

青果物の非破壊による内部品質評価に関する研究

——トマトの表面色と糖度——

岩尾 俊男*・竹山 光一*

Studies of Nondestructive Quality Evaluation of Agricultural Products

——Surface Color and Sugar Component——

Toshio IWAO and Koichi TAKEYAMA

Many reports which studied on optical methods of nondestructive quality evaluation of agricultural products were reported recently. and in these reports, optical evaluation of maturity, external damage and quality attributes was dealt with.

By the way, the method to detect inner sugar components in a fruit by the optical methods was not yet experimentally established. Accordingly, this study was concerned with the relationship between indexes of color and the sugar components of mini tomatoes.

As the main experimental results, after harvesting of tomatoes, the surface colors of tomatoes were in a advanced stage with the lapse of times. but the sugar components of these were stationary. The relationship between $\sqrt{a^2+b^2}$ or a/b and the sugar components of tomatoes were linearities. from above this result, it is showed that there is the possible future approaches of quality evaluation by the surface color of tomatoes.

I 緒 言

近年、わが国では、農産物の輸入自由化と共に、消費者の高級化、多様化指向が高まりつつあり、ここに品質の向上に合わせ、ハイテク技術を駆使した、外部と共に内部品質の検出による選果技術の展開が強く望まれている。

今まで、青果物の内部品質を非破壊により評価、検出する研究は、近年広く行われつつあるが、青果物の熟度を対象に選別を目的としたものは少ない。青果物の熟度の非破壊測定法としては、これまで、光学的反射法、光学的透過法、遅延発光法などが試みられているが、内部品質を精度よく検出する方法にまで至っていない。

今までの主な研究として、鶴岡¹⁾²⁾は果実の糖・酸度が電気伝導度と高い相関の有すること、川保はガスクロマトグラフを用いて、果実の糖構成について、吉川³⁾らは近赤

外吸収スペクトルと糖・酸度とが高い相関のあること及び武田らは振動特性及び音響特性を用いリンゴの熟度を非破壊により測定する方法等が発表されている。

一般に、果実の品質には、外部品質（外観的要因：表面色、形状、テクスチャなど）と内部品質（味覚的要因：糖度、酸度、栄養感など）とがある。品質の中でも、特に味覚が重要な要素である。そこで、非破壊による内部品質の検出の手掛りとして、外観から内部品質を推定することも一つの方法である。

本研究は、青果物の非破壊による品質評価方法への開発研究の一環として、ミニトマトを対象に表面色と糖度との関係を明らかにしたものである。

II 実験方法

供試ミニトマト（品種サンチェリ）は1988年の冬作と夏作の2期にわたって、温室で水耕栽培したものである。

* 農林システム学講座

る。対象となるトマトは、緑熟期から完熟期の範囲のものであり、栽培期間の水養液濃度は EC 1.8, 水温は21℃とした。

表面色の測定には、色彩色差計 (M 社製 CR-200)、糖度の測定には手持屈折計を用いた。

収穫後、検査までの時間の経過が、催色と糖度の変化に与える影響を調べた。また、収穫に当っては、結果枝による色と糖度の関係を調べた。

また、平均的な測色位置を決めるために、果頂部と赤道部の4点の位置における色の分布を調べた。

一般に、トマトの色素はカロチノイドとリウピンが主であると考えられ、その色調は赤色と黄色の配色であるとされ、 L, a, b の表色系が用いられているが、ここに色と糖度との関係を詳細にわたって検討する上から、 $x, y, x \times y, x/y, y/x$ また $a, b, a \times b, a/b, b/a, \sqrt{a^2 + b^2}, L, L \times a \times b, La/b, Lb/a$ の値と糖度との関係を調べた。

III 実験結果及び考察

1. 測色部位別の色と糖度

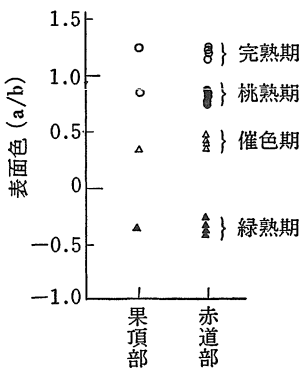
色の表示を XYZ 表色系の三刺激値 X, Y, Z より、色座標 x, y, z をまた $L^*a^*b^*$ 表色系による色知覚の三属性 (色相, 明度, 彩度) により表すこととしたが、便宜的に代表的な測定部位を決めるために、わが国で色彩管理用としてより一般に用いられている Hunter の Lab 表色系によるものとした。

