

〔論文〕

カキ果実の自動渋果判定装置

秋 元 浩 一

名古屋学院大学商学部

要 旨

甘渋判定に関する透過型NIRSによる方式は、完全渋果を確実に見分ける能力を有することを明らかにできた。半渋果の判定能力についても赤道部断面のゴマ状態あるいは渋状態を基準にした場合、実用精度を有しているといえる。このシステムは、可視光線透過式による判定機と比較した場合、自動化ラインに装備することができることから省力化に大きくきく貢献するものであり、西村早生果実の産地振興にも効果的であると結論された。

キーワード：カキ果実，西村早生，渋柿判定，NIRS，選果場

Automatic Device for Sensing Astringent of Persimmon Fruit

Koichi AKIMOTO

Faculty of Commerce
Nagoya Gakuin University

1. はじめに

果実選果場は地域農業の振興のために各地に整備されてきた。その事業費は総額10億円を超えることも多く、国50%、自治体5~10%程度を補助として、残りが農協等の事業主体の自己負担となることが多い。この自己資金は農協が借入れによってまかない、これを施設利用者から出荷に応じて徴収する利用料金によって補填し、およそ8年で返済することとなる。こうした施設の対象品目は、多くの産品を対象にする場合と少数または単品を対象にすることがあり、地域の状況によって異なる。従来、後継者を確保できず担い手の高齢化が進む地域では、少数の意欲ある農家に土地の利用権を集中して地域農業を維持拡大すべく取り組んでいる。こうした地域にとって要となる選果場の機能としては、農家が運び込む産物の荷受け・検査ライン、箱単位管理、その管理ができる自動倉庫、箱、パレットの荷役を自動で行うロボットパレタイザー、パレット積みコンテナを自動でラインに流すデパレタイザー、通風式予冷庫、差圧式予冷庫、真空予冷庫等がある。そして、選果、箱詰め、自動製函、投函があり、渋柿を扱う場合、脱渋の設備も加わる。近年は、バーコードを用いてラインの管理を自動化し、光センサーを用いた最新機能を有するシステムを装備することも多い¹⁾。

柿果実を対象にする選果場もその一つであるが、9月に収穫される早生柿は、同じ樹に甘柿と渋柿が混ざるといふ問題がある。その判定や選別は、熟練者によって行われていたが、確実性に疑問があり、透過光による目視判定法を実用化して信頼性は飛躍的に改善された。その後、作業の合理化のための自動化が望まれていたため、目視判定器をラインに組み込んで選別人が判定する選果機が登場する一方で、非破壊糖度判定を可能とするNIRSを渋柿判定に適用した選果機も利用されるようになった。本報では、選果場機能の中で、早生柿の渋果をNIRSによりライン上で自動判定する性能を分析し確かさの程度を検討した。

ライン上の計測機構は果実基部を下に果頂部を上に向けて遮光機能を有するゴム枠に挿入して、これが計測部を通過する際に果実に対し横6方向から照射される光が果実内を透過している。この透過光のうち果実下部に位置するヘタ側から出てくる光を検知器によって解析する構造になっている。渋果判定の計測部分は三井金属鉱業が担当し、選果システム全体はヤンマー農機が施行したものである。調査にあたっては、元(財)農産業振興奨励会吉田茂政会長ならびにヤンマー農機と三井金属鉱業の関係者の方々にお世話になったことを記し、謝意を表します。

1) 秋元浩一(2006)選果場施設の現状と課題, 名学大論集43(1)87-107.

2. 材料と方法

(1) 材料

供試試料は予め著者考案²⁾の光学式渋柿判定機³⁾により、完全甘果、半渋果、完全渋果を階級ごとに準備した。階級ごとに3種類の品質が等比率になるようにし、調査前日に収穫後、選果場に集荷されたものの中から、条件に合致する果実を選出した。用意した渋果、半渋果、甘果を合計96個抽出し、熟度による影響を確かめるため、軟化果実を97個目に、もう1日後には軟化が始まると思われる果実を98個目に抽出した。この果実の果頂部に識別のため測定への影響が無視できることを確認した上で小さく油性マジックインキで通し番号を付けた。

