

平成 21 年 5 月 12 日現在

研究種目：基盤研究(B)
 研究期間：2006～2008
 課題番号：18380152
 研究課題名（和文） 音響法による最終糖度予測情報に基づくキウイフルーツ
 の流通管理に関する研究
 研究課題名（英文） A feasibility study on distribution management of kiwifruits
 based on prediction of sugar content by using acoustic technique.
 研究代表者
 西津 貴久 (NISHIZU TAKAHISA)
 岐阜大学・応用生物科学部・准教授
 研究者番号：40228193

研究成果の概要：音響共鳴を利用した高速密度測定装置を新規開発した。これにより収穫直後にキウイフルーツ密度の全数測定が可能になり、密度と密接な関係にある追熟後最終糖度を個体ごとに予測することが可能となった。密度の差異が熟度進行に及ぼす影響は見られなかったが、収穫後に一定の低温貯蔵期間をはさむと、密度は高いにも関わらず最終糖度が予測より低くなる可能性が示唆された。更なる検証が必要であるが、流通においては、高密度果実から出荷すべきであり、密度と貯蔵履歴を十分考慮する必要があることが明らかになった。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	9,300,000	2,790,000	12,090,000
2007年度	2,800,000	840,000	3,640,000
2008年度	2,900,000	870,000	3,770,000
年度			
年度			
総計	15,000,000	4,500,000	19,500,000

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：キウイフルーツ，密度，最終糖度予測，音響法，流通管理

1. 研究開始当初の背景

キウイフルーツは、エチレン処理による追熟処理を経て出荷されるが、最終的に店頭に並ぶのは適熟かつ食べ頃であることは少ない。これは追熟処理中、デンプンの糖化や果肉の軟化の進行がばらつく上に、適熟果はやわらかくハンドリングが難しいために、やや未熟な段階で流通せざるを得ないことが原因である。貯蔵施設から硬い未熟果で出荷させて、小売段階で追熟させる形態がとれば理想的であるが、このためには、せいぜい温度コントロールができる程度の設備で正確に適熟・食べごろを予測できることが必要と

なる。研究代表者は、音響による非接触体積計測の研究に従事してきた。この技術を応用することにより、最終糖度と密接な関係を有する果実密度を計測し、密度別に追熟管理を行うことで、未熟果流通・小売段階での追熟処理という新しい流通形態が実現できるのではないかと着想するに至った。

2. 研究の目的

まず本研究で提案する流通形態について述べる。収穫直後に、収穫果全品についてヘルムホルツ音響共鳴法による密度の非接触計測を行い、密度の小さい、すなわちデンプ

ン含量が少なく将来甘くならないものを外品として取り除く。また、数段階の密度及び重量階級別にコンテナに収納、低温下で長期保存に入る。果肉軟化とデンプン分解についてはエチレンのない状態でもゆっくりではあるが進行するため、これを緩慢にするためにCA貯蔵をおこなう。予測される品質保持期間内にキウイフルーツを一定形状のコンテナで出荷する。小売現場で、コンテナ内のエチレン生成剤パックを開封して追熟操作に入る。出荷の際にICタグなどにそのコンテナの果実の予測される最終糖度などの情報と、温度条件を何度かに設定した場合には何日後に食べごろになって店頭に出せるかという情報を書き込んでおき、小売業者はその情報をもとにコンテナ単位で追熟計画を立てて店頭に出す。あるいは小売業者から店頭に出たいかの希望を聞いたうえで、エチレンパックを開封してから出荷することも考えられる。

こうした流通形態を目指して、本研究では次の点を明らかにすることを目的とする。

(1) 収穫直後の密度測定による糖質（デンプン及び遊離糖）の予測含量から追熟後糖度予測値の推定精度を明らかにする。その推定精度から密度計測に要求される精度を明らかにするとともにヘルムホルツ共鳴器を組み込んだ選果装置の試作を行う。

(2) 市販のエチレン発生剤と同一のケースを用いて、ガス組成管理をしない場合に、予測糖度に達するまでの期間を、密度、予測糖度、追熟温度などから推測することが可能であるかどうかを検証する。

