



農研機構

NARO 独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構

ニンニク周年供給のための 収穫後処理マニュアル



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



地方独立行政法人 **青森県産業技術センター 野菜研究所**

目次

1. ニンニクの周年供給と収穫後処理	1
2. 乾燥	2
(1) 乾燥方式	
(2) 乾燥による水分変化	
(3) 具体的な方法	
[参考1] 乾燥に関する研究資料	9
(1) テンパリング乾燥と連続加温乾燥の比較	
(2) シート乾燥における通風方式の比較	
(3) 盤茎水分含量の変化	
(4) ニンニクの周年出荷で問題となる品質低下症状	
(5) 乾燥条件と品質との関係	
3. 貯蔵	22
(1) ニンニくりん片の萌芽・発根と商品価	
(2) 具体的な方法	
[参考2] 貯蔵に関する研究資料	24
(1) 貯蔵条件と品質との関係	
(2) ニンニくりん茎の休眠特性	
4. 出庫後の発根・萌芽を抑制する高温処理	28
[参考3] 高温処理に関する研究資料	31
(1) 高温処理時の装置内温度とりん茎の内部温度	
(2) -2℃貯蔵終了後の根・芽の伸長	
(3) 高温処理の効果と処理温度との関係	
(4) 高温処理の効果と処理開始までの保管条件との関係	
5. 参考文献	35

執筆者一覧（五十音順）

伊藤篤史（青森県産業技術センター 野菜研究所）・・・参考1-(2)

庭田英子（青森県産業技術センター 野菜研究所）・・・1、2、3、参考1-(1)

山崎博子（農研機構 東北農業研究センター）・・・1、4、参考1-(3)(4)(5)、
参考2、参考3

1. ニンニクの周年供給と収穫後処理

ニンニク栽培では作型の分化はほとんどなく※、ひとつの圃場での収穫は年に1回だけである。青森県では、10月頃に植え付けた側球が萌芽して越冬し、翌年の6月下旬から7月に収穫期となる(図1)。収穫したりん茎を常温で放置すると、2~3日で茎や根の切断部分から腐敗するため、収穫後は直ちに乾燥処理が行われる。外皮(葉鞘部)や芯(花茎)を完全に乾燥させたりん茎を貯蔵し、これを順次出荷する。

※青森県のニンニク栽培は99%以上が露地栽培で、若干のハウス栽培(約0.3%)が存在する。露地栽培ではマルチを使用する場合もある。ハウス栽培で収穫されたりん茎は、乾燥を行わずに「生出荷」される。

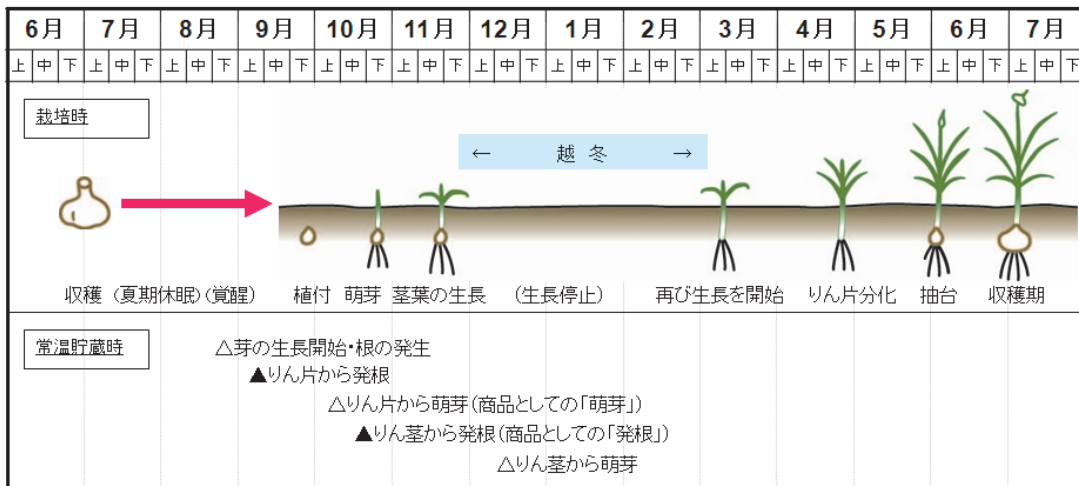


図1 ニンニクの栽培暦と常温での萌芽・発根

商品としてのニンニクは、腐敗していないことだけでなく、萌芽や発根していないことも求められる。芽も根も食用としての問題はないが、根がりん茎から露出すると、根の組織が傷ついて腐敗が発生し、りん茎内部まで進行することがあるため、りん茎の商品価値は発根によって低下する。また、芽はりん片から飛び出すとクレームの対象となる。

ニンニクの周年供給には収穫後の乾燥と貯蔵が不可欠であり(図2)、貯蔵によってりん茎の品質を1年近く維持することが求められる。また、出荷後の流通・販売過程における発根や萌芽を抑制することを目的として、貯蔵庫から出庫したりん茎に対して高温処理が行われる場合がある(図2)。高温処理は必須ではないが、青森県の複数のJAにおいて実用化されている。

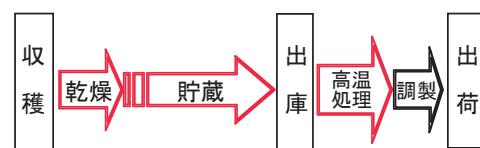


図2 ニンニクの収穫から出荷までの過程

青森県におけるニンニクの貯蔵は、貯蔵中の発根や萌芽を抑制する植物成長調整剤の使用が平成14年に禁止されたことを機に、農家の倉庫などを利用して常温条件で行う形からJAなどの貯蔵施設において温度制御下(約-2℃)で行う形に変化した。この貯蔵条件の変化は他の収穫後処理にも影響を及ぼし、ここ10年程の間にニンニクの周年供給体系には大きな変化が生じている。

農研機構東北農業研究センターと青森県産業技術センターでは、上述の植物成長調整剤の使用禁止を機に共同研究を開始し、高品質な国産ニンニクを周年安定供給できる収穫後処理技術の開発に取り組んできた。当マニュアルでは、「乾燥」、「貯蔵」、「高温処理」という3つの収穫後処理について、具体的な方法を説明するとともに、得られた研究成果の中から実用性の高い情報を要約して紹介する。

2. 乾燥

(1) 乾燥方式

品質の良いものを収穫しても、乾燥を失敗すると収益とにならない。

青森県では、以前は、茎葉がついた状態のりん茎を軒下などに吊す自然乾燥が行われていた。しかし、大量のりん茎を自然乾燥するには広い乾燥場所が必要であること、また、天候によっては腐敗が発生することがあるため、昭和40年代後半から強制乾燥（人為的な加温および通風による乾燥）が行われるようになった。強制乾燥には乾燥中や貯蔵中に病虫害の被害が進行することを抑制するメリットがあり、最近ではほとんどが強制乾燥である。

強制乾燥には、大きく分けると、「棚乾燥」、「井桁積み乾燥」、「シート乾燥」の3つの方式があり、りん茎の収納や配置の仕方および通風の仕方に違いがある（表1）。これらのうち、シート乾燥が最も新しい乾燥方式である。シート乾燥は、昭和60年代に青森県の生産現場で発案された方式であり、現在、県全体に普及してきている。シート乾燥には吸引式と押し込み式の2つの通風方式がある。

表1 ニンニクの乾燥方式

乾燥方式	収納容器・容量	配置、積み方	通風
棚乾燥	網袋 ・20kgまたは40kg	鉄パイプなどで棚を組んで網袋を並べる	循環扇やダクト
井桁積み乾燥	メッシュコンテナ ・20kg	コンテナを井桁状に積む	循環扇やダクト
シート乾燥	メッシュコンテナ ・20kg	約200個のコンテナを隙間なく積み、周囲を不透水シートで覆う	圧力に強い送風機を使用（ニンニク4,000kg当たり風量60m ³ /分程度を確保） 通風方向で吸引式と押し込み式がある

(2) 乾燥による水分変化

(ア) りん茎重の変化（表2、図3、4）

- 乾燥開始時のりん茎重を100%とすると、乾燥仕上がり時のりん茎重は60～75%になる。乾燥による減量率は25～40%である。
- 乾燥開始7～10日間で、りん茎重は20%以上減少し、残りの約10%はその後約2週間かけて減少する。
- 乾燥による減量率は、りん茎の成熟度からみて収穫が早めの場合、乾燥前の調製で花茎を長く残した場合、収穫期の降雨や土壌条件で土壌水分が多く、収穫時に土の持ち込みが多くなる場合などには、相対的に大きくなる。

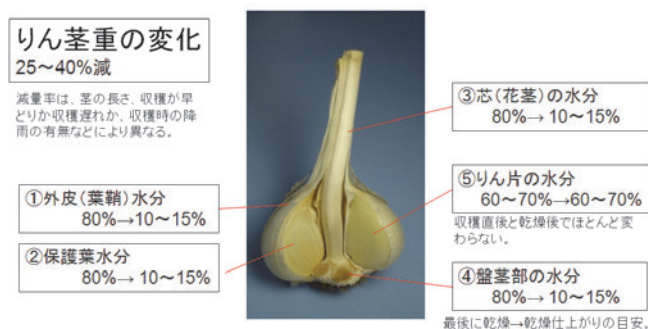


図3 乾燥前後のりん茎の水分変化

(イ) 部位別の水分含量の変化（表2、図3、5）

- 乾燥中、りん片の水分含量はほとんど変化しないが、他の部分（外皮、保護葉、花茎、盤茎部）の水分含量は、乾燥開始時の約80%から最終的には10～15%まで減少する。
- まず、外皮（葉鞘）の水分含量が低下し、次に、保護葉、花茎上部、花茎下部（りん片に囲まれ

ている部分)、盤茎部の順に低下する。花茎下部の乾燥とほぼ同時に盤茎部が乾燥し、乾燥仕上がりとなる。

- ・盤茎部の水分含量を測定することで、仕上りの目安とすることができる（詳細は7頁、14頁）。

表2 ニンニクの乾燥における部位別水分収支（2009年）

部位名	1球当り重量 (g)			1球当り水分 (%)		生球1トン当り重量 (kg)		
	収穫時	仕上り時	減量分 (=水分)	収穫時	仕上り時	収穫時	仕上り時	減量分 (=水分)
りん片	70.6	70.6	0.0	60~70%	60~70%	679	679	0
外皮 (葉鞘)	15.4	3.4	12.0	約80%	10~15%	148	32	116
保護葉	7.5	2.1	5.4	約80%	10~15%	72	20	52
花茎上部	2.6	0.5	2.1	約80%	10~15%	25	5	20
花茎下部	3.3	0.6	2.7	約80%	10~15%	32	6	26
盤茎	4.6	1.2	3.4	約80%	10~15%	44	12	32
全体	104.0	78.4	25.6	—	—	1000	754	246

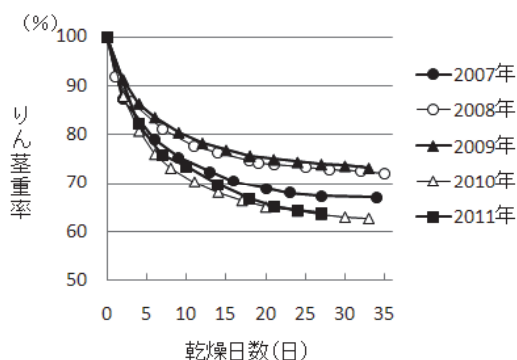


図4 乾燥中のりん茎重の変化

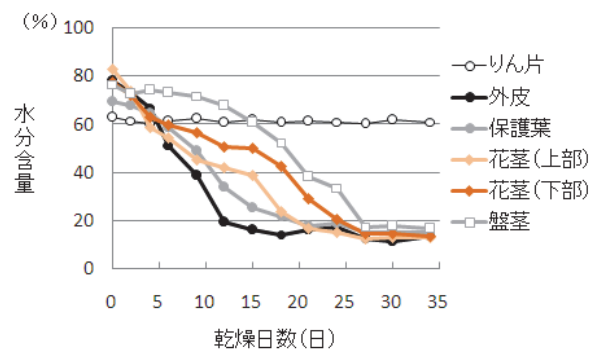


図5 乾燥中の部位別の水分含量の変化

(3) 具体的な方法

(ア) 乾燥場所の選択

- ・倉庫などの屋根付きの施設やパイプハウスを利用する。
- ・水が流入しない場所を選ぶ。
- ・地面が露出している場合は、水を透さない厚めのシートを敷き、さらにコンパネ等を敷くと良い。

(イ) 遮光

- ・日射があると高温となりやすいだけでなく、ニンニクの外皮がくすんだり、りん片が緑化する。このため、パイプハウスでは遮光ネットやシートを用いて80%以上の遮光を行う（図6）。窓がある場合は、直射日光が当たらないようにする。



図6 パイプハウスを利用した乾燥

(ウ) 加温・通風の準備

- ・青森県において、約4,000kgのニンニク（30aの収穫分）を乾燥する場合、倉庫などの屋根付きの施設での乾燥では、熱出力30,000kcal/h程度の加温機が必要である。パイプハウスでの乾燥では、

昼は日射によりハウス内が暖められるので、熱出力 20,000kcal/h 程度の加温機でよい。

- ・加温機から出る温風が、直接ニンニクに当たらないよう注意する。
- ・棚乾燥、井桁積み乾燥の場合

加温機からの温風をダクトや循環扇を用いて、乾燥施設内にむらなく行き渡らせる。施設の形と換気窓の位置を考慮して、ダクトや循環扇を配置する。

- ・シート乾燥の場合

ブルーシートなどの水や水蒸気を透さないシート、送風機が必要である。ニンニク乾燥用の専用シートも市販されている（詳細は 6 頁）。シート乾燥に用いる送風機は、圧力に強いものでなければならない。風量は約 4,000kg のニンニクに対して 60m³/min（風量比 1.5 m³/min/100kg）とすると失敗が少ない。

シート乾燥では、乾燥施設全体を暖める場合と、施設内をシートや板などで仕切り、暖めた空気を作るための空間（温風調整室）を設ける場合（図 7）がある。温風調整室を設けると、加温効率を高めることができる。

*温風調整室を設ける場合の注意点

①温風調整室に空気が供給されない、あるいは、シートからの排気が施設外に排出されないと、送風機の能力が十分に発揮されなくなる。送風機を効率よく稼働させるためには、温風調整室に空気を供給する吸気口を確保すること、およびシートからの排気を施設外に排出する排気口を確保することが重要である。

