducing sugar and starch-contents and amylase activity) of the roots during the storage were followed. The results may be summarized as follows:

1. γ -Irradiation caused an increase in sucrose and a decrease in amylase activity of sweet potato during the storage even at 13°C of favorable temperature for its preservation. Unirradiated roots maintained their soundness at low temperature storage (4°C, 30 days), while irradiated roots deteriorated to be rotten with increasing the dosage (krad). Thus, it was ascertained that γ -irradiation accelerated chilling injury of sweet potato.

2. On the irradiated homogenate of sweet potato (*in vitro*), such irradiation effects as facilitating an increase in sucrose and a decrease in amylase activity of raw roots (*in vivo*) were not observed during the storage (4°C or 13°C, 10 days). This suggested that these phenomena were not directly caused by irradiation, but that they were succeeded to some physiological reaction(s) in raw roots.

3. Difference in susceptibilities to radiation injury between the two varieties of sweet potato, "Koganesengan" and "Minamiyutake", was examined through acid invertase activity as a marker. "Koganesengan" was observed to increase in acid invertase activity after irradiation, whereas "Minamiyutake" was not observed it. Thus, "Koganesengan" was noted to be more susceptible to radiation injury than "Minamiyutake", which might be associated with the shortness in the storage life of "Koganesengan".