くぼみ症の発生を助長するニンニクの収穫後処理条件

山崎博子^{1*}・庭田英子²・伊藤篤史²・上町達也³・石田信昭⁴・矢野孝喜^{1a}・長菅香織^{1b}・稲本勝彦¹

¹ 独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構 東北農業研究センター 020-0123 岩手県盛岡市下厨川字鍋屋敷

² 青森県産業技術センター野菜研究所 033-0071 青森県上北郡六戸町

³ 滋賀県立大学環境科学部 522-8533 滋賀県彦根市八坂町

⁴ 石川県立大学生物資源環境学部 921-8836 石川県野々市市

Postharvest Conditions Inducing the Occurrence of Concavities on Scales of Garlic Bulbs

Hiroko Yamazaki^{1*}, Eiko Niwata², Atsushi Ito², Tatsuya Uemachi³,
Nobuaki Ishida⁴, Takayoshi Yano^{1a}, Kaori Nagasuga^{1b} and Katsuhiko Inamoto¹

¹ NARO Tohoku Agricultural Research Center, Nabeyashiki Shimo-kuriyagawa, Morioka, Iwate 020-0123

² Aomori Prefectural Industrial Technology Research Center, Vegetable Research Institute, Kamikita, Aomori 033-0071

³ School of Environmental Science, The University of Shiga Prefecture, Hikone, Shiga 522-8533

⁴ Faculty of Bioresources and Environmental Science, Ishikawa Prefectural University, Nonoichi, Ishikawa 921-8836

Abstract

Curing and long-term storage are essential postharvest treatments for the year-round shipping of garlic bulbs. We examined the postharvest conditions that induce concavities on the scales of long-term-stored garlic bulbs using ‘Fukuchi White’, a major cultivar in Japan. Bulbs were cured by a tempering method which consisted of heating at about 34°C during the day and nonheating at night under forced ventilation, and were stored at –3, –2, and –1°C under standard and low-humidity regimes for a maximum of 10 months. Some bulbs stored at –3°C had concavities on the scales, but few bulbs stored at –2 and –1°C had concavities regardless of the storage humidity. Bulbs were cured by continuous heating at 33°C or by the tempering method, and were stored at –3, –2, and 0°C for a maximum of 8 months. The mean temperature during tempering was about 30°C. After curing by continuous heating at 33°C, most of the bulbs stored at –3, –2, and 0°C had concavities, but few bulbs stored at –2 and 0°C after curing by tempering had concavities. Severe concavities were observed on the bulbs stored at –2 and –3°C after curing by continuous heating at 33°C. These results suggest that curing at a high temperature and storage at a low temperature induce the occurrence of concavities, and that the curing condition markedly affects the occurrence of concavities when bulbs are stored at –2°C, which is the current storage temperature used for the year-round shipping of garlic bulbs in Aomori Prefecture. This method of curing by tempering combined with storage at –2°C may provide high-quality garlic bulbs throughout the year.

Key Words : curing condition, storage condition, tempering method, year-round shipping

キーワード : 貯蔵条件, 乾燥条件, 周年出荷, テンパリング乾燥

緒 言

作型の分化があまりみられず、収穫時期が1年のうちの短期間に限定されるニンニクでは、収穫したりん茎を貯蔵し、これを翌年の収穫まで計画的に出荷する。また、収穫したりん茎をそのまま貯蔵すると腐敗するため、貯蔵の前には乾燥処理が行われる。このようにニンニクの周年出荷

には乾燥と貯蔵という2つの収穫後処理が不可欠である。

商品としてのニンニクは腐敗していないだけでなく、発根や萌芽していないことも求められる。ニンニクの根・芽の伸長はマレイン酸ヒドラジドコリン処理によって抑制されることが知られている (El-Oksh ら, 1971)。青森県では2001年以前には、収穫前の株にマレイン酸ヒドラジドコリンを主成分とする植物生長調整剤 (以下、萌芽抑制剤) の散布が行われ、りん茎の貯蔵は生産者の倉庫などを利用して常温下で行われていた。しかし、2002年に萌芽抑制剤の農薬登録が失効し、使用が禁止されたことから、貯蔵中の発根・萌芽を抑制するため、JAなどの貯蔵施設を利用した環境制御下での貯蔵が導入された。萌芽抑制剤を用いずに根・芽の伸長を1年近く抑えるためには、–1°Cよりも低温での貯蔵が必要であり (山崎, 2011)、青森県で

2013年10月7日 受付。2014年1月20日 受理。

本研究の一部は新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業 (課題番号 21012) により実施した。