(2) 方法

1) 選果ラインにおける渋果の計測

98個のサンプルを選果ラインの果実を乗せるパンに1個ずつ手で乗せて供給し、これが測定部を通過して計測室から出てきたところで回収した。98個すべて回収された後、直ちに2回目を実施し、これを4回反復した。計測結果はゴマ量として演算部に保存されたものを各回終了時に出力して別に保存した。計測データはNIRSの信号を処理して、果実の特に基部付近のゴマ量を推定しており、ゴマが皆無であれば0の値、ゴマが全体に分布している果実であれば値5として算出される。ゴマ0は完全渋果、ゴマ5は完全甘果という推定になる。

2) 果実の特性値の計測

選果ラインでの計測が終了した果実を移動用の車に荷重負荷がかからないように留意して積載し、翌日、破壊検査場所まで10時間かけて搬送した。選果ラインの計測から1日経過し、果実の性質により時間経過によって軟果が出る可能性はあるが、ゴマ量の判定に支障はない。この時間経過での糖度の変化等は無視できるレベルである。

まず、果実の質量をグラム単位で計測し、次いで、基部から10~15mmの切断面と赤道部の切断面のゴマ分布を写真並びに、それら切断面の可溶性タンニンの分布状態を塩化第二鉄飽和水溶液と反応させて発色させ、これらを果実番号と併せて同一写真内にスケールと共に撮影した。その後、赤道部の果汁の可溶性固形物を手持ち屈折糖度計で測定した。

3) 渋果レベルの数値化

果実断面のゴマの分布をみれば、甘果か渋果は明確に判断できる。しかし、半渋果も含まれており、その渋果レベルを数値化して解析に供することとした。甘果を品質保証するには基部10~15mmの切断面において、外周5mmの渋以上は渋果としたいとする厳選主義の出荷団体があ

2) 秋元浩一(1994) 岐大式青果物選別法, 公開番号特開平6-98742

3) 中日新聞(1984) 甘い? 渋い? をピタリ, カキ判定機開発, 中日新聞1984年9月21日

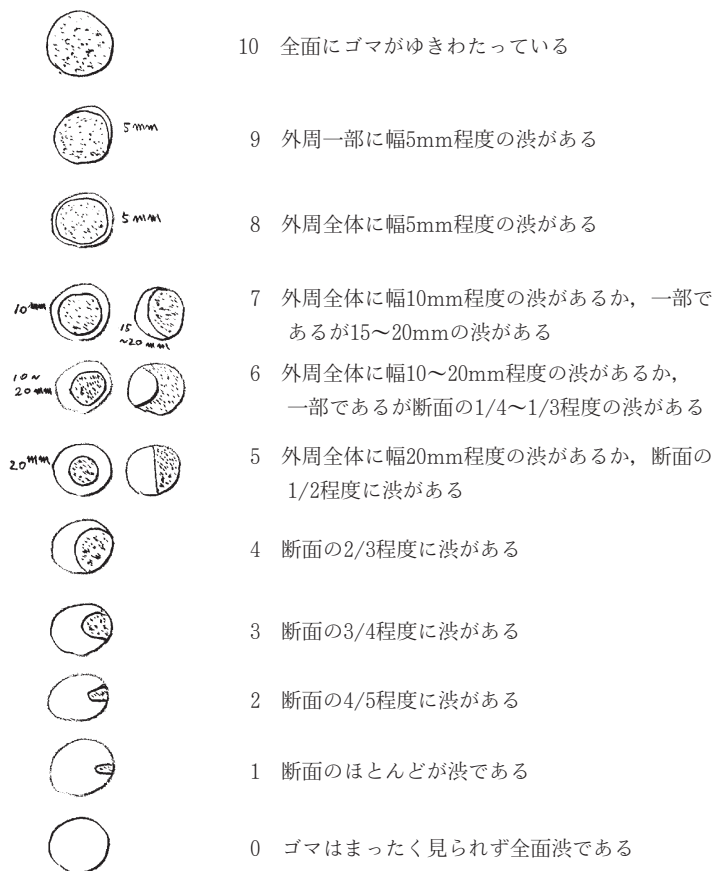


図1 切断面のゴマ分布による渋の評価基準

る。一方で、計測の困難さから、外周10mmまでは許容したいとする場合もある。勿論、市場によって渋果に対する許容範囲は異なるといわれるため、仕向市場によっても基準の取り方は異なる。また、脱渋は通常、種子周囲から進み、種子から離れるほど渋が残りやすい。成熟は果頂部から進み、基部が最も未熟部位になる。したがって、基部の外周部位が最も渋の残りやすいところであるが、本システムは、赤道部断面のゴマ量を基準とする仕様で発注されたとのことであるため、システム精度の評価は赤道部断面のゴマ分布や渋の状態をもとに検討することとした。

