

春まきタマネギの貯蔵に関する研究(5)

誌名	北海道農業試験場研究報告 = Research bulletin of the Hokkaido National Agricultural Experiment Station
ISSN	03675955
著者	田中, 征勝 池, 光鉉 小餅, 昭二
巻/号	148号
掲載ページ	p. 95-105
発行年月	1987年3月

春まきタマネギの貯蔵に関する研究

第5報 貯蔵タマネギの凍結障害[†]

田中征勝* 池 光鉉** 小餅昭二***

I はじめに

タマネギの春まき秋どり栽培は東北部の一部で試みられているほかは、そのほとんどが北海道で行われ、収穫されたタマネギの大部分は秋の10月下旬から翌春の4月上旬までの約6か月間の長期間にわたって貯蔵され、漸時出荷される。北海道の冬は寒冷気候のため、12月から3月にかけては庫内温度をほぼ貯蔵適温の0℃近くに保つことができる。しかし、断熱構造の十分でない貯蔵庫では庫内がしばしば零度以下となり、貯蔵庫の壁面あるいは出入口付近の大型コンテナ内に貯蔵されたタマネギが凍結することがある。

タマネギ球の凍結について多賀ら(1987)は貯蔵期間の延長に有効であると述べているが、一方、LIPTONら(1965)、RYALLら(1972)は球の凍結がりん葉の水浸症状の発現と変色、球の軟化、表皮剝離の原因となることを報告している。

著者らはこれまでにタマネギ貯蔵中の歩留まりを減少させる障害として萌芽、腐敗をはじめ、発根、茎盤部突出、皮むけ、球の軟化などについて貯蔵温度・湿度の面から発生要因の解明を行い、既にその結果を報告した(田中ら, 1985 a~d)。本報では貯蔵中のタマネギ球を人工的に凍結させ、解凍後の障害発生の有無について検討したのでその結果を報告する。

II 試験材料及び方法

1. タマネギ球の凍結温度・時間並びに解凍温度と障害の発生の調査

当場月寒圃場で生産した品種「札幌黄」の球を用い、1977年から1978年にわたって試験を実施した。材料は収穫、予乾後5℃の貯蔵庫で40日間貯蔵したものを供試した。貯蔵庫から取り出したタマネギは1球重を100~150g, 150~200g, 200~250gの3段階に分け、それぞれ5球ずつ1実験に使用した。球の凍結処理はエアブラストフリーザー中で行った。凍結温度は-2.5, -5, -10, -15, -20℃の5段階を設定し、凍結時間はタマネギ球の中心温度が設定温度に達するまでとし、更に、-5℃と-10℃については5, 10日間凍結する区を設けた。凍結後の解凍温度は0, 5, 15℃の3段階を設定した。解凍後の球の障害調査はTable 1に示す調査基準により、指圧により球の硬さを0の硬いものから3の軟らかいものまでの4段階に分け、硬さ指数として表示し、軟化障害の指標とした。硬さを測定した後、球を縦に切断し、りん葉に水浸症状の認められないものを0, 5枚以上のりん葉が強い水浸症状を示したものを5とし、水浸症状を示したりん葉数と症状の程度

Table 1. Indices of toughness bulb of onion

Index of bulb toughness	
0	No caved when pressed with finger
1	Slightly caved when pressed with finger
2	Clearly caved when pressed with finger
3	Fairly caved when pressed with finger

昭和61年8月7日受理

[†] 本報告の一部は園芸学会(昭和53年度秋季大会)において発表した。

* 作物第二部園芸作物第2研究室(現北陸農業試験場)

** 韓国農村振興庁高嶺地試験場園芸研究担当官室

*** 作物第二部園芸作物第2研究室(現野菜試験場)

により中間の指数を与えた (Fig. 1). なお, 商品価値からみた水浸程度の指数値は1が限界で, 2以上では全く価値がない状態と認められた. 硬さ及び水浸症状の観察は解凍直後から2日おきに4~10日間(一部30日), 経時的に調査した. なお, -5 , -10°C で凍結, 5°C で解凍した材料は顕微鏡により, りん葉ごとにりん葉内側の表皮細胞の原形質流動の変動を観察し, 正常なものを0, 完全に停止したものを5として原形質流動の抑制度により中間の値を与えた.

タマネギ球の凍結温度は品温測定用熱電対を球の中心部に刺し込み, 電子式自記記録温度計により記録した.

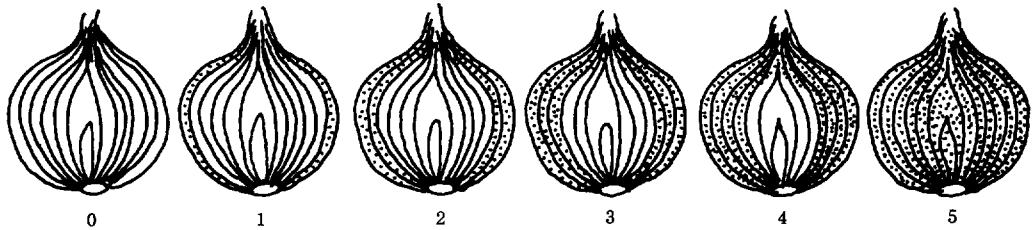


Fig. 1 Indices of water soaked symptom in scaly bulb of onion

庫で2日間解凍した後, 球の硬さ, 水浸症状を前試験同様の指数により判定し, 5°C 貯蔵の無凍結の材料と比較した. なお, すべての実験に供試した材料は1球から2箇所, 球の外側から2枚目のりん葉の赤道面より $1.5\text{cm} \times 1.5\text{cm}$ の切片を取り, アタゴ社製のデジタル・リフレクトメーターによりブリックス指数(可溶性固形物含量)を測定した. 数値は10球, 20箇所の平均値で表示した.

