

## ニンニク周年供給のための長期貯蔵法の開発

(独)農業・食品産業技術総合研究機構 東北農業研究センター 山崎博子

### 1. はじめに

ニンニク栽培では秋に側球を植え付け、初夏に収穫する作型が一般的であり、収穫時期は1年のうちの短期間に限定される。このため、ニンニクの周年供給は収穫したりん茎を貯蔵し、これを計画的に出荷することにより行われる。主産地である青森県における収穫から出荷までの流れは図-1に示す通りで、まず貯蔵性を高めるために収穫後に乾燥処理が行われ、その後、貯蔵が行われる。貯蔵期間は最長で10か月に及ぶが、常温での貯蔵では3か月程度で根・芽が伸長し、商品価値が低下する。これを防ぐため、青森県では平成13年以前には収穫前の株に萌芽抑制剤(マレイン酸ヒドラジドコリン)

の散布が行われていた(図-1上段)。しかし、平成14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、貯蔵中の根・芽の伸長を防ぐため、JAなどの施設を利用した環境制御下での貯蔵が導入された(図-1下段)。また、貯蔵終了から消費までの間の根・芽の伸長を抑制するため、新たに高温処理が導入された(図-1下段)。

このように国産ニンニクの周年供給体系は約10年前に大きく変化した。これを機に筆者はニンニクの品質保持研究に携わり、青森県産業技術センターと協力して、高品質な国産ニンニクを周年供給するために必要な3つの収穫後処理技術(乾燥、貯蔵、出庫後の発根・萌芽を抑

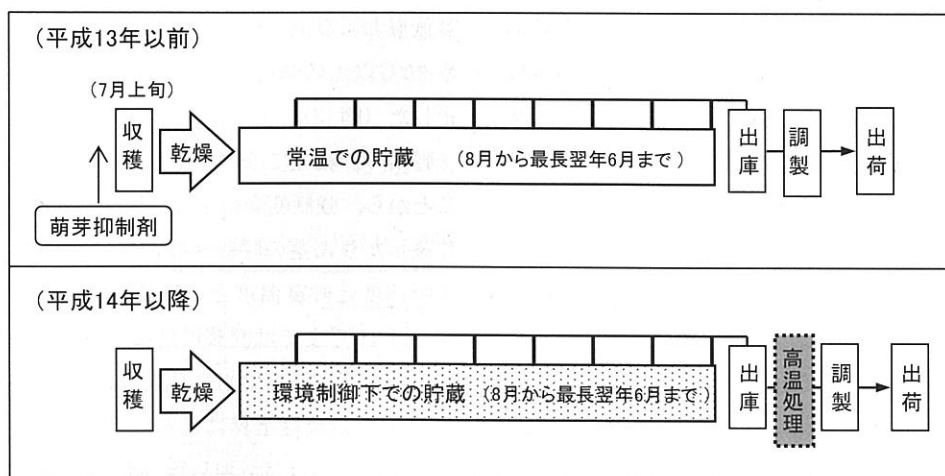


図-1 青森県におけるニンニクの収穫から出荷までの流れ

制する高温処理)の開発を行ってきた。ここでは、3つの収穫後処理のうち、貯蔵に関する研究について紹介する。試験にはすべて青森県産業技術センター野菜研究所で栽培したニンニク‘福地ホワイト’を供試した。なお、収穫後処理に関する詳しい情報は東北農研のホームページで「ニンニク周年供給のための収穫後処理マニュアル」として公開している ([http://www.naro.affrc.go.jp/publicity\\_report/publication/pamphlet/tech-pamph/045870.html](http://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/publication/pamphlet/tech-pamph/045870.html))。