②加温機の他に日射を利用して温風調整室を加熱す

る場合もあるが、加温機の設定以上の高温になる可能性があるため、前もって高温対策を考えておく。



図 7 温風調整室の設置例

（押し込み式シート乾燥）

仕切りの向こう側にニンニクコンテナがある

(エ) 収穫と乾燥前の調製

- ・収穫はできるだけ降雨がない日を選ぶ。植物体の水分含量の高低には、収穫時の天候より成熟の程度が大きく影響するが、土壌水分が高い場合や粘土質の土壌では、植物体への土の付着量が多くなるので、多くの水分を乾燥場に持ち込むことになる。
- ・機械収穫と人手による昔ながらの手掘り収穫がある。
- ・機械収穫の場合は、まず、茎を畦面すれすれで切った後、地下約 20cm で根を切り、土ごとりん茎を掘り起こす。この状態でりん茎に付いた茎の長さは 10cm 程度になる。根が土を抱え込んだ状態になっているものは土を払い落とす。収穫したりん茎をそのまま乾燥する場合もあるが、根切り機でさらに茎と根を短く切り取る調製作業を行う場合もある。
- ・手掘り収穫の場合は、株を抜き取った後、茎と根を切り取る調製作業を行う。
- ・茎の長さ（りん茎の上に出た部分）は、5cm 程度に調製する。茎の途中で珠芽が着いている場合は、傷つけないよう長めとする。
- ・根の調製に詳細な基準はない。盤茎部を多少えぐるように切り取る場合もあるが、根はもともと乾きやすいため、多少長めに残しても問題はない。

- ・なお、出荷前にも再度、調製を行うので、出荷時の茎の長さは2〜3cm程度となる。

(オ) 収納容器

- ・棚乾燥では、20kg用または40kg用のプラスチック製網袋を利用する。網袋に入れるりん茎量は袋容量の6〜7割とする。



図8 収穫から乾燥までの流れ

- ・井桁積み乾燥およびシート乾燥では、メッシュコンテナを利用する。
- ・井桁積み乾燥の場合、青森県ではナガイモ用コンテナ（900×300×248mm、20kg収納可）を利用する例が多い。コンテナに入れるりん茎量はコンテナ容量の8割程度とする。
- ・シート乾燥の場合、青森県では上述のナガイモ用コンテナやリンゴ用コンテナ（640×320×322mm）を利用する例が多い。リンゴ用コンテナはメッシュ穴の小さいものがあるが、ニンニク乾燥には穴の大きいものを使用する。シート乾燥では、大きな隙間があるとシート内を均一に通風できないため、コンテナ満杯にりん茎を入れる。
- ・最近では、収穫時に用いた大型スチールコンテナ（400kg収納可能）をそのまま乾燥に利用する例も出てきた。この場合、コンテナ中央部のりん茎が乾きにくいいため、通気を考えて茎を長く残す。スチールコンテナを使った乾燥については、現在、検討中である。

(カ) 網袋、コンテナの積み方

- ・棚乾燥の場合は、パイプなどで組んだ棚にりん茎を入れた網袋を並べる（図9）。
- ・井桁積み乾燥の場合は、りん茎を入れたコンテナを井桁状に6〜7段積み上げる（図10）。最下段は乾きにくいいため、空コンテナとする。風が滞らないように、積み上げたコンテナの山は隙間を空けて乾燥場に配置する（図11）。



図9 棚乾燥



図10 井桁積みしたコンテナ



図11 井桁積み乾燥

- ・シート乾燥の場合

シートの底面となる部分（シート内側）に板などを置き、その上にりん茎を入れたコンテナを積層する（図12）。板を置くことにより、シートとコンテナの間に1〜2cm程度の隙間をつくる。ナガイモ用コンテナの場合は、横2列×7段×奥行き15列の計210個、リンゴ用コンテナの場合は、横3列×6段×奥行き12列の計216個を隙間なく積層する（図13）。このコンテナ集合体の妻面を除く部分をシートで覆う。妻面の一方に送風機を取り付け、シートと接続する。シート1セットで約4000kgのニンニク（30aの収穫分）を乾燥することができる。シート乾燥には吸引式と押し込み式の2つの通風方式がある。

押し込み式では、入気側に送風機を取り付け、シート内に風を送り込む。内部が陽圧となり、シートが膨らむので、コンパネとゴムバンドやひもでシートを押さえる必要がある（図14）。

吸引式では、排気側に送風機を取り付け、吸引することによりシート内に風を通す（図15）。内部が陰圧となり、シートはコンテナにへばりつくので、外からのシート押さえは必要ない。しかし、排気側のシートがへこみ、角部分の通気が悪くなるので、排気側に空のコンテナを1列入れる、あるいはへこみを防ぐ支えを設けるなどの対策を行う。

乾燥中にニンニクの乾燥程度を確認する場合は、危険なので送風機を止めてから行う（特に、押し込み式の場合は注意が必要）。

***ニンニク乾燥用の専用シートについて**

商品名は「にんにく乾燥シート」。チャック付きで、送風機の取り付け部分もついている。ナガイモコンテナ用とリンゴコンテナ用の2種類の規格がある。

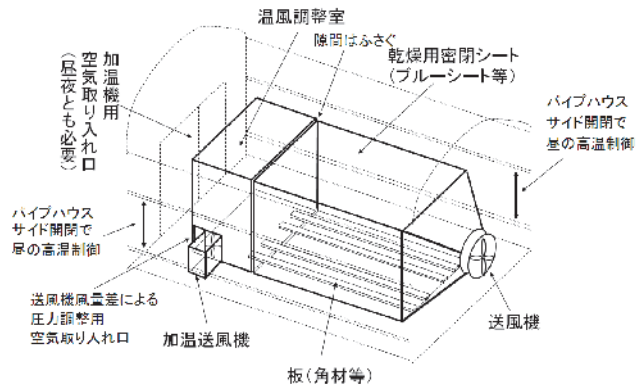


図12 吸引式シート乾燥の設置例



図13 シート乾燥（被覆前）

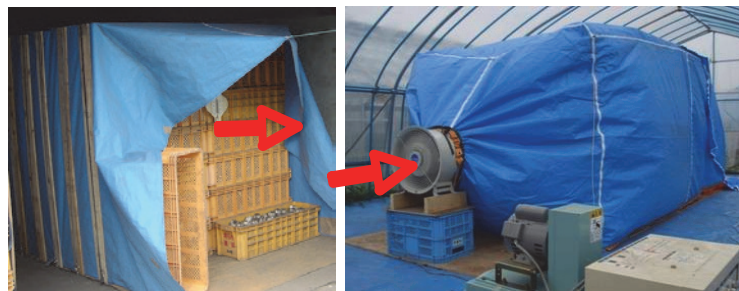


図14 押し込み式シート乾燥（矢印は通風方向）



図15 吸引式シート乾燥（矢印は通風方向）

(キ) 乾燥温度の管理

- ・加温機は管理しやすいように入気近くに置く。
- ・加温機のサーモスタットの位置は、シート乾燥では、入気部近くの高めの位置に設置する。
- ・昼間の温度は 35℃を目安とし、ニンニクが 38℃以上にならないようにする。夜間の加温設定は 20℃とする。通風は終日行う。

上記のように、昼間は約 35℃加温・通風、夜間は無加温（または昼間より低い加温温度）・通

風条件での乾燥を「テンパリング乾燥」と呼ぶ。テンパリング乾燥は、連続加温乾燥に比べて乾燥コストが安く、-2℃貯蔵後の障害発生が少ないなどのメリットがある（[参考1]-（1）、（5）参照）。

夜温が26℃以上となるような条件では、テンパリング乾燥による障害抑制効果を十分に期待できないことが確認されている。従って、夜間に高温となるような条件では、換気などによって夜温を下げる必要がある。

- ・ハウスやガラス窓がある乾燥施設では、日光が差し込むと急激に温度が上昇するので、晴天時の昼間は、加温を低めの33℃設定とするなど、適宜、調節する。
- ・高温によりりん片に障害が生じることがある（温度と時間による）。パイプハウスの側面や窓を開放したり、換気扇を利用するなどして、施設内が高温になりすぎることを防止する。

（ク）除湿

- ・乾燥開始時のりん茎重を100%とすると、開始から7～10日間でのりん茎重は20%以上減少する。30a分の収穫に相当する約4,000kgのりん茎を乾燥する場合、開始から7～10日間で800kg（800L）以上の水分がりん茎から放出される勘定である。
- ・上記の理由から、乾燥初期の施設内の空気には、りん茎から出た多量の水分が水蒸気形で含まれる。空気が含むことができる水蒸気量には限りがあり、限界に近い水蒸気を含んだ状態では乾燥は進まない。

従って、乾燥初期には、施設内の空気に含まれる水蒸気量を減らす（除湿する）必要がある。最良の方法は、換気することであり、水蒸気を大量に含んだ空気を外部に排出し、外部の空気を取り入れる。窓やパイプハウスの被覆の内面に水滴が発生するのは換気不足と考え、積極的に換気する。

吸引式シート乾燥の場合には、送風機から出る排気を乾燥施設の外に排出することによって、りん茎から出た水分を外部に排出することができる。

押し込み式シート乾燥、棚乾燥、井桁積み乾燥の場合には、パイプハウスの側面や窓を開放する、あるいは、換気扇を利用するなどして、換気する。

青森県の場合、やませや雨天の日は外気温が低いため、乾燥施設内を加温する昼間は、絶対湿度が低い外気を取り入れた方がよい。

除湿器を利用している例も見られるが、りん茎から出る水分量に比べると、除湿器で除くことができる水分量はわずかであり、効率的な方法とは言えない。

（ケ）乾燥仕上りの目安

- ・乾燥仕上がりは、盤茎部の乾燥状態（硬さや水分含量）を目安に判断する。
- ・乾燥仕上りの目安は、従来、減量率3割、また、盤茎部に爪を立てて硬くなった時とされていた。しかし、減量率は、茎の長さや収穫時に付着する土の水分などの影響を受けるため、必ずしも正確ではない。盤茎部の硬さを目安にする場合は、盤茎部が硬くなったら、花茎に湿り気がないことも合わせて確認するとよい。
- ・建築用木材水分計で盤茎部の水分含量を測定し、乾燥仕上りを判断することもできる。

青森県では、従来、盤茎の水分含量10～15%を仕上がり基準としてきたが、テンパリング乾燥では、盤茎の水分含量は16～17%程度で横ばいとなる場合がある。従来の基準は満たさないが、この状態を乾燥仕上がりとして、乾燥不足とみられる問題は発生していない。

盤茎の乾燥速度は個体によるばらつきが大きく、乾燥途中では盤茎水分含量の低いりん茎と高いりん茎が混在する〔参考1〕－(3)参照)。従って、乾燥仕上がりを判断する場合には、必ず、複数のりん茎（できれば10個程度）の盤茎水分含量を測定する。測定値がすべて20%以下であれば、乾燥仕上がりと考えてよい。

(コ) 乾燥後の保管

- ・ニンニクは、日射があると外皮のくすみやりん片の緑化が発生する。
- ・また、一旦、乾燥が仕上がっても、密閉するとニンニクが発する水分で湿ってしまう。
- ・このため、乾燥後は、日射がなく、温度差が少ない乾燥した小屋などに移す。長期貯蔵のために低温貯蔵する場合は、早めに選別を済ませて、速やかに冷蔵庫へ搬入する。

【参考 1】乾燥に関する研究資料

(1) テンパリング乾燥と連続加温乾燥の比較

ニンニクの発根や萌芽を抑制する植物成長調整剤の使用が平成 14 年に禁止されたことを機に、青森県における周年出荷用のニンニクの貯蔵条件は、常温から氷点下条件（約 -2°C ）に変化した。 -2°C 貯蔵の導入以降、りん片の表面が陥没する「くぼみ症」と呼ばれる障害の発生が認められている。

これまでに、くぼみ症の発生には貯蔵条件だけでなく、乾燥条件も関係することを明らかにし、 -2°C 貯蔵に対応した乾燥法として「テンパリング乾燥」を提案した。テンパリング乾燥とは、昼間は約 35°C 加温・通風、夜間は無加温（または昼間より低い加温温度）・通風条件での乾燥である。ここでは、従来法に近い約 35°C 加温条件での乾燥とテンパリング乾燥を比較した試験結果を紹介する。

(試験方法) 試験区の構成を表 3 に示した。連続区、テンパリング A 区では、遮光したパイプハウスで吸引式のシート乾燥、テンパリング B 区では小屋で井桁積み乾燥を行った。シート 1 セット当たり約 4000kg のりん茎を使用した。乾燥中の加温設定は表 3 の通りとし、すべての区で終日通風を行った。

表 3 処理区の構成

試験区の名称	温度管理	乾燥方式	乾燥場所
連続	35°C 連続	吸引式シート乾燥	パイプハウス
テンパリング A	昼温 35°C 夜 20°C 設定	吸引式シート乾燥	パイプハウス
テンパリング B	昼温 35°C 夜加温停止	井桁積み乾燥	小屋

昼:8:00~18:00、夜:18:00~翌日8:00

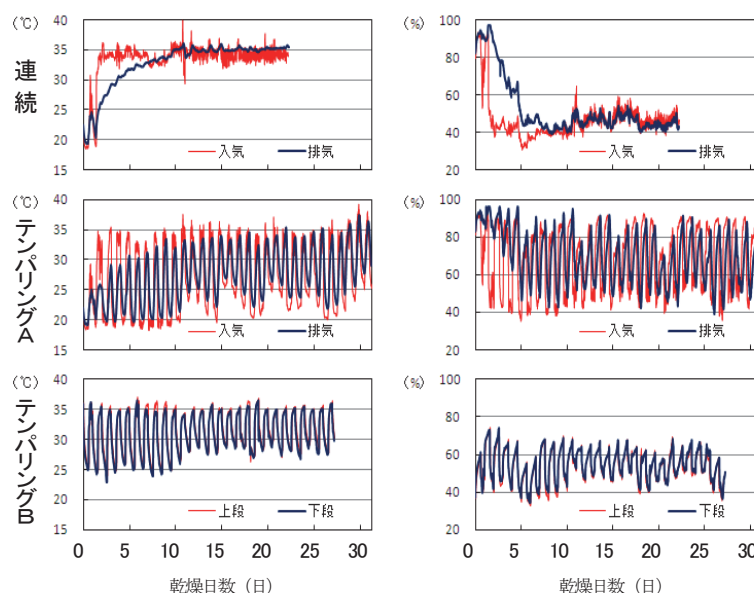


図 16 乾燥中の温度 (左)、相対湿度 (右) (2010 年)

(ア) 温度および湿度条件 (図 16)