2. タマネギ球の凍結処理時期と障害の発生並びに可溶性固形物含量の変化の調査

当場月寒圃場で生産した貯蔵性を異にする2品種を用いた. 貯蔵性の低い品種として「北見黄」を, 貯蔵性の高い品種として「フラヌイ」を使用し, 試験は1985年から1986年にわたって実施した. 材料は9月20日に収穫, 予乾した後11月1日に 5°C の貯蔵庫に貯蔵し, 貯蔵開始時から翌年の5月まで6時期(11月2日, 12月26日, 1月28日, 3月5日, 4月11日, 5月29日)に分けて取り出し, 各品種とも平均1球重が180~240gのものを1処理につき10球供試した. エアープラストフリーザーにより -5 , -10°C の2段階で凍結処理し, 凍結直後 5°C の貯蔵

III 試験結果

1. タマネギ球の凍結曲線

タマネギ球の凍結曲線をFig. 2に示す. 球の凍結点は -1.5°C 附近にあり, この温度で球が完全に凍結するまでに数時間を要し, その後更に品温が低下して目標の凍結温度に達した. 品温が設定温度に達するまでの所要時間は球の大きさ及び凍結温度によって異なるが, 図に示した結果は平均1球重が150~200gの球で, -20°C では3.5時間と短く, -15°C で

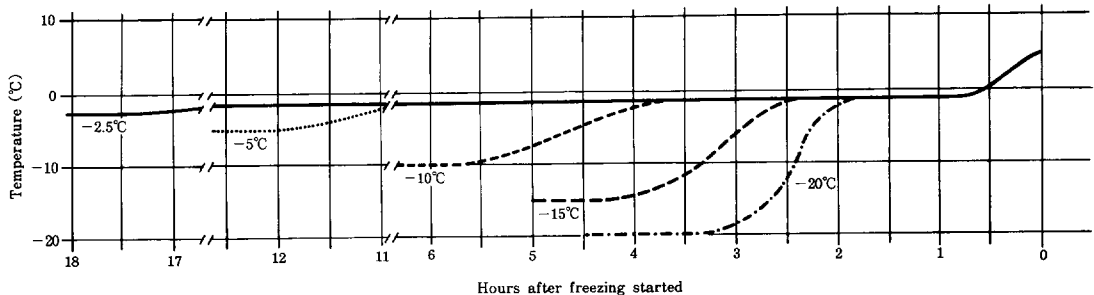


Fig. 2 Changes of freezing curve of onion bulbs treated with various freezing temperatures

は4.5時間, -10°C では5.5時間, -5°C では12時間, -2.5°C では18時間と凍結温度が高いほど長時間を要した。なお, 1球重が軽いほど所要時間は短くなった。

2. タマネギりん葉の水浸症状発現に及ぼす凍結温度並びに解凍温度の影響

タマネギ球を $-2.5\sim-20^{\circ}\text{C}$ で凍結後直ちに0, 5, 15°C で解凍した時のりん葉の水浸症状の発現状況はFig. 3に示すように, -2.5°C 凍結球では指数が1以下と低くほぼ正常の状態を示したのに対して, -10°C 凍結球になると急激に上昇し, -15°C 以上の凍結球ではすべてのりん葉が強い水浸症状を示した。また, この水浸症状の発現は解凍温度が低いほど軽くなる傾向がみられ, 0°C 解凍では -5°C 凍結球でも正常に近い状態を示した。

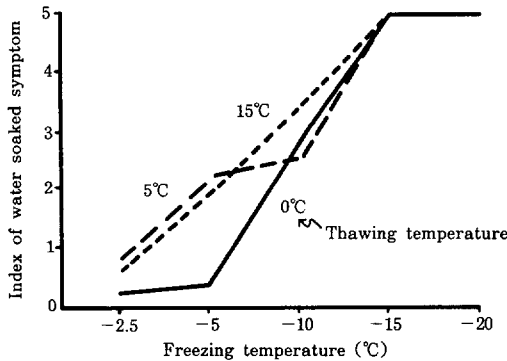


Fig. 3 Influence of both freezing and thawing temperatures on the water soaked symptom in scaly bulb of onion

3. タマネギりん葉の水浸症状, 硬さに及ぼす凍結温度, 時間並びに解凍温度の影響

タマネギ球を $-2.5, -5, -10^{\circ}\text{C}$ で凍結させ, 凍結直後及び5日間と10日間それぞれの温度で凍結状態に置いた後取り出したものを 5°C 及び 15°C で解凍した後のりん葉の水浸症状の発現並びに球の硬さの変化を調査した。結果はFigs. 4~6に示すとおりで, 調査は球重別に行ったが重量との関係が明らかでなかったため, 図はすべて15球の測定平均値で示した。

-2.5°C 凍結におけるりん葉の水浸症状の発現はFig. 4に示すようにほとんど認められず, また, 凍結期間の影響も認められなかった。しかし, 球の硬さは指数が1前後と凍結によってわずかに軟らかくなったが, その影響は 5°C 解凍よりも 15°C 解凍で大きい傾向を示した。

-5°C で凍結した時の結果はFig. 5に示す。 -2.5°C 凍結球と比較してりん葉の水浸症状は明らかに高まったが, いずれの処理区も解凍後2日目にはほとんど正常に近い状態まで回復した。しかし, 球の硬さは -2.5°C 凍結球よりも軟らかくなり, 凍結期間が長いほどその影響が強くなり, 更に解凍温度が高いほど大きく, 硬さの時間の経過による回復は全くみられなかった。