* Corresponding author. E-mail: hiroko@affrc.go.jp

^a 現在: 農業・食品産業技術総合研究機構 近畿中国四国農業研究センター

^b 現在: 農業・食品産業技術総合研究機構 野菜茶業研究所

は約 -2°C での貯蔵が一般的となった。

氷点下条件での貯蔵が導入されて以降、貯蔵ニンニクのりん片表面が陥没する「くぼみ症」と呼ばれる障害が発生するようになり、問題となっている。くぼみ症に関する既存の報告は少なく、不明な点が多いことから、本研究ではくぼみ症の発生条件を解明することを試みた。まず、長期貯蔵における温度および湿度条件に注目し、これらがくぼみ症の発生に及ぼす影響を調査した。加えて、貯蔵と並んで周年出荷に不可欠な収穫後処理である乾燥に注目した。青森県では収穫したニンニクリン茎に対して約 35°C ・通風条件で3～4週間の乾燥処理が行われる(庭田, 2011)。乾燥中の加温は生産現場では終日行うことが基本となっているが、青森県産業技術センター野菜研究所(以下、青森野菜研)では安全上の理由から夜間には加温しない乾燥を行ってきた。青森野菜研産のニンニクにはくぼみ症の発生が少ないことが経験的に認められたことから、著者らは、終日通風で昼間に加温し、夜間は無加温または昼間より低温で加温する乾燥をテンパリング乾燥と名付け、テンパリング乾燥および連続加温乾燥後に -2°C 貯蔵したりん茎のくぼみ症の発生を比較した。また、これら2種類の条件で乾燥したりん茎を異なる温度条件で貯蔵することにより、乾燥条件と貯蔵条件の組み合わせがくぼみ症の発生に及ぼす影響についても調査した。

材料および方法

1. 供試材料

すべての試験に青森野菜研内のほ場で栽培したニンニク‘福地ホワイト’のりん茎を供試した。収穫した株から茎葉および根を切除し、花茎を約5cm残した状態のりん茎を調製した。この中から直径が6～7cm、側球数が4個以上のりん茎を選び、試験に用いた。

2. 貯蔵条件がくぼみ症の発生に及ぼす影響(試験1)

2005年7月12日に収穫・調製したりん茎に対して、以下に示す方法で23日間テンパリング乾燥を行った。りん茎を網目形状のコンテナ(30×73×20cm)に入れ、青森野菜研内の乾燥室(7.2×5.2×2.8m)に井桁状に積み上げ、室内を昼間(1日当たり10～12時間)には設定温度 34°C で加温し、夜間は無加温とした。室内に複数の循環扇を配置して終日運転した。また、乾燥室の窓を適宜開閉して換気を行った。乾燥期間中、りん茎を入れたコンテナの重量を毎日測定し、重量の減少がほとんどなくなった時点で乾燥を終了した。青森県では、りん茎重の減量率(概ね30～40%)やりん茎の中で最も乾燥しにくい部位である盤茎の水分含量(概ね10～20%)を目安に乾燥仕上りの時期を判断している。本試験における乾燥終了時のりん茎の減量率は37%(乾燥開始時のりん茎重を100%とした値)、盤茎の水分含量は21%であった。

乾燥終了後、りん茎をダンボール箱に入れ、2006年5月まで貯蔵した。貯蔵条件として、温度3水準(-3°C 、 -2°C 、

第1図 くぼみ指数別のニンニクリン片

-1°C)と湿度2水準(標準、低湿)を組み合わせた5処理区を設けた(-3°C は低湿条件のみを設定)。標準湿度の貯蔵には恒温室(LP-1P, 日本医化器械製作所)を使用し、青森県内JAのニンニク貯蔵湿度に準じて、平均相対湿度を80～85%とした。低湿度の貯蔵には恒温器(MIR-553, 三洋電機)を使用した。恒温器MIR-553には湿度調節機能がないため、湿度は成り行きとしたが、氷点下運転中の相対湿度は恒温室LP-1Pより低く維持される特徴を有した。

貯蔵したりん茎を2005年9月～2006年5月まで毎月中旬に処理区当たり15球出庫した。このうち5球については出庫直後に、残りの10球については 15°C 、暗黒条件で4週間保管後にくぼみ症およびそれ以外の障害の発生を調査した。いずれの調査も各りん茎から側球4個を選び、調査対象とした。くぼみ症およびそれ以外の障害の発生率を調査側球数に対するそれぞれに該当する側球数の割合として求めた。くぼみ症の発生程度を陥没部分の広さ、深さから達観で未発生、軽度、中度、重度に分類し、それぞれをくぼみ指数0, 1, 2, 3として評価した(第1図)。