まず、専門的知見をもとに、切断面のゴマの分布状態から渋果レベルを数値化する基準を作成した。この基準を果実断面のゴマ分布として図示して、その説明とともに図1に示した。この基準によって、基部切断面と赤道部切断面の渋レベルを0~10に数値化した。また、同時に塩化第二鉄による可溶性タンニンの発色レベルを同様の形式により数値化した。厳選主義の出荷団体であれば、評価値が8以上で甘果として出荷される。経済選果をする団体であれば評価7を限界とするであろう。7に達しない6以下の果実は脱渋処理してから出荷されることとなる。

3. 結果および考察

(1) カキ果実‘西村早生’の計測結果

計測結果を表1-1と表1-2に示した。質量は142gから275gまで、Brixは12.0から17.2まで幅広い品質が含まれた。カキ果実のBrix糖度12というのはかなり低く、逆に17は相当に高い方である。元来、市場評価を高めるには16以上を目指そうとする産地が多いだけに、16以上の果実を区別せずに出荷するのは戦略的産地づくりを目指す立場からいえば問題であり、NIRSによる糖度評価を導入するか、あるいは園地の糖度区分を考慮したシステム構成等を再検討することにより改善が可能となる。

ゴマや渋レベルは表1に赤道部断面の数値のみを記載してある。赤道部の渋とは赤道部での切断面の渋レベルである。赤道部発色は赤道部切断面における可溶性タンニンの濃度分布を評価した値で、他と同じく0~10まで分布している。次いで、センサ平均値とは、選果ラインでの4回の計測値の平均値である。0から4.82までの値がある。目視とセンサ値の偏差は、赤道部の渋レベルの値とセンサ平均値の2倍の差を示している。0であれば、一致、+10で目視による評価では完全甘果であるのにセンサは完全渋果と判定したことを意味し、また、-10なら切断面目視で完全渋果と判定したのにセンサでは完全甘果と判定したことを意味する。結果は-2.64から+8.00まで値が広がっている。センサ値の標準誤差はセンサ平均値の持つ誤差を意味し、4回反復の計測値から算出された。0から0.35までの値となっている。センサ1回目から4回目までの値は選果ラインでの計測値である。その横に、4回反復の最大値と最小値を示し、最大値と最小値の差をレンジとして示した。レンジが小さいほど計測ムラが小さいことを意味し再現性の指標となる。センサ平均値の標準誤差も同様のことを表すが、レンジの方が直接的である。最も小さい値は0、最大のレンジは0.78であるが、ほとんどが小数点二桁の値で非常に小さい。このことは、6方向からの果実への照射光をもとに推定していることが、果実内における渋ムラ（ゴマムラ）の影響を丸める結果となっているためであるが、幾つかがやや大きくばらつくのは完全に解決された照射方法ではない証である。また、果実番号97は軟果であるが、センサ計測結果では1回目が0で渋果、2回目以降は異常果と判断し甘渋の判定外の結果を示した。98はほんの少し軟化が始まるかも知れないという果実であったが、やや、渋果気味の計測結果としている。果実硬度と光透過の関係は、成熟度が増えてくるに従って不溶性ペクチンが可溶化して低分子化し光透過度が高まる。甘果として出荷する検査で渋果もしくは渋果気味の計測値を出すことは実用上問題にならない。このことは軟果が選果ラインに原則として流れないことになっていることから問題にする必要はない。もし、自動的に軟果を選別しようとしても技術的には困難ではない。

(2) 特性値間の相関関係⁴⁾

表2に果実特性値間の相関関係を示した。0に近いほど無関係、±1に近いほど深い関係がある

4) 秋元浩一(1998)『農学：生物学の統計分析大要』養賢堂40, 176-178.