-10°C 凍結球ではFig. 6に示すように, 水浸症状は前2試験より明らかに強く現れ, 凍結期間が長いほどその程度は強く, 10日間凍結球ではすべてのりん葉が水浸症状を呈し, 解凍温度に関係なくその回復は全く認められなかった。凍結直後解凍したりん葉は水浸程度が3~4であったが, 時間の経過とともに回復が認められ, 5°C で解凍した球は -5°C 凍

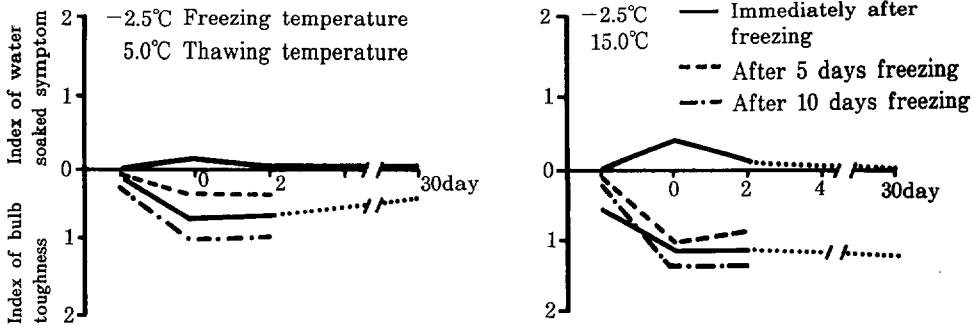


Fig. 4 Influence of freezing time and thawing temperatures on the toughness of bulb and water soaked symptom after thawing of scaly bulb of onion frozen at -2.5°C

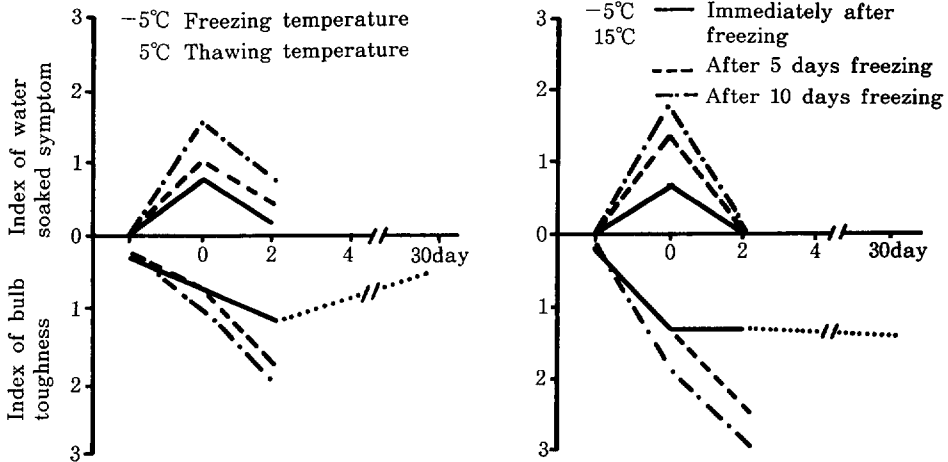


Fig. 5 Influence of freezing time and thawing temperatures on the toughness of bulb and water soaked symptom after thawing of scaly bulb of onion frozen at -5°C

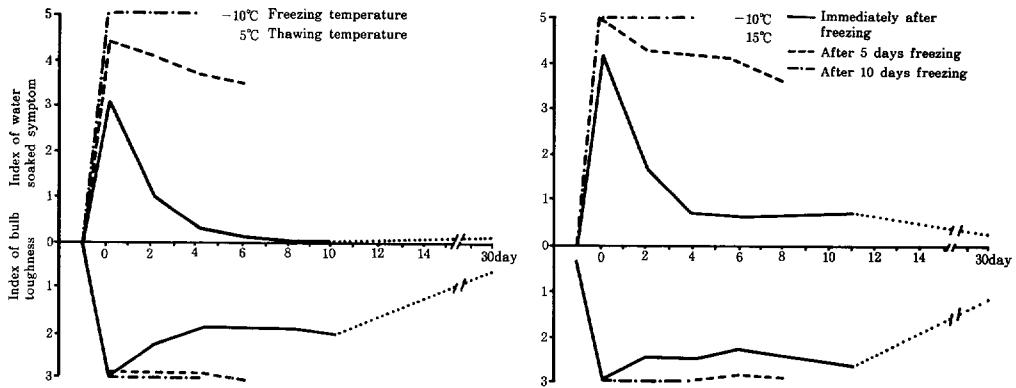


Fig. 6 Influence of freezing time and thawing temperatures on the toughness of bulb and water soaked symptom of scaly bulb of onion frozen at -10°C

結球よりも6日遅れた解冻後8日目ではほぼ正常に近い状態まで回復した。しかし、 15°C で解冻した球では解冻後4日目で水浸程度が1以下となったが30日後でも完全な回復には至らなかった。球の硬さに対する影響は前試験と同様に凍結期間が長いほど大きく、凍結直後解冻した球では最終的に -5°C 凍結球と同程度の硬さまで回復したが、5日間以上の凍結では解冻温度、解冻後の時間の経過に関係なく硬さ指数が最大の3で、その回復は全く認められなかった。

4. タマネギリん葉の原形質流動に及ぼす凍結温度及び凍結時間の影響

タマネギリん葉表皮細胞の原形質流動はりん葉の水浸症状の発現とはほぼ一致し、水浸程度の高いものは原形質流動が不良かまたは完全に停止した。

-2.5°C で凍結した球は凍結直後及び5、10日間凍結後取り出し、 5°C で解冻した後りん葉別に球の外側1枚目から5枚目までのりん葉について原形質流動を顕微鏡で観察した。Fig. 7から、 -2.5°C で凍