## 2. 休眠および呼吸特性

まず、技術開発に必要な基礎知見を得るため、ニンニクリン茎の自発休眠、他発休眠および呼吸特性の解明を試みた。

収穫時のりん茎は自発休眠の状態にあり、根・芽の伸長は一時的に停止しているが、時間の経過とともに覚醒する。自発休眠の覚醒に及ぼす温度の影響を明らかにするため、収穫したりん茎を $-0.5^{\circ}\text{C}$ ～ $35^{\circ}\text{C}$ の異なる温度条件に3週間置いた後、側球を培地に植え付け、萌芽までの日数を調査した。その結果、萌芽までの日数は $-0.5^{\circ}\text{C}$ 区および $15^{\circ}\text{C}$ 区で最も長く(101日)、 $35^{\circ}\text{C}$ 区で最も短かった(48日)。処理温度が $-0.5^{\circ}\text{C}$ ～ $5^{\circ}\text{C}$ の範囲では萌芽までの日数は温度上昇とともに低下したが、 $5^{\circ}\text{C}$ ～ $15^{\circ}\text{C}$ の範囲では温度上昇とともに増加し、 $15^{\circ}\text{C}$ ～ $35^{\circ}\text{C}$ の範囲では再び温度上昇とともに低下した(図-2)。これらの結果から、氷点下および $15^{\circ}\text{C}$ 前後の涼温条件は自発休眠の覚醒を抑制し、高温および $5^{\circ}\text{C}$ 前後の低温条件はこれを促進することが明らかになった。特に、 $30^{\circ}\text{C}$ 以上の高温処理には自発休眠を打破する高い効果が認められた。高温による自発休眠の打破はタマネギ<sup>1)</sup>やワケギ<sup>2)</sup>でも報告されており、晩春から初

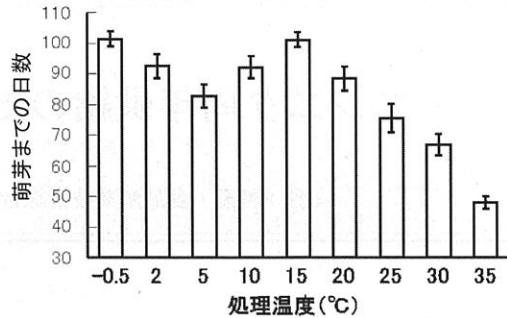


図-2 自発休眠の覚醒に及ぼす温度の影響  
図中の縦線は標準誤差

夏に長日条件でりん茎を形成するネギ属植物に共通の特性ではないかと考えられる。ニンニクの生産現場では収穫後に3～4週間の強制乾燥(加温・通風条件での乾燥)が行われ、りん茎は高温に遭遇するため、強制乾燥中に自発休眠の覚醒がかなり進行する<sup>3)</sup>。

自発休眠から覚醒後の根・芽の伸長には他発休眠が影響する。他発休眠に及ぼす温度の影響を明らかにするため、強制乾燥終了後のりん茎を $-2.5^{\circ}\text{C}$ ～ $35^{\circ}\text{C}$ の異なる温度条件で6週間貯蔵した。貯蔵中の根の伸長は $10^{\circ}\text{C}$ 前後で最も促進され、芽の伸長は $15^{\circ}\text{C}$ 前後で最も促進された(図-3)。根・芽の伸長はこれらの温度より低温および高温になるほど抑制され、 $-2.5^{\circ}\text{C}$ や $30^{\circ}\text{C}$ 以上の高温条件では伸長はほとんど停止した(図-3)。

野菜の貯蔵性には呼吸速度が大きく影響することから、強制乾燥終了後に異なる温度条件で貯蔵したりん茎の呼吸速度について調査した。呼吸速度と貯蔵温度との関係を見ると、呼吸速度は $10^{\circ}\text{C}$ までは貯蔵温度の上昇とともに増加したが、 $10^{\circ}\text{C}$ ～ $20^{\circ}\text{C}$ ではほぼ一定で、 $20^{\circ}\text{C}$ ～ $30^{\circ}\text{C}$ では温度上昇とともに低下し、さらに高温になると再び増加した(図-4)。通常、野菜の呼吸速度は貯蔵温度が高くなるほど増加す

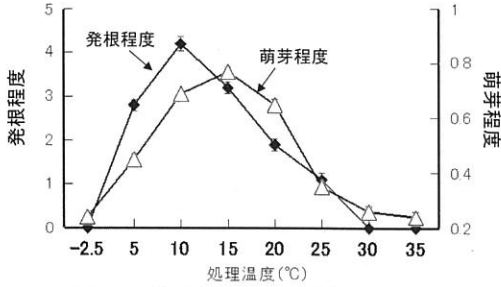


図-3 他発休眠に及ぼす温度の影響

図中の縦線は標準誤差  
 発根程度：0 未発根, 1 痕跡程度, 2 根長 1mm 未満, 3 同 1-2.5mm, 4 同 2.5-5mm, 5 同 mm 以上  
 萌芽程度：芽の長さを側球の長さで割った値