1) 測色部位と色

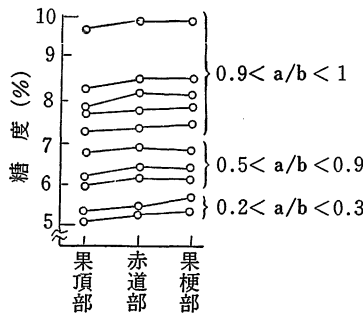
第1図は、果頂部 (1点) と赤道部 (4点) の緑熟期から完熟期にわたる部位別の色 (a/b) の分布を示す。

果頂部における表面色は、赤道部における表面色のほぼ平均的な値となっている。赤道部上では、その値のばらつきがある。また、熟期による果頂部と赤道部との関係にも大きな差が認められない。

これらのことから、測色点はトマトが催色し始めると



第1図 測色部位と表面色との関係



第2図 測定部位と糖度との関係

する果頂部が適当と考える。

2) 測定部位と糖度

第2図は、色 (a/b) 別の果頂部、赤道部及び果梗部の水平断面での糖度との関係である。

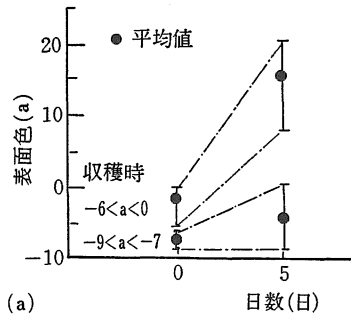
糖度は果頂部において、赤道部及び果梗部より低い値となる傾向があり、赤道部と果梗部ではほぼ同じ値となっている。この傾向は色 (a/b) 値により影響を受けることはない。

この結果より、赤道部の糖度はトマト全体をほぼ代表するものと考えられるので、便宜的に赤道部を代表的測定部位とした。

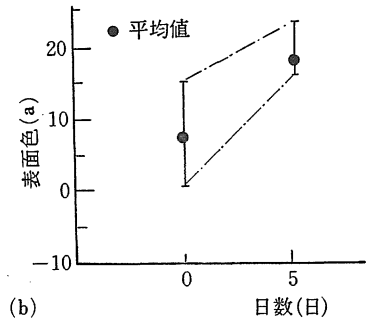
2. 収穫後の時間経過による色と糖度

1) 表面色について

第3図 (a, b) は、緑色 ($a/b < 0$) 及び催色 ($0 \leq a/b <$

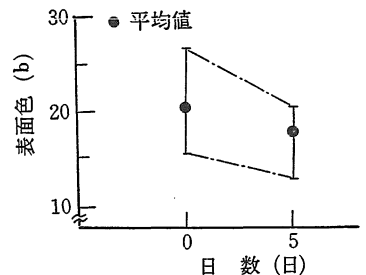


(a)



(b)

第3図 緑熟期 ($a/b < 0$) (a), 催色期 ($0 \leq a/b < 0.7$) (b) の表面色 a と経過時間との関係

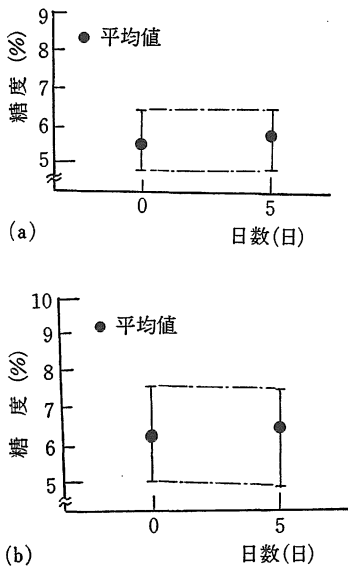


第4図 桃完熟期 ($a/b \geq 0.7$) の表面色 (b) と経過時間との関係

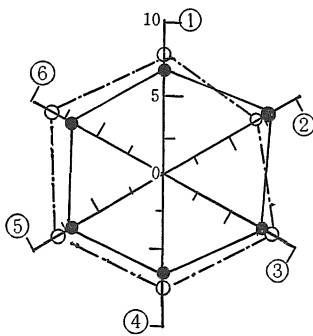
0.7) について、表面色 a の値の経過時間との関係である。緑熟果実については、 a の値が収穫時に 0 に近いものの方が a の値の増加が急激である。また、緑色のものは、経過時間にほとんど関係されないものと考えられる。