表1-1 カキ果実‘西村早生’の計測結果

番号	質量 g	Brix	基部 渋	赤道部 渋	基部 発色	赤道部 発色	センサ 平均値	目視とセン サの偏差	センサ値の 標準誤差	センサ 1回目	2回目	3回目	4回目	max	min	レン ジ
1	175	15.3	5	7	3	8	1.19	2.62	0.12	1.34	1.18	1.05	1.17	1.3	1.1	0.29
2	163	13.2	3	5	3	8	0.85	1.30	0.14	1.04	0.76	0.74	0.86	1.0	0.7	0.3
3	155	13.8	5	7	7	8	3.18	-1.36	0.14	3.07	3.36	3.08	3.22	3.4	3.1	0.29
4	175	17	7	8	9	10	1.90	3.20	0.19	1.94	1.62	1.94	2.08	2.1	1.6	0.46
5	170	15	6	9	8	9	1.04	3.92	0.05	1.09	1	1.08	1	1.1	1.0	0.09
6	175	14.6	5	8	4	9	4.14	-3.28	0.05	4.15	4.09	4.13	4.2	4.2	4.1	0.11
7	179	13.8	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0.0	0.0	0
8	164	16.3	8	9	9	10	1.32	5.36	0.02	1.35	1.3	1.31	1.3	1.4	1.3	0.05
9	184	15.5	4	7	7	8	0.47	3.06	0.07	0.55	0.51	0.42	0.41	0.6	0.4	0.14
10	186	14.5	8	9	8	9	1.73	4.54	0.05	1.72	1.71	1.81	1.69	1.8	1.7	0.12
11	209	14.2	4	7	4	8	1.37	1.26	0.06	1.46	1.32	1.34	1.34	1.5	1.3	0.14
12	180	15.2	6	7	7	8	1.41	3.18	0.17	1.63	1.46	1.26	1.29	1.6	1.3	0.37
13	196	13.2	3	6	3	8	1.61	-0.22	0.18	1.4	1.53	1.79	1.71	1.8	1.4	0.39
14	184	14.7	2	3	2	9	0.30	1.40	0.11	0.24	0.46	0.21	0.28	0.5	0.2	0.25
15	172	12.8	2	2	0	2	0.00	2.00	0.00	0	0	0	0	0.0	0.0	0
16	197	15	3	6	3	6	0.26	2.48	0.12	0.44	0.21	0.2	0.17	0.4	0.2	0.27
17	207	14	7	9	7	9	2.12	2.76	0.07	2.04	2.1	2.17	2.18	2.2	2.0	0.14
18	224	14.6	6	7	7	8	3.36	-0.72	0.05	3.32	3.41	3.39	3.32	3.4	3.3	0.09
19	202	14.6	7	8	8	9	4.56	-2.12	0.09	4.49	4.53	4.53	4.7	4.7	4.5	0.21
20	210	15.7	6	7	7	8	2.31	1.38	0.05	2.32	2.29	2.25	2.37	2.4	2.3	0.12
21	220	14.8	5	7	5	10	1.22	2.56	0.12	1.31	1.31	1.05	1.19	1.3	1.1	0.26
22	181	14	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0.0	0.0	0
23	222	16.5	3	6	4	7	1.18	0.64	0.17	1.28	1	1.07	1.37	1.4	1.0	0.37
24	172	15.3	3	7	3	7	0.90	1.20	0.20	0.69	0.84	0.9	1.16	1.2	0.7	0.47
25	264	15.4	7	9	8	9	2.45	2.10	0.04	2.48	2.45	2.39	2.46	2.5	2.4	0.09
26	232	14	3	6	3	7	0.54	1.92	0.05	0.47	0.57	0.54	0.57	0.6	0.5	0.1
27	247	15.8	2	7	2	7	1.23	-0.46	0.2	1	1.41	1.39	1.11	1.4	1.0	0.41
28	250	14.5	7	8	7	9	2.05	2.90	0.04	2.08	2.06	1.98	2.06	2.1	2.0	0.1
29	255	15.9	7	8	7	8	3.66	-0.32	0.16	3.72	3.73	3.41	3.76	3.8	3.4	0.35
30	218	15.6	7	7	6	9	1.97	3.06	0.23	2.29	1.93	1.78	1.86	2.3	1.8	0.51
31	218	14.3	7	7	7	8	1.2	4.60	0.14	1.33	1.31	1.12	1.04	1.3	1.0	0.29
32	229	15.2	6	7	6	9	3.08	-0.16	0.14	3.25	2.92	3.08	3.06	3.3	2.9	0.33
33	155	13.5	9	10	9	10	1.78	5.44	0.07	1.79	1.82	1.68	1.82	1.8	1.7	0.14
34	157	12.3	8	9	9	10	1.55	4.90	0.03	1.55	1.57	1.51	1.55	1.6	1.5	0.06
35	142	14.2	8	9	9	10	1.52	4.96	0.06	1.57	1.48	1.56	1.46	1.6	1.5	0.11
36	162	13	9	9	9	10	1.47	6.06	0.04	1.43	1.52	1.45	1.47	1.5	1.4	0.09
37	157	14.7	9	9	10	10	1.55	5.90	0.02	1.52	1.56	1.55	1.56	1.6	1.5	0.04
38	167	15.3	9	9	9	9	1.37	6.26	0.02	1.35	1.39	1.36	1.39	1.4	1.4	0.04
39	136	13.8	9	9	9	10	1.31	6.38	0.02	1.28	1.3	1.32	1.32	1.3	1.3	0.04
40	169	15	8	9	9	10	1.55	4.90	0.02	1.53	1.52	1.57	1.56	1.6	1.5	0.05
41	163	13.8	7	8	7	9	1.4	4.20	0.01	1.4	1.39	1.39	1.41	1.4	1.4	0.02
42	182	14.2	8	8	7	9	2.26	3.48	0.07	2.17	2.23	2.31	2.32	2.3	2.2	0.15
43	172	13.3	10	10	9	10	1.39	7.22	0.02	1.38	1.37	1.41	1.4	1.4	1.4	0.04
44	162	13.8	10	10	9	10	1.55	6.90	0.02	1.56	1.53	1.57	1.53	1.6	1.5	0.04
45	176	14	10	10	9	10	1.71	6.58	0.05	1.65	1.7	1.74	1.76	1.8	1.7	0.11
46	165	17.2	10	10	9	9	2.36	5.28	0.06	2.42	2.39	2.36	2.28	2.4	2.3	0.14
47	170	15	10	10	10	10	1.96	6.08	0.16	2.16	1.99	1.77	1.9	2.2	1.8	0.39
48	163	14	10	10	10	10	1.54	6.92	0.02	1.56	1.53	1.51	1.54	1.6	1.5	0.05
49	193	15.5	9	10	9	10	1.77	5.46	0.04	1.77	1.75	1.83	1.74	1.8	1.7	0.09