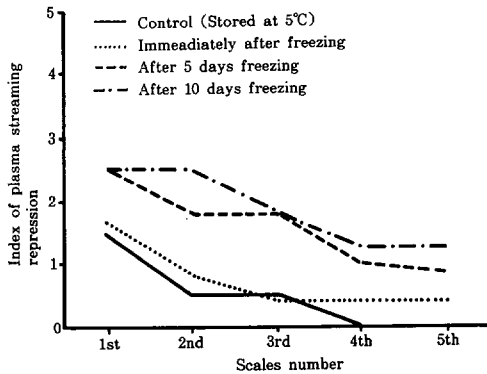


Fig. 7 Influence of freezing temperature and time on the plasma streaming of scaly bulb of onion frozen at -2.5°C

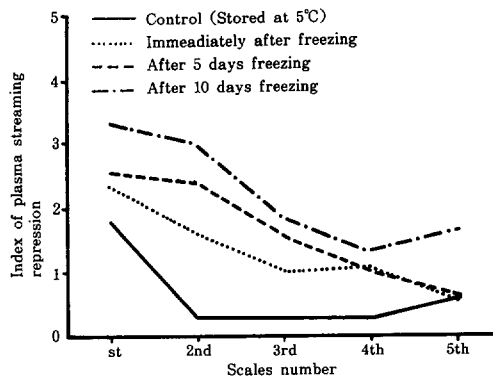


Fig. 8 Influence of both freezing temperature and time on the plasma streaming of scaly bulb of onion frozen at -5°C

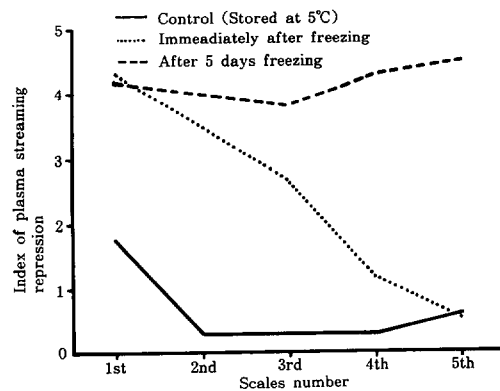


Fig. 9 Influence of both freezing temperature and time on the plasma streaming in the scaly bulb of onion frozen at -10°C

結直後解凍したりん葉細胞は無凍結球のりん葉細胞とほとんど差がなく活発な流動を示し正常であった。5日間以上凍結した後解凍したりん葉細胞では指数が2前後と原形質流動の低下がみられたが、10日間凍結した球との差は明らかでなかった。また、りん葉の部位間では、外側から内側に向うほど原形質流動の抑制程度が軽かった。

-5°C 凍結球ではFig. 8に示すように、ほぼ -2.5°C 凍結球に類似したが、凍結直後解凍した球でも原形質流動の抑制がみられ、凍結期間が長いほど、また、球の外側のりん葉ほどその抑制程度は高くなった。

-10°C 凍結球ではFig. 9に示すように、 -2.5°C 及び -5°C 凍結球と同様、外側のりん葉ほど原形質流動の抑制程度が高かった。特に、 -10°C で5日間凍結した球は、すべてのりん葉が指数4以上の原形質流動の抑制または停止を示した。

5. タマネギリん葉の水浸症状の発現、硬さに及ぼす凍結処理時期の影響並びに品種間差異

貯蔵性の低い「北見黄」及び貯蔵性の高い「フラヌイ」を収穫後11月1日から翌春の5月まで 5°C で貯蔵し、貯蔵開始期より6時期に球を取り出してそれぞれ -5°C 及び -10°C で凍結した。球は凍結後直ちに 5°C の貯蔵庫で2日間解凍放置した後、球の水浸症状の発現状態を観察した。

結果はFig. 10上に示すように、水浸症状の現れ方は2品種とも同一傾向を示し、凍結温度が低いほど水浸程度は強くなり、 -5°C 凍結では水浸程度が0に近くほぼ正常の状態に回復したのに対して、 -10°C 凍結では水浸程度1以下の回復はみられなかった。この水浸症状の発現は凍結処理時期が遅くなるほど強くなり、また、貯蔵性の低い「北見黄」は貯蔵性の高い「フラヌイ」よりも水浸症状の指数が高かった。

凍結に伴う球の硬さの減少(軟化)を球の硬さ指数によりFig. 10下に示す。凍結障害としての球の軟化とは別に、貯蔵中に球は徐々に軟化する。このため凍結処理を行わなかった球の貯蔵中の硬さの変化を比較として図の中に示した。球の軟化程度は水浸症状の現れ方と同様に凍結温度が低いほど、また、凍結処理時期が遅くなるほど高まった。品種間では貯蔵性の高い「フラヌイ」が貯蔵性の低い「北見黄」より貯蔵中(無凍結)の軟化の進行が遅かった。凍結処理後の球の軟化も常に「フラヌイ」の方が「北