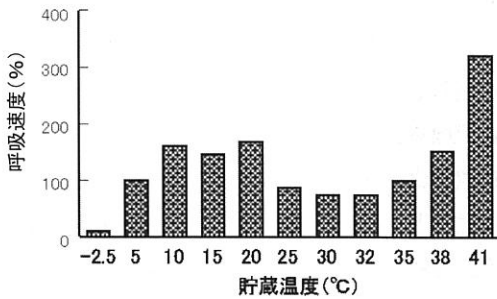


図-4 呼吸速度に及ぼす温度の影響

貯蔵 4 週間後の呼吸速度  
 35°C区の呼吸速度を 100%とした値

るが、ニンニクでは 30°C前後の高温条件での呼吸速度が氷点下条件に次いで低かった(図-4)。このような特異な温度反応性は収穫直後には認められず、収穫後の乾燥中に獲得されることが明らかになっている<sup>3)</sup>。

以上の結果をもとに、ニンニクの自発休眠、

他発休眠および呼吸速度に及ぼす温度の影響を表-1にまとめた。温度は自発休眠と他発休眠の維持に対して正反対に作用する機会が多いが、氷点下条件では例外的に自発休眠と他発休眠両方を維持する高い効果が認められた。加えて、氷点下条件では呼吸速度も低く抑えられることから、ニンニクの貯蔵温度として有望と考えられた。30°C前後の高温条件も他発休眠を維持する効果および呼吸を抑制する効果が高いことから、貯蔵に適する条件と考えられた。但し、高温貯蔵では自発休眠の覚醒が促進されるため、貯蔵終了後に根・芽の伸長が早まる可能性があることや、氷点下貯蔵に比べてりん茎重の歩留まりが劣ることなどから、周年供給のための長期貯蔵には氷点下条件が最も適すると考えられた。

3. エクソサーム開始温度

氷点下貯蔵では凍結が発生する危険性があり、これを回避する必要がある。そこで、ニンニクの凍結に関する基礎知見を得るため、熱分析によりエクソサーム開始温度の測定を行った。エクソサームとは凍結により放出される熱のことで、エクソサーム開始温度は過冷却が破れ、凍結が始まる温度と考えられる。ニンニクの側球を厳密な温度制御が可能な低温器に入れ、器内の温度を一定速度でゆっくりと降下さ

表-1 ニンニクの休眠および呼吸速度と温度との関係

効果	温度(°C)								
	<0	2	5	10	15	20	25	30	35
自発休眠の維持	◎	○	△	○	◎	○	△	×	×
他発休眠の維持	◎	—	×	×	×	×	△	○	◎
呼吸速度	◎	—	△	×	×	×	△	○	△

休眠の維持効果：◎強、○やや強、△並、×やや弱、××弱

呼吸速度：◎低い、○やや低い、△並、×高い

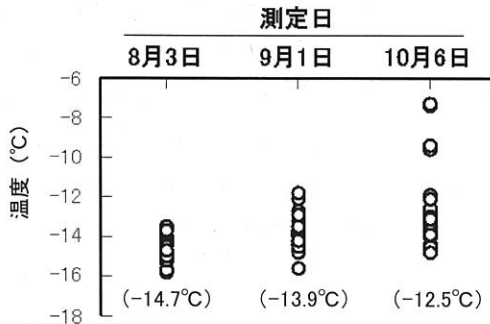


図-5 ニンニク側球のエクソサーム開始温度  
温度降下条件：0℃まで30分→-8℃まで4℃/h  
→-20℃まで2℃/h  
括弧内の数字は平均値

せた条件で側球の温度を測定した。器内温度の低下とともに低下を続けた側球の温度が急激に上昇に転じる直前の温度をエクソサーム開始温度（凍結開始温度）とした。

強制乾燥終了直後の測定（8月3日）では、エクソサーム開始温度は供試した25個の側球すべてで-13℃より低く、平均で-14.7℃であった（図-5）。強制乾燥後、約2か月間室温で貯蔵し、根・芽がある程度伸長した後の測定（10月6日）では、エクソサーム開始温度は-7.3℃～-14.8℃の範囲に分布し、貯蔵前に比べて若干高まる傾向がみられた（図-5）。エクソサーム開始温度と側球の大きさおよび乾物率との間には有意な相関は認められなかった。