カキ果実の自動渋果判定装置

表1-2 カキ果実‘西村早生’の計測結果

番号	質量 g	Brix	基部 渋	赤道部 渋	基部 発色	赤道部 発色	センサ 平均値	目視とセン サの偏差	センサ値の 標準誤差	センサ 1回目	2回目	3回目	4回目	max	min	レン ジ
50	204	16	10	10	9	10	2.96	2.62	0.05	2.91	2.97	3.03	2.94	3.0	2.9	0.12
51	195	13.7	9	10	9	10	1.35	1.30	0.02	1.35	1.37	1.32	1.34	1.4	1.3	0.05
52	177	14	9	10	9	10	1.57	-1.36	0.04	1.58	1.53	1.55	1.62	1.6	1.5	0.09
53	200	15.7	8	9	8	10	2.55	3.20	0.03	2.53	2.54	2.59	2.55	2.6	2.5	0.06
54	193	13.5	8	9	8	9	1.73	3.92	0.03	1.72	1.71	1.71	1.77	1.8	1.7	0.06
55	207	14.6	7	9	8	10	1.31	-3.28	0.01	1.29	1.31	1.32	1.31	1.3	1.3	0.03
56	176	14.2	7	8	7	8	1.19	0.00	0.01	1.21	1.18	1.19	1.19	1.2	1.2	0.03
57	255	16.3	9	9	9	9	3.02	5.36	0.09	2.9	3.11	3.05	3.01	3.1	2.9	0.21
58	223	15.5	8	9	8	9	1.84	3.06	0.02	1.83	1.86	1.81	1.86	1.9	1.8	0.05
59	239	14.2	7	8	7	9	2.26	4.54	0.06	2.25	2.33	2.28	2.18	2.3	2.2	0.15
60	217	15.4	8	9	8	9	1.83	1.26	0.01	1.84	1.82	1.85	1.82	1.9	1.8	0.03
61	254	16.8	6	7	7	9	2	3.18	0.26	2	2.36	1.92	1.73	2.4	1.7	0.63
62	239	15.2	6	9	6	9	4.74	-0.22	0.17	4.94	4.78	4.53	4.72	4.9	4.5	0.41
63	234	16	10	10	10	10	2.4	1.40	0.09	2.32	2.49	2.45	2.33	2.5	2.3	0.17
64	243	16.5	7	8	8	9	2.12	2.00	0.05	2.05	2.12	2.15	2.16	2.2	2.1	0.11
65	162	14	8	9	9	9	2.57	2.48	0.05	2.59	2.62	2.51	2.55	2.6	2.5	0.11
66	126	15.5	7	8	8	8	1.82	2.76	0.02	1.83	1.83	1.78	1.82	1.8	1.8	0.05
67	150	13.5	7	8	7	9	2.16	-0.72	0.02	2.14	2.14	2.18	2.16	2.2	2.1	0.04
68	155	14.8	9	9	9	10	2.65	-2.12	0.02	2.66	2.64	2.63	2.67	2.7	2.6	0.04
69	154	15	7	8	9	9	3.38	1.38	0.01	3.38	3.39	3.38	3.37	3.4	3.4	0.02
70	152	14	7	8	8	10	4.43	2.56	0.02	4.42	4.42	4.43	4.46	4.5	4.4	0.04
71	156	15.9	8	8	9	9	2.43	0.00	0.05	2.5	2.39	2.42	2.4	2.5	2.4	0.11
72	158	14.2	8	8	9	10	4.06	0.64	0.09	3.99	4.04	4.19	4.02	4.2	4.0	0.2