3. 乾燥および貯蔵条件がくぼみ症の発生に及ぼす影響(試験2, 3)

2009年7月2日(試験2)および2010年7月6日(試験3)に収穫・調製したりん茎をテンパリング乾燥および 33°C 一定条件で乾燥した。乾燥期間は、両条件で乾燥したりん茎がともに確実に乾燥仕上がりになると予想される28日間とした。テンパリング乾燥は試験1と同様の方法で、 33°C 一定条件での乾燥は乾燥器(PS-242, タバイ)を用いて行った。試験2では乾燥期間中、3～4日間隔で処理区当たり15球についてりん茎の重さを、また、7日間隔で処理区当たり8球について盤茎の水分含量を調査した。

乾燥終了後、りん茎をダンボール箱に入れ、試験2では2010年3月まで -2°C および 0°C で、試験3では2011年3月まで -3°C および -2°C で貯蔵した。 -3°C および -2°C での貯蔵には恒温室(TA-2-S, 東芝キャリア)、 0°C での貯蔵には恒温器(MIR-553, 三洋電機)を使用した。貯蔵湿度はいずれも成り行きとしたが、恒温室TA-2-Sは氷点下運転時の相対湿度が80%前後となる特徴を有した。

試験2では2009年9月～2010年3月、試験3では2010年9月～2011年3月まで毎月中旬に貯蔵したりん茎を処理区当たり6球(試験2)および8球(試験3)出庫し、す

すべての側球についてくぼみ症およびその他の障害の発生を試験1と同様に調査した. 試験3では11月以降の出庫において調査終了後のりん片を紙袋に入れ, 15°C, 暗黒条件下で保管し, 2週間後に再びくぼみ症の発生を調査した.

4. 温度, 相対湿度, 飽差および貯蔵中の減量率の調査

試験1～3において乾燥および貯蔵期間中の温度および相対湿度を測定した. 岡田(1985)の計算式を用いて, 測定した乾燥期間中の温度および相対湿度から飽差を求めた. また, 試験1～3において貯蔵開始時と3月出庫時におけるりん茎重を処理区当たり10球について調査し, 貯蔵中の減量率(貯蔵開始時のりん茎重に対する減少した重量の割合)を求めた. 試験1～3の結果を合わせて, 貯蔵中の減量率と貯蔵中の平均温度, 平均相対湿度および3月出庫時のくぼみ症発生率との間の単相関係数を求め, 相関関係の有意性について検定を行った.

結 果

1. 乾燥条件

テンパリング乾燥中の温度は外気温の影響により試験年や日によって若干異なり, 試験2では昼温は32～35°Cまで上昇し, 夜温は22～29°Cまで低下した.(第2図A). テンパリング乾燥中の平均温度は29.6°C(試験1)～30.8°C(試験3)であり, 33°C乾燥より3°C程度低かった(第1表). 乾燥中の相対湿度および飽差は温度に連動して変化し, 相

対湿度は昼間に低く, 夜間に高く, 逆に, 飽差は昼間に高く, 夜間に低かった(第2図B, D, F). 乾燥中の平均相対湿度は同一試験内の比較ではテンパリング乾燥より33°C乾燥の方がわずかに低く, 平均飽差はテンパリング乾燥より33°C乾燥の方が高かった(第1表). 2種類の乾燥における空気的水分状態は相対湿度よりも飽差を用いて比較した場合に, より明確な違いが認められた(第1表, 第2図C, E).

2. 貯蔵条件

各試験における貯蔵中の平均温度は, 概ね各処理区の設定値に近い値となった(第2表). 恒温室LP-1PおよびTA-2-Sの温度は設定値±約1°Cで制御され, 恒温器MIR-553の温度は設定値±約0.5°Cで制御された.

試験1における貯蔵中の平均相対湿度は標準湿度区では81～84%, -3°C・低湿区および-2°C・低湿区では61～64%であり(第2表), これらの処理区の相対湿度は概ね平均値±10%の範囲で変動した. -1°C・低湿区の相対湿度は概ね40～50%の範囲で変動し, 平均値は45%であった. 試験2, 3において, -2°Cおよび-3°C貯蔵における相対湿度は概ね70～95%の範囲で変動し, 平均値は83～85%であった(第2表). 0°C貯蔵における相対湿度は概ね45～65%の範囲で変動し, 平均値は57%であった.

