圧縮空気の吹き付けによって起こるミニトマト表面の変位に基づいた硬度の測定

木下 統・永田雅輝・松田 大*

宮崎大学農学部 889-2192 宮崎市学園木花台西 1-1

A Method for Measuring the Firmness of Cherry Tomatoes Based on the Displacement of Their Surface Caused by the Spraying of Compressed Air

Osamu KINOSHITA, Masateru NAGATA and Dai MATSUDA*

Faculty of Agriculture, Miyazaki University, 1-1 Gakuen Kibanadai Nishi, Miyazaki 889-2192, Japan

Abstract

A method for measuring the firmness of cherry tomatoes based on the displacement of their surface caused by the spraying of compressed air was studied. The main results were as follows: 1) If the air pressure, the inner diameter of the nozzle for spraying the compressed air, and the distance between the tip of the nozzle and the fruit surface were given suitable values, and if the fruit was secured so that it would not shake, the surface of the fruit would be only slightly deformed, and the displacement of the fruit surface could be measured precisely; 2) The coefficient of correlation between the measurements obtained by this method and measurements obtained by a commercial fruit firmness meter was about -0.95 ; and 3) When the displacement was calculated from the value that was measured by a laser displacement sensor, 0 mV was the optimal standard value. Thus, it appears that this method can be used to measure the firmness of cherry tomatoes.

Keywords: cherry tomato, firmness, surface displacement, compressed air, laser displacement sensor

緒 言

農産物の硬度を非破壊・非接触で測定できれば、その測定対象である農産物の商品としての価値を低下させることがない。そのため、全数検査ができるし、たとえば、農産物の硬度が貯蔵中にどのように変化するかを経時的に測定することもできる。この農産物の硬度を測定する方法にはいくつかの種類があり、買入力によるもの、圧縮変形によるもの、打音や振動によるものなどがある¹⁾。

ところで、医療機器の眼圧計の中に、眼圧を非破壊・

非接触で測定できるものがある。この眼圧計の測定原理は、空気を小さな穴から眼球に対して吹き付け、そのときに起こる眼球の変位を非接触式のセンサで計測し、その計測値をもとにして眼圧を算出するというものである。これは、測定対象の圧縮変形を利用して対象物の硬度を測定するという点では、従来からある非破壊式の果実硬度計の測定原理と同様である。しかし、それと違う点は、非接触で硬度を測定できることである。また、この測定原理を農産物に適用した例は、まだ報告されていない。そこで、本研究は、この眼圧計の測定原理と同様の方法が農産物の硬度測定に応用できるかどうかを検討したものである。測定対象としては、適度に弾力があり、圧縮変形しても元通りの形状に戻るものが適当であると考え、ここではミニトマトを取り上げた。

本研究の目的は、測定装置を試作し、この測定原理の

2002年10月7日受付

2002年12月6日受理

*現在：静岡大学大学院農学研究科

有効性を明らかにすることである^{2~4)}。具体的には、ミニトマトに吹き付ける空気の流れ、その圧縮空気を吹き付けるためのノズルの内径、そのノズルの先端と果実表面上の計測位置との距離、これらをどのような値に設定すれば、果実の表面を非破壊で適度に変形させることができ、しかも、その変位を非接触式のレーザ変位計で正確に計測できるのかを明らかにすることである。さらに、この試作装置による測定結果と、市販の果実硬度計による測定結果との関係を調べ、この測定原理の有効性を検討した。

材料および方法

1. 測定原理と装置

測定装置の概要を図1に示す。測定装置の構成としては、大きく分けて、測定対象であるミニトマトを固定する部分、圧縮空気を生成・調整して果実表面に吹き付ける部分、そして、それによって生じた果実表面の変位を計測して記録する部分からなる。それぞれの部分について以下に詳細に述べる。

まず、果実を固定する部分について説明する。果実には、圧縮空気が吹き付けられるので、その勢いで果実が揺れ動かないように何らかの方法で固定する必要がある。しかし、果実を把持して固定すると、果実にある程度の圧縮力を加えざるをえなくなるので、果実の硬度を正確に測定できないおそれがある。そこで、果実の自重だけで支える、つまり、果実の下側に固定するための台を置き、果実をその上に置く方法を採用した。この台にはVブロック(KANETEC KMV-80C)を用いた。果実は、へたが真横になるように置き、果実の側面を測定することとした。果実を横から見るとその断面の形状は円ではなく楕円なので、より安定して固定できるよう、図1に

図1 装置の概要

Fig.1 Overview of the equipment

図2 果実の固定方法

Fig.2 Method of securing the fruit in place

示すように、その楕円の長径がVブロックの斜面に対してほぼ平行になるように置いた。さらに、図2に示すように、果実を両側から支えるようにナット(内径16.8mm)を置いてより安定させた。このナットは、可能な限り果実に圧縮力をかけないように、果実に軽く接触する程度に置いた。