73	177	14.7	10	10	10	10	1.9	1.20	0.02	1.88	1.89	1.92	1.91	1.9	1.9	0.04
74	178	13.8	8	8	8	9	2.38	2.10	0.04	2.42	2.33	2.38	2.38	2.4	2.3	0.09
75	179	16.8	9	9	9	9	2.71	1.92	0.04	2.65	2.73	2.74	2.7	2.7	2.7	0.09
76	189	16.3	8	9	9	10	2.1	-0.46	0.01	2.09	2.1	2.1	2.09	2.1	2.1	0.01
77	182	14.8	9	9	10	10	3.44	2.90	0.02	3.44	3.41	3.45	3.47	3.5	3.4	0.06
78	160	13.9	7	8	7	8	3.23	-0.32	0.02	3.23	3.21	3.25	3.22	3.3	3.2	0.04
79	183	14.6	8	9	8	9	3.37	3.06	0.02	3.39	3.36	3.36	3.38	3.4	3.4	0.03
80	175	16	8	9	8	9	3.16	4.60	0.09	3.15	3.08	3.11	3.28	3.3	3.1	0.2
81	217	13.5	9	9	9	9	3.88	-0.16	0.02	3.85	3.9	3.87	3.89	3.9	3.9	0.05
82	193	13.8	8	9	9	10	3.89	5.44	0.02	3.87	3.91	3.89	3.9	3.9	3.9	0.04
83	202	14.7	10	10	9	10	3.09	4.90	0.05	3.16	3.07	3.07	3.06	3.2	3.1	0.1
84	203	14.2	10	10	9	9	2.95	4.96	0.05	2.88	2.93	3.01	2.96	3.0	2.9	0.13
85	220	15.4	9	10	9	10	4.08	6.06	0.12	3.9	4.13	4.1	4.17	4.2	3.9	0.27
86	204	13.5	8	9	9	9	3.88	5.90	0.03	3.84	3.88	3.88	3.9	3.9	3.8	0.06
87	209	12	10	10	8	9	2.66	6.26	0.1	2.8	2.63	2.64	2.55	2.8	2.6	0.25
88	185	14	8	9	8	9	3.86	6.38	0.01	3.84	3.87	3.85	3.86	3.9	3.8	0.03
89	258	14.8	7	7	7	7	3.31	4.90	0.35	2.88	3.62	3.55	3.17	3.6	2.9	0.74
90	250	14.8	6	7	6	7	2.94	4.20	0.35	3.46	2.79	2.83	2.68	3.5	2.7	0.78
91	245	14.5	7	7	7	7	2.91	3.48	0.08	2.81	2.95	2.98	2.88	3.0	2.8	0.17
92	275	15.2	7	8	7	8	4.3	7.22	0.24	4.12	4.46	4.56	4.07	4.6	4.1	0.49
93	254	13.7	7	7	7	8	4.21	6.90	0.11	4.36	4.15	4.21	4.1	4.4	4.1	0.26
94	267	14.4	7	7	7	7	4.82	6.58	0.2	5.09	4.71	4.86	4.63	5.1	4.6	0.46
95	254	14.2	6	7	6	8	4.16	5.28	0.12	4.12	4.33	4.13	4.04	4.3	4.0	0.29
96	252	14	6	7	6	7	3.02	6.08	0.16	2.85	2.93	3.18	3.12	3.2	2.9	0.33
97	142	15.8	7	8	10	10	0	7	0.00	0				0.0	0.0	0.00
98	163	14.8	8	9	10	10	3.78	0.44	0.06	3.76	3.73	3.76	3.86	3.9	3.7	0.13