#### 4. 氷点下条件での長期貯蔵試験

##### 1) 凍結および障害の発生

上記のように、一定速度の温度降下条件では乾燥終了直後のニンニクは-13℃付近まで過冷却状態を維持することから、比較的広い範囲の氷点下温度でニンニクを凍結させることなく長期間貯蔵できる可能性が考えられた。そこで、「ニンニクの品質は凍結しない限り貯蔵温度が

低いほど良好に維持される」という仮説のもとで長期貯蔵試験を実施した。強制乾燥したりん茎を7月下旬から最長翌年5月まで-7、-5、-3、-2、-1℃（湿度はなりゆき）で貯蔵し、毎月1回りん茎を出庫して品質を調査した。なお、貯蔵前の強制乾燥はテンパリング乾燥と呼ばれる方法（昼間約34℃加温、夜間無加温、終日通風）で、収穫後24日間行った。

-3℃以上の貯蔵では貯蔵期間を通して凍結は発生しなかったが、-5℃貯蔵では9月出庫で2%の側球が凍結し、2月以降は1割前後の側球が凍結した（図-6A）。-7℃貯蔵では9月出庫で7%の側球が凍結し、11月以降は約6割の側球が凍結した（図-6A）。これらの結果から、凍結の回避には-3℃以上での貯蔵が必要であり、長期貯蔵に利用できる氷点下温度の範囲は試験前に予想したよりも狭いことが明らかになった。長期貯蔵での凍結温度とエクソサーム開始温度が大きく異なった理由は、長期貯蔵の間に過冷却の安定性が低下するためではないかと考えられた。

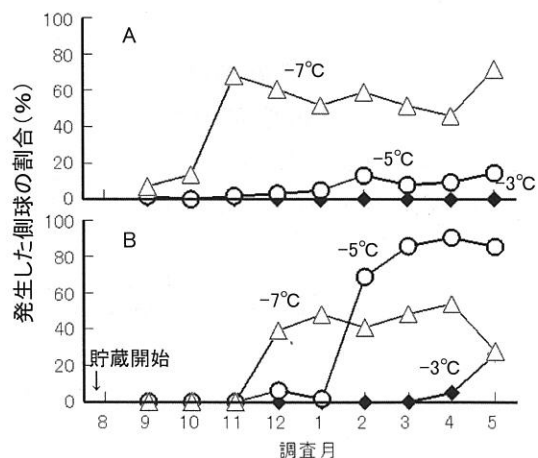


図-6 凍結 (A) および貯蔵葉の橙変色 (B) の発生に及ぼす貯蔵温度の影響  
(-2℃、-1℃区は未発生)

試験前には予想していなかったが、長期間の氷点下貯蔵では貯蔵葉が橙色に変色する障害や貯蔵葉の表面が陥没する障害（以下、くぼみ症と呼ぶ）が発生した。貯蔵葉が橙色に変色する障害は-7℃貯蔵では12月出庫で初めて確認され、12月以降の出庫では全側球が凍結あるいは橙変色となった（図-6）。-5℃貯蔵では貯蔵葉の橙変色は2月以降の出庫で急増し、-3℃貯蔵では4月以降の出庫で確認された（図-6B）。-2℃および-1℃貯蔵では貯蔵期間を通して貯蔵葉の橙変色は発生しなかった。

くぼみ症（図-7）の発生は-7℃貯蔵では10月、-5℃および-3℃貯蔵では11月、-2℃および-1℃貯蔵では12月出庫で初めて確認され、貯蔵温度が低いほど早い時期に発生する傾向が認められた。1月出庫におけるくぼみ症の発生率は-3℃および-5℃貯蔵で高く、-3℃貯蔵では中度から重度の症状を示すものが多かった（図-8）。一方、-2℃および-1℃貯蔵では発生率は低く、発生程度も軽度であった（図-8）。2月以降の出庫においてもくぼみ症の発生率は-3℃貯蔵で高く、-2℃および-1℃貯蔵で低かった。-5℃貯蔵における2月以降の出庫では貯蔵葉の橙変色が多発したため、くぼみ症の発生は減少した。