- ・入気側の最高温度は、連続区、テンパリング A 区とも乾燥開始 2~3 日後には設定温度に達した。排気側の最高温度が 30°C を超えるには、連続区では約 50 時間（約 2~3 日）、テンパリング A 区では 5 日間を要した。
- ・小屋で乾燥を行ったテンパリング B 区の夜間温度は、パイプハウスで乾燥を行ったテンパリング A 区に比べてが高かった。
- ・テンパリング乾燥ではシート内の相対湿度は、温度変化と相対して日中は低く、夜間は高かった。
- ・乾燥中の平均温度および平均飽差*は、連続区に比べてテンパリング A、B 区の方が低かった。

***飽差**：空気を含むことのできる最大の水蒸気量（飽和水蒸気圧）から、実際に空気に含まれている水蒸気量を引いたもの。飽差は温度と相対湿度によって決まる。飽差は乾燥しやすさの指標となる（飽差が大きいほど乾燥しやすい）。

(イ) 乾燥中の水分変化

- 乾燥中、りん片の水分含量はほとんど変化しなかったが、他の部位では、まず、外皮の水分含量が低下し、次に、保護葉、花茎上部、花茎下部、盤茎部の順に低下した。水分含量の低下速度は、連続区に比べてテンパリング A 区の方が遅かった (図 17)。

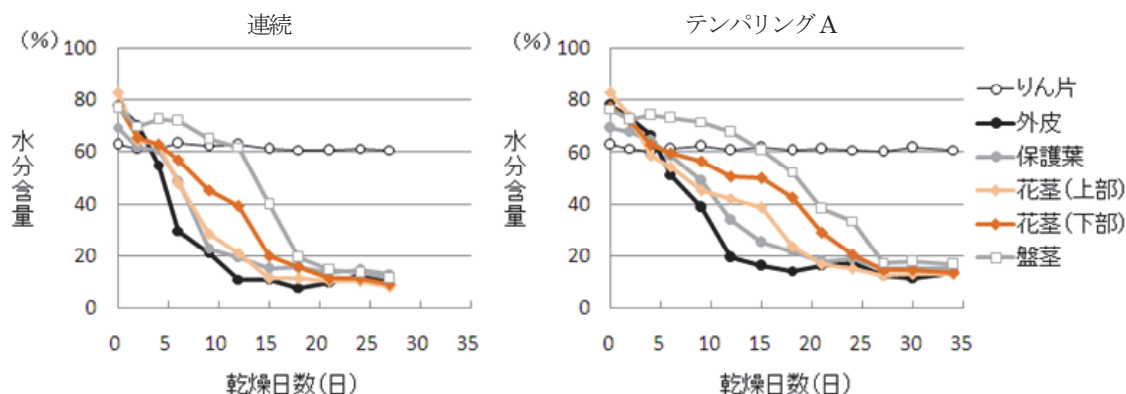


図 17 乾燥中のニンニク各部位の水分の推移

(ウ) 乾燥に要する期間、コスト (表 4)

- 乾燥に要した日数はテンパリング A 区では 30 日前後であり、連続区より 8 日程度多くかかった。
- 乾燥に要した燃料使用量は、テンパリング A 区では連続区の 44~77% であり、テンパリング乾燥では燃料使用量を大幅に削減できた。

表 4 乾燥条件が乾燥仕上がりまでの日数、燃料消費量に及ぼす影響

試験区	試験年	乾燥日数		灯油使用量		備考	
		(日)	連続区との差	(L)	連続区に対する割合	施設の加温	シートからの排気
テンパリング A	2009	29	+7日	328	53%	全体を加温	
	2010	29	+8日	215	44%	全体を加温	
	2011	31	+10日	135	77%	温風調節室設置	すべて施設外へ排出 (=全排出)
連続	2009	22	—	619	100%	全体を加温	
	2010	21	—	493	100%	全体を加温	
	2011	21	—	176	100%	温風調節室設置	全排出→内循環 ^{**}

^{**}乾燥前期は全排出、中期以降は施設内に循環

(エ) 外皮色への影響 (図 18)

- 外皮の色調：連続区、テンパリング A 区ともに、a 値および b 値は乾燥中に僅かに上昇し、明度はほとんど変化しなかった。これら 2 処理区の外皮の色調に大きな違いは認められなかった。
- 保護葉の色調：連続区、テンパリング A 区ともに、a 値および b 値は乾燥中に僅かに上昇し、明度はわずかに低下した。
- りん片の色調：連続区、テンパリング A 区ともに、a 値、b 値および明度は乾燥中にほとんど変化しなかった。a 値は連続区に比べてテンパリング A 区の方が低い傾向が認められた。

(オ) -2℃貯蔵後の品質 (図 19)

- 乾燥終了後のりん茎を-2℃で貯蔵し、翌年の 2 月出庫 4 週後 (流通にかかる時間を考慮) の品

質を調査した。連続区ではくぼみ症や組織の透明化が多発したが、テンパリング A 区および B 区では障害の発生が少なく、発生しても軽度であった。

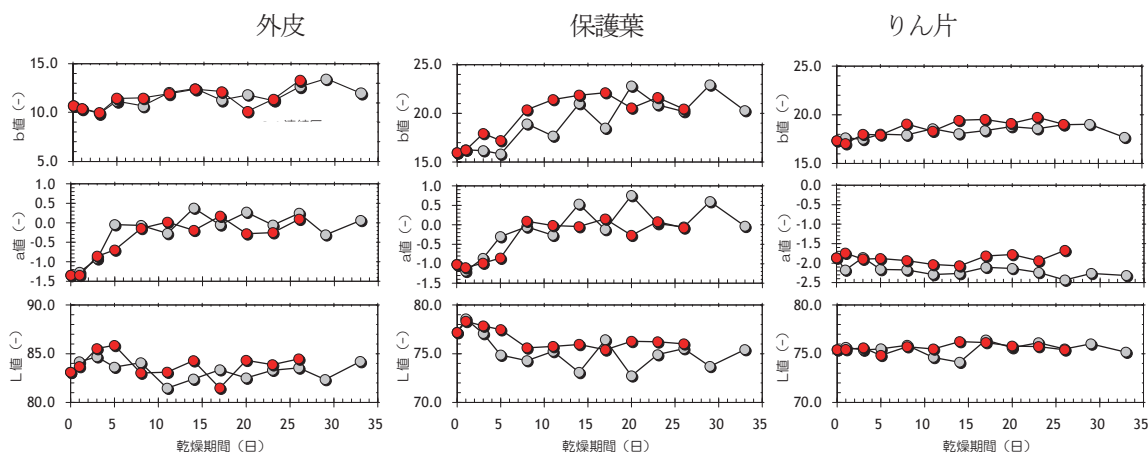


図 18 乾燥中におけるニンニク部位の色彩の変化 (●:連続、●:テンパリングA)

注) L*値:明度、a*値:(-:緑、+:マゼンタ)、b*値:(-:青、+:黄)

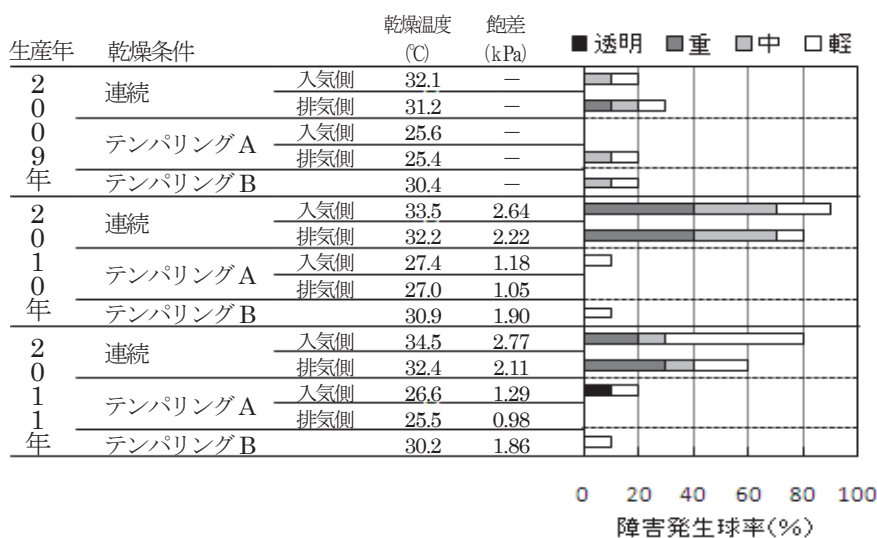


図 19 -2°C貯蔵後の障害発生状況 (2009~2011年)

(カ) 結果のまとめ (表5)

- ・テンパリング乾燥は連続加温乾燥に比べて、乾燥に要する日数は長いですが、乾燥コストは安い。
- ・テンパリング乾燥したりん茎は、-2°C貯蔵後の障害の発生が少ない。
- ・りん茎の外皮の色調に、テンパリング乾燥と連続加温乾燥で違いはほとんど認められない。

表5 連続加温乾燥とテンパリング乾燥の比較

	乾燥条件	
	連続加温	テンパリング
乾燥期間	短い(約3週間)	長い(+約8日)
乾燥コスト	高い(10割)	安い(5-6割)
氷点下貯蔵後の障害発生	多い	少ない
外皮の色調	良好(ほぼ同じ)	

(2) シート乾燥における通風方式の比較

青森県のニンニク生産現場で普及しているシート乾燥には、「吸引式」と「押し込み式」の通風

方式がある。ここでは、これら2つの通風方式で実用規模の乾燥試験を行い、シート内の温度分布や貯蔵後の品質を比較した結果を紹介する。

(試験方法) 遮光したパイプハウスで吸引式および押し込み式のシート乾燥を行った。シート1セット当たり約3600kgのりん茎を使用した。乾燥中の加温設定は、昼間(8:00-18:00)35℃、夜間(18:00-8:00)20℃とし、終日通風とした。シートからの排気は、吸引式では全量を外部に排出したが、押し込み式では一部を換気口から排出する設定とした(図20)。

(ア) 入気、排気の温度(図21)

- 乾燥初期：両方式とも、入気部の昼間温度は設定温度まで上昇したが、排気部の昼間温度は設定温度まで上昇しなかった。その結果、排気部の温度の日較差は入気部に比べて小さかった。
- 乾燥後期：両方式とも排気部の昼間温度は設定に近い温度まで上昇するようになった。
- 乾燥中に入気部および排気部の平均温度は、吸引式では27.5℃、27.3℃、押し込み式では29.2℃、28.4℃であった。押し込み式では、シートからの排気の施設外への排出が少なかったため(図20)、吸引式に比べて夜温が高くなり、平均温度も高くなったと考えられた。

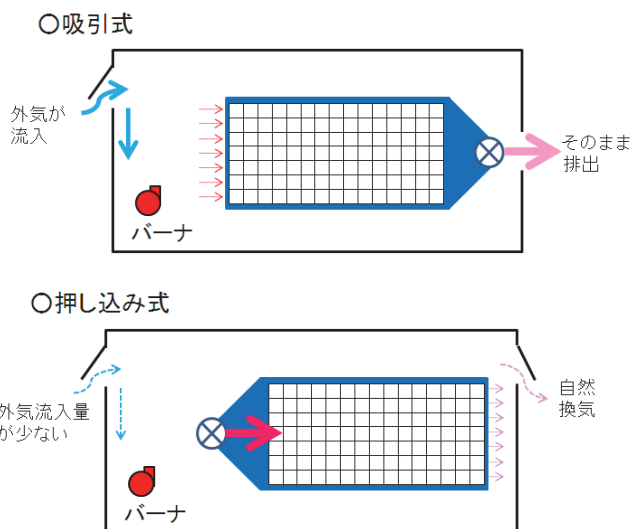


図20 通風方式の比較試験区の概要

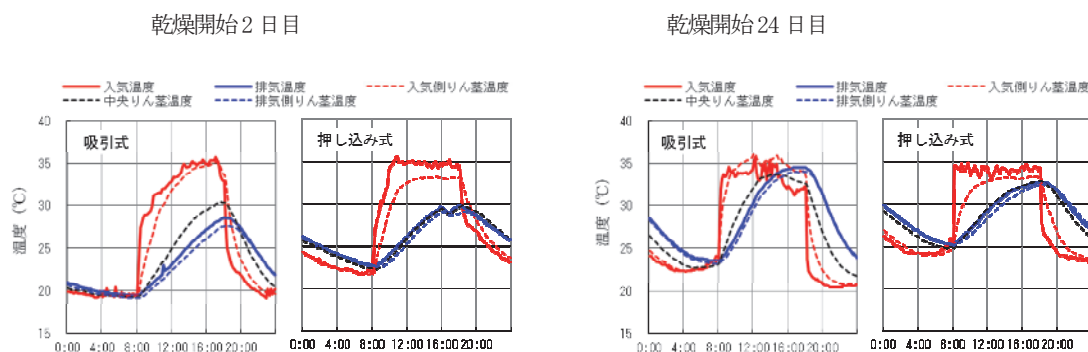
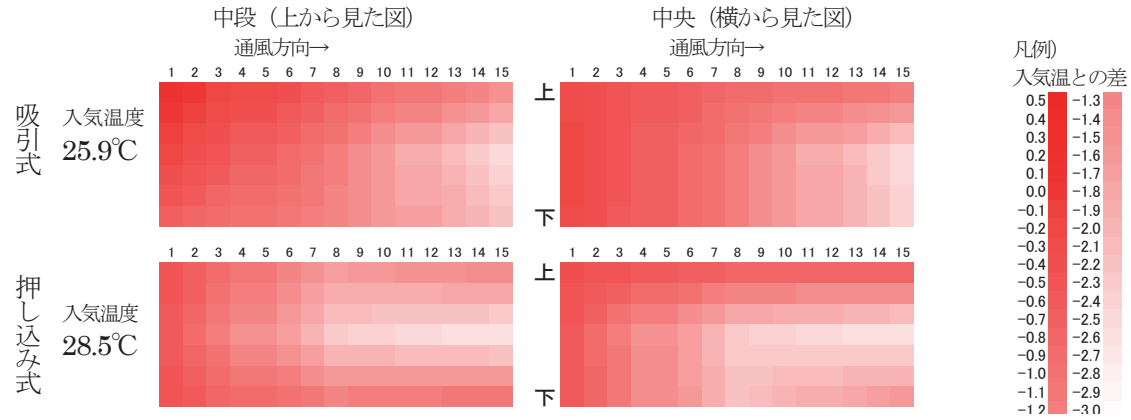


図21 入気および排気温度の日変化

(イ) シート内のりん茎温度のばらつき(図22)

- 両方式ともシート内の上層の温度が高くなる傾向が認められた。
- 吸引式では、乾燥初期には入気側から排気側にかけて温度は徐々に低下し、排気側の下層の温度が最も低い傾向が認められた。乾燥が進むと、シート内の温度差は小さくなった。
- 押し込み式では、乾燥初期には入気側から排気側にかけて温度は徐々に低下し、シート中心部の温度が低い傾向が認められた。乾燥が進むと、シート内の温度差は小さくなった。