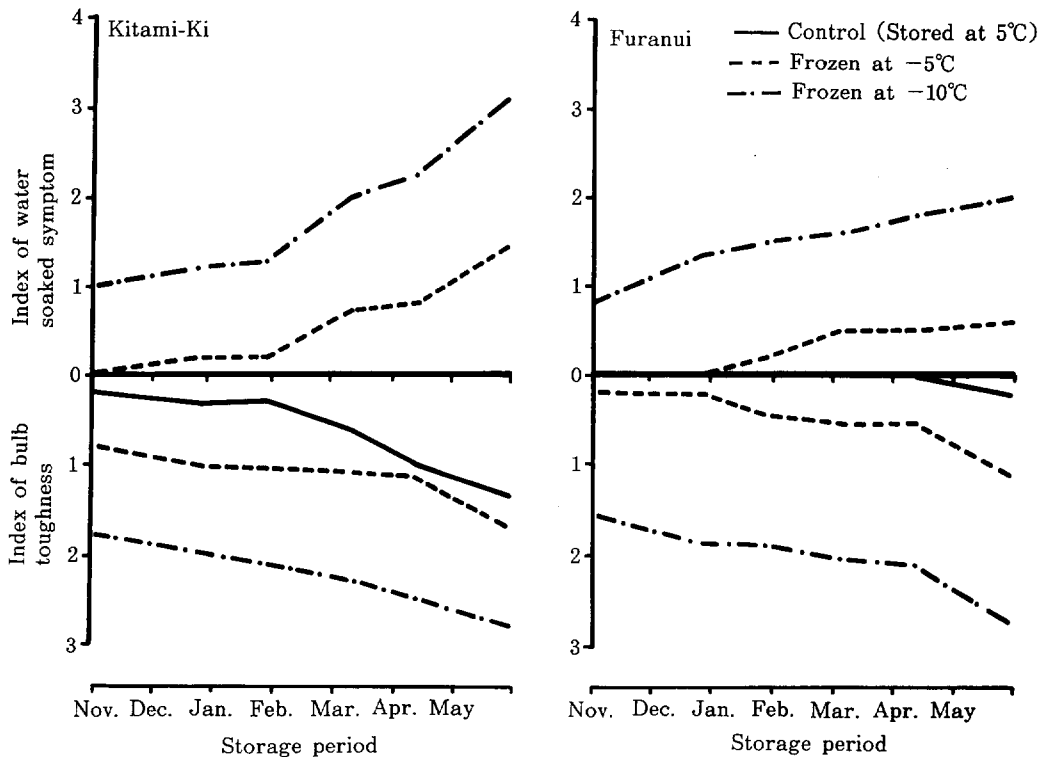


Fig. 10 Influence of both freezing temperatures and periods, and the varietal differences on the water soaked symptom and toughness of bulb after 2 days thawing scaly bulb of onion

見黄」より軽く、 -5°C 凍結では「北見黄」が12月処理で既に指数1に達したが、「フラヌイ」は4月処理でも1に達しなかった。

同一材料を用いてりん葉の可溶性固形物含量を測定した結果をFig. 11に示す。 5°C 貯蔵における無凍結球の可溶性固形物含量(ブリックス指数)は全期間の平均値で8.2~8.8の範囲にあり、この含量は貯蔵開始時から貯蔵日数の経過とともに減少した。品種間では貯蔵性の高い「フラヌイ」が8.1~9.6であったのに対して貯蔵性の低い「北見黄」では7.0~9.2といずれの時期でも「フラヌイ」が高く推移した。

可溶性固形物含量は両品種とも球の凍結により減少し、凍結温度が低いほど減少率の大きい傾向を示した。また、この減少は貯蔵開始後約3か月ころまで大きく、特に「北見黄」ではこの間の減少率が 5°C 貯蔵の無凍結球に比較して -5°C 、 -10°C 凍結球ではそれぞれ7.1、8.3%であり、「フラヌイ」の4.5、

5.7%より大きい値を示した。なお、「フラヌイ」は3月以降の凍結処理時期でも可溶性固形物含量の減少がみられたが、「北見黄」では 5°C 貯蔵球との差がなかった。

IV 考 察

タマネギは他の野菜と比較して凍結した場合、解凍後の品質低下が比較的少ない点から、凍結保存の試みがなされている。

多賀ら(1978)は厳寒期に最低温度が $2\sim 3^{\circ}\text{C}$ に保たれた貯蔵庫と、最低温度が -7°C まで低下した作業室で貯蔵試験を行った。作業室では貯蔵中に球が凍結したが、自然解凍後の4月末までの凍損率は10%程度で、ほぼ90%は正常に回復することを認め、凍結によって萌芽、発根が遅れ、4月末の萌芽率と発根率は、凍結のなかったタマネギの13~18%と50~60%に対して、それぞれ4~6%と8~17%

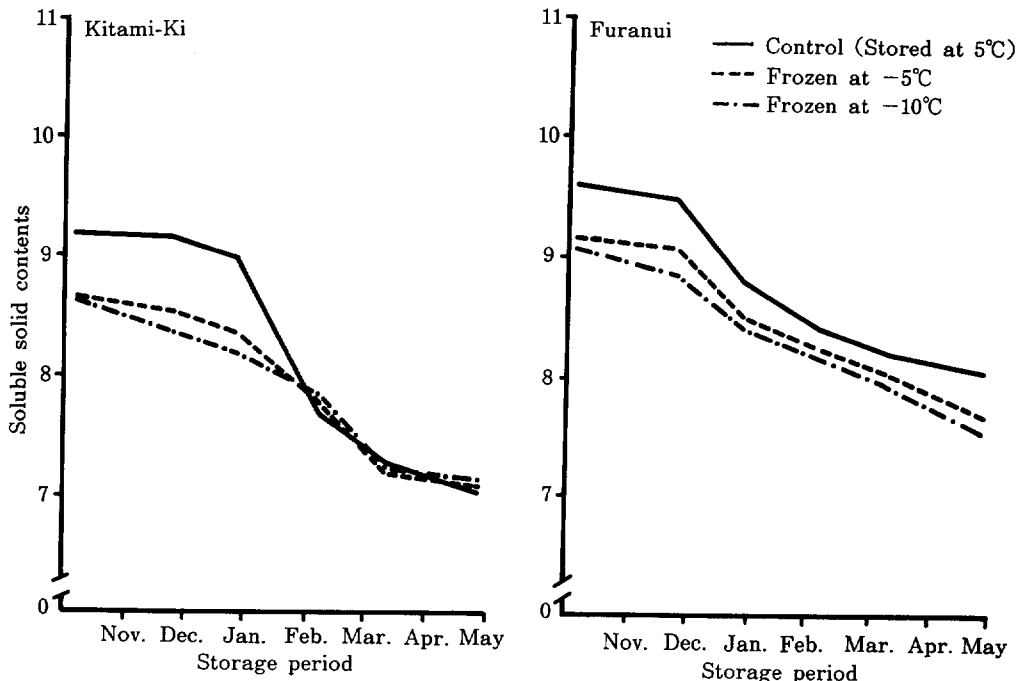


Fig. 11 Influence of both freezing temperatures and periods, and the varietal differences on the soluble solid contents (indicated in Brix) after 2 days thawing scaly bulb of onion