次に、圧縮空気を生成・調整して吹き付ける部分について説明する。圧縮空気はコンプレッサー(HITACHI 2.2P-14V6)で生成され、圧力計(KEYENCE AP-33A)で設定圧力に調整する。これらは、電磁弁(SMC VX2110)を閉じた状態で行い、その後、この弁を開放することで、圧縮空気はポリウレタンチューブ(外径4mm, 内径2.5mm)とノズル(銅製管, 外径3mm, 内径2mm)を通り、果実の表面に吹き付けられる。吹き付けの際は、測定を開始してから電磁弁が開くまでの時間をタイマー(OMRON H3CR)で設定できるようにし、また、電磁弁が開いてから閉じるまで、つまり圧縮空気を吹き付ける時間もタイマー(OMRON H3Y)で設定できるようにした。これらのタイマーでリレースイッチ(OMRON MY2N)を制御することで、電磁弁の開閉を行った。前述の通り果実は下側から台で支えるので、ノズルは果実の上側に配置することにした。供試果実を取り替えても、圧縮空気が常に一定にできるように、ノズルの先端と果実の表面との距離を、Vブロックをラボラトリージャッキで上下移動させて調整した。

最後に果実表面の変位を計測して記録する部分について説明する。変位の計測には、レーザ変位計(KEYENCE LK-080, 分解能 $3\mu\text{m}$, 測定範囲 $\pm 15\text{mm}$)を用いた。果実の変位を求める場合、吹き付けられる方向の最大変位を計測することが適当であると考えたが、果実の上側にはノズルが配置されているので、レーザ変位計を配置

図3 レーザ変位計の計測位置

Fig. 3 Position of the laser displacement sensor

することはできない。そのため、ノズルに対して、斜め15°の方向からレーザを当てることにした。レーザ変位計の計測位置を拡大すると、圧縮空気の吹き付けによって果実の表面は図3のように変形していると考えられるため、果実表面の鉛直方向の変位とレーザ変位計によって計測される変位とは等しいとみなすことにした。レーザ変位計による計測値は、データレコーダ(KEYENCE NR-2000)に記録される。

2. 材料と方法

材料としては、小売店で入手したミニトマト30個を供試した。ある程度広い範囲の硬度を測定するために、この30個をいったん測定した後、数日間室温下に放置し、若干軟らかくなったところで、そのうちの28個を再び供試した。

測定方法としては、まず、果実の表面のうち計測する点を決め、そこにペンで印をつける。この計測位置が真上になるように、Vブロックにのせて固定する。ノズルが、この計測位置の真上になるように調整する。また、ノズルの先端と果実表面の計測位置との距離が10mmになるように調整する。圧縮空気の圧力を0.600MPaに調整し、電磁弁を0.1s間開放して、圧縮空気を果実に吹き付ける。その時の果実表面の変位をレーザ変位計で計測し、データレコーダへ記録する。この測定において、ノズルの内径、果実表面の計測位置とノズル先端との距離、圧縮空気の圧力、圧縮空気を吹き付ける時間や、データレコーダの設定については、種々の値を検討し、試行錯誤したうえで適当と考えられる値に設定したものである。

レーザ変位計の計測値から表面変位を算出する方法についてだが、先に述べた通り、ノズルの先端と果実表面の計測位置との距離は、常に一定になるように調節し、測定機器についてもアースを取ったが、計測データには、図4に示すように、ある程度のゼロ点とのずれと雑音が残った。また、圧縮空気を吹き付けると、果実全体が下

図4 変位の算出方法

Fig. 4 Method of calculating the displacement

の方に少し埋まり込んでしまうという現象が見られ、その影響で、圧縮空気を吹き付けた後、計測値が元の値まで戻らないことが観測された。この時、果実表面の変位は1mm以内程度であり、後で述べる通り、弾性範囲内での変形であると考えられた。これらのことを考慮して、ゼロ点のずれと雑音、そして圧縮空気を吹き付けた後に残るゼロ点とのずれが、測定結果にどの程度の影響を与えるのかを明らかにすることとし、表面変位を算出する際の基準を、図中に示すように、①0mVとしたとき、②圧縮空気を吹き付ける前1秒間の平均値としたとき、③圧縮空気を吹き付けた後1秒間の平均値としたとき、の3通りで算出して比較検討した。

一方で、この測定方法の有効性を検討するために、この表面変位の計測値と、一般に使用されている果実硬度計による計測値との関係を調べた。この硬度の計測も、果実の弾性範囲内で行うこととした。測定装置の仕様と、測定条件を表1, 2に示す。測定方法については、まず、果実を先の測定と同じ方法でVブロックに固定する。その際、先に計測した果実表面の位置が、真上になるようにし、同じ位置を果実硬度計で計測することになる。この計測位置に鉛直下向きに、直径2mmの円柱型プランジャを貫入させる。貫入深さ1.0mm、貫入速度0.2mm/sとし、このときの硬度の最大値をとって、先の計測値との比較検討を行った。なお、円柱型プランジャの直径、その貫入深さ、貫入速度の値は、試行錯誤により、適当だと思われる値に設定したものであるが、実際に1mmの深さまでプランジャを貫入させた場合の硬度の変化を調べると、直線的に変化しており、降伏点にまで達することはなかったので、弾性範囲内であることが確認できた。