乾燥初期 (1～5 日目の平均温度の入気温度との差)



乾燥後期 (22～26 日の平均温度と入気温度との差)

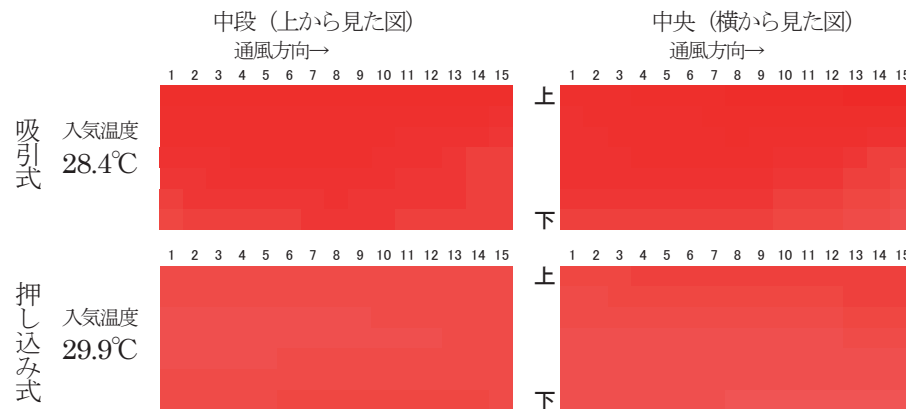


図 2 2 シート内の温度分布 (入気温度とりん茎温度との差)

(ウ) 乾燥仕上がり日数

乾燥仕上がり日数は、押し込み式で 28 日、吸引式で 29 日であった。なお、吸引式ではこれまで青森県が乾燥仕上がり基準としてきた盤茎水分含量 (建築用木材水分計 15%以下) に達しなかったため、盤茎部水分含量が横ばいとなった日を乾燥仕上がりとした。

(エ) -2°C貯蔵後の品質 (図 23)

- ・吸引式では、28 日乾燥 (仕上がりまで乾燥) の場合は障害球の発生は少なかったが、35 日乾燥 (延長乾燥) の場合は入気側、排気側ともに障害球の発生率が高まった。
- ・押し込み式では、28 日および 35 日乾燥ともに入気側のりん茎で障害球の発生がやや多かった。
- ・押し込み式では、入気側と排気側の品質の差が大きく、低温貯蔵する場合の通風方式は吸引式が優れると考えられた。

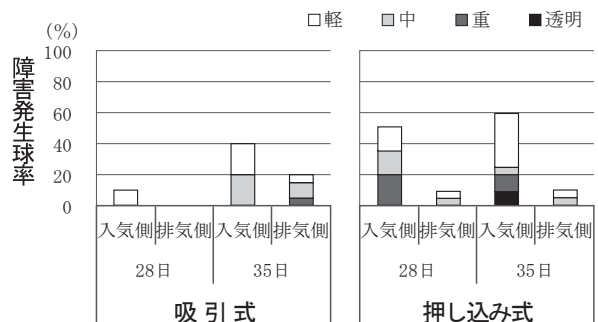


図 2 3 貯蔵後の障害発生球率

(3) 盤茎水分含量の変化

ニンニクリン茎を乾燥させると、りん片以外の部位の水分含量は低下する。盤茎の水分含量は、低下速度がりん茎部位の中で最も遅く、また、木材水分計を用いてその値を簡易に測定できることから、乾燥の仕上がりを判断するよい目安となる。ここでは、乾燥中および貯蔵中における盤茎水分含量の変化の特徴について説明する。

○盤茎の水分含量の変化から、乾燥期間は3つの時期に分けられる(表6、図24)。

時期Ⅰ 盤茎の水分含量は、ほとんど変化しない(約75%)。期間は乾燥開始から10日程度であるが、乾燥温度が高いほど短くなる傾向がある。

時期Ⅱ 盤茎の水分含量は、「平衡含水率※」に達するまで低下する。期間は乾燥温度が高いほど短くなる傾向があり、10~20日程度である。低下速度には個体差があるため、この時期には盤茎水分含量の低いりん茎と高いりん茎が混在する。

時期Ⅲ 盤茎の水分含量は、平衡含水率に近い値で安定する。水分含量の個体差は小さい。乾燥終了後に温度・湿度条件を変えると、それに伴って盤茎の水分含量も変化する。

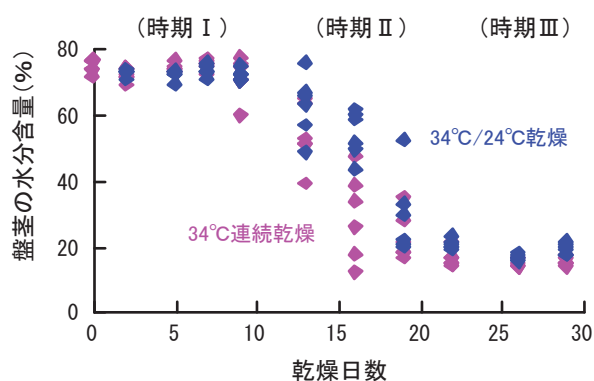


図24 乾燥中の盤茎水分含量の変化
◆はりん茎1個の測定値

表6 乾燥中における盤茎水分含量の変化の特徴

時期	期間	盤茎の水分含量			乾燥条件の影響
		変化	約	個体のバラツキ	
I	約10日	ほぼ一定	約75%	小さい	乾燥温度が高いほど、これらの期間は短くなる傾向
II	10~20日	低下	—	大きい	
III	—	ほぼ一定	平衡含水率に近い値	小さい	乾燥温度が高いほど、低い水分含量で平衡となる傾向

○時期Ⅱから時期Ⅲへ移行した直後が、りん茎の乾燥仕上がり時期に相当する。

○乾燥仕上がり時の盤茎水分含量は、乾燥温度が高いほど低い値で平衡状態となる傾向がある(図25)。

○乾燥を続けた場合、34°C連続乾燥では最終的な盤茎の水分含量は8~9%程度まで低下する。しかし、乾燥を止めると、水分含量はすぐに10%以上に上昇する(図26)。一方、テンパリング乾燥では、最終的な盤茎の水分含量は11~14%程度で安定し、乾燥を止めても水分含量に大きな変化はみられない(図26)。

○乾燥したりん茎を-2°Cで貯蔵した場合(相対湿度80%程度)、貯蔵中の盤茎水分含量は徐々に上昇する。3月出庫時点における水分含量は25~30%程度になる(図27)。

※平衡含水率について

木材などを大気中に長く放置すると、最終的には水分の放出も吸収も起こらない、水分含量が安定した状態になる。この時の水分含量を「平衡含水率」という。平衡含水率はまわりの温度と相対湿度によって決まる。平衡含水率は相対湿度が低いほど、また、温度が高いほど低くなる傾向がある。日本の屋外における木材の平衡含水率は、地域、季節などによって多少変化するが、約 15%と言われている。ニンニクの乾燥においても、盤茎の水分状態は最終的に平衡含水率に達して安定すると考えられる。

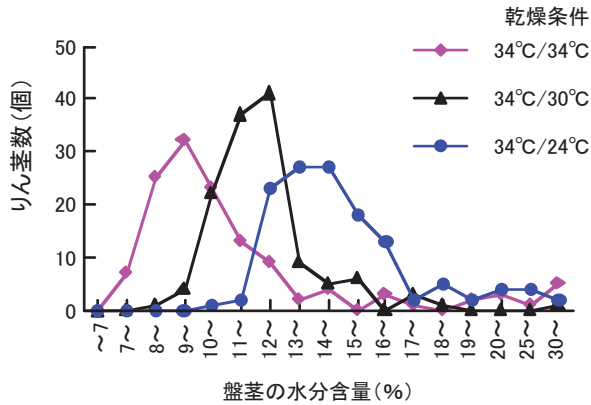


図 25 乾燥仕上がり時の盤茎水分含量の分布
各区りん茎 130 個について測定 (2011 年産りん茎)

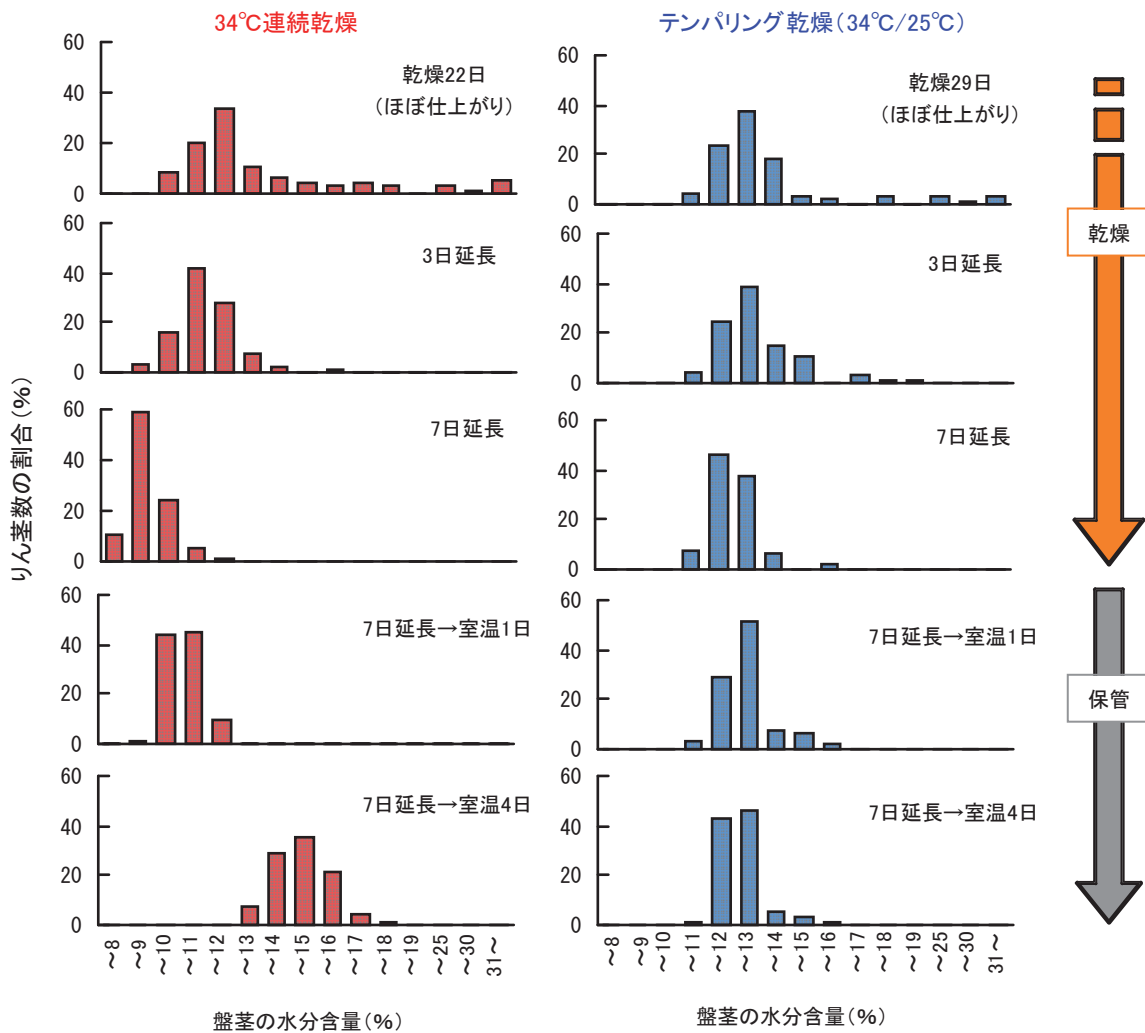


図 26 2 種類の乾燥条件における乾燥仕上がり以降の盤茎水分含量の分布
各測定日にりん茎 50 個について測定 (2013 年産りん茎)

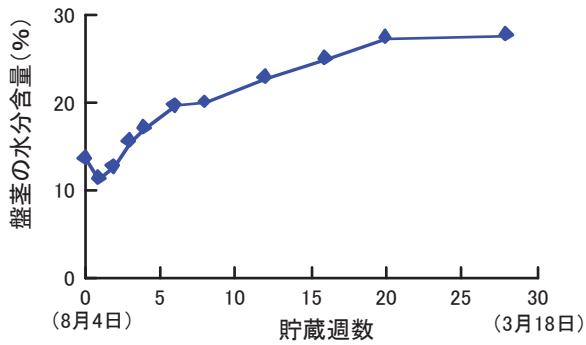


図27 -2°C貯蔵中の盤茎水分含量の変化
貯蔵中の相対湿度 75%~85%



図28 試験で使用した木材水分計
(株) サンコウ電子研究所
木材水分計 AQ-10 (TG-H モードで測定)

(木材水分計について)

- ・ 測定方式は、2本の針を測定物に刺して計測を行う電気抵抗式が一般的。
- ・ 多数の商品が販売されている(図28)。ニンニク盤茎の水分測定用には2本の針の間隔が狭いタイプのものを選ぶ(針の間隔が広すぎて、盤茎の水分測定に適さないものがある)。
- ・ 水分含量の高い条件では測定誤差が大きい。

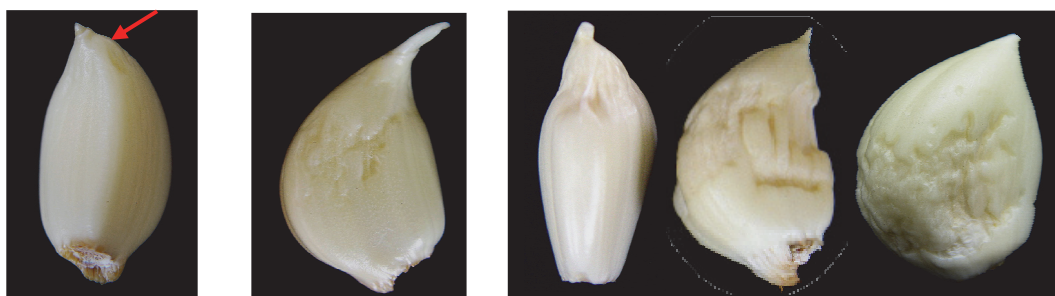
(4) ニンニクの周年出荷で問題となる品質低下症状

以下に周年出荷で問題となるニンニクの品質低下症状を示す(図29)。



図29 ニンニクの品質低下症状

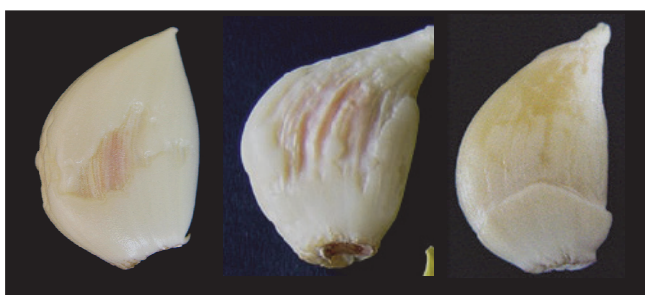
くぼみ症 りん片の表面が平陥する。
貯蔵開始時に正常でも、貯蔵中や出庫後に症状が進行する。



