

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 26 日現在

機関番号：13701

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23580346

研究課題名(和文) 軟弱野菜の萎凋抑制と高速冷却を兼ね備える低温高圧ガスを用いた予冷技術の開発

研究課題名(英文) Development of precooling technique under low-temperature and high-pressure conditions for suppression of wilting and rapid-cooling vegetables

研究代表者

西津 貴久(NISHIZU, Takahisa)

岐阜大学・応用生物科学部・教授

研究者番号：40228193

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,300,000円、(間接経費) 1,290,000円

研究成果の概要(和文)：軟弱野菜用の低温高圧ガス式冷却装置の設計試作を行い、冷却速度の向上、萎凋防止の観点から実験的な検討を行った。本装置を用いた高水分ゲルの冷却では、約0.8 MPaの加圧により冷却速度が約1.5倍に増加し、水分蒸発量を約5分の1に減少させる能力があることが明らかになった。ブロッコリーを用いた実験では、蒸散に対する細胞膜抵抗が大きく、加圧による蒸散量の差は見いだせなかったが、加圧冷却による冷却速度の増加と冷却後のL-アスコルビン酸含量低下の抑制傾向が確認された。

研究成果の概要(英文)：A low-temperature-gas pressurized (LTP) precooling apparatus was designed and built, and then the performance of preventing transpiration and rapid-cooling for vegetables were examined experimentally. In cases where high-moisture gels were cooled by using this apparatus, the cooling rates were increased by 150 % and total transpirations were reduced to one-fifth by applying pressure of 0.8 MPa compared to under atmospheric pressure. From the results of cooling experiments with broccoli, their total transpirations were not changed by LTP precooling method. However, the cooling rates were also increased and the decreases in L-Ascorbic acid content during storage after LTP precooling were significantly suppressed.

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農業工学・農業環境工学

キーワード：流通管理 予冷

1. 研究開始当初の背景

国内の青果物予冷施設では、真空冷却方式、差圧冷却方式、強制通風冷却方式のいずれかが採用されている。冷却効率は良好であるものの、いずれの方式も青果物からの水分蒸発が避けられない。これを解決するために、差圧式と高湿度冷蔵庫の併用が提案されているが、容器がダンボール箱の場合、吸湿による容器強度の低下を招いたり、出庫後のカビなどの汚染被害を受けたりすることがある。

研究代表者は、青果物組織内ガスが組織の熱物性に与える影響を明らかにする研究に従事してきた。その研究過程で、高圧ガスにより成果物組織内のガス体積のみを減少させながら、熱物性値変化の測定を行ったところ、冷却速度が上昇することを見出した。その後の研究により、この冷却速度増加が雰囲気気密度の増加による青果物表面での熱伝達性の向上に起因するものであることを明らかにした。一般に蒸気圧の圧力依存性はほとんどないため、青果物からの蒸発量は雰囲気気圧にはほぼ依存しないと考えられる。このことから、低温の高圧ガスを冷蔵空間に導入することで、従来法の冷却速度を落とすことなく青果物の萎凋を抑制することが可能ではないかと着想するに至った。

2. 研究の目的

青果物の鮮度保持のために予冷操作は不可欠であるが、予冷中の萎凋やそれに伴う品質低下が問題となっている。研究代表者は、雰囲気気圧を高めることで、水分蒸発による萎凋を抑制しながら、青果物表面と雰囲気間の熱伝達量を増加させる新しい冷却方式を提案してきた。

まず本研究で提案する冷却方式の実用的な見通しを述べる。本方式では、萎凋などの品質低下を伴わないことが予想されることから、青果物の予冷施設や食品製造業界で有用であると考えられる。食品工場のパッチ式のレトルト装置に見られるように、ある程度の容積を持ち、数気圧までの耐圧性を有する第1種圧力容器はすでに実用に供されており、実用化に際しての技術的困難はさほどない。また、この技術は、加工食品の冷却に真空冷却法を使うと、パサつき感がでてしまうようなケースに適用することも考えられ、青果物の予冷のみならず、食品工業へも広く波及効果があるものと考えられる。

そこで本研究では、その優位性の確認と実用化指針を得るために、軟弱野菜を対象として、加圧条件が冷却期間の水分損失量、冷却速度、そして予冷後の外観および内部品質に与える影響を実験的に明らかにする。