一方、催色果実については、 a の値は経過時間と共に急激に増大すると共に、標準偏差の幅も小さくなる。すなわち、トマトは収穫後時間の経過と共に赤味が増加する傾向がある。

第 4 図は、桃完熟期のものについて、表面色 b (黄色) の値の経過時間との関係である。催色果実については、 b 値の偏差も大であるが、5 日後には小さくなると共に、 b 値は時間の経過と共に減少する傾向がある。一方、桃完熟期については、 b 値の分布範囲も小さいが、同様に



第 5 図 緑熟期 ($a/b < 0$) (a) と催色期 ($0 \leq a/b < 0.7$) (b) の糖度と経過時間との関係



第 6 図 結果節の順位と糖度との関係
● 夏作 ○ 冬作

時間の経過と共に減少する。

しかし、測定時間が短時間でできる測色については、時間による影響は十分に無視し得る程度のものである。

2) 糖度について

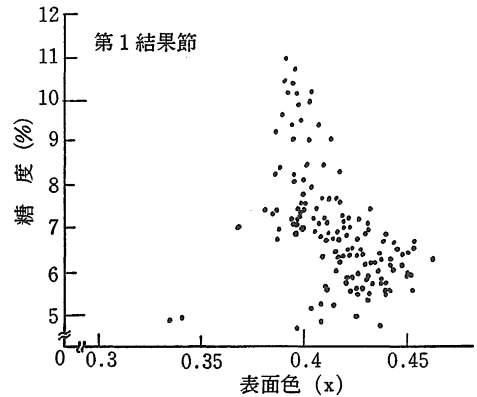
糖度の測定については、ブルネルの手持屈折糖度計を用いた関係で、測定部位を切断面とした関係で、同一のトマトについて経過時間による糖度の変化を知ることとは不可能であったので、糖度は表面色ごとに区分した試料の中よりランダムに取り出した 10 個の中の平均値をもって表わした。