軽度

中度

重度



変色や透明化を伴ったくぼみ症

発生促進条件

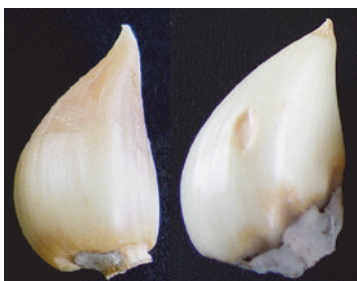
- ・高温・長期間の乾燥
- ・低温貯蔵（-3℃前後）

煮え症状 りん片の全体または一部が薄黄色～橙色に透明化する（症状は凍結とくぼみ同じ）。



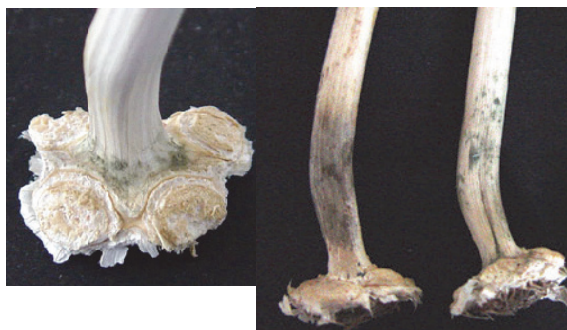
乾燥時、特に、乾燥初期の高温遭遇（くぼみ症の発生温度よりさらに高温）によって発生する。

変色、腐敗



乾燥が不十分な場合にみられる症状

花茎のカビ



乾燥が不十分な場合にみられる症状

図29 ニンニクの品質低下症状（続き）

りん片のつやの減少



発生促進条件
 ・高温・長期間の乾燥
 ・低温貯蔵（-3℃前後）

ふかふか球



外皮・保護葉とりん片との間にすきまが生じる

発生促進条件
 ・高温・長期間の乾燥
 ・低温貯蔵（-3℃前後）

図29 ニンニクの品質低下症状（続き）

（5）乾燥条件と品質との関係

ニンニクの周年出荷では、上記のように、さまざまな品質低下が生じる危険性がある。それらの発生には貯蔵条件だけでなく、乾燥条件も関係している場合が多い。

自然乾燥に比べて乾燥速度の速い強制乾燥は、貯蔵中の腐敗球の発生を抑制する効果があり、従来、一定以上の速さで十分に乾燥することがよいとされてきた。しかし、乾燥に対するこのような考え方は、乾燥後に氷点下貯蔵を行う場合には、必ずしも正しくないことが明らかになっている。ここではニンニクの品質と乾燥条件との関係について説明する。

（ア）くぼみ症

○りん片の表面が陥没する障害。

○症状は一定期間の貯蔵後に現れることが多い（図30）。-2℃貯蔵では、12月以降の出庫で発生が目立つ。

○症状は貯蔵終了後の比較的温度の高い条件でさらに進行する（図30）。

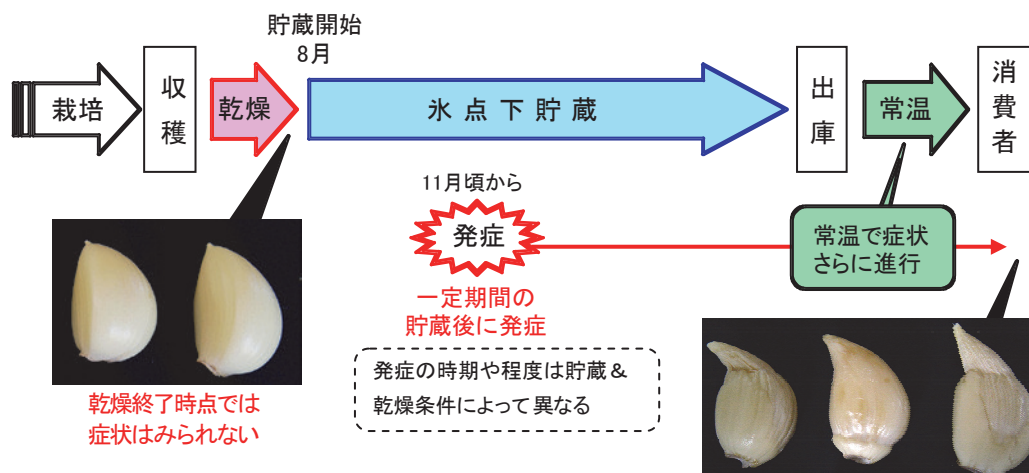


図30 くぼみ症発生の特徴

○低温障害の一種と考えられるが、発生には貯蔵条件とともに乾燥条件も影響する。

貯蔵の影響 くぼみ症の発生は貯蔵温度が低いほど促進される（図31）。

乾燥温度の影響 連続加温条件（33～35℃）での乾燥は、テンパリング乾燥（昼間34℃、夜間無加温）に比べて、くぼみ症が発生しやすく、特に、-2℃貯蔵の場合には、乾燥条件の違いが

くぼみ症の発生に大きく影響する(図31)。

乾燥前半よりも乾燥後半の高温条件がくぼみ症の発生を促進する(図32)。

乾燥期間の影響

くぼみ症は乾燥期間が短すぎても長すぎても発生しやすい。特に、連続加温条件で長期間の乾燥を行うと、くぼみ症が多発する(表7)。

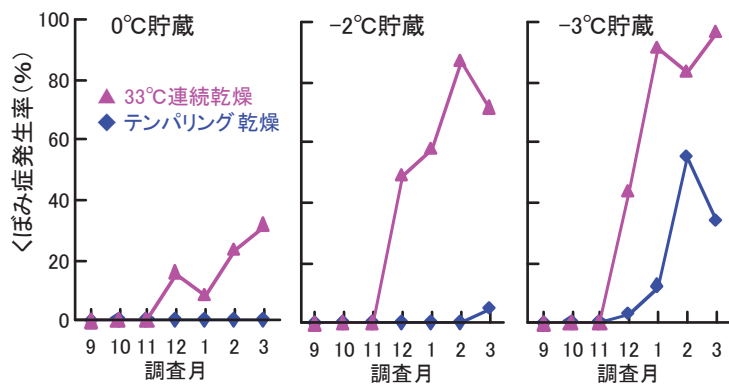


図31 乾燥および貯蔵条件がくぼみ症の発生に及ぼす影響

7月上旬、収穫→28日間乾燥→貯蔵→定期的に出庫→15°Cで4週間保管→調査
 0°C、-2°C貯蔵は2009年産、-3°C貯蔵は2010年産りん茎での結果
 テンパリング乾燥：昼間は約34°C加温・通風、夜間は無加温・通風条件で乾燥

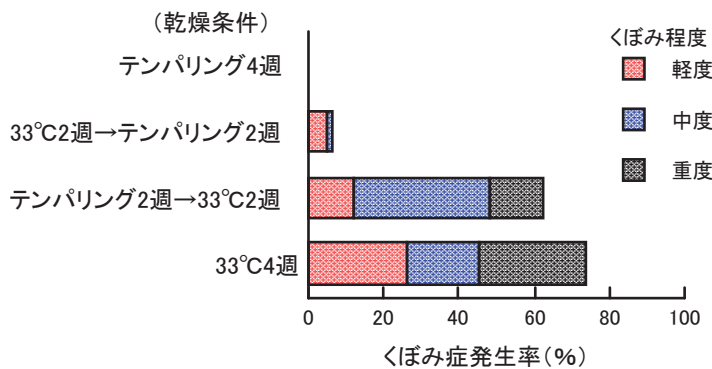


図32 テンパリング乾燥と連続加温乾燥の組み合わせがくぼみ症の発生に及ぼす影響

収穫→4週間乾燥→約8か月間-3°C貯蔵→出庫→15°Cで4週間保管→調査
 2009年産ニンニクでの試験結果

表7 くぼみ症の発生に及ぼす乾燥期間の影響

乾燥条件	くぼみ症発生率 (%)		試験年	標準乾燥の日数
	標準乾燥 ^{※1}	延長乾燥 ^{※2}		
32°C一定	3	81	2009	21
33°C一定	43	97	2007	21
35°C一定	75	100	2009	21
テンパリング ^{※3}	0	18	2007	27
テンパリング	0	0	2008	25
テンパリング	0	0	2009	28

※1 盤茎の水分含量が20%以下になるまで乾燥

※2 標準乾燥より乾燥期間を7~10日間延長

※3 昼間は約34°C加温・通風、夜間は無加温・通風条件で乾燥

収穫→乾燥→2°Cで7~9か月間貯蔵→出庫→15°Cで4週間保管→調査

○ニンニク生産者の乾燥条件と-2℃貯蔵後のくぼみ症の発生を調査した試験では、乾燥中の平均温度が31℃以上の場合に、くぼみ症の発生率が高まる結果が得られている（図33）。

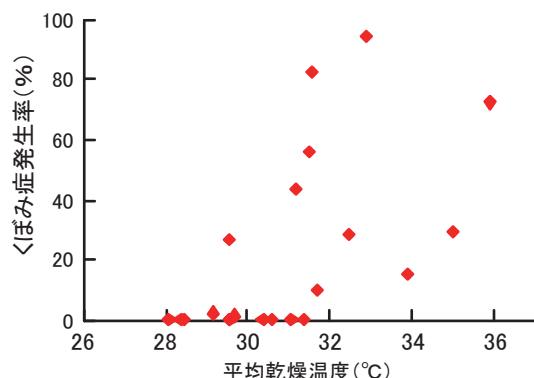


図33 乾燥中の平均温度と貯蔵後のくぼみ症発生との関係

収穫→乾燥→約7か月間-2℃貯蔵→出庫→15℃で4週間保管→調査
試験には2005～2010年に青森県内の農家で収穫・乾燥したりん茎を使用

(イ) 煮え症状

- 乾燥時の高温遭遇によって発生する障害。りん片の一部または全部が薄黄色～橙色に透明化する（症状は凍結とほぼ同じ）。
- 障害の程度が重い場合は、乾燥終了時点で症状が認められる。乾燥終了時点で正常でも、貯蔵後に症状が現れる場合もある。
- 発生温度の詳細な検討は行っていないが、40℃前後に連続的に遭遇すると発生する。特に、乾燥初期の高温遭遇の影響が大きいと思われる。
- 一時的な高温遭遇では発生しない。例えば、高温日に乾燥施設内の最高気温が40℃を超えるような場合でも、遭遇時間が短ければ煮え症状は発生しない。

(ウ) 外皮の色調（図34）

- テンパリング乾燥したりん茎と連続加温条件で乾燥したりん茎を比較すると、乾燥仕上がり時の外皮の色調に違いはほとんど認められない。
- 自然乾燥したりん茎では、テンパリング乾燥や連続加温乾燥したりん茎に比べて、乾燥仕上がり時の外皮の色がくすむ傾向がある。

(エ) その他の症状

腐敗や病害 乾燥期間が短く、乾燥が不十分な場合に発生しやすい。

凍結 乾燥期間が短く、乾燥が不十分なりん茎では、-2℃より低い温度で貯蔵すると、凍結が発生する可能性がある（図35）。

ふかふか球 外皮や保護葉とりん片との間に隙間が生じる障害。高温条件で長期間乾燥したりん茎で発生しやすい。症状は貯蔵後に現れる。-2℃より低温での貯蔵も発生を促進する。

根や芽の伸長 仕上がり後も乾燥を延長する、あるいは、乾燥終了後に冷蔵庫への入庫が遅れると、出庫後の根・芽の伸長が促進される傾向がある（図36）。



連続加温乾燥 (34°C)

テンパリング乾燥 (34°C/24°C)

自然乾燥

図34 異なる条件で乾燥したニンニクリン茎

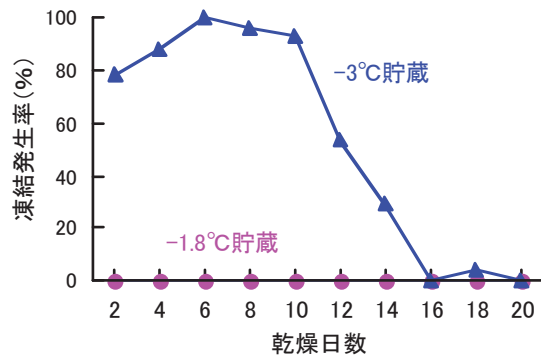


図35 凍結の発生に及ぼす乾燥日数と貯蔵温度の影響

収穫→35°Cで2~20日間乾燥→約9か月間貯蔵
2006年産ニンニクでの試験結果

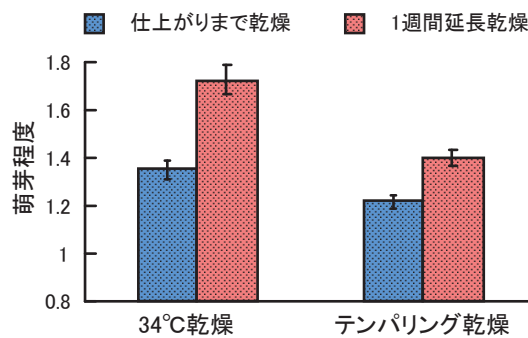


図36 乾燥条件および乾燥期間が在庫後の芽の伸長に及ぼす影響

収穫→乾燥→8か月間-2°C貯蔵→出庫→15°Cで4週間保管→調査
萌芽程度：芽の長さを側球の長さで割った値
図中の縦線は標準誤差
2010年産ニンニクでの試験結果

3. 貯蔵

(1) ニンニクリン片の萌芽・発根と商品価値

- ・収穫時には芽は自発休眠の状態にあり、伸長を停止しているが、強制乾燥したりん茎を常温で保管すると、8月下旬頃に芽は伸長を開始する。芽は徐々に伸長し、10月になるとりん片の先まで達する。芽がりん片の先から突き出した状態が「商品としての萌芽」であり、クレームの対象となる(図37)。
- ・根は8月下旬頃に盤茎から発生し伸長を始めるが、この時点では根はまだりん片内にとどまっている。伸長した根が9月上旬頃にりん片の表面まで達すると、透き通った点として観察されるようになる。さらに伸長し、りん片の表面から2~3mm突出すると、根が外皮を押し離して隙間を作り、りん茎から露出する。この状態が「商品としての発根」である。根がりん茎から露出すると、こすれて腐敗が発生しやすい。腐敗はりん片内部まで進行することがあるため、発根によってりん茎の商品価値は低下する。