3. 貯蔵条件がくぼみ症の発生に及ぼす影響(試験1)

-2°C以上の貯蔵では, くぼみ症は貯蔵湿度に関係なく貯蔵期間を通してほとんど発生しなかった(第3表). -3°C・低湿区では, 出庫直後の調査では1月以降, 4週間保管後の調査では12月以降の出庫でくぼみ症の発生が認められ

第2図 乾燥中の温度(A, B), 相対湿度(C, D)および飽差(E, F)の推移(試験2)

B, D, Fは7月4日の日変化

第1表 乾燥中の平均温度, 相対湿度および飽差

試験名	乾燥条件	温度(°C)	相対湿度(%)	飽差(kPa)
試験1	テンパリング	29.6	未測定	未測定
試験2	テンパリング	30.4	52	2.11
	33°C	33.0	50	2.53
試験3	テンパリング	30.8	59	1.91
	33°C	33.1	55	2.29

第2表 貯蔵中の平均温度および相対湿度

試験名	貯蔵処理区		温度(°C)	相対湿度(%)	使用した貯蔵装置
	温度	湿度			
試験1	-3°C	低湿	-3.0	61	MIR-553
	-2°C	標準	-2.0	84	LP-1P
	-2°C	低湿	-1.9	64	MIR-553
	-1°C	標準	-1.0	81	LP-1P
	-1°C	低湿	-1.0	45	MIR-553
試験2	-2°C	—	-1.7	83	TA-2-S
	0°C	—	-0.1	57	MIR-553
試験3	-3°C	—	-2.8	84	TA-2-S
	-2°C	—	-1.7	85	TA-2-S

第3表 テンパリング乾燥後の貯蔵条件がくぼみ症の発生に及ぼす影響 (試験1)

貯蔵温度	貯蔵湿度	出庫月	出庫直後のくぼみ症発生率（％）										出庫４週後のくぼみ症発生率（％）									
			9	10	11	12	1	2	3	4	5	平均	9	10	11	12	1	2	3	4	5	平均
-3℃	低湿		0	0	0	0	5	5	20	15	10	6.1 a ^z	0	0	0	5	43	40	13	8	10	13.1 a
-2℃	標準		0	0	0	0	0	0	0	0	0.0 b	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0 b	
-2℃	低湿		0	0	0	0	0	0	0	5	0.6 b	0	0	0	0	3	0	3	0	0	0.6 b	
-1℃	標準		0	0	0	0	0	0	0	0	0.0 b	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0 b	
-1℃	低湿		0	0	0	0	0	0	0	0	0.0 b	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0.8 ab	

² 同一カラム内の異なる英小文字間には Tukey の多重検定により 1%水準で有意差あり

た (第3表). 発生率は出庫直後の調査では5~20%, 4週間保管後の調査では5~43%であり, 発生程度は軽度のものが多かった. くぼみ症以外の障害は-2°C以上の貯蔵では発生しなかったが, -3°C・低湿区では4月および5月の出庫においてりん片の一部が水浸状化する障害が発生した. 発生率は5~20%であった.

4. 乾燥および貯蔵条件がくぼみ症の発生に及ぼす影響

1) 2009年試験 (試験2)

乾燥中のりん茎の減量率は初期に急激に増加したが, 増加の程度は乾燥日数の経過とともに次第に小さくなった (第3図A). 減量率はテンパリング乾燥より33°C乾燥の方が高く推移したが, 両者の差はわずかであり, 乾燥終了時の値は33°C乾燥では32%, テンパリング乾燥では31%であった. 盤茎の水分含量は両処理区とも乾燥開始から7日間はほとんど変化しなかったが, その後低下し, 乾燥終了時の値は33°C乾燥では11%, テンパリング乾燥では13%であった (第3図B). 盤茎の水分含量はテンパリング乾燥より33°C乾燥の方がやや早く低下したが, 個体によるばらつきが大きかったため, 乾燥終了時を除いて2処理区間に有意な差は認められなかった (第3図B).

くぼみ症はテンパリング乾燥・0°C貯蔵区では貯蔵期間を通して発生せず, テンパリング乾燥・-2°C貯蔵区でも発生は極めて少なかったが, 33°C乾燥を行った2処理区では12月以降の出庫でくぼみ症が発生した (第4図). 発生程度は軽度のものが多かった. くぼみ症発生率およびくぼみ指数は33°C乾燥・0°C貯蔵区より33°C乾燥・-2°C貯蔵区の方が高かった (第4, 5図). くぼみ症以外の障害はいずれの処理区でも発生しなかった.

