

光によるリンゴの褐変判別法に関する研究

青森職業能力開発短期大学校

高井 秀悦

Nondestructive discrimination of internal browning in apples by optical technique

Shuetsu TAKAI

要約

県内企業から技術協力依頼のあった小型で低価格なリンゴの非破壊褐変判別装置の開発にあたり、リンゴの内部褐変を見分けるのに適した非破壊計測法を検討する目的で、リンゴの透過スペクトルを測定し、リンゴの切断面の観察を行った。リンゴの透過スペクトルは、キセノンランプの光を帯域通過フィルタに通して波長可変する光源と光パワーメータの組合せにより測定した。リンゴの透過スペクトルの時間経過を追跡した結果、褐変果と正常果ではスペクトルの形状に違いがみられた。そこでその特徴を数式化して新たな褐変指標を作成し、評価を行った。

I はじめに

リンゴの褐変は果肉が褐色に変色する現象である。この褐変を非破壊判別する装置は農協の選果場などの施設に既に導入されているが、大型でしかも高価である⁽¹⁾。そこで、簡易的で低価格な装置の開発を目標として、我々はLEDを利用してリンゴの内部褐変を判別する方法を探索してきた⁽²⁾。昨年度後半にキセノン光源（以下、Xe光源と呼ぶ）が導入されたので、これまでのLEDの他に、Xe光源によるスペクトル測定が可能になった⁽³⁾。

本報告では、Xe光源によりリンゴのスペクトルの時間経過を追跡した結果、そして173個のリンゴを測定し新たな褐変指標を作成した結果について述べる。また選果機用受光ユニットのフィルタホルダの試作についても述べる。

II 測定系

1 Xe光源について

Xe光源は、Xeランプが発する光を帯域通過フィルタに通して準単色光化し、バンドルファイバの一端から出射する構成になっている。本研究では、波長の間

隔が約10nmで中心波長が710nmから940nmまでの24枚のフィルタを用いて準単色光を得た。なおXe光源のフィルタチェンジャに1度に装着できるフィルタの数は8枚までである。

最初に各フィルタの透過率スペクトルを測定した。まずフィルタを装着せずにバンドルファイバから出射するXeランプの光を光スペクトラムアナライザで分光したときの光電力を $P_T(\lambda)$ 、フィルタを透過させて分光したときの光電力を $P_F(\lambda)$ とすれば、フィルタの透過率 $T(\lambda)$ は

$$T(\lambda) = \frac{P_F(\lambda)}{P_T(\lambda)} \times 100 \quad [\%] \quad \dots\dots\dots (1)$$

により求められる。光スペクトラムアナライザの分解能と平均回数はそれぞれ1nmと5回に設定した。24枚のフィルタの透過率スペクトルを図1に示す。各フィルタの半値全幅はおよそ10nmから14nmの範囲にあった。

次にバンドルファイバから出射する各波長の光電力を光パワーメータで測定した。その結果を図2に黒い四角(■印)で示す。中心波長が820nm、830nmと840nmおよび880nmから940nmまでの光電力は他の波長のそれに比べて大きいことがわかる。Xe光源には、連続可変ニュートラルデンシティーフィルタ (ND フィル

タ) が搭載されているので、これを回転することにより光電力を減衰することができる。電力の調整を行った後の各波長における出射電力を図 2 に赤丸 (●) で示す。各波長の光電力はおおよそ 20mW で、ほぼ一定になった。