図37 萌芽・発根と商品価値

(2) 具体的な方法

(ア) 短期貯蔵

- ・日射が少なく、温度差の少ない乾燥した倉庫などで、常温条件で貯蔵する。
- ・常温での貯蔵では、10月になるとりん茎から発根が始まり、ほぼ同時に萌芽も始まる。従って、常温での貯蔵は10月頃までに限られる。10月以降に出荷するためには、前もって乾燥終了直後から-2℃で貯蔵する必要がある。

(イ) 長期貯蔵

- ・温度は約-2℃、相対湿度は80~85%^{*}で貯蔵する([参考2]- (1) 参照)。この条件で、少なくとも10か月間(8月から翌年6月まで)貯蔵開始時の品質をほぼ維持することができる。

^{*}貯蔵湿度が高いと、貯蔵中のりん茎重の減少は少なくなるが、貯蔵終了後に根や芽が伸びやすくなる傾向がある([参考2]- (1) 参照)。青森県では、貯蔵開始から1か月間ほどの期間は相対湿度70%程度、その後は相対湿度80~85%程度で貯蔵している例が多い。農家によってニンニクの乾燥程度に若干のばらつきがあるため、複数の農家のニンニクを貯蔵する施設では、貯蔵初期の相対湿度を低めにしている。このように管理すると、乾燥不足による障害が発生しにくいとされている。

(補足) 温度制御について

- ① 貯蔵庫内の温度を厳密に-2℃で制御することは困難であること、また、貯蔵温度が-2℃より低くなると障害発生の危険性が高まることから、実際には、貯蔵庫内の平均温度が-1.5℃~-2.0℃の範囲に入るように制御するとよい。

② 試験では、貯蔵庫内の温度は平均値±1℃の範囲内で制御された。この程度の制御幅であれば、実用上の問題は生じていない。但し、設定温度と実際の温度とのずれや貯蔵庫内の温度むらには注意する必要がある。

- ・りん茎はメッシュコンテナなどに8割程度入れ、無被覆の状態に貯蔵する。透水性のないフィルムなどで被覆すると発根が早まる。
- ・乾燥終了したりん茎は速やかに貯蔵庫に入庫する。入庫が遅れると、貯蔵中および出庫後の発根・萌芽が早まる。

(ウ) 貯蔵後の作業

- ・貯蔵庫から出庫後、または出庫直後に高温処理をした後に、最終調製を行う。
- ・最終調製では、盤茎部をリーマーで磨き、圧縮空気で土や汚れた外皮を取り除き、茎の長さ（りん茎の上に出た部分の長さ）を約2cmにする。
- ・穴のない袋で密閉すると発根や腐敗が助長されるため、包装、梱包資材は網袋や段ボールなど水分がこもらないものを選ぶ。ニンニク用の袋が開発されている。

【参考2】貯蔵に関する研究資料

(1) 貯蔵条件と品質との関係

○りん茎の乾燥が終了する8月から翌年の6月までの約10か月間、根・芽の伸長を停止するには、 -1°C 以下での貯蔵が必要である(図38)。

○貯蔵中の凍結を回避するには、 -3°C 以上での貯蔵が必要である(図39)。

(補足) 乾燥が不十分な場合には、これより高い温度で凍結が生じる可能性がある。

○ -3°C 以下の貯蔵では、りん片表面が陥没するくぼみ症や変色などの障害が発生しやすい(図40)。

(補足) 貯蔵前にテンパリング乾燥を行った場合の結果である。連続加温条件で乾燥した場合には、 -3°C より高い貯蔵温度でもくぼみ症などの障害が発生しやすい([参考1] - (5) 参照)。

○貯蔵終了後の芽の伸長は、貯蔵温度が低いほど抑えられる(図41)。

○これらの結果から、ニンニクリん茎の長期貯蔵には -2°C 条件が最も適すと考えられる(表8)。

(補足) 対象品種は「福地ホワイト」である。他の品種での確認は行っていない。

○貯蔵湿度に関する詳しい検討は行っていないが、以下の2つの傾向が認められる。

- ・貯蔵中のりん茎重の減少程度は、貯蔵湿度が高いほど小さい(図42)。
- ・貯蔵終了後の根・芽は、貯蔵湿度が高いほど伸びやすい(図43)。

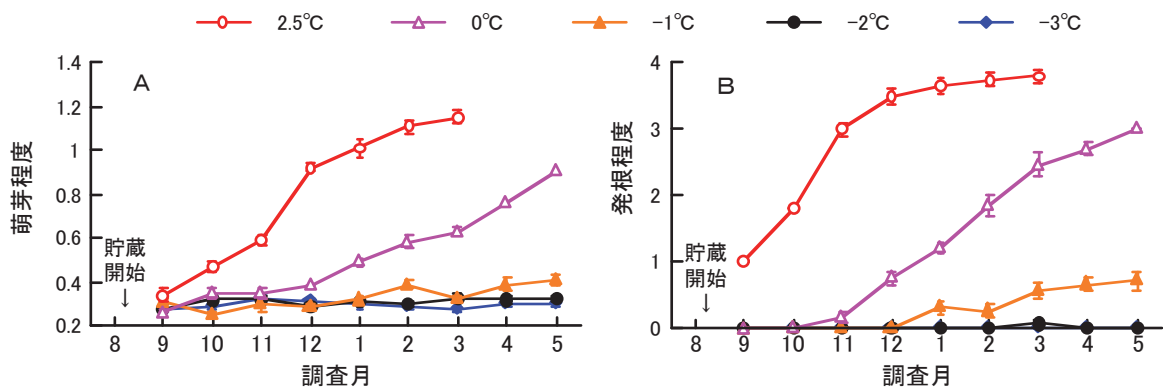


図38 貯蔵中の芽 (A) および根 (B) の伸長に及ぼす貯蔵温度の影響

萌芽程度：芽の長さを側球の長さで割った値

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5mm以上

図中の縦線は標準誤差

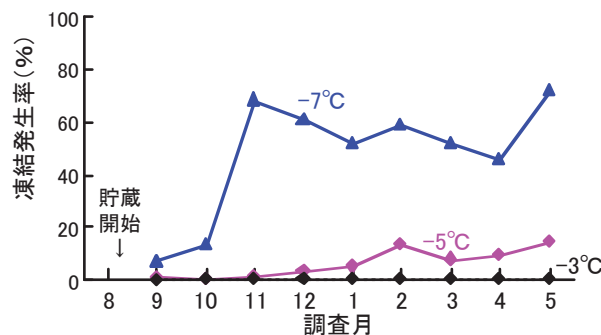


図39 凍結の発生に及ぼす貯蔵温度の影響

8月に貯蔵開始→9月から毎月出庫→4週間保管後に調査

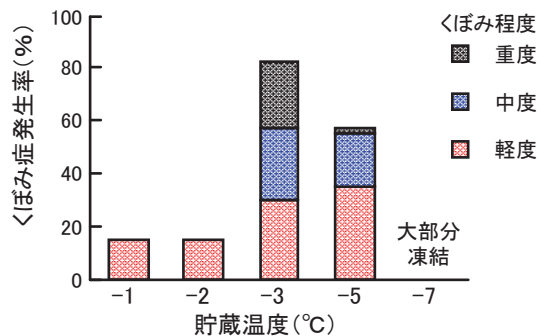


図40 くぼみ症の発生に及ぼす貯蔵温度の影響

8月に貯蔵開始→1月出庫→4週間保管後に調査
テンパリング乾燥したりん茎を貯蔵した

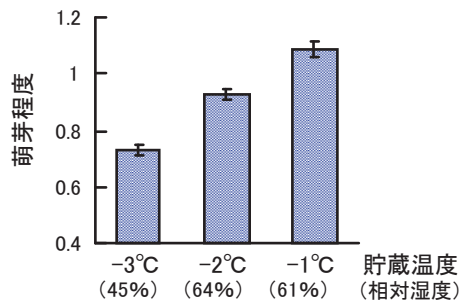


図41 貯蔵終了後の芽の伸長に及ぼす貯蔵温度の影響

8月に貯蔵開始→3月出庫→4週間保管後に調査
図中の縦線は標準誤差
萌芽程度は図38参照

表8 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 低温障害の回避	×	×	○	○	—

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

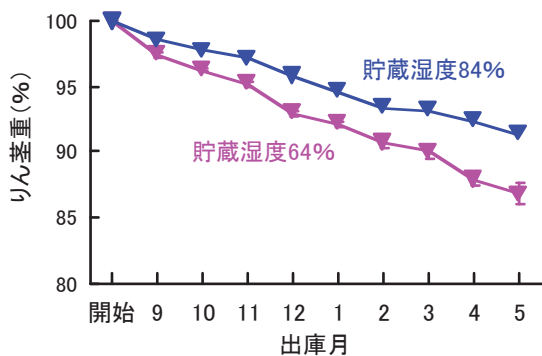


図42 貯蔵中のりん茎重と貯蔵湿度との関係

8月から翌年5月まで平均相対湿度64%、84%で-2°C貯蔵
貯蔵開始時のりん茎重を100%とする
図中の縦線は標準誤差

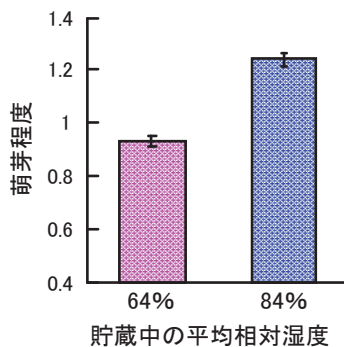


図43 貯蔵終了後の芽の伸長に及ぼす貯蔵湿度の影響

約10か月間-2°C貯蔵→出庫→15°Cで4週間保管→調査
図中の縦線は標準誤差
萌芽程度は図38参照

(2) ニンニクリン茎の休眠特性

- 植物の休眠とは、分裂組織を含む植物器官の生長が一時的に停止または停滞することである。
- 休眠には、自発休眠、他発休眠、相関休眠がある (表 9)。
- 収穫時のニンニクリン茎は自発休眠の状態にあり、温度や水分が適当な条件でも根や芽は伸長しない。収穫後の乾燥によってりん茎は自発休眠から急速に覚醒する (図 44)。
- 休眠に及ぼす温度の影響

自発休眠 (図 45) 高温および5°C前後の低温条件は、自発休眠からの覚醒を早める。15°C前後の涼温および氷点下条件は、自発休眠からの覚醒を遅らせる。

強制休眠 (図 46) 自発休眠から覚醒したりん茎では、根の伸長は10°C前後、芽の伸長は15°C前後で最も促進され、これらの温度より低温および高温になるほど抑制される。

- りん茎の呼吸速度は、30°C前後の高温で低く、氷点下条件で特に低い。また、10~20°Cの涼温および35°Cを超える高温条件で高い(図 47)。呼吸速度が低い状態ではりん茎の消耗が抑えられる。

- りん茎の自発休眠、他発休眠、呼吸速度と温度との関係から、りん茎の長期貯蔵には氷点下条件が最も適すと考えられる (表 10)。さらに詳細な検討により、氷点下条件の中でも-2°Cが長期貯蔵に最も適することが明らかになっている ([参考2] - (1) 参照)。

表 9 休眠の種類と特徴

休眠の種類	生長停止の原因
自発休眠	休眠器官の生理的な要因
他発休眠	温度、光、水などの環境条件
相関休眠	休眠器官以外の器官に由来する生理的な要因

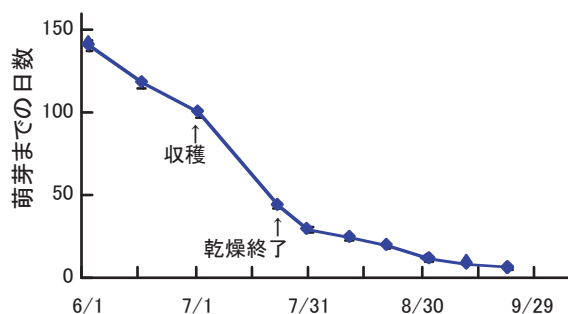


図 4 4 収穫前後のりん茎の自発休眠の消長
側球を培地に植え、15°Cで萌芽までの日数を調査
(萌芽まで日数が長いほど自発休眠は深い)

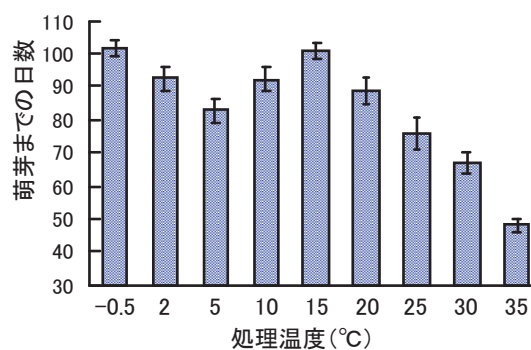


図 4 5 自発休眠の覚醒に及ぼす温度の影響
収穫→3 週間の温度処理→萌芽まで日数を調査
図中の縦線は標準誤差

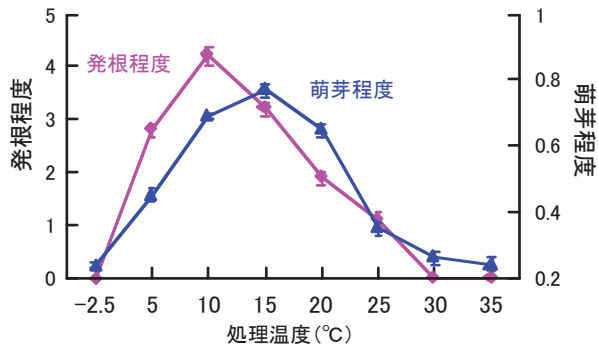


図 4.6 他発休眠に及ぼす温度の影響

収穫→乾燥→6週間の温度処理→調査
 発根程度、萌芽程度は図 38 を参照
 図中の縦線は標準誤差

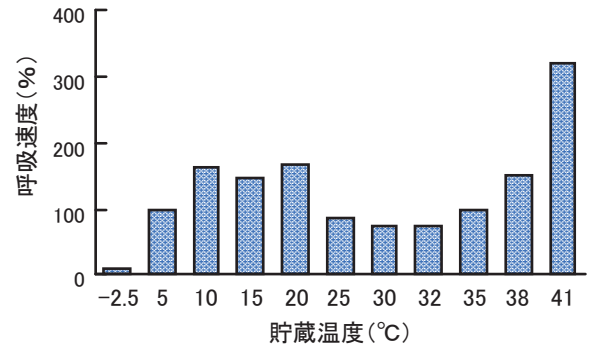


図 4.7 ニンニクの呼吸速度に及ぼす温度の影響

収穫→乾燥→貯蔵→貯蔵4週後の呼吸測定
 35°C区の呼吸速度を100%とする

表 1.0 ニンニクリン茎の休眠、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

4. 出庫後の発根・萌芽を抑制する高温処理

ニンニクの根・芽は -2°C 貯蔵中には伸長を停止しているが、貯蔵庫から出庫後には伸長を再開する。出庫後のりん茎は、最終調製の後、袋詰め、ダンボール梱包されて JA などへ集荷され、市場、小売店などを通して一般消費者に販売される。出庫から消費までにかかる時間を考慮すると（図 48）、出庫後 4 週間は品質を確保したい。