2) 2010年試験 (試験3)

出庫直後におけるくぼみ症の発生状況を第6図A~Dに示した. テンパリング乾燥・-2°C貯蔵区では貯蔵期間を通してくぼみ症はほとんど発生しなかった. テンパリング乾燥・-3°C貯蔵区では12月以降に発生が認められ, 発生率は2月出庫の55%が最も高かった. 33°C乾燥・-2°C貯蔵区では11月, 33°C乾燥・-3°C貯蔵区では12月に初めて発生が認められ, それぞれ12月および1月以降の発生率は極めて高かった. 発生程度は早い時期の出庫では軽度のものが多かったが, 出庫時期が遅くなると中度および重度の割合が増加した. くぼみ指数は12月以降, テンパ

第3図 乾燥中のりん茎重の減量率 (A) および盤茎の水分含量 (B) の変化 (試験2)
減量率は収穫時のりん茎重に対する減少した重量の割合
t検定により, **は1%水準, *は5%水準で有意差あり, nsは有意差なし

第4図 くぼみ症の発生に及ぼす乾燥および貯蔵条件の影響 (試験2)

第5図 くぼみ指数に及ぼす乾燥および貯蔵条件の影響 (試験2)

くぼみ症の発生程度をくぼみ指数 0 = 未発生, 1 = 軽度, 2 = 中度, 3 = 重度で評価した
同一出庫月の異なる英小文字間には Steel-Dwass の多重検定により 1%水準で有意差あり
くぼみ症は 11 月以前の全処理区および全期間のテンパリング・0°C 区で未発生

リング乾燥した区に比べて 33°C 乾燥した区で有意に高かった (第7図 A). テンパリング乾燥の場合, 2 月以降のくぼみ指数は -2°C 貯蔵より -3°C 貯蔵の方が高かったが, 33°C 乾燥した場合のくぼみ指数は両貯蔵条件で同等か, -2°C 貯蔵の方が高かった (第7図 A).

第7図 出庫直後 (A) および出庫2週間後 (B) のくぼみ指数に及ぼす乾燥および貯蔵条件の影響 (試験3)

くぼみ指数は第5図参照

同一出庫月の異なる英小文字間には Steel-Dwass の多重検定により 1%水準で有意差あり

出庫直後調査 (A) ではくぼみ症は 10 月以前の全処理区で未発生

出庫から2週間保管後のくぼみ症の発生状況を第6図 E ~ H に示した. テンパリング乾燥・-2°C 貯蔵区ではくぼみ症はほとんど発生しなかったが, 他の3処理区では出庫直後の調査に比べて発生率が増加する傾向が認められた. この現象は特に 11 月出庫で顕著であり, 33°C 乾燥・-3°C 貯蔵区のくぼみ症発生率は 11 月出庫時には 0%であったが, 2週間保管後には 98%に増加した. くぼみ症の発生程

第6図 出庫直後 (A ~ D) および出庫2週間後 (E ~ H) のくぼみ症の発生に及ぼす乾燥および貯蔵条件の影響 (試験3)

第4表 乾燥および貯蔵条件がくぼみ症以外の障害の発生に及ぼす影響（試験3）

乾燥条件	貯蔵温度	出庫月	発生率（％）							主な症状
			9	10	11	12	1	2	3	
テンパリング	-3℃		0	0	0	0	0	0	5	橙変色
テンパリング	-2℃		0	0	0	0	0	0	0	
33℃	-3℃		0	0	0	18	7	9	5	水浸状化, 軟化
33℃	-2℃		0	0	0	0	14	0	0	水浸状化

度は33℃乾燥した区では中度または重度のものが多く、出庫直後に比べて症状が重症化する傾向が認められた（第6図G, H）。重症化の傾向は33℃乾燥・-3℃貯蔵区において特に顕著であった。くぼみ指数はテンパリング乾燥した区に比べて33℃乾燥した区で有意に高く、いずれの乾燥条件でも-2℃貯蔵より-3℃貯蔵の方が高い傾向が認められた（第7図B）。

くぼみ症以外の障害はテンパリング乾燥・-2℃貯蔵区を除く3処理区で発生し、りん片の水浸状化、変色、軟化などの症状が認められた（第4表）。りん片の水浸状化は主に先端部に発生した。くぼみ症以外の障害の発生は33℃乾燥・-3℃貯蔵区で最も多く、発生時期は12～3月、発生率は5～18%であった（第4表）。

5. 貯蔵中のりん茎の減量率と貯蔵条件およびくぼみ症発生との関係

試験1～3における貯蔵中のりん茎の減量率を第5表に示した。試験1における減量率は標準湿度区では6.0～6.8%、低湿度では10.0～12.5%であり、貯蔵湿度による明らかな違いが認められた。試験2における減量率は-2℃貯蔵した区に比べて0℃貯蔵した区の方が高かったが、この結果は貯蔵中の相対湿度が0℃貯蔵で低かったことに起因すると考えられた（第2表）。試験3における減量率は-2℃貯蔵に比べて-3℃貯蔵の方が、また、33℃乾燥に比べてテンパリング乾燥の方が高い傾向が認められたが、その違いはわずかであった。