ことを示す。プラスの値は共に増加，または減少する関係，マイナスの値は一方が増加の時，他方は減少する関係である。この相関行列の中で最も高い相関関係が認められるのは，赤道部渋と赤道部発色の0.87である。これは，赤道部断面のゴマ分布と可溶性タンニンの濃度分布に高い相関があるということであり，従来，いわれている早生柿の甘渋判定はゴマの分布で判断される⁵⁾ということと一致している。しかし，センサ値との相関係数はいずれの要因とも0.3のレベルで小さな値であった。質量とセンサ平均値の標準誤差と若干の関係がある可能性が相関係数0.51で示される。関係があるとすれば，果実が大きくなるほど，標準誤差が大きくなるということの意味する。これは果実が大きいくほど，光路長も長くまた半渋の渋分布にムラがあって6方向からの照射であっても多少影響を受ける可能性があるということである。また，Brixはどの要因とも関係が認められなかった。このことは，Brixが渋レベルや質量から推定できないということの意味している。

表2 特性値間の相関行列

	Brix	基部渋	赤道渋	基部発色	赤道発色	センサ値	標準誤差
質量	0.23	-0.14	-0.11	-0.18	-0.16	0.33	0.51*
Brix		0.04	0.11	0.12	0.13	0.05	0.24
基部渋			0.89*	0.93*	0.76*	0.38	-0.27
赤道渋				0.87*	0.87*	0.35	-0.20
基部発色					0.79*	0.39	-0.27
赤道発色						0.30	-0.14
センサ値							0.18

(3) センサによるゴマ量の計測値と赤道部切断面の渋レベルの関係

センサ値1.8以上の果実には渋レベル7以上となったが，これは赤道部切断面で果皮近くの外周10mm程度以下の渋が残る程度の果実を甘果と判定できることを意味している。しかし，1.8未満となる果実にはレベル7～10の甘果とされるべき果実も多数含まれたが，これは生産者にとって損失である。この判定の精度は現行の基準1.8を改めても改善されることはなく，現在のシステムでは1.8という基準値が最も良いということができる。

一方，赤道部の渋レベル値とセンサ値の偏差の関係を検討したところ，赤道部断面の渋レベル6以上で大きな誤差が発生した。この原因は半渋果とゴマの濃淡によるものである。さらに，赤道部断面の渋レベルとセンサ値の反復値における最大値と最小値の差（範囲とかレンジという）を赤道部渋レベルに対応させて検討し，また，レンジの代わりにセンサ値の平均値の標準誤差との関係を調べた。その結果，両者とも同じ傾向となった。同一果実をランダム方向で反復計測し

5) 秋元浩一（1980）レーザー・X線利用によるカキの品質評価，果実日本35(12)62-66.

た場合、レベル7が最も再現性が低く、次いで8である。反復センサ値のレンジ0.78となったのは果実番号90であり、0.74は果実番号89、0.63は果実番号61である。いずれも外周の渋の厚さが一様でなく、照射光による方向の影響を受けている可能性が高い。しかし、同様の渋ムラは他にも数多く存在している。このことは、レンジや標準誤差が大きく出た果実は、6方向からの光照射であっても値が異なる配置になったことが確率的出現であったと考えるのが最も妥当性が高い。この点を改善しようとするれば光照射法と用いる波長の選択によって精度向上が図られると考えられる。

センサ値の反復の中におけるレンジの大きさと赤道部切断面の目視による渋レベルの値のセンサ値の差、すなわちセンサの誤差の関係を検討したところ、センサ値のレンジが小さい箇所では誤差が大きくなっている傾向が認められた。このことは、半渋果実の配置法によっては、誤差発生に対する改善の可能性は低いことを意味している。