(3) 軟化とデンプン分解はエチレン非暴露でも起こる。特にデンプン分解や軟化を抑えるCA条件と密度が糖化に及ぼす影響について検討する。

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。

- ・高速非接触密度計測装置の開発
- ・追熟進行速度に及ぼす密度の影響
- ・長期貯蔵特性に及ぼす密度の影響

11月中旬のキウイフルーツ‘ハイワード’収穫時期までに密度計測装置の設計・試作・予備実験を完了し、収穫時に密度選果を行った後、選別果実を用いて、追熟実験と長期貯蔵実験を行った。さらに2年目、3年目にも、収穫までに密度計測装置の改良を行い、収穫時密度選果を経て、追熟・貯蔵実験を行い、別条件のテストと実験結果に及ぼす年度間差異・圃場間差異の検討を行った。個々の課題についての進め方は下記の通り。

(1) 研究代表者らがすでに開発しているヘルムホルツ共鳴現象を利用した体積測定システムをベースとして、質量同時計測と果実密

度の個体差を検出可能な高精度計測の2条件を満足する装置の設計・試作を行った。圃場での収穫時実験では、試作装置による密度測定、衝撃式非破壊硬度計による硬度測定については、全数（各年度約1500~2300個）について行い、さらに抜き取りにより水浸法による密度測定とデジタル屈折率計によるBrix値計測を行った。収穫・計測終了後直ちに3℃に予冷し、収穫時実験終了とともに果実を大学に持ち帰り追熟・貯蔵実験に供した。

(2) 追熟は内容積20Lのポリタンクに果実を約30個ずつ封入し、内部のエチレン濃度が100ppmの環境下で24時間暴露した。暴露後は一定温度に設定したインキュベータ内に静置し、設定時間ごとに果実を取り出し、HPLCによる糖度、残存デンプン量、有機酸量の測定の他、硬度、CCDカメラによる果肉色彩色度計測を行なった。

(3) 20Lのポリタンクに80個程度を封入し、ポリタンク下部よりエアポンプにて通常大気を随時通気させ、3℃設定のインキュベータ内に貯蔵した。同時に低酸素環境における貯蔵性についても検討するため、3℃-5%酸素濃度環境下に貯蔵した実験区も設定した。ポリタンク内および通気空気中の酸素濃度は、ガス試料2mLをガスタイトシリンジで採取しGCにて測定した。貯蔵期間の6ヶ月の間、適宜、各実験区につき10個ずつ果実をサンプリングし、Brix値、硬度、デンプン量および糖量を測定した。

4. 研究成果

(1)非接触密度測定装置は研究期間を通じて3つの試作機を作製した。最終試作機は、閉鎖型ヘルムホルツ共鳴器を採用し、キウイフルーツホルダーを背面懸架式の電子天秤に連結した構造とした。共鳴器のスピーカを定電流駆動アンプ(CCアンプ)に接続し、パソコンからsweep信号(約50-300Hz)を5.46秒間入力し、スピーカのコイルインピーダンスに対応する信号を検出した。この応答信号のパワースペクトルから共鳴周波数を決定した。体積既知の試料で得た校正式により体積を推定し、体積計測中に計測した質量を推定体積値で除することにより密度を決定した。装置性能及び糖度予測結果については以下の通り。

①キウイフルーツ果実体積が55~125cm³の範囲で $r^2=0.99999$ 、 $SEC=0.079$ cm³の体積推定精度が得られた。密度については、変動範囲が1.034g/cm³~1.043g/cm³で $r^2=0.882$ 、 $SEC=0.00083$ g/cm³であった。体積の場合よりも精度が低い、これは体積に比較して密度の変動割合が極めて小さいためである。実際には1.02~1.05g/cm³程度までばらつくた

め、 r^2 は0.9以上となる。

②図1に追熟後最終糖度と推定密度との関係を示す。相関係数は0.91以上と両者に高い相関があることがわかる。また、圃場、収穫年度によらず糖度－密度の関係式は同一のものが使えることが明らかとなった。

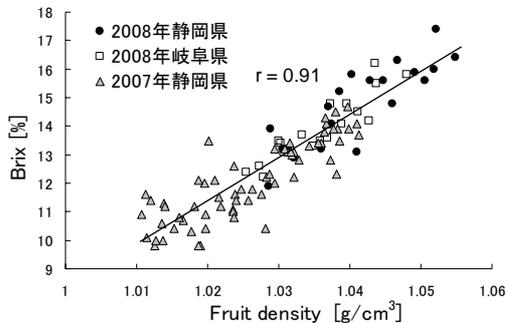


図1 キウイフルーツ密度と追熟後最終糖度

(2)密度別に選果したキウイフルーツ果実を用いて追熟実験を行った結果、以下の知見を得た。

①追熟時温度の影響

5,10,15,20,25℃の各温度帯での糖度・硬度の経日変化を測定した。低温の方が糖度の上昇速度は遅いものの、最終到達糖度ではほぼ差がなかった。硬度については、低温の方が軟化速度は遅く、最大糖度に達しても高い硬度値を維持した。