第 5 図 (a, b) は、緑熟及び催色期における経過時間と糖度との関係である。

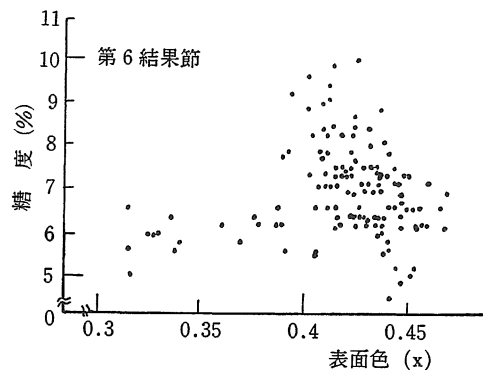
緑熟、催色期ともに、糖度は時間の経過に関係なくほぼ一定であった。

この結果より、経過時間はトマトの糖度にはほとんど影響を与えないものと考えられる。従って、測定に当たっては、時間経過による糖度の変化は、無視できるものと考えた。

また、催色期における農家の市場への出荷は、搬送時間の経過等により、色付きが良くなるが内部品質の改善



第 7 図 表面色 (x) と糖度との関係



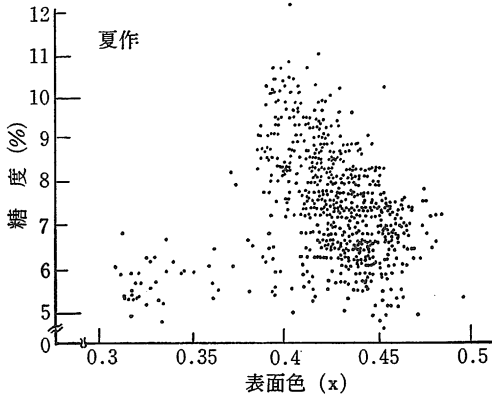
第 8 図 表面色 (x) と糖度との関係

には役立つことも明らかとなった。

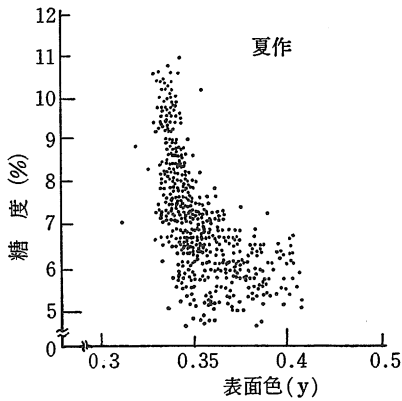
3. 結果節位置と糖度

糖度と色の関係を調べるに当たり、収穫において結果節ごとに同じ表面色でも糖度が異なれば、測定に当たり結果節の位置を考慮する必要が生ずる。

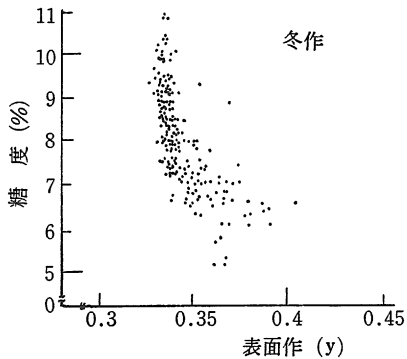
第6図は、結果節位置と糖度との関係を桃熟期の夏作、冬作について調べたものである。



第9図 表面色(x)と糖度との関係



第10図 表面色(y)と糖度との関係



第11図 表面色(y)と糖度との関係

夏作の糖度の平均値は7.2%、冬作は8.0%であり、結果節の下より順次①…⑥とした。その糖度図はほぼ六角形となり、結果節の位置による著しい糖度差は認められなかった。

したがって、測定に当たり結果節に無関係にランダムに採取した場合にも、表面色と糖度の関係に及ぼす影響は小さいものとする。

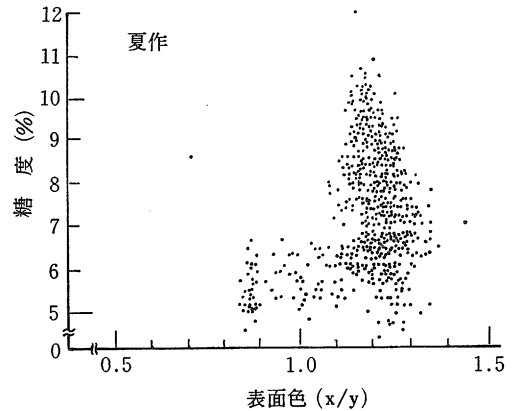
4. 表面色と糖度

表面色の表示を、ここでは主に代表的な三刺激値による色座標 $x, y, x/y$ 及び Hunter の三属性による $L, a, b, a/b, \sqrt{a^2+b^2}$ 等について表した。またここに用いた試料は、冬作、夏作のミニトマト(サンチェリ)でランダムに採取したものである。

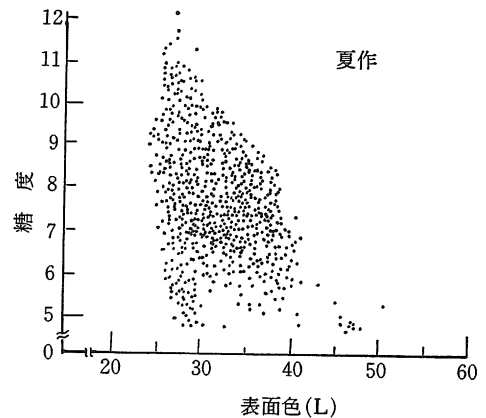
1) $x, y, x/y$ と糖度

第7, 8図は、第1, 第6結果節別の表面色の色座標 x と糖度との関係である。

第1結果節では、糖度は表面色 x が0.38~0.45の範囲で、0.4の場合のように糖度は5~11%と広く分布す



第12図 表面色(x/y)と糖度との関係



第13図 表面色(L)と糖度との関係

る。

一方、第6結果節においても、0.3~0.4の範囲に糖度が分布するが、主な分布は0.4~0.45の範囲で、糖度の分布も5~10%と広く分布する結果となっている。

これらの結果は、第9図に示すように、結果節に無関係に、採取したものについても同様の結果となり、表面色 x と糖度の関係を選別の基準として用いることはできないものと考える。

一方、第10、11図は、色座標の表面色 y と糖度との関係を、冬と夏の両時期にわたって調べたものである。表面色 y は、0.35~0.4の範囲に分布し、糖度は y が0.3の値で6~11%とその分布範囲が集中する。表面色 x に対する糖度の分布範囲も、収穫時期にかかわらずほぼ同じ傾向となる。これらのことから、選別の尺度として、三刺激値の色座標 y の値と糖度との関係を用いることはできないだろう。