試験1～3の結果を総合してりん茎の減量率と貯蔵条件との関係を見ると、減量率と貯蔵中の平均温度との間には

第5表 3月出庫時におけるりん茎の減量率

試験名	処理区			減量率 ^z (%)
	乾燥条件	貯蔵温度	貯蔵湿度	
試験1	テンパリング	-3℃	低湿	12.3 a ^y
		-2℃	標準	6.8 b
		-2℃	低湿	10.0 a
		-1℃	標準	6.0 b
		-1℃	低湿	12.5 a
試験2	テンパリング	-2℃	—	6.4 b
	テンパリング	0℃	—	9.8 a
	33℃	-2℃	—	6.3 b
	33℃	0℃	—	9.5 a
試験3	テンパリング	-3℃	—	6.5 a
	テンパリング	-2℃	—	5.8 ab
	33℃	-3℃	—	5.9 ab
	33℃	-2℃	—	4.9 b

^z 貯蔵開始時のりん茎重に対する貯蔵中に減少した重量の割合

^y 同一試験内の異なる英小文字間には Tukey の多重検定により 1%水準で有意差あり

有意な相関はなかったが（第8図A）、減量率と貯蔵中の平均相対湿度との間には有意な負の相関が認められた（第8図B）。-3～0℃での長期貯蔵におけるりん茎重の減少には貯蔵温度よりも貯蔵湿度が大きく影響することが示された。また、減量率と3月出庫時のくぼみ症発生率との関係を見ると、減量率が6%前後の場合のくぼみ症発生率は0～100%まで幅広く分布し、減量率とくぼみ症発生率との間には有意な相関は認められなかった（第8図C）。

第8図 貯蔵中の平均温度（A）、平均相対湿度（B）および3月出庫時のくぼみ症発生率（C）と貯蔵中のりん茎の減量率との関係
A, Bは第2, 5表のデータ, Cは第5表および第4, 6図のデータより作図

**は1%水準で有意な相関あり, nsは有意な相関なし

考 察

得られた結果をもとにくぼみ症の発生に及ぼす貯蔵条件の影響を考察した。まず、貯蔵温度に注目すると、検討した $-3 \sim 0^{\circ}\text{C}$ の範囲では貯蔵温度が低いほどくぼみ症は発生しやすい傾向が認められ (第3表, 第4～7図), 低温での貯蔵はくぼみ症の発生を助長する要因と考えられた。このことは、ニンニクの周年出荷のための貯蔵条件が常温から氷点下へ移行後にくぼみ症が問題化した事実と整合する。次に、貯蔵湿度に注目すると、 -1°C および -2°C 貯蔵では標準湿度区, 低湿度区ともにくぼみ症はほとんど発生しなかった (第3表)。また、標準湿度区よりさらに高湿度条件で -2°C 貯蔵を行った著者らの試験でも、テンパリング乾燥したりん茎にくぼみ症はほとんど発生しなかった (データ略)。くぼみ症が発生しやすい -3°C 貯蔵における湿度の影響は未確認であるが、これらの結果から貯蔵湿度がくぼみ症の発生に及ぼす影響は貯蔵温度に比べると小さいと考えられた。次に、貯蔵期間に注目すると、7月下旬～8月上旬に開始した貯蔵において、くぼみ症の発生は出庫直後の調査では12月頃から確認されることが多く (第4, 6図), 発生には一定の貯蔵期間が必要と考えられた。また、出庫直後の調査に比べて2週間保管後の調査ではくぼみ症の発生時期が早まり、発生率および発生程度が高まることから (第6図), くぼみ症状の進行は貯蔵終了後の暖かい温度条件において促進されたと考えられた。ニンニクの周年出荷において、貯蔵終了後のりん茎は常温条件下で調製, 流通, 販売などの過程を経て消費されるため、この間にくぼみ症状が進行する危険性がある。本試験では主に出庫直後にくぼみ症の調査を行ったが、消費時の品質をより正確に評価するには暖かな温度条件で一定期間保管後に調査することが望ましいと考えられた。