3. 研究の方法

本研究は主として次の3つの課題からなる。低温高圧ガス式冷却装置の設計・試作、冷却中の軟弱野菜組織を模した実験モデルの水分損失、冷却速度の実験的検証

冷却中の軟弱野菜の水分損失、冷却速度の実験的検証

初年度は低温高圧ガス式冷却装置の設計および試作を行うとともに、容器内試料の水分モニター用に誘電率測定システムの開発を行った。2年目には低温高圧ガス式冷却装置の冷却制御と誘電率水分モニタリングシステムの改良・整備を行うとともに、モデルを用いた冷却実験を行った。3年目は、軟弱野菜組織を模したスクロース含有寒天ゲルを用いた水分損失、冷却速度試験を行うとともに、プロッコリーを用いた水分損失、冷却速度試験を行うとともに、除圧時に膜破壊の検証および貯蔵中のL-アスコルビン酸含量測定を行うことで、本方式の品質に及ぼす影響について検討を行った。

個々の課題についての進め方は下記の通り。

(1)野菜モデルとしてスクロース入り寒天ゲルを用い、試料温度に基づく冷却制御に関する実験を行った。冷熱源を液体窒素とした実験系を自作し、20 から -20 まで一定速度(最大8 /min)で冷却可能であることを確認した。これらの知見に基づき、「農産物加圧冷却用クライオスタット」の設計・試作を行った。

高圧実験の安全性を十分配慮した装置設計の結果、クライオスタットの開閉作業に極めて時間がかかることが判明した。そこで、圧力容器内での水分損失量の推定を行うために、ネットワークアナライザーを用いた反射法に基づく誘電率測定(300 MHz~6 GHz)を加圧中に行うこととし、工場での検品ラインで用いられる産業用のネットワークアナライザーを用いて誘電率の高速サンプリングが可能な測定システムの開発を行った。誘電率測定システムの測定実現性を確認するために、スクロース溶液を用いて理論凍結率を推定可能か実験的な検討を行った。

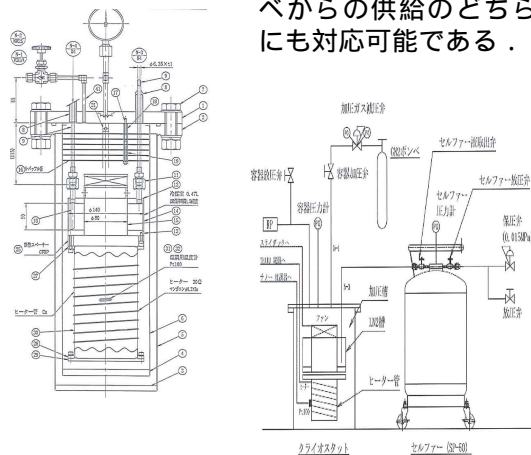
(2)スクロースを含有する寒天ゲルシートを野菜モデルとして実験に供試することとした。大気圧下と0.8 MPa加圧下で品温を25 から 5 まで低下させるのに要する時間とその間の水分蒸発量について比較検討を行った。

(3)葉菜を用いた予備実験を行ったところ、容器内での葉温測定が安定せず、組織損傷測定用のプローブの接触面積も大きく取れず測定データの変動が大きい結果となった。果肉の大きい蔬菜類を試料として用いても、本方式の有効性を判断するためには支障はないと判断し、プロッコリーを試料とすることにした。寒天ゲルの実験と同様に、大気圧下と0.8 MPa加圧下で品温を25 から 5 まで低下させるのに要する時間とその間の水分蒸発量について比較検討を行った。さらに除圧操作が組織を損傷するかどうかを明らかにするために、突き刺し式電極を用いた電気

インピーダンス測定を行った。また冷却速度の相違が、その後の貯蔵性に与える影響をみるために、L-アスコルビン酸含量の経日変化を測定した。

4. 研究成果

(1) 図1にクライオスタットの概要を示す。液体窒素を満たした銅製容器を冷熱源とし、試料室の壁に貼り付けた熱線を温熱源として、温度調節用コントローラーを用いて容器内温度を制御が可能である。圧力容器は2.4 L程度の内容積とし、耐圧はゲージ圧で最大1 MPaである。液体窒素のボイルオフによる温度調節精度の低下を防ぐために、セルフアーによる液体窒素を連続的に供給できるようにした。また破裂時の安全と断熱のために真空封じ切りの断熱容器の中に圧力容器が収納される。加圧はエアコンプレッサによる空気加圧、またはガス種に応じて高压ガスボンベからの供給のどちらにも対応可能である。



(本体) (セルフアーの接続)
図1 農産物加圧冷却用クライオスタット

容器内には耐圧、耐寒性を考慮した各種センサーを設置し、加圧中の温湿度、誘電率、風速の測定が可能である。予備実験の装置よりも大型化したため、降温速度は最大で2 /minであったが、10 mm×10 mm×40 mmの寒天ゲル温度を20 から-20 まで時間に対してリニアに変化させることが可能であった。ネットワークアナライザーを用いてプローブ反射法により測定される複素誘電スペクトル(300 MHz - 6 GHz)より水分を推定することとした。水分測定の可能性を検討するために、濃度の異なるスクロース水溶液を凍結させ、氷結率の違いにより、未凍結の部分の水分量を推定することとした。高温プローブ(直径6 mm)を底面に装着した2.5 mL容量のシリコン製セルに、スクロース水溶液(濃度20,30,40%) 1 mLを注入し、液体窒素を冷熱源とするクライオスタット内で-2 /minの降温速度で試料を凍結した。試料温度が設定温度(-1.8 ~ -15)に到達後40分間恒温保持して平衡状態にした。その間、得られた測定データを Havriliak-Negami 式で近似し、各パラメーターを算出した。PLS 回帰