②エチレン暴露時温度の影響

低密度と高密度の果実についてエチレン暴露時の温度を15℃と25℃に変えて追熟実験を行った。当然、低温で暴露させる方が熟度進行は遅くなったが、最終糖度と最終硬度は暴露温度による差異はなく、また、密度による軟化特性にも有意差がなかった。

③貯蔵期間の影響

図2は収穫後すぐに追熟操作を行ったものと、収穫後約1ヶ月間3℃で低温貯蔵した後、追熟操作を行ったものの、収穫時果実密度と最終Brix値の関係を示したものである。1ヶ月低温貯蔵したものは、貯蔵しなかったものに比べて高密度域で到達Brix値が低くなった。更なる検証が必要であるが、高密度果実は低密度果実に比べ長期貯蔵には適していない

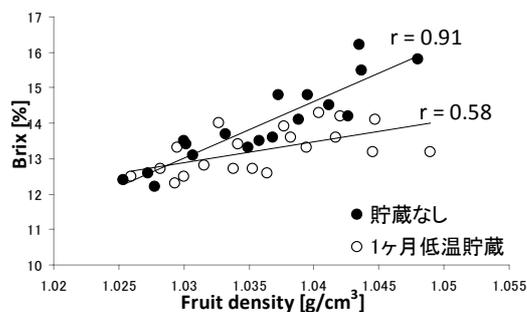


図2 低温貯蔵の有無による最終糖度の違い

可能性が示唆された。

④残存デンプン率の変化

収穫後すぐに追熟操作を行った果実については追熟後22日後にはほぼデンプンは残っていないのに対し、収穫後1ヶ月間3℃で低温貯蔵を行った果実では25℃でエチレンを暴露させても、追熟終盤に糖度の上昇はそれ以上見られなかったにも関わらず、デンプン量が10%前後残っているという結果が得られた。図2の結果と合わせ考えると、低温貯蔵によって、デンプンが完全に糖化され、軟化が進んだいわゆる適熟状態になりにくくなる可能性が示唆された。

⑤熟度進行の速さの違いの検討

エチレン暴露後の密度－Brix値の関係を産地別、貯蔵履歴の有無、エチレン暴露温度別に検証したところ、密度による熟度進行速度に差異は特に認められなかった。

(3)密度別に選果したキウイフルーツ果実を3℃に6ヶ月間、通常大気や5%酸素環境下に貯蔵した際の糖類および硬度を測定し、それらの変化を収穫時の果実密度に着目して解析した結果、以下の知見を得た。

①通常大気下で3℃に貯蔵したキウイフルーツのBrix値は、貯蔵80日目までに急激に増加するが、それ以降の変化傾向は収穫時の果実密度によって異なり、高密度果実は漸増したが、低密度果実では貯蔵110日以降に減少した。

②糖類およびデンプンを分別定量した結果、長期貯蔵中にデンプンがグルコースやフルクトースに分解糖化されることが確認できたが、収穫時果実密度によって糖の構成割合は変わらなかった。

③果実硬度は貯蔵期間の増加に伴い低下するが、収穫時果実密度の影響は明確でなかった。

④5%酸素濃度で貯蔵することにより果実硬度の低下を有意に抑制でき、さらに、低密度果実の貯蔵後期で起こるBrix値の減少を抑制することができた。

(4)総括

現在、キウイフルーツ流通の現場では、収穫直後に乾物重計測による最終糖度の予測を行っているが、これは抜き取りテストあり、個々のばらつきまでとらえることはできない。本研究で新規開発した音響共鳴を利用した高速密度測定装置は、収穫直後にキウイフルーツ密度の全数測定を可能とした。この装置は、単に現在の乾物重テストの置き換えではなく、密度と密接な関係にある追熟後最終糖度を個体ごとの予測を実現したことに重要な意味を持つ。この装置の導入は、低糖果を生食以外の用途に振り向けることを可能にし、貯蔵・流通コストの低減に寄与すると