センサ値のバラツキと果実質量、Brixとの関係については、ほとんど認められなかったが、質量の小さい果実の方がセンサ値のバラツキは小さい傾向となった。果実質量とBrixの関係について両者の間に相関は全く認められない。Brixが12から17.2の間に広く分布していることを考慮すると、通常、果実の甘みの閾値は2度以上とされ、その差が存在すると甘さに違いがあると感じる人が多いということであるから、本地域では、糖度に関し少なくとも3グループにわたる品質区別が本来とるべき産地戦略と考えられる。

(4) 判定精度

判定の確かさについて表1をもとに検討する。センサ値1.8を現行基準とする甘渋選別と赤道部切断面のゴマ状態を比較すると、レベル7未満の渋果とされるべき果実は、果実番号2, 7, 13, 14, 15, 16, 22, 23である。これらの果実に対するセンサ値は4反復すべての値で1.8未満であり、確実に渋果として判定されていることが分かる。同一果実に対する4回反復の結果には若干のバラツキがあるものの結果に影響はない。赤道部断面のゴマ状態を基準にする限りでは消費者に不利益を与える危険は極めて小さいとすることができる。しかし、本来、甘果に属するとみられる果実が渋果のグループに誤判定されているということである。渋果は脱渋処理して商品出荷されるものの価格は安くなってしまう。不合格品中に良品が多く混入するという問題は生産者の不利益となるため、この点の改善は取り組むべき課題となるであろう。

4. 改善すべき課題と方策

市場に対する評価を勝ち得るには、不良品の混入は厳禁である。このことを保証するには、‘西村早生’選果についていえば、本報で示した渋の評価基準で7以上を良品、6以下は不良品とすることは厳守されなければならない。あるいは、より厳選する立場で8以上を良品とすることは市場の信頼を得る上で一層、良い。施設で稼働するシステムの渋果判定の能力は、赤道部切断面のゴマ基準であれば確実に判定する能力を有するということができ、買い手の信頼を得る上では

満足すべき結論となった。ところが、不合格品の中に良品が多く混入してしまうという問題があり、生産者の損失を軽減できるよう改善に取り組む必要がある。本システム判定方式は赤道部を中心としたゴマ状態を基準として渋果と甘果を識別するための2波長を選択し、その吸光度差により推定する方式を採用したが、市場価値を高めようとするれば、基部に残る渋を判定する上で赤道部断面よりも基部断面を基準にする方が一層望ましいと考えられる。また、センサー値の再現性や良品が不合格品に混入するという問題を解決するため、現行の搬送系のもとで計測機器製作の三井金属鉱業において、さらに改善すべく取り組んでいただいた。使用波長の再検討、二次微分スペクトル解析による最適波長による効果および式の検討の結果、判定の精度と再現性はさらに改善できる見通しが立ったが、特に、使用波長の再選択と式の決定にあたっては、常にデータの積み重ねをもとに改善を重ねることが重要である。このような選果場システムが導入されることによって、収穫以後の農家の省力化は確実に改善されるだけでなく、品質に対する市場からの信頼が高くなることを評価すると、本選果場システムは‘西村早生’果実の産地振興に大きく貢献すると結論される。なお、‘西村早生’の食味は、‘平核無’と異なって果肉が固く、しかも糖度も高い特徴がある。本報で示されたように、果実の糖度12から17までの広い範囲に分布していることから、これを3区分程度にして戦略出荷する体制を望みたい。この体制を可能にするには、渋果判定に加えて糖度の評価を加えることについても同時に整備すべきであろう。

参考文献

- Akimoto, Koichi (1998) Present States in Quality Evaluations of Horticultural Products. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 67(6)1171-1176.
- Akimoto, Koichi (2006) Principles and Current Techniques of Quality Evaluations for Agricultural Products. Univ. Res. Institute Nagoya Gakuin Univ. (19), 1-16.
- 秋元浩一 (1998) 『農学：生物学の統計分析大要』養賢堂.
- 秋元浩一 (2000) 『千年の歴史の味、堂上蜂屋柿』新農林社.
- 秋元浩一 (2006) 選果施設の現状と課題, 名学大論集 43(1)87-107.
- 茶珍和雄 (2007) 『園芸作物保蔵論』建帛社.
- 農産物流通技術研究会編 (2003-2014) 各年度『農産物流通技術年報』
- 青果物選果予冷施設協議会 (2007) 『園芸農産物の選別・鮮度保持ハンドブック』日本施設園芸協会.