貯蔵条件が同じ場合、くぼみ症の発生はテンパリング乾燥より 33°C 乾燥した場合に多く (第4～7図), くぼみ症の発生には貯蔵条件に加えて貯蔵前に行う乾燥条件が影響することが示された。乾燥中の平均温度はテンパリング乾燥に比べて 33°C 乾燥の方が 3°C 程度高いことから (第1表), 高温条件での乾燥がくぼみ症の発生を助長する要因と考えられた。青森県内のニンニク生産者の乾燥条件と -2°C 貯蔵後のくぼみ症の発生との関係を調査した試験では、乾燥中の平均温度が 31°C 以上の場合にくぼみ症が発生しやすく, 上記の考えを支持する結果が得られている (山崎ら, 2010)。次に、乾燥中の空気的水分状態がくぼみ症の発生に及ぼす影響について考察した。空気的水分状態を表す指標としては相対湿度が最も一般的であるが、乾燥のしやすさは相対湿度よりも飽差に強く依存すること, また、乾燥条件の違いによる空気的水分状態の違いは相対湿度より飽差を比較した場合に明確に認められたこと (第2図C, E) から、以下の考察では飽差を用いて議論した。乾燥中の平均飽差はテンパリング乾燥に比べて 33°C 乾燥の方が

高いことから (第1表), 乾燥時の高飽差条件は高温条件とともにくぼみ症の発生を助長する要因と考えられた。乾燥時の高温条件と高飽差条件のどちらがくぼみ症の発生に直接関係するのか, あるいは, 高温と高飽差の両方の条件が必要なのかという点は興味深い, 残念ながら本試験の結果からこれを判断することは難しい。その理由は、乾燥中の飽差は温度と連動して変化し (第2図B, F), 乾燥中の平均温度と平均飽差との間には正の相関が認められること (山崎ら, 2010) が示すように、通常の乾燥では高温条件と高飽差条件は切り離せない関係にあるためである。この疑問を解くには温度と飽差を個別に制御できる環境において乾燥試験を行う必要がある。

試験1, 3では、くぼみ症以外にりん片の一部が水浸状化するなどの障害が認められた。試験3においてりん片の水浸状化はテンパリング乾燥した区では認められず, 33°C 乾燥・ -3°C 貯蔵区で最も多く発生したことから (第4表), 乾燥時の高温条件および貯蔵時の低温条件が発生を助長する要因と考えられた。水浸状化およびくぼみ症の発生を助長する要因は類似しているが、水浸状化現象はくぼみ症より狭い範囲の処理区で認められ、発生率も低かったことから、くぼみ症の発生を助長する乾燥時の高温および貯蔵時の低温ストレスがより厳しくなった場合に水浸状化現象が発生すると推定された。 40°C 以上での乾燥 (山浦・西村, 1995) および -5°C 以下での長期貯蔵 (山崎ら, 2005) など、本試験より厳しい条件で乾燥および貯蔵を行ったニンニクでは、りん片が黄色から褐色に変色し、水浸状化する現象が報告されている。くぼみ症のりん片では表皮に近い数層の細胞が崩壊し、萎縮することが報告されているが (上町ら, 2011), 生長点付近の細胞は健全であり、重度のくぼみ症りん片でも根や芽の伸長能力は維持されている。一方、著者らが行った -5°C の貯蔵試験において水浸状化したりん片では根や芽の伸長能力はほぼ失われていたことから (データ略), 水浸状化現象はくぼみ症に比べて程度の重い障害であると考えられた。

貯蔵中のりん茎の減量率から水分消失量を類推し、くぼみ症の発生と貯蔵中の水分消失との関係について考察した。既に述べたように、くぼみ症の発生は貯蔵湿度よりも貯蔵温度に強く依存したが、貯蔵中のりん茎の減量率は貯蔵温度よりも貯蔵湿度に強く依存したことから (第8図A, B), くぼみ症発生率と貯蔵中の減量率の間には有意な相関は認められなかった (第8図C)。くぼみ症はその外観から貯蔵中にりん茎から水分が消失しやすい条件で発生しやすいと思われがちであるが、上記の結果から、くぼみ症は貯蔵中に水分が消失しやすい条件で必ずしも発生しやすい訳ではないことが示された。くぼみ症の発症部位では表皮下の数層の細胞が萎縮し (上町ら, 2011), 水分消失が起きていると考えられるが、くぼみ症発生率と貯蔵中の減量率との間には相関がないという結果から、くぼみ症によって消失する水分量は貯蔵中にりん茎全体から消失する水分