ともに、糖度に応じた価格をつけることができ、結果として生産・流通での収益増に寄与するものとする。密度の差異が熟度進行に及ぼす影響は見られなかったが、収穫後に一定の低温貯蔵期間をはさむと、密度は高いにも関わらず最終糖度が予測より低くなる可能性が示唆された。本装置の導入により高密度果実を優先的に出荷すれば、高価値の果実の品質を最大限活かした形で流通させることができ、結果的に収益増につながることを期待される。

この密度測定装置を全国のキウイフルーツ集荷場に導入するためには、この装置を既設コンベアに取り付けることができるように改良していくことが必要となる。

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 3 件)

- ① Ohnishi, K., Nishizu, T., Kondo, N., Goto, K., Maezawa, S., Nakano, K., and Nakanishi, I., A Consideration on Afterripening Management of Kiwifruits Based on Relation between Fruit Density and Sugar Content, 2008 ASABE Annual International Meeting, Paper No.085226, 2009, 査読なし.
- ② 山崎文菜・中野浩平・西津貴久・後藤清和・前澤重禮・大西康平, 収穫時果実密度がキウイフルーツの追熟特性に及ぼす影響, 農業機会学会関西支部報, 106, 掲載予定, 2009, 査読なし.
- ③ 大西康平・西津貴久・金 鉦台・平野正俊, 密度によるキウイフルーツの追熟管理に関する研究—果実密度が熟度進行に及ぼす影響について—, 農業機会学会関西支部報, 102, 54, 2007, 査読なし.

[学会発表] (計 7 件)

- ① 豊田浄彦, 西津貴久, 果実や食肉の「美味しさ」の物差し スペクトロスコーピイ技術, FOOMA2009 アカデミックプラザ, 2009年6月9~12日, 東京ビッグサイト.
- ② 山崎文菜・中野浩平・西津貴久・後藤清和・前澤重禮・大西康平, 収穫時果実密度がキウイフルーツの追熟特性に及ぼす影響, 農業機会学会関西支部第 121 回例会, 2009年3月10日, 京都大学.
- ③ 大西康平, 西津貴久, 後藤清和, 音響法による最終糖度予測情報に基づくキウイフルーツの流通管理に関する研究, アグロ・イノベーション 2008 アカデミックスクウェア, 2008年7月16~18日, 幕張メッセ.
- ④ Ohnishi, K., Nishizu, T., Kondo, N.,

Goto, K., Maezawa, S., Nakano, K., and Nakanishi, I., A Consideration on Afterripening Management of Kiwifruits Based on Relation between Fruit Density and Sugar Content, 2008 ASABE Annual International Meeting, 2008年6月30日, アメリカ・ロードアイランドコンベンションセンター.

- ⑤ 大西康平, 西津貴久, 近藤 直, 中野浩平, 後藤清和, 前澤重禮, 平野正俊, 密度によるキウイフルーツの追熟管理に関する研究—非接触型密度測定装置の試作および密度選別について—, 農業機会学会第 67 回年次大会, 2008年3月29日, 宮崎観光ホテル.
- ⑥ 中野浩平, 後藤清和, 前澤重禮, 西津貴久, 大西康平, 収穫時果実密度に着目したキウイフルーツ「ヘイワード」の追熟特性解析, 農業機会学会第67回年次大会, 2008年3月29日, 京都大学.
- ⑦ 大西康平・西津貴久・金 鉦台・平野正俊, 密度によるキウイフルーツの追熟管理に関する研究—果実密度が熟度進行に及ぼす影響について—, 農業機会学会関西支部第 117 回例会, 2007年3月9日, 京都大学.

[その他]

- ① 新聞報道, キウイの甘さ「音」で推定, 静岡新聞, 2006年12月11日.
- ② 新聞報道, 音でわかるキウイの甘さ, 読売新聞, 2007年9月14日.

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・准教授
研究者番号: 40228193

(2) 研究分担者

後藤 清和 (GOTO KIYOKAZU)
岐阜大学・応用生物科学部・教授
研究者番号: 60026581
前澤 重禮 (MAEZAWA SHIGENORI)
岐阜大学・応用生物科学部・教授
研究者番号: 70173698
中野 浩平 (NAKANO KOHEI)
岐阜大学・応用生物科学部・准教授
研究者番号: 20303513

(3) 連携研究者

なし