図-7 くぼみ症

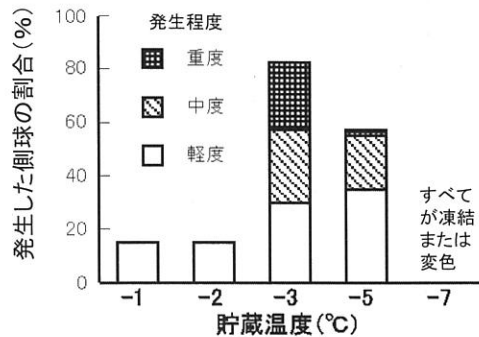


図-8 くぼみ症の発生に及ぼす貯蔵温度の影響  
1月出庫りん茎の調査結果

以上のように、長期間の氷点下貯蔵では凍結以外にも貯蔵葉の橙変色やくぼみ症などの障害が発生し、これらは貯蔵温度が低いほど発生しやすい傾向が認められた。従って、試験前の仮説「ニンニクの品質は凍結しない限り貯蔵温度が低いほど良好に維持される」は残念ながら誤りであり、障害を回避するためには-2℃以上の貯蔵が必要と考えられた。

## 2) 根・芽の伸長

ニンニクを周年供給するには1年近くりん茎を貯蔵する必要がある、その間の根・芽の伸長は停止した状態であることが望ましい。長期貯蔵における根・芽の伸長抑制に必要な温度条件を明らかにするため、強制乾燥したりん茎を8月上旬から最長翌年5月まで-3, -2, -1, 0, 2.5℃（湿度はなりゆき）で貯蔵した。貯蔵前の強制乾燥はテンパリング乾燥法により23日間行った。

貯蔵中の芽の伸長は2.5℃貯蔵では9月から、0℃貯蔵では12月から認められた（図-9）。これらの温度条件では芽の伸長は貯蔵期間が長くなるほど進行したが、-1℃以下の条件では貯蔵期間を通して芽の伸長はほとんど停止した（図

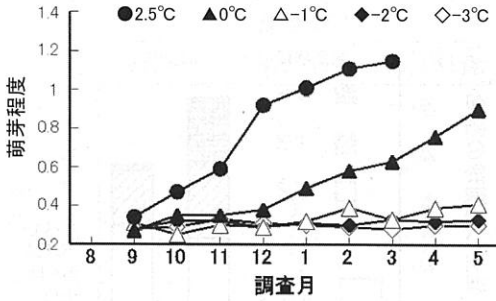


図-9 貯蔵中の芽の伸長に及ぼす貯蔵温度の影響  
萌芽程度：図3参照

-9)。貯蔵中の根の伸長についても芽の伸長と同様の結果が得られた（データ略）。従って、長期貯蔵において根・芽の伸長を停止した状態で維持するには、-1°C以下の温度条件が必要と考えられた。但し、-1°C貯蔵では2月以降にわずかな伸長がみられ、-2°Cおよび-3°C貯蔵に比べて貯蔵後半の伸長抑制効果がやや劣る傾向が認められた（図-9）。

貯蔵庫から出庫したニンニクは調製、出荷、流通などの過程を経て消費されるため、根・芽の伸長は貯蔵中だけでなく貯蔵庫から出庫した後も抑えられることが望ましい。そこで、貯蔵温度が貯蔵終了後の根・芽の伸長に及ぼす影響を明らかにするため、出庫したりん茎を15°Cで4週間保管後に根・芽の伸長を調査した。その結果、出庫後の芽の伸長は-3°C～-1°Cの範