量と比べると極めて少ないと考えられた。

ニンニクの周年出荷には乾燥と貯蔵という2つの収穫後処理が不可欠である。従来、りん茎の貯蔵性を高めるには速やかで十分な乾燥が重要と考えられ（横井・鳴海, 1975）、青森県では35°C前後の連続加温条件での乾燥が一般的に行われてきた。また、貯蔵については、萌芽抑制剤の使用が禁止された2002年以降、青森県では環境制御下での貯蔵が導入され、長期にわたって根・芽の伸長抑制が可能な約-2°Cでの貯蔵が一般的となった。本試験において、生産現場の乾燥条件に近い33°C一定条件で乾燥を行った場合、くぼみ症の発生は0°C貯蔵では比較的少なかったが、-2°C貯蔵では多く（第4図）、従来法である連続加温乾燥は常温での貯蔵には適するが、-2°C貯蔵では品質低下を引き起こす危険性をもつことが示唆された。-2°C貯蔵を利用した周年出荷体系において高品質なニンニクを提供するには、貯蔵後の障害発生を回避できる新たな乾燥法が必要であり、貯蔵後にくぼみ症が発生しにくいテンパリング乾燥は、-2°C貯蔵と組み合わせる乾燥法として有望と考えられた。今後は、乾燥条件がくぼみ症の発生に及ぼす影響をさらに詳細に明らかにするとともに、乾燥コストやくぼみ症以外の品質に及ぼす影響も含めてテンパリング乾燥の実用性を検討する必要がある。

摘 要

ニンニクの周年出荷にはりん茎収穫後の乾燥と長期間の貯蔵が必要である。本研究では長期貯蔵したニンニクにみられる、りん片表面が陥没する障害「くぼみ症」の発生条件を明らかにするため、「福地ホワイト」りん茎の乾燥および貯蔵条件がくぼみ症の発生に及ぼす影響を調査した。収穫後、終日通風、昼間約34°C加温、夜間無加温の条件で乾燥（以下、テンパリング乾燥）したりん茎を異なる温度（-3°C、-2°C、-1°C）および湿度（標準、低湿）を組み合わせた条件で最長約10か月間貯蔵した。くぼみ症は-3°C貯蔵では発生したが、-2°C以上の貯蔵では湿度条件に関わらずほとんど発生しなかった。収穫後、テンパリング乾燥および33°C一定条件で乾燥したりん茎を-3°C、-2°C、0°Cで最長約8か月間貯蔵した。テンパリング乾燥中の平均温度は30°C前後であった。くぼみ症は33°C乾

燥したりん茎ではいずれの貯蔵温度でも発生したが、テンパリング乾燥したりん茎では-2°C以上の貯蔵ではほとんど発生しなかった。くぼみ症は33°C乾燥後に-2°C以下で貯蔵した場合に特に激しく発生した。これらの結果から、高温での乾燥および低温での貯蔵はくぼみ症の発生を助長する要因と考えられた。現在、青森県においてニンニクの周年出荷のために行われている-2°C貯蔵では、乾燥条件がくぼみ症の発生に大きく影響することが示された。テンパリング乾燥は高品質なニンニクを周年出荷するため-2°C貯蔵と組み合わせる乾燥法として有望と考えられた。

引用文献

- El-Oksh, I. I., A. S. Abdel-Kader, Y. A. Wally and A. F. El-Kholly. 1971. Comparative effects of gamma irradiation and maleic hydrazide on storage of garlic. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 96: 637-640.
- 庭田英子. 2011. ニンニクの安定生産技術. 農耕と園芸. 66(3): 15-20.
- 岡田益己. 1985. 湿度および関係諸量の計算法. 農業気象. 40: 407-409.
- 上町達也・山崎博子・庭田英子. 2011. ニンニクのりん茎におけるくぼみ症の発生過程の組織学的解析. 園学研. 10(別1): 490.
- 山崎博子. 2011. 周年出荷のためのニンニクの貯蔵技術. 農耕と園芸. 66(3): 26-30.
- 山崎博子・庭田英子・木村利幸・長菅香織・矢野孝喜・山崎 篤. 2005. 異なる氷点下温度条件で長期貯蔵されたニンニクリん茎の品質. 園学雑. 74(別2): 248.
- 山崎博子・庭田英子・矢野孝喜・長菅香織・稲本勝彦・山崎 篤. 2010. 生産現場におけるニンニクリん茎の乾燥条件が氷点下貯蔵後のくぼみ症の発生に及ぼす影響. 東北農研. 63: 133-134.
- 山浦浩二・西村融典. 1995. ニンニク収穫期における鱗球水分特性および乾燥速度と鱗球色調に及ぼす熱風乾燥条件の影響. 香川農試研報. 46: 45-58.
- 横井正治・鳴海勇蔵. 1975. ニンニクの強制乾燥について. 東北農研. 17: 249-250.