分析を行ったところ、標準予測誤差は4.10%、 $R^2=0.956$ (n=13)で未凍結水分量の推定ができることが判明した(図2)。氷の誘電率は液体状態の水の十分の一以下であり、凍結率を予測できることから、未凍結時の水分変化量も本手法から推定することが可能であると考えられる。

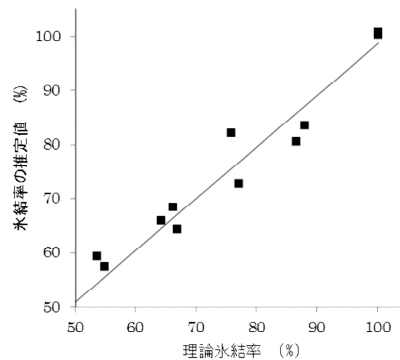


図2 スクロース水溶液の理論氷結率と誘電測定による氷結率の推定値

(2) 各種予備実験を行い、操作性の観点からスクロースを含有する寒天ゲルシートを野菜モデルとして実験に供試することとした。大気圧下と0.8 MPa加圧下で品温を25 から5 まで低下させるのに要する時間とその間の水分蒸発量について比較検討を行った。加圧源として乾燥窒素を用いるために、容器内雰囲気恒湿を意図して容器底部に飽和NaCl水溶液(75%RH)で満たしたシャーレを設置した。図3に大気圧下および0.75 MPa下で寒天ゲルを冷却中のゲル温度の経時変化の一例を示す。加圧下の冷却速度が増加している。約0.8MPa加圧により、冷却速度は平均して約1.5倍、水分蒸発量は5分の1に減少できることが確認された。

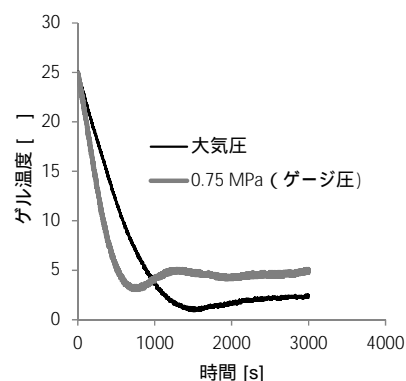


図3 大気圧下および0.75 MPa加圧下で冷却中の寒天ゲル温度の経時変化

(3) ゲル実験と同様の加圧・温度条件とし、貯蔵性の効果を見るためにL-アスコルビン酸含量の変化の測定を行った。ゲルと同様に加圧により冷却速度の増加効果が認められた。水分蒸発については加圧の有無による有意差は認められなかった。L-アスコルビン酸含量については、除圧速度による違いは見ら

れたものの、貯蔵中のL-アスコルビン酸含量減少は加圧冷却により抑制の効果がみられた。加圧冷却では、除圧時に組織損傷が起こりやすいことが顕微鏡により観察されたため、除圧速度を変えて電気インピーダンス測定を行ったところ、除圧速度が速いほど直列等価抵抗 R_s とリアクタンス X の cole-cole 円弧 (10 Hz - 100 kHz) の径が大きくなる結果を得た。

(4) 総括

軟弱野菜用の低温高压ガス式冷却装置の設計試作を行い、冷却速度の向上、萎凋防止の観点から実験的な検討を行った。本装置を用いた高水分ゲルの冷却では、約 0.8 MPa の加圧により冷却速度が約 1.5 倍に増加し、水分蒸発量は5分の1に減少させる能力があることが明らかになった。ブロッコリーを用いた実験では、蒸散に対する細胞膜抵抗が大きく、加圧による蒸散量の差は見いだせなかったが、加圧冷却による冷却速度の増加と冷却後の品質劣化の抑制傾向が確認された。蒸散しやすい葉菜類では加圧による蒸散量の抑制効果が出てくるものと考えられる。除圧時の組織損傷の指標として電気インピーダンス測定を行ったが、その結果が予想と逆の傾向を示した。この点に関する再実験の結果が出次第、学術論文への投稿作業に取り掛かる予定である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 0 件)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

西津 貴久 (NISHIZU TAKAHISA)

岐阜大学・応用生物科学部・教授

研究者番号：40228193

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：