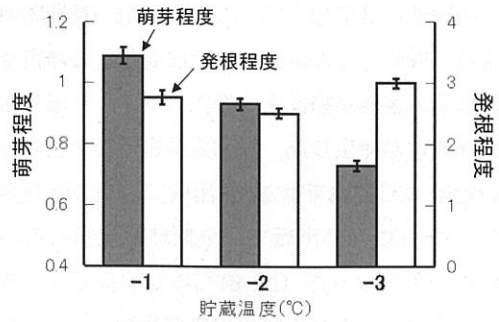


図-10 貯蔵終了後の芽・根の伸長に及ぼす貯蔵温度の影響  
3月出庫りん茎の調査結果  
萌芽程度、発根程度：図-3参照  
図中の縦線は標準誤差

囲では貯蔵温度が低いほど抑制される傾向が認められた（図-10）。一方、出庫後の根の伸長については貯蔵温度の明らかな影響は認められなかった（図-10）。

3) 最適な貯蔵温度

以上の結果をもとに、ニンニクの長期貯蔵における品質保持の要件と貯蔵温度との関係を表-2にまとめた。各要件に適する温度条件はそれぞれ異なったが、これらを総合的に判断すると、すべての要件を一定以上の水準で満たすことのできる-2°Cが長期貯蔵に最も適する温度と考えられた。

表-2 ニンニクの品質と貯蔵温度との関係

品質保持の要件	貯蔵温度(°C)				
	-5	-3	-2	-1	0
① 芽, 根の伸長停止	○	○	○	△○	×
② 出庫後の芽の伸長抑制	—	◎	○	△	—
③ 凍結の回避	×	○	○	○	—
④ 障害の回避*	×	×	○	○	—

各要件の充足度：◎甚だ高い、○高い、△やや低い、×低い  
—：未調査または調査対象外

\*テンパリング乾燥を行った場合の反応

## 5. おわりに

貯蔵温度を選定した時点では明らかになっていなかったが、その後、くぼみ症などの障害の発生には貯蔵条件だけでなく乾燥条件も影響することが明らかになった。すなわち、乾燥条件によっては-2℃貯蔵後にくぼみ症などの障害が多発する危険性があることから、次の研究課題として、-2℃貯蔵に対応した乾燥法の開発に取り組むことになった。乾燥法に関する研究成果は別の文献で報告している<sup>4), 5), 6), 7)</sup>。

国産ニンニクは品質の高さが消費者に広く認められ、安価な輸入ニンニクとの差別化に成功しており、青森県以外の地域でもニンニク栽培の人气が高まっている。国産ニンニクが今後も生き残っていくためには、消費者の信頼に応える高品質な商品を提供することが不可欠であり、ここで紹介した研究成果が国産ニンニクの品質の維持・向上に少しでも貢献できることを願っている。

## 引用文献

- 1) 青葉 高. 1964. タマネギの球形成および休眠に関する研究. 山形大学紀要(農学) 4: 289-318.
- 2) 長谷川繁樹・吉田隆徳・沖森 當. 1981. ワケギの栽培学的研究(第2報) 休眠覚醒に及ぼす高温処理の影響について. 広島農試報. 44: 53-62.
- 3) 山崎博子・庭田英子・矢野孝喜・長菅香織・山崎 篤. 2010. ニンニクリン茎の自発休眠, 他発休眠および呼吸速度に及ぼす収穫後温度の影響. 東北農研センター研究報告. 111: 17-27.
- 4) 山崎博子・庭田英子・矢野孝喜・長菅香織・稲本勝彦・山崎 篤. 2009. ニンニクくぼみ症の発生要因. 東北農業研究. 62: 193-194. < <http://to-noken.ac.affrc.go.jp/DB/index.html> >
- 5) 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ン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. 東北農業研究. 63: 133-134. < <http://to-noken.ac.affrc.go.jp/DB/index.html> >
- 6) 山崎博子・庭田英子・矢野孝喜・長菅香織・稲本勝彦・山崎 篤. 2010. 氷点下貯蔵したニンニクリン茎にみられる障害「くぼみ症」の発生要因. 平成 22 年度東北農業研究成果情報. < <http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/tarc/2010/tohoku10-08.html> >
- 7) 青森県産業技術研究推進会議. 2011. テンパリング方式によるんにくの乾燥は、従来の連続加温方式より氷点下貯蔵時のくぼみ症等貯蔵障害の発生が少なく、燃料消費量も削減できる. 平成 23 年度青森県指導参考資料. < <http://www.applenet.jp/~nouken/promote/sakumoku/yasai/yasaimokuji.htm> >