ここでは、出庫後の流通・販売過程における根・芽の伸長を抑制する高温処理法について説明する。高温処理法はもともと青森県内の JA で開発された技術である。以下に示した処理法はそれをもとに、伸長抑制効果および安全性をより高めたものである。なお、高温処理には必要量のりん茎を入れた状態で、正確な温度制御ができる処理装置（施設）が必要である。

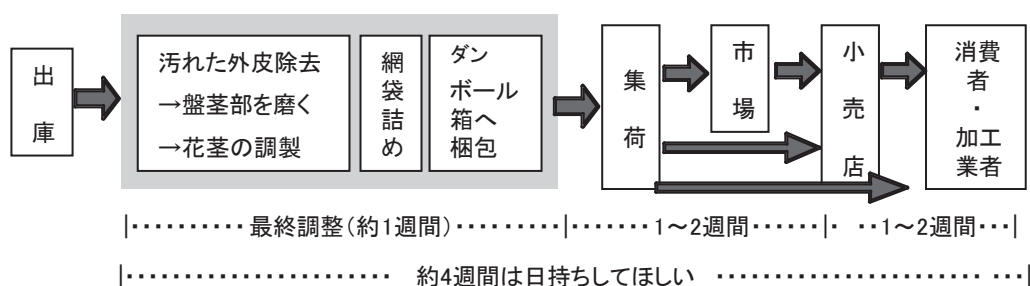


図 4 8 りん茎の出庫から消費までの流れと時間経過

(方法)

①ニンニくりん茎を -2°C 貯蔵庫から出庫し、高温処理装置に入れる。

②加温を開始する。

(補足) 加温開始までに時間が経過すると、処理効果が弱まる場合があるため（[参考 3] - (4) 参照）、出庫から加温開始までの作業は速やかに行う。

加温例（図 49）

選定試験では、予め 35°C で運転した処理装置にりん茎を入れ、装置内温度を 3 時間で処理温度まで上げる設定とした。これらの設定は実際の使用条件に応じて、適宜、決める。

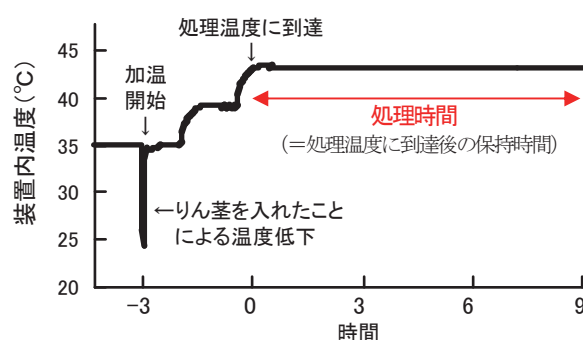


図 4 9 高温処理時の装置内の温度

③表 11 を参考に高温処理を行う。

(補足) 高温処理時間は、以下に示した理由から、実際の使用状況に合わせて微調整する。

④処理終了後、りん茎を取り出す。

(補足) 取り出し前後の温度変化による品質低下は生じないので、終了直後の取り出しが可能である。

(高温処理時間の微調整が必要な理由)

高温処理の効果は、厳密には処理中の装置内温度ではなく、りん茎の内部温度によって決まる。高温処理中のりん茎の内部温度は装置内温度よりも遅れて上昇し、最終的には処理温度にほぼ近い

温度で平衡状態となる（〔参考3〕－（1）参照）。選定試験では、りん茎の内部温度（中央部、深さ1cm）は装置内が処理温度に達してから、約2時間遅れて平衡状態に達したが（〔参考3〕－（1）参照）、処理するりん茎量や装置の加温能力などが変われば、りん茎の内部温度の上昇の仕方は選定試験とは異なる可能性がある。

従って、高温処理を行う際には、装置内とりん茎内部の温度のずれをチェックしておく必要がある。ずれの程度が選定試験におけるずれの程度（＝表11の備考欄Aに示した時間）より大きい場合は、処理時間を延長し、りん茎内部が表11の備考欄Bに示した時間、処理温度に近い条件で維持されるように調整する。

表11 処理時期別の高温処理条件

処理時期	処理温度・時間 ^{※1} (処理装置内の温度)	処理温度と発根抑制 効果との関係	備考A	備考B		
			選定試験 での時間差 ^{※2}	りん茎内部温度 の維持時間 ^{※3}		
9月 下	43℃・12-18時間	時期Ⅰ 9月下旬～12月上旬 39℃ < 41℃ < 43℃ (43℃処理が最も効果的)	約2.5時間 (43℃処理)	9.5-15.5時間		
上						
10月 中	43℃・9-12時間					
下						
11月 上	41℃・9-12時間			時期Ⅱ 12月中旬～2月上旬 39℃ < 41℃ ≒ 43℃ (41℃処理の効果が高まり、 43℃処理と同等になる)	約2時間 (41℃処理) (39℃処理)	6.5-9.5時間
中						
12月 下	41℃・6-9時間					
上						
1月 中	41℃・4-9時間 または 39℃・6-9時間	時期Ⅲ 2月中旬以降 39℃ ≤ 41℃ ≤ 43℃ (処理温度による効果の 違いは小さい)	約2時間 (41℃処理) (39℃処理)			7-10時間
下						
2月 上	41℃・4-9時間 または 39℃・6-9時間					
中						
3月 下	41℃・4-9時間 または 39℃・6-9時間					
上						
4月 中	41℃・4-9時間 または 39℃・6-9時間					
下						
5月 上	41℃・4-9時間 または 39℃・6-9時間					
中						
6月 下	41℃・4-9時間 または 39℃・6-9時間					
上						

※1 処理時間は装置内が処理温度に達した後の保持時間

※2 選定試験において、装置内が処理温度に達してから、りん茎内部がそれに近い平衡温度に達するまでに要した平均時間

※3 りん茎内部が処理温度に近い温度条件で維持される時間

(高温処理の特徴と注意点)

- ①高温処理の対象品種は「福地ホワイト」である。他の品種での効果の確認は行っていない。
- ②表 11 に示した高温処理は、 -2°C 貯蔵終了後の根と芽の伸長抑制に有効であるが、例外として、早い時期の処理（11 月以前）では、芽の伸長抑制効果はみられない（[参考 3] - (2) 参照）。
- ③早い時期の高温処理（11 月以前）では、伸長抑制に有効な温度範囲が狭いため、温度を厳密に守って処理を行う必要がある。
- ④処理時期が遅くなると、伸長抑制に有効な温度範囲が広がる。また、伸長抑制に有効な処理時間が短縮される。
- ⑤根・芽の伸長は $40\sim 43^{\circ}\text{C}$ 付近の温度処理で強く抑制される。処理温度がこれより高くなると、伸長抑制効果は一旦弱まり、さらに高温になると再び高まる（[参考 3] - (3) 参照）。
- ⑥高温処理の効果は処理時間が長いほど強い傾向がある。この傾向は、特に、早い時期の処理で顕著にみられる。
- ⑦ 50°C 前後の高温処理では、高温障害が発生する可能性がある（図 50）。
- ⑧高温処理の対象は、収穫・乾燥後に -2°C で貯蔵したニンニクリン茎である。りん茎の貯蔵条件は高温処理の効果に影響する。常温条件で貯蔵したりん茎には高温処理の効果はないと考えられる。
- ⑨高温処理を行ったりん茎を、再び、 -2°C で貯蔵することも可能である（貯蔵途中で高温処理を行った場合には、再出庫時の高温処理は行わない）。
- ⑩遅い時期の高温処理（1 月以降）では、芽の先端付近に赤紫色の着色が生じる場合がある（図 51）。

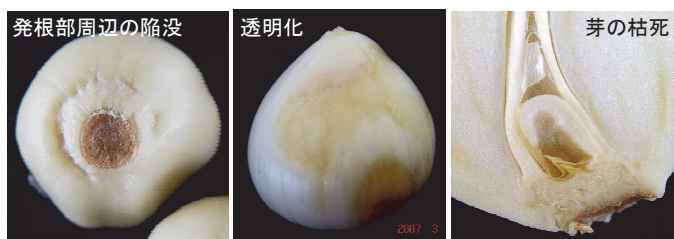


図 50 高温障害の例



図 51 芽の着色

[参考3] 高温処理に関する研究資料

(1) 高温処理時の装置内温度とりん茎の内部温度

高温処理の効果は、厳密には処理中の装置内温度ではなく、りん茎の内部温度によって決まる。ここでは、高温処理時の装置内温度とりん茎の内部温度の測定結果を紹介する。

(試験方法) -2°C 貯蔵庫からりん茎を出庫し、直ちに、予め 35°C で運転しておいた処理装置に入れた。装置内を3時間かけて処理温度 (39 、 41 、 43°C) まで加温し、その後、12時間処理温度を維持した。庫内温度とりん茎の内部温度を測定した。内部温度はりん茎8個について、りん茎の中央部に約1cmの深さでセンサーを差し込み測定した。

○加温中のりん茎の内部温度は装置内温度より遅れて上昇し、最終的には処理温度にほぼ近い平衡状態に達した (図52)。

○りん茎の内部温度の上昇には個体によるばらつきがみられた (図52)。

○装置内温度が処理温度に達してから、りん茎内部がそれに近い平衡温度に達するまでの平均時間は、 39°C 処理では2時間7分、 41°C 処理では1時間54分、 43°C 処理では2時間44分であった (表12)。

○装置内温度が処理温度に達してから、りん茎内部がそれに近い平衡温度に達するまでの時間には、最短のりん茎と最長のりん茎で1.5時間程度の違いが認められた (表12)。りん茎内部が平衡温度に達するまでの時間は、処理するりん茎量や装置の加温能力などによっても変わると考えられる。

○平衡状態におけるりん茎の内部温度は、装置内温度と同じかわずかに低かった (表12)。

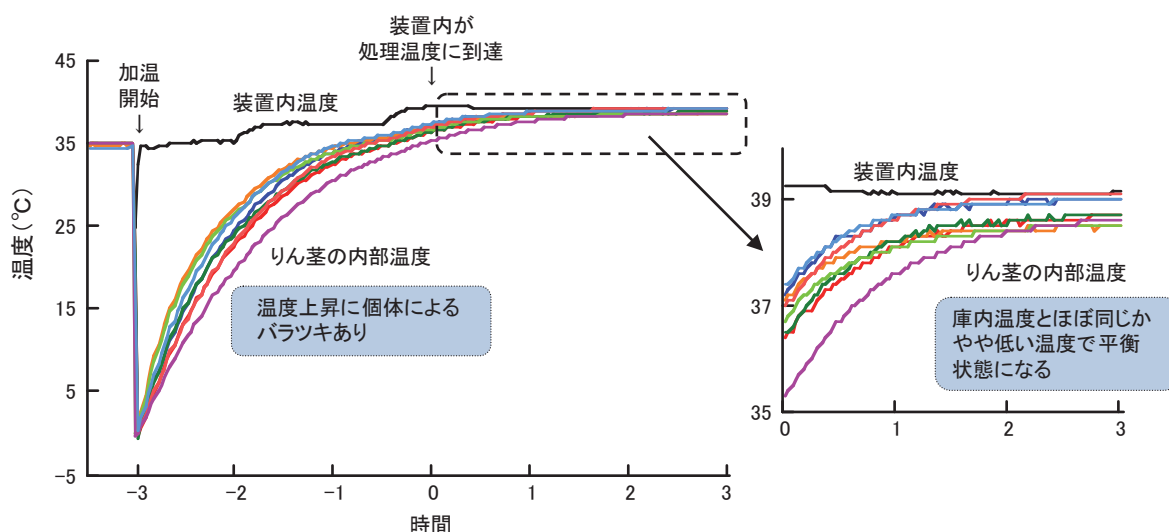


図52 高温処理開始時の装置内温度とりん茎の内部温度の変化 (39°C 処理)

表 1 2 高温処理中の装置内温度とりん茎内部温度との関係

りん茎	装置内とりん茎内部の温度上昇の時間差 [※]			りん茎内部の平衡温度 (°C)		
	39°C処理	41°C処理	43°C処理	39°C処理	41°C処理	43°C処理
1 短个体	1:30	1:08	1:58	38.5	40.6	43.2
2	1:46	1:20	2:10	39.0	40.8	43.1
3	1:46	1:22	2:20	39.0	40.9	42.4
4	2:10	1:54	2:36	38.6	41.0	42.6
5	2:12	2:04	2:44	39.2	41.1	42.7
6	2:20	2:04	3:14	39.2	41.1	43.0
7	2:24	2:24	3:14	38.5	40.7	42.9
8 長个体	2:50	2:56	3:40	38.9	40.8	42.9
平均	2:07 (約2時間)	1:54 (約2時間)	2:44 (約2.5時間)	38.9	40.9	42.8
高温処理時間中の装置内の平均温度 (°C)				39.2	40.9	43.1

[※]装置内が処理温度に達してから、りん茎内部がそれに近い平衡温度に達するまでの時間

(2) -2°C貯蔵終了後の根・芽の伸長

○出庫後の芽の伸長は、出庫時期が遅いほど促進される傾向がある (図 53A)。一方、出庫後の根の伸長には出庫時期による違いはあまりみられない (図 53B)。

→11月以前の高温処理には芽の伸長抑制効果がみられないが、この時期に出庫するりん茎はもともと出庫後の芽の伸長が遅い特性を示す。従って、この時期の高温処理による芽の伸長抑制効果の低さは、実用的に大きな問題にならないと考えられる。