で少なく、凍損率を差し引いても凍結貯蔵の方が商品化率が高かったとしている。また、ヨーロッパでも萌芽を遅らせるためタマネギを凍結点よりわずかに低い温度で貯蔵することに成功したとする報告 (RASMUSSEN, 1957; GRÜSCHNER, 1962) がある。

一方、凍結に伴う組織学的障害発生の事例も報告されており (PALTAら, 1977 a, b; RYALLら, 1972), この凍結障害は球の外観的、内的品質低下の一因となり、貯蔵上の問題となる。本報ではタマネギ球の凍結による障害をりん葉の水浸症状障害と球の軟化障害に分けて検討した。

タマネギりん葉の水浸症状障害

正常なタマネギのりん葉細胞は不透明であるが、凍結を起こしたりん葉細胞は半透明の水浸症状を呈し、りん葉細胞が灰黄色に壊死変色することが知られている (RYALLら, 1972; LIPTONら, 1965)。この水浸症状は球の外側からは判別できないため、しばしば見逃がされたり病害と誤診されることがある。

著者らはこの水浸症状の現れ方を凍結、解凍条件

を種々変えて検討した結果、次の点が明らかになった。

タマネギ球の凍結による水浸症状の発現は凍結の温度、期間及び処理時期並びに解凍温度と密接な関係がある。その水浸症状は凍結温度が低いほど、凍結期間が長いほど、また、凍結処理時期が遅くなるほど強く、解凍温度が低いほど症状の発現が軽減されることが判明した。すなわち、 -15°C 以下の凍結ではすべてのりん葉で細胞が完全に壊死し、 -10°C でも10日間凍結処理では細胞が壊死し、すべてのりん葉が水浸症状を呈して解凍温度に関係なく回復はみられなかった。これに対して同一凍結温度でも凍結直後の解凍では、解凍温度が低い場合、時間の経過とともにほぼ正常の状態に戻った。 -5°C の凍結では解凍後の水浸症状が明らかに軽く、解凍後数日でこの水浸症状が消失し、外観的に健全な様相を呈した。更に -2.5°C では凍結期間、解凍温度に関係なく外観的障害は全く認められなかった。この結果はりん葉細胞の生存判定のために行った原形質流動調査の結果と一致し、原形質流動に変化が

ないか、一部停止する程度の凍結で発現した水浸症状はみかけ上正常の状態に回復することが確かめられた。RYALLら(1972)は凍結点附近の温度(30°F)で凍結したタマネギを4.5°Cで解凍した結果、全く障害の発生がなかったが、この温度より低い凍結では水浸症状の発現を観察しており、本試験の結果と一致している。伊藤(1980)は球が凍結しても、緩慢解凍に当たる気温上昇期に品質に障害が認められなければ問題にならないとし、品温が-5°C以下になると冷凍速度が加速され、本格的な凍結によって品質を損うおそれがあるため、-3~-4°Cの貯蔵温度が緩慢解凍による品質低下を防ぐ低温の限界であると指摘した。

本試験の結果、水浸症状からみたタマネギ球の凍結限界温度は-5°Cと考えられ、伊藤(1980)の結果と同様にこの温度以上の凍結では凍結期間、解凍温度に関係なく障害はないと考えられた。なお、水浸症状の発現は、貯蔵末期になるほど現れやすいが、品種によって異なり、貯蔵性の高い品種「フラヌイ」では貯蔵末期の5月でも-5°C凍結では水浸程度指数が0.5と障害の程度が軽かった。しかし、貯蔵性の低い品種「北見黄」では3月時点で水浸程度指数が1近くになり、商品化の限界に達した。この障害発現の品種間差の原因の一つとして可溶性固形物含量が関与していると考えられる。植物体の凍結に対する耐凍性に糖含量が関係し、糖含量が高い場合(吉田ら,1967;酒井,1982)、また、糖溶液中で凍結した場合(SAKAIら,1968)は障害の発生が少ないことが知られている。可溶性固形物含量を直接糖含量にあてはめることはできないが、障害の少なかった「フラヌイ」は障害の大きかった「北見黄」に比べて可溶性固形物含量が貯蔵全期間を通して高かった。また、貯蔵中に経時的に球の凍結処理を行い障害の発生を調べたところ、球は貯蔵中に次第に耐凍性が減少する結果が得られた。これに対応して球の可溶性固形物含量も貯蔵中に次第に減少した。これらの結果から、可溶性固形物含量はタマネギ球の耐凍性の一つの指標になると考えられる。なお、凍結・解凍によって可溶性固形物含量が低下したが、これは凍結による細胞膜の機能の低下と構造の破壊によって細胞膜の透過性が変化(GARBERら,1976;PALTAら,1977a,1977b)し、糖基質の細胞外への漏出(酒井,1985;SAKAI,1962)が起こったためと考えられる。