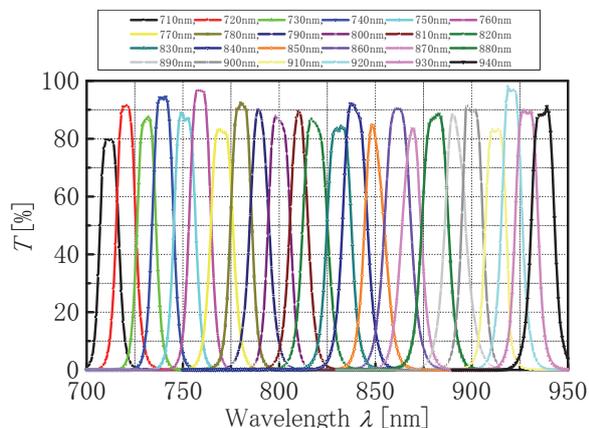


図 1 帯域通過フィルタの透過率スペクトル

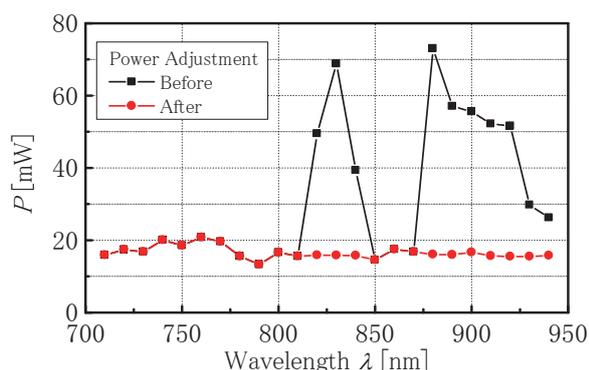


図 2 各フィルタの透過電力

2 測定系

本研究で用いた前分光方式による測定系を図 3 に示す。リングから約 50mm 離れた位置に置いたバンドル

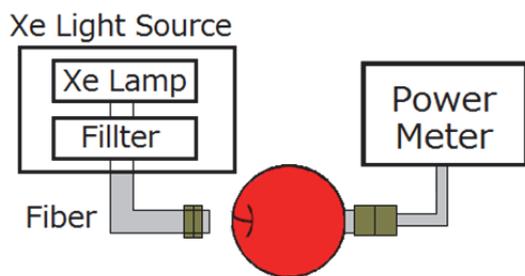


図 3 リングの透過スペクトルの測定系

ファイバの一端から出射した準単色光をツル側から照射した。そしてガク側に透過してきた電力をリングに近接しておいた光パワーメータにより測定した。光パワーメータの光センサの受光径は約 9.5 mm である。なお測定は暗室内で行った。

III 実験結果

1 スペクトルの時間経過の追跡

2014 年の秋に収穫されたふじを冷蔵庫に保存しておき、2 月上旬から 4 月下旬にかけて透過スペクトルを測定した。サンプル番号 14-268 のリングの測定結果を図 4 に示す。時間の経過とともに透過電力が低下している。特に 700nm 付近と 800nm 付近の波長に注目すると、当初は 700nm 付近の光電力のほうが大きいですが、時間が経つと 800nm 付近における光電力のほうが大きくなっていることがわかる。

次にサンプル番号 14-294 の測定スペクトルを図 5 に示す。時間経過とともにやはり透過電力が低下していくが、700nm 付近と 800nm 付近の波長における光電力の大小関係は、先ほどの例とは異なり、時間が経過しても変化していないことがわかる。

また 4 月になって測定したサンプル番号 14-268 と 14-294 のスペクトルにおいて、800nm 付近にあるピークの両側の裾に注目すると、14-294 では短波長側の電力に比べて長波長側の電力が小さいのに対して、14-268 では短波長側の電力は長波長側のそれとほぼ等しいか小さくなりそうな傾向が見てとれる。この特徴は昨年度まで LED を用いて測定したスペクトルでも観測されていた⁽³⁾。

スペクトルの追跡を終了してから、リングを切断し断面を肉眼で観察した。サンプル番号 14-268 と 14-294 のリングの断面写真をそれぞれ図 6 と 7 に示す。前者は褐変果、後者は正常果であった。

以上のような特徴に着目すると、透過スペクトルの測定により、正常果と褐変果を見分ける褐変指標を作成できるであろう。

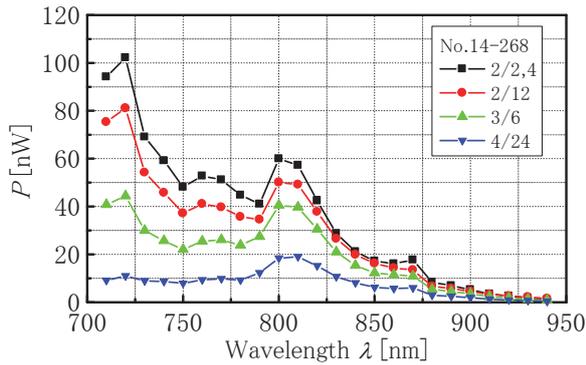


図4 透過スペクトルの時間経過 (No. 14-268)