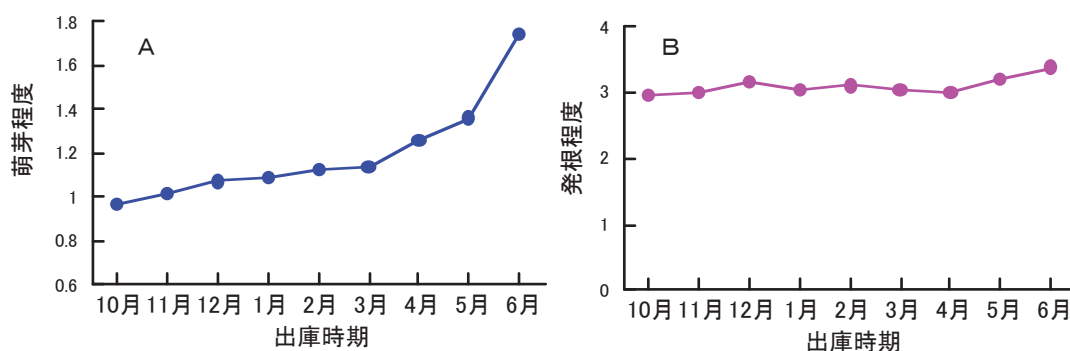


図 5 3 -2°C貯蔵終了4週後の芽 (A) および根 (B) の伸長に及ぼす出庫時期の影響

2009年8月上旬に貯蔵開始→10月以降毎月出庫→15°Cで4週間保管後に伸長を調査

萌芽程度: 芽の長さを側球の長さで割った値

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5mm以上

(3) 高温処理の効果と処理温度との関係

○根・芽の伸長は40~43°C付近の温度処理で強く抑制される。処理温度がこれより高くなると、伸長抑制効果は一旦弱まり、さらに高温になると再び高まる (図 54、55)。

○強い抑制効果を示すピーク温度は、処理時期によってわずかに異なる。

処理時期が早い場合 (11月以前) 43°C処理の効果が最も高い。

処理時期が遅い場合 41°C処理の効果が高まり (図 56)、43°C処理と同等か、むしろ、43°C処理より高くなる。ピーク温度は43°Cから41°C付近に変化する。

○抑制効果を示す温度範囲は処理時期によって異なる。

処理時期が早い場合 (11月以前) 43°C前後の狭い範囲の温度のみが有効である。

処理時期が遅い場合 抑制効果を示す温度範囲が広がる。

○処理時期が遅くなるほど、短時間の処理での伸長抑制が可能になる。

○50°C前後で処理を行うと、高温障害が発生する可能性がある。高温障害は処理温度が高いほど、また、処理時期が遅くなるほど発生しやすい。

○処理温度と障害発生との関係、および処理温度と伸長抑制効果との関係から、図 57 に示すように、高温処理には41°C前後 (時期によって変化) の温度が適すると考えられる。

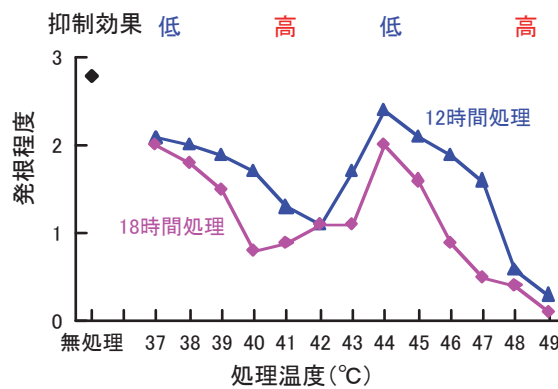


図 5 4 高温処理温度と根の伸長抑制効果との関係

2006年2月に高温処理→4週間後に根の伸長を調査
発根程度は図 53 参照

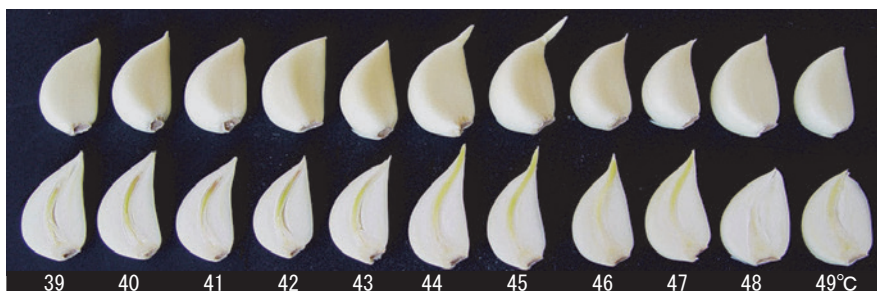


図 5 5 高温処理 4 週後の芽の伸長の様子 (39~49°C・12 時間処理)

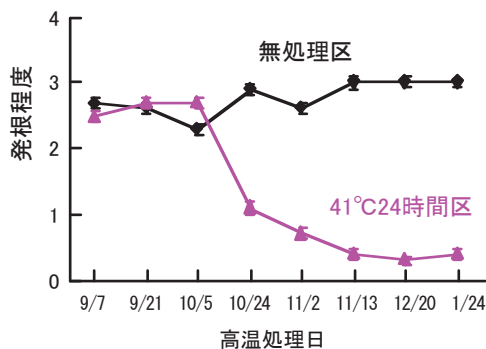


図 5 6 高温処理時期が根の伸長抑制効果に及ぼす影響

9月から1月に高温処理→4週間後に調査
発根程度は図 52 参照
図中の縦線は標準誤差

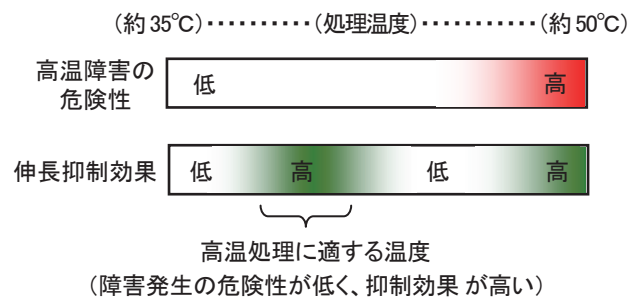


図57 伸長抑制効果と障害発生に及ぼす処理温度の影響

(4) 高温処理の効果と処理開始までの保管条件との関係

○高温処理による根・芽の伸長抑制効果は、-2°C貯蔵終了から高温処理開始までの保管条件の影響を受ける。保管条件が高温・長時間であるほど、抑制効果は弱くなる傾向が認められる(図58)。→貯蔵庫からりん茎を出庫したら、速やかに高温処理を行うことを心がける。特に、外気温の高い時期には注意する必要がある。

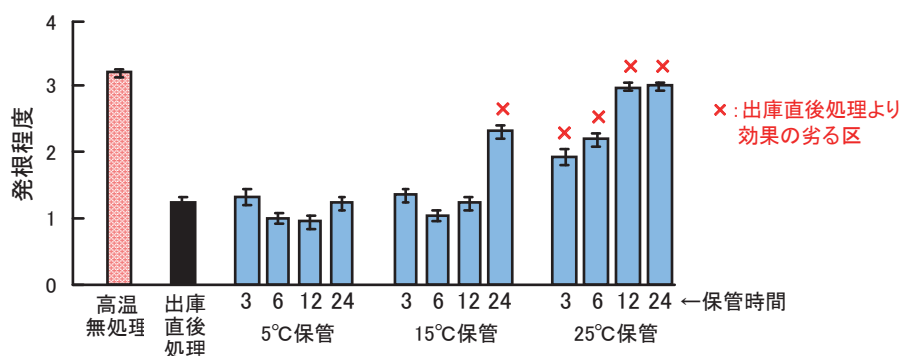


図58 高温処理開始までの保管条件が高温処理の根の伸長抑制効果に及ぼす影響

2009年12月に-2°C貯蔵庫からりん茎出庫→所定の条件で保管後に41°C12時間処理→4週間後に調査
発根程度は図53参照
図中の縦線は標準誤差

5. 参考文献

(乾燥に関するもの)

伊藤篤史・庭田英子. 2010. ニンニク収穫後乾燥時の「シート乾燥」における温度分布の特徴. 平成22年度東北農業研究成果情報.

<<http://www.naro.affrc.go.jp/org/tarc/seika/jyouhou/H22/yasai/H22yasai036.html>>

伊藤篤史・庭田英子・八谷満・山崎博子. 2012. ニンニクの収穫後の「シート乾燥」における送風方向について. 第70回農業機械学会年次大会講演要旨 p398-399.

伊藤篤史・庭田英子・八谷満・山崎博子. 2012. ニンニクの収穫後の「シート乾燥」における換気方法と仕上がりとの関係. 東北の農業気象. 56:26-27.

庭田英子・伊藤篤史・八谷満・山崎博子. 2010. ニンニクの収穫後の乾燥課程における部位別乾燥推移. 園芸学研究. 9(別2):602.

庭田英子・八谷満・山崎博子. 2010. ニンニクリン茎の収穫後の乾燥過程におけるテンパリング処理と貯蔵性. 東北農業研究 63:131-132.

庭田英子・伊藤篤史・八谷満・山崎博子. 2011. ニンニク収穫後の「シート乾燥」における乾燥方法が氷点下貯蔵後のりん茎品質に及ぼす影響. 園芸学研究. 10(別2):198.

山崎博子・庭田英子・木下貴之・矢野孝喜・長菅香織・稲本勝彦・山崎篤. 2009. 氷点下貯蔵したニンニクリン茎の品質に及ぼす貯蔵前の乾燥の影響. 園芸学研究. 8(別1):468.

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>>

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>>

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>>

山崎博子・庭田英子・矢野孝喜・長菅香織・稲本勝彦. 2012. 恒温条件での乾燥温度および期間が氷点下貯蔵後のニンニクの品質に及ぼす影響. 園芸学研究. 11(別2):555.

山崎博子・庭田英子・伊藤篤史・矢野孝喜・長菅香織・稲本勝彦. 2012. テンパリング乾燥と33℃連続乾燥の組み合わせが氷点下貯蔵後のニンニクの品質に及ぼす影響. 園芸学研究. 11(別1):475.

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にんにくの乾燥は、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>>

青森県産業技術研究推進会議. 2011. にんにくのテンパリング方式によるシート乾燥における通風方式別のシート内温度分布の特徴. 平成23年度青森県指導参考資料.

<<http://www.applenet.jp/~nouken/promote/sakumoku/yasai/yasaimokuji.htm>>

(貯蔵に関するもの)

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

- 期間貯蔵されたニンニクリン茎の品質. 園芸学会雑誌. 74(別2): 248.
- 山崎博子・矢野孝喜・長菅香織・稲本勝彦・山崎 篤・菊池昌彦・木村利幸・木下貴之. 2006. ニンニク「福地ホワイト」りん茎の長期貯蔵に適する温度条件. 平成 18 年度東北農業研究成果情報. p.179-180. <<http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/tarc/2006/tohoku06-14.html>>
- 山崎博子・菊池昌彦・木村利幸・木下貴之・長菅香織・矢野孝喜・稲本勝彦・山崎 篤. 2007. 長期貯蔵後ニンニクの品質に及ぼすりん茎の乾燥期間、貯蔵温度および貯蔵湿度の影響. 園芸学研究. 6(別2): 395.
- 山崎博子. 2007. 薬剤に依存しないニンニクの品質保持法の開発 -りん茎の長期貯蔵に適する温度条件の選定. 農流技研会報 272: 13-15. (フレッシュフードシステム 36 (秋))
- 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.

(高温処理に関するもの)

- 山崎博子・菊池昌彦・木村利幸・木下貴之・矢野孝喜・長菅香織・稲本勝彦・山崎 篤. 2006. 氷点下貯蔵後のニンニクリン茎の萌芽、発根に及ぼす高温処理の影響. 園芸学会雑誌. 75(別2): 411.
- 山崎博子・菊池昌彦・木村利幸・木下貴之・矢野孝喜・長菅香織・稲本勝彦・山崎 篤. 2007. 高温処理によるニンニクの萌芽発根抑制効果における温度感受性. 東北農業研究. 60: 211-212. <<http://to-noken.ac.affrc.go.jp/DB/index.html>>
- 山崎博子・庭田英子・木下貴之・矢野孝喜・長菅香織・稲本勝彦・山崎 篤. 2008. 氷点下貯蔵後のニンニクリン茎の萌芽、発根を抑制する高温処理条件の検討. 園芸学研究. 7(別2): 660.
- 山崎博子・庭田英子・矢野孝喜・長菅香織・稲本勝彦. 2011. 氷点下貯蔵後の発根・萌芽抑制のための高温処理におけるニンニクリン茎の温度反応特性. 園芸学研究. 10(別1): 489.
- 山崎博子・庭田英子・矢野孝喜・長菅香織・稲本勝彦. 2011. 氷点下貯蔵後のニンニクに対する高温処理の発根・萌芽抑制効果は貯蔵期間に依存して変化する. 園芸学研究. 10(別2): 589.
- 山崎博子・庭田英子・矢野孝喜・長菅香織・稲本勝彦. 2012. 氷点下貯蔵後のニンニクの発根・萌芽を抑制する高温処理効果に及ぼす処理開始前の保管条件の影響. 東北農業研究. 65: 151-152.

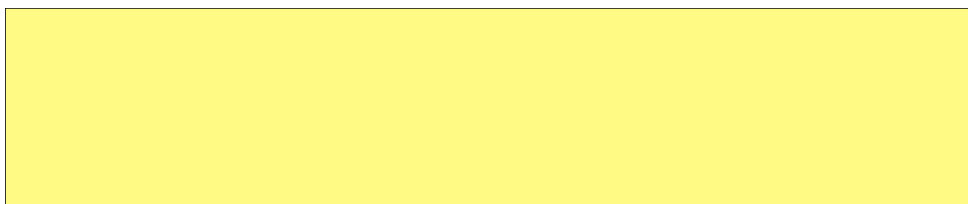
(その他)

- 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.
- 庭田英子・豊川幸穂. 2009. 寒冷地のニンニク栽培. 農業技術大系野菜編. 8-1 (追録 34) : 基 281-292.
- 山崎博子・矢野孝喜・長菅香織・山崎 篤. 2004. 貯蔵中のニンニクの芽、根の伸長および呼吸速度に及ぼす温度条件の影響. 平成 16 年度東北農業研究成果情報. p.170-171. <<http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/tarc/2004/tohoku04-50.html>>
- 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.

本資料の一部は、新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業「高品質国産ニンニクの周年安定供給を実現する収穫後処理技術の開発（課題番号 21012）」、青森県重点事業および全国農業協同組合連合会青森県本部営農対策費において得られた成果である。

転載、複製する場合は、農研機構東北農業研究センターの許可を得て下さい。

【お問い合わせ先】



○地方独立行政法人 青森県産業技術センター 野菜研究所 栽培部
電 話：0176-53-7171、F A X：0176-53-8934
所在地：〒033-0071 青森県上北郡六戸町大字犬落瀬字柳沢 91

ニンニク周年供給のための収穫後処理マニュアル

平成 25 年 3 月発行
編集・発行 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