タマネギ球の軟化障害

凍結に伴うもう一つの障害として球の軟化症状があげられる。軟化症状は程度の違いはあるが強度の凍結はもとより軽度の凍結でも発現し、解凍後の時間の経過によってもほとんど回復しなかった。したがって、前述した水浸症状と密接に関係し、水浸症状を示したりん葉は解凍後軟化するため球自体も軟化することから、この軟化症状は見掛け上回復の可能性のある水浸症状より品質上重要視しなければならない。

球の軟化症状は水浸症状が回復しない強度の凍結では細胞の壊死が直接的原因と考えられるが、細胞が壊死せず、水浸症状が回復する軽度の凍結では細胞内からの水分の細胞外漏出による脱水乾燥現象によると考えられる。植物組織を緩慢凍結すると、細胞間隙や維管束部に氷晶ができ、更に進行すると細胞液の水が細胞間隙に移動して氷結し、細胞外凍結(extracellular freezing)を起こすが、このため細胞は脱水されて収縮する。細胞崩壊の場合は凍結温度が低いと細胞内にも氷晶ができ、細胞内凍結(intracellular freezing)が起こるが、この場合は温度や凍結期間に関係なく致死的であるとされている(波多野,1974;酒井,1982)。

本実験の結果では、-10°Cで10日間あるいは-15°C以下の凍結で、りん葉細胞がほとんど完全に壊死することが認められた。細胞外凍結だけで細胞が致死障害を受けることがあるため、上記の温度でりん葉細胞が細胞内凍結をも起こしたかどうか明らかではないが、いずれにしてもタマネギの球は-10°C以下の温度で致死凍結を生じ商品価値を失なった。

-5°C以上の凍結では、原形質流動にみられるように、凍結温度が高いほど、また、凍結期間が短いほど、解凍後の細胞機能の回復度は大きかった。しかし、-5°C以下の凍結でも軟化症状が発現したことは、細胞機能が完全に回復せず、解凍後の細胞の再吸水に障害があったことを示すものと思われる。

凍結による球の軟化は、水浸症状のように肉眼的に明らかでないため見逃されやすい。しかし、凍結による軟化球は押すと容易にへこみ、大量貯蔵においては、上部の球の荷重により球の傷みを増大することになる。

球の軟化症状に対する品種の反応は水浸症状の発現と同様、貯蔵性の低い「北見黄」の症状の現れ

方が貯蔵性の高い「フラヌイ」のそれよりも強く、 -5°C 凍結では貯蔵末期の球でも症状の軽かった(指数1前後)「フラヌイ」に対して「北見黄」では貯蔵開始時点の球で既に指数1に近い症状を示した。上記結果は、凍結による脱水現象が「フラヌイ」の高い可溶性固形物含量により緩和されたものと考えられる。

以上のように、タマネギ球は凍結により、水浸症状を発現し、軽い凍結で水浸症状が回復する場合でも、球が軟化することが確かめられた。したがって、商品として流通させるための貯蔵において、タマネギ球を凍結させることは品質保持上問題があり、凍結防止策を講ずる必要がある。このためには、断熱構造の十分でない貯蔵庫ではこれを改良するとともに、厳寒期における庫内出入口及び通気孔から直接低温の外気が侵入するのを避けるなどの注意が必要である。品種に関しては事例が少なく断言できないが、本試験の結果から、可溶性固形物含量の高い品種はより耐凍性であることが示唆されたので、品種によりある程度対応できるかも知れない。

V 摘 要

貯蔵中のタマネギ球の凍結障害について検討した結果、次の知見を得た。

1. タマネギの凍結温度は -1.5°C 附近にあり、この温度より低い凍結温度では、球全体が凍結点に達した後品温が低下し、目標の凍結温度に達した。この場合、凍結処理温度が -2.5 、 -5 、 -10 、 -15 、 -20°C の時、凍結に要した時間はそれぞれ18, 12, 5.5, 4.5, 3.5時間であった。

2. タマネギ球の凍結による障害の主なものはいん葉の水浸症状の発現と球の軟化症状であった。

3. 水浸症状の発現は凍結温度、凍結期間、凍結処理時期及び解凍温度と密接な関係があり、凍結温度が低いほど、凍結期間が長いほど、また、凍結処理時期が遅いほど発現程度が大きくなった。しかし、解凍温度が低い場合は症状の発現が軽減された。

4. -5°C 以上の凍結温度で生じた水浸症状は解凍後、時間の経過とともに消失した。しかし、 -10°C で10日間あるいは -15°C 以下の凍結では水浸症状は不可逆的で解凍後も消失しなかった。

5. 水浸症状を示したりん葉は解凍後軟化するため球自体も軟化した。球の軟化症状は水浸症状が回

復する -5°C 以上の軽い凍結でもほとんど回復しなかった。

6. 凍結障害は品種によってその発現程度が異なり、貯蔵性が高く、貯蔵全期間を通して可溶性固形物含量の高かった「フラヌイ」は、貯蔵性が低く、可溶性固形物含量の低かった「北見黄」に比べ、水浸症状の発現と球の軟化症状の両障害の発生が軽かった。

7. 以上の結果から、タマネギ貯蔵中の凍結は、軽い凍結であっても品質保持上問題があると結論された。

謝 辞

本報告を取りまとめるに当たり、北海道農業試験場作物第二部長金子幸司博士、同園芸作物第2研究室長永井 信氏、同園芸作物第1研究室長千葉和彦博士より有益な御助言と本文の御校閲をいただいた。記して深く感謝の意を表する。