表1 装置の仕様

Table 1 Specifications of the equipment

項目名	型式等
果実硬度計	IMADA DPX-5T
単純圧縮試験器	丸東製作所, S56A-693
プランジャ	円柱型, 直径 2 mm
ラボラトリージャッキ	伸縮範囲 55~140 mm
マグネット V ブロック	KANETEC KMV-80C
ナット	内径 16.8 mm

表2 硬度計による測定条件

Table 2 Conditions under which measurements were taken by fruit firmness meter

項目名	条件
貫入深さ	1.0 mm
貫入速度	0.2 mm/s
データレコーダの設定	
サンプリング周期	10 ms
サンプリング数	500
入力レンジ	±1.0 V

結果および考察

果実表面変位の計測値の例を図5に示す。これは、比較的硬い果実と比較的軟らかい果実の計測例を比較のために並べて示したものである。横軸には測定を開始からの経過時間を、縦軸にはレーザ変位計で計測した変位を示した。この例を見ると、比較的硬い果実、軟らかい果実ともに、最大値や両者の変位の違いが明確に読み取れる。この例でも、圧縮空気を吹き付けた後、変位が元の値まで戻っておらず、圧縮空気を吹き付けた際に果実全体が下方へ埋まり込む現象が起きたことがうかがえる。

これらのレーザ変位計による計測値をもとにして、前述した3通りの方法で表面の変位を算出し、市販の果実硬度計による計測値との関係を調べた結果を図6~7に示す。いずれも、横軸には市販の果実硬度計による計測値を、縦軸にはレーザ変位計による計測値を長さに変換した値を示した。変位を算出する時の基準を、0 mVとした場合を図6に、圧縮空気を吹き付ける前1秒間の平均電圧値とした場合を図7に、圧縮空気を吹き付けた後1秒間の平均電圧値とした場合を図8に示した。これらの図から分かるように、いずれの算出方法においても、比較的硬い果実であっても比較的軟らかい果実であっても、その計測値のばらつきの程度はほぼ同じであり、いずれも、安定した計測が行えたと言える。また、いずれ

図5 果実表面変位の測定例

Fig. 5 Example of measuring the displacement of the fruit surface

図6 変位と硬度の関係(0 mV を基準とした場合)

Fig. 6 Relation between the displacement and the firmness (when 0 mV was the standard value)

図7 変位と硬度の関係(圧縮空気を吹き付ける前1秒間の平均電圧値を基準とした場合)

Fig. 7 Relation between displacement and firmness (when the standard value was the average voltage for 1 second before the spraying of compressed air)

図8 変位と硬度の関係(圧縮空気を吹き付けた後1秒間の平均電圧値を基準とした場合)

Fig. 8 Relation between displacement and firmness (when the standard value was the average voltage for 1 second after the spraying of compressed air)

の算出方法においても、両計測値の間には -0.95 程度の高い相関があった。

次に、これらの相関係数について、その違いを検定した。その結果、有意水準 0.01 でいずれも違いはなかった。このことから、変位を算出する際は、圧縮空気を果実に吹き付けた時、その空気の勢いで果実全体が下方に若干埋まり込んでしまうという現象を完全におさえることはできなかったが、その測定値への影響はあまり小さくなく、算出方法の簡便性もあわせて考慮すると、 0 mV を基準にして算出すれば十分に実用的な値が得られると考えられた。

以上のことから、この測定原理を用いて、ミニトマト

に吹き付ける空気の圧力、その圧縮空気を果実に吹き付けるためのノズルの内径、そのノズルの先端と果実表面上の計測位置との距離、を適当な値に設定し、また、今回提案したような適当な方法を用いれば、計測時に果実が揺れ動く現象をおさえることができ、安定した計測が行えることが明らかになり、その測定値は市販の果実硬度計とも高い相関をもつ測定を行えることが明らかになった。このことから、この測定原理がミニトマトの硬度測定に応用できる可能性が示された。

今回の研究は、一つの果実について1回測定するというを前提にした結果だったが、今後は、この装置による計測の再現性を検討したうえで、貯蔵中の果実の硬度変化を測定するのに応用できるかどうか等を検討していく必要があると思われる。

引用文献

- 1) 大森定夫：果実の硬度計測，農業機械学会誌，60(5)：134-136(1998)
- 2) 木下 統：ミニトマトの硬さ評価装置の試作，第64回九州農業研究発表会専門部会発表要旨集，pp. 63(2001)
- 3) 木下 統：ミニトマトの硬さ評価装置の試作，農業機械学会九州支部誌，51：5-9(2002)
- 4) 木下 統，松田 大：圧縮空気の吹き付けによって起こるミニトマト表面の変位にもとづいた硬さの評価，第61回農業機械学会年次大会講演要旨，pp. 131-132(2002)