第12図は、色座標 x/y と糖度との関係である。三刺激値 x, y と糖度との関係から推定できるように、 x と

y の割合では、分布の傾向は同じであり、 x/y の値が1.25の近くで集中的に分布し、その糖度の範囲も5~11%と分散が大きい。

従って、 $x, y, x/y$ 値等の三刺激値による座標と糖度との間に関係を見出し、選別の要因として糖度を推定することはできないことが明らかとなった。

2) Hunter の色度表示と糖度

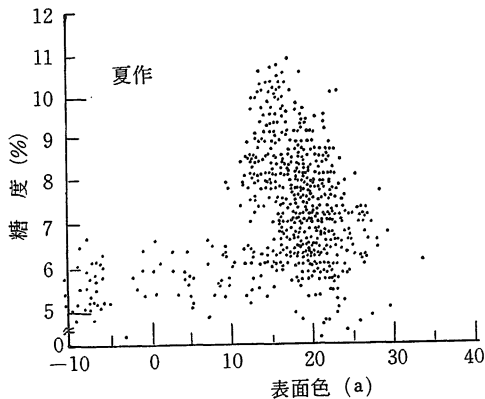
第13図は、明るさの尺度としての明度指数 L と糖度との関係である。

L の分布範囲は25~40までの範囲で比較的狭い範囲の分布であることから、ミニトマトの表面色は、緑熟期から完熟期にわたって、表面色の明るさの変化は顕著でないことが推測される。また、糖度は L の値が25~30で、糖度の分布範囲が広く、5~12%となる。糖度は L の値が増加するに従い減少の傾向となる。また L が40で糖度が5~8%の範囲にある。この傾向から、 L と糖度との間には、顕著な関係が成り立たないものと考えられる。

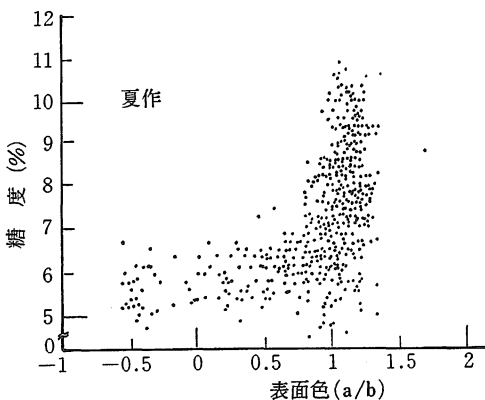
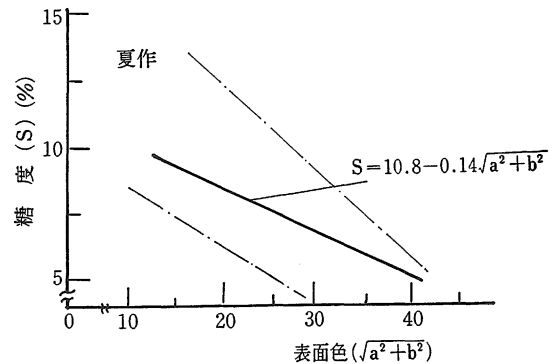
この結果、明るさで糖度を推定するには無理がある。