引用文献

- 1) 池 光紘, 田中征勝, 小餅昭二 (1978): タマネギりん茎の凍結と解凍後の変化. 園学要旨昭53秋, 298-299.
- 2) GARBER, M. P. and P. L. STEPONKUS (1976): Alterations in chloroplast thylakoids during an in vitro freeze-thaw. *Plant Physiol.*, 57, 673-680.
- 3) GRÖSCHNER, P. (1962): Cold storage of late cabbage and onions. *Deut. Gartenban*, 9 (2), 46-47.
- 4) 波多野昌二 (1974): 各食品の凍結, 野菜, 冷凍食品ハンドブック, 84-89. 光琳書院.
- 5) 伊藤和彦 (1980): 寒冷地におけるタマネギ貯蔵に関する研究, 北海道における機械収穫タマネギの産地貯蔵に関する研究. *農業施設*, 10, 7-15.
- 6) LIPTON, W. J. and C. M. HARRIS (1965): Factors influencing the incidence of translucent scale of stored onion bulbs. *Proc. Am. Soc. Hortic. Sci.*, 87, 341-354.
- 7) PALTA, P. Jiwan, Jacob LEVITT and Stadelman J. EDUARD (1977a): Freezing injury in onion bulb cells. I. Evaluation of the conductivity method and analysis of ion and sugar efflux from injured cells. *Plant Physiol.*, 60, 393-397.

- 8) PALTA, P. Jiwan, Jacob LEVITT and Stadelman J. EDUARD (1977b): Freezing injury in onion bulb cells. II. Post-thawing injury or recovery. *Plant Physiol.*, **60**, 398-401.
- 9) RASMUSSEN, L. (1957): Metabolic disorders of fruits and vegetables at low temperatures. *Kälttechnik* **9**, 293-294.
- 10) 酒井 昭 (1958): 木本類の耐凍性増大の過程. II. 耐凍性増大と糖類及び水溶性蛋白質との関係 (2), *低温科学, 生物篇*, **16**, 23-34.
- 11) SAKAI, A. (1962): Studies on the frost-hardiness of woody plants. I. The causal relation between sugar content and frost-hardiness. *Cont. Inst. Low. Temp. Sci., Ser. B.*, **11**, 1-40.
- 12) SAKAI, A. and S. YOSHIDA (1968): The role of sugar and related compounds in variations of freezing resistance. *Cryobiology*, **5**, 160-174.
- 13) 酒井 昭 (1982): 植物の耐凍性と寒冷適応, 一冬の生理・生態学一, 学会出版センター.
- 14) 多賀辰義, 相馬 暁, 岩淵晴郎, 赤司和隆 (1978): タマネギ貯蔵, 特に解凍性について. *北海道園芸研究談話会報*, **11**, 20-21.
- 15) RYALL A. Lloyd, and LIPTON, W. J. (1972): Handling, Transportation, and storage of fruits and vegetables. Westport, Connecticut the Avi Publishing Company, Inc.
- 16) 田中征勝, 池 光鉉, 小餅昭二 (1985 a): 春まきタマネギの貯蔵に関する研究 第1報 タマネギの萌芽に及ぼす貯蔵温度, 湿度の影響. *北海道農試研報*, **141**, 1-16.
- 17) 田中征勝, 池 光鉉, 小餅昭二 (1985 b): 春まきタマネギの貯蔵に関する研究 第2報 タマネギの腐敗に及ぼす貯蔵温度, 湿度の影響. *北海道農試研報*, **141**, 17-28.
- 18) 田中征勝, José VILLAMIL, 小餅昭二 (1985 c): 春まきタマネギの貯蔵に関する研究 第3報 タマネギの発根, 茎盤部突出に及ぼす貯蔵温度, 湿度の影響. *北海道農試研報*, **144**, 9-30.
- 19) 田中征勝, 吉川宏昭, 小餅昭二 (1985 d): 春まきタマネギの貯蔵に関する研究 第4報 タマネギの貯蔵中における皮むけの発生機構と表皮特性の品種間差異. *北海道農試研報*, **144**, 31-50.
- 20) 吉田静夫, 酒井 昭 (1967): 木本類の耐凍性増大過程 XII. ニセアカシアの幹の耐凍性と物質変動の関係. *低温科学*, **25**, 29-44.

Studies on the Storage of Autumn Harvested Onion Bulbs V. Freezing Injury of Onion Bulbs in Storage

Masakatsu TANAKA, Kwanghyun CHEE and Shoji KOMOCHI

Summary

Autumn harvested onions were investigated on freezing injury in storage, and the following results were obtained.

1) An onion bulb started freezing at -1.5°C . The temperature of bulb was kept at -1.5°C until the bulb had been totally frozen, and subsequently the temperature of bulb dropped to the given temperature. It took 18 hours to reach the freezing temperature of -2.5°C , 12 hours of -5°C , 5.5 hours of -10°C , 4.5 hours of -15°C , and 3.5 hours of -20°C .

2) Freezing injury of bulb was represented by incidence of water soaked symptom in scales and softening of bulb after thawing.

3) The water soaked symptom of scales was strengthened with the lower freezing temperature, longer duration of freezing and longer storage before freezing, and was weakened with the lower thawing temperature.

4) At the freezing temperature higher than

-5°C , the outer scales of bulb became water soaked, but the symptom disappeared after thawing. Freezing at the temperature lower than -15°C or at -10°C for 10 days caused irreversible injury to bulbs, retaining water soaked symptom even after thawing.

5) Water soaked scales became flaccid after thawing, leading to softening of bulbs. It retained even in mild freezing of over -5°C in which the scales recovered from water soaked symptom.

6) 'Furanui' with higher storability showed higher resistance to freezing injury than 'kitami-ki' with lower storability, and the former cultivar was higher in soluble solid contents than the latter through the storage period.

7) From the above results it is concluded that the freezing of onion bulbs in storage is harmful for keeping quality even if the mild freezing.