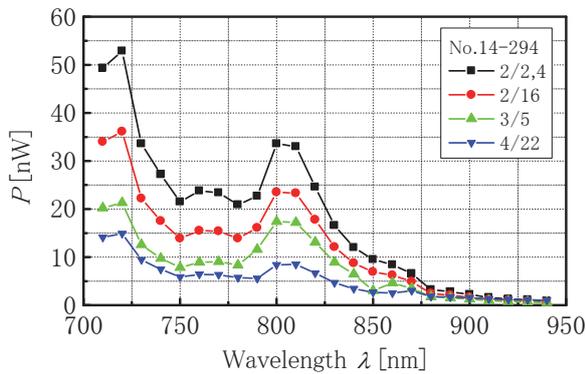


図5 透過スペクトルの時間経過 (No. 14-294)



図6 断面写真 (No. 14-268)



図7 断面写真 (No. 14-294)

$$I_{Browning} = \frac{P_{810} - P_{720}}{P_{940}} \dots\dots\dots (2)$$

$$I_{Browning} = \frac{P_{840} - P_{750}}{P_{940}} \dots\dots\dots (3)$$

で定義した。ここで P_{810} などは添字の波長(単位は nm)における光電力を表す。そして褐変果と正常果の判別基準は両指標とも

$I_{Browning} > 0$ のとき 褐変果
 $I_{Browning} < 0$ のとき 正常果

とした。

各リンゴの測定スペクトルを用いて、式(2)と(3)の指標を計算した結果をそれぞれ図8と9に示す。それぞれ167個と164個のりんごが褐変の判別条件と内部の

2 褐変指標の作成

CA(Controlled Atmosphere)冷蔵庫に保管しておいたリンゴのサンプル187個を2015年4月から7月にかけて4回に分けて入手した。これらは出荷のために褐変判別が行われたリンゴである。すなわち111番目から143番目までのサンプルは正常果、それ以外のサンプルは褐変果と判定されたリンゴである。