第14図は、色の度合を表す色相値 a と糖度との関係である。

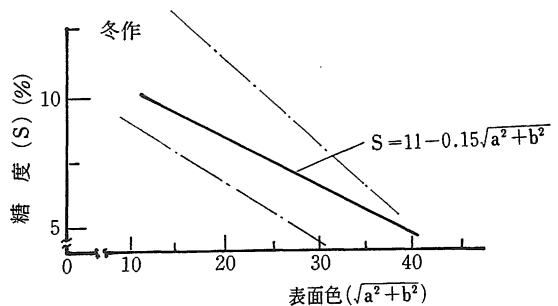
a の値が-10~10の範囲、すなわち、トマトが緑色の



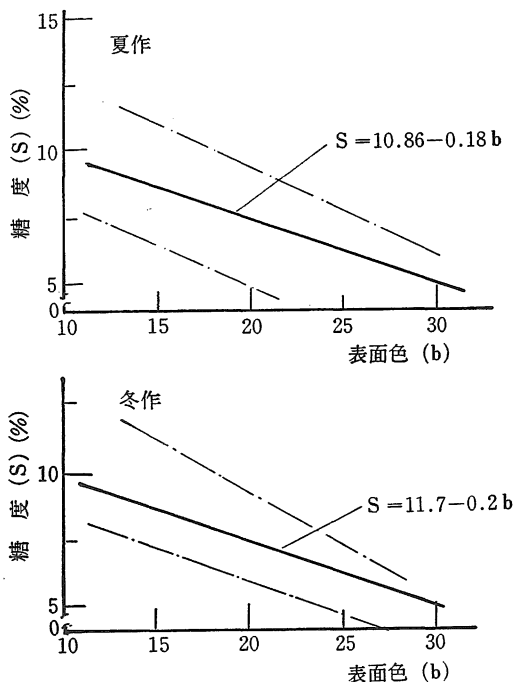
第14図 表面色 (a) と糖度との関係



第15図 表面色 (a/b) と糖度との関係



第16図 (a, b) 表面色 ($\sqrt{a^2 + b^2}$) と糖度との関係



第17図 表面色 (b) と糖度との関係

範囲においては、糖度は一定であるが、10~30の赤色が強くなる範囲では、糖度が5~10%と広く分散するため、 a と糖度との関係には明確な関係が成り立たないものと考えられる。

4) 今までの研究報告によると、普通のトマトについては、 a の値と糖度との間には相関関係が認められているが、ミニトマトについては、その関係は認められなかった。これらの点については、トマトの種類が異なれば、表面色と糖度との関係も変るのではないだろうかと思う。

第15図は a/b 値と糖度との関係である。 a/b 値は一般にトマトの色の評価に従来より広く用いられていて、最も人間の色覚と一致し客観的な数値が得られるとされる。

a/b 値は、 $-0.5 \sim 1.3$ の範囲に分布し、特に糖度が5~11%のものが、 $0.8 \sim 1.2$ の範囲に広く分布する。すなわち、同一 a/b 値において糖度が広い範囲にわたって分布することから、 a/b でもって糖度を推定することは不可能である。

第16図 (a, b) は、 $\sqrt{a^2+b^2}$ と糖度との関係であるが、これは、 a, b で与えられる色が原点より離れている距離、すなわち、鮮かさの指標との関係である。

$\sqrt{a^2+b^2}$ の値は10~40までの間に分布し、 $\sqrt{a^2+b^2}$

の値の増加と共に糖度は減少の傾向となり、 $\sqrt{a^2+b^2}$ と糖度との間には明らかに直線関係が成り立つ。

この結果、ミニトマトの鮮かさを測定することにより、間接的に糖度の推定が可能であり、 $\sqrt{a^2+b^2}$ 値は糖度推定の尺度になり得ると考える。

第17図は、彩度を表す b と糖度との関係である。 b の値は、緑熟期から完熟期にわたり、10~30の間に分布し、糖度は b の値の増大と共に直線的に減少する。

この結果から、 b の値を測定することにより、糖度を間接的に推定することの可能性が明らかとなった。

IV 結 言

本研究は、青果物の非破壊による品質評価方法への開発研究の一環として、ミニトマトを対象に表面色と糖度との関係を明らかにしたものである。供試ミニトマトは水耕栽培により栽培したもので、緑熟期から完熟期までの全熟期のものを対象とした。表面色の測定には色彩色差計を、糖度の測定には手持屈折計を用いた。

実験結果の主なものは次のとおりである。

(1) 測色部位として果頂部が、一方糖度については赤道部が平均的な値を示す位置である。

(2) 収穫後時間の経過と共に表面色の着色は進行するが、糖度の変化は生じない。

(3) 表面色の表示の指標である $\sqrt{a^2+b^2}$ 又は b と糖度との間には、相関関係がありこの関係は直線関係として表示される。

その他の指標と糖度との間には、相関関係が認められなかった。

以上のことから、 $\sqrt{a^2+b^2}$ 又は b の指標から間接的にミニトマトの糖度の推定の可能性が明らかとなった。

引用文献

1. 鶴岡 久：計測自動制御論文 17(8)：844-849, 1971.
2. 鶴岡 久・高辻正基：計測自動制御論文 22(9)：994-999, 1986.
3. 吉川年彦他3名：近畿中国農研 (76)：35-39, 1988.
4. 梅田重夫・毛利建太郎：農産物性研究 (3)：69-100, 1987.