187個のうち14個は保管中に腐敗したので、実験から除外し、173個のサンプルを用いて透過スペクトルを測定した。そして新しい2つの褐変指標を

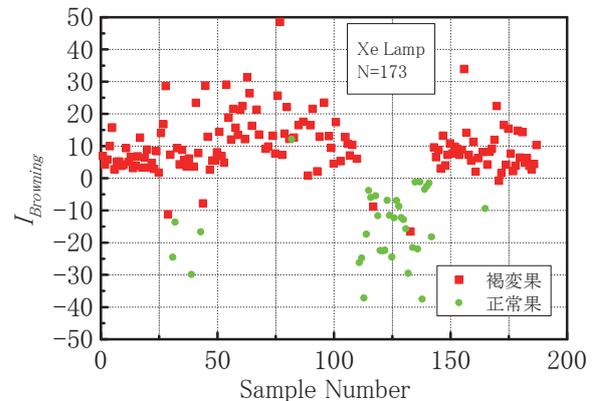


図8 式(2)の指標の評価結果

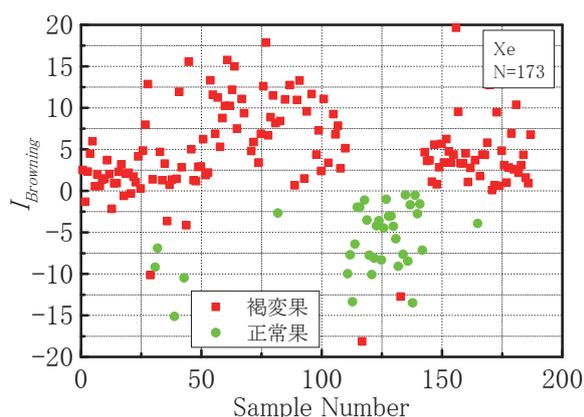


図9 式(3)の指標の評価結果

観察結果が一致し、正答率はそれぞれ約97%と95%であった。

なお720nmに発光のピーク波長をもつLEDを新たに加えて、LEDによるスペクトル測定を行い、指標を作成したが、その結果もまた良好であった。

3 選果機用フィルタホルダ

式(2)若しくは(3)の褐変指標を用いれば、実際にリンゴの褐変判別ができると考えられる。すなわち式(2)或いは(3)には形式的に3つの波長が含まれているので、例えば2枚の半透鏡と3枚の帯域通過フィルタを用いて、図10に示す光学系を構成すれば、リンゴを透過した光を所要の3つの波長の光に分けることができる。そこで共同研究の相手企業では、3枚のフィルタを装着するフィルタホルダを3Dプリンタで試作した。その写真を図11に示す。寸法はおよそ100×40×50mmである。このフィルタホルダは簡易的で低価格な褐変判別装置の受光ユニットに組み込む予定である。

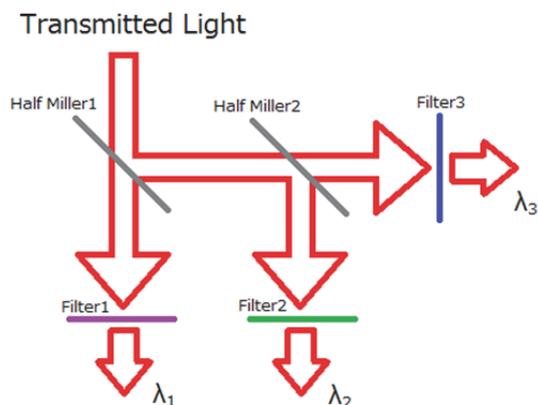


図10 3波長分光の光学系

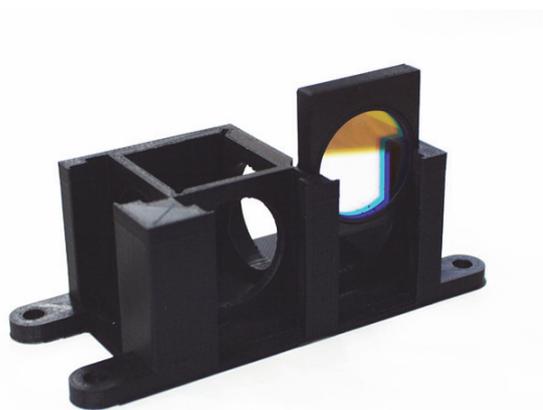


図11 フィルタホルダ

なお式(2)あるいは(3)の判別式では、褐変の有無は2つの波長における光電力の大小で判別されるので、半透鏡2とフィルタ2は装着せずに、2つの波長を取り出すだけでもよいかもしれない。

IV おわりに

Xe光源を使用して、リンゴの透過スペクトルの経時変化を測定した。その結果、褐変果と正常果では透過スペクトルに特徴的な違いが現れることが分かった。またこの特徴を用いて2つの褐変指標を作成し、173個のリンゴで評価を行った。正答率は約97%と95%であった。

今後の課題は、褐変果と正常果の判別基準を $P_{720} = P_{810}$ としたが、それで良いかどうかを更に詳細に調べ、指標の精度を向上することそして褐変判別装置を開発することである。

最後に、リンゴのサンプルを提供して頂いた丹代青果(株)の佐藤正浩氏、フィルタ装着部の写真を提供して頂いたオークラ機工(株)の佐々木繁樹氏に感謝する。

[参考文献]

- (1) 前田弘、近赤外分光法による果実内部品質の非破壊測定、O plus E、Vol.21、1999年、pp.1259-1263.
- (2) 古川佳悟、佐々木佑介、LEDによるリンゴの内部品質評価に関する研究、Hi-TEC 青森、Vol.18、2014年、pp.45-46.
- (3) 葛西翔、渋谷伸、光によるリンゴの内部品質評価に関する研究、第14回東北ポリテクビジョン予稿集、2016年、pp.74-75.