

あたらしい 農業技術

No.686

近赤外分光法による‘^{こやま}古山ニュー
サマー’の非破壊種子数予測

令和4年度

要 旨

1 技術、情報の内容及び特徴

- (1) ‘古山^{こやま}ニューサマー’は、賀茂郡河津町で発見されたヒュウガナツの枝変わり（突然変異）で、2015年に品種登録された晩生のカンキツです。ヒュウガナツに比べて強い単為結果性を獲得したことで、種なし果実の生産が可能となった有望品種であり、伊豆地域を中心に苗木の導入が進みつつあります。
- (2) 周囲に他のカンキツ樹が植栽されている露地栽培の条件下では、‘古山ニューサマー’には種が多い果実（以下、多核果）と種が少ない果実（以下、少核果）または種なし果実（以下、無核果）がともに着果します。これらの果実から無核・少核果を選別して差別化販売するために、果実に光を照射して得られた近赤外域の波長から種子数を予測する新しい選果技術を開発しました。

2 技術、情報の適用効果

当該技術の導入により、無核・少核果であることを担保して販売可能となることから、食べやすく消費者ニーズに合致した果実を差別化することで、単価の向上につながります。

3 適用範囲

県内カンキツ産地

4 普及上の留意点

- (1) 種子数予測用検量線の作成と予測精度向上には、‘古山ニューサマー’果実に光を照射して得られた近赤外波長データと、果実を剥いて種子数を調べた実測データの蓄積が必要となります。
- (2) ‘古山ニューサマー’は種苗法上の登録品種であるため、種苗の増殖、譲渡には育成者の許可（承認）が必要です。

目 次

はじめに	1
1 ‘古山ニューサマー’の品種特性と無核果生産機構	1
2 近赤外分光法による‘古山ニューサマー’の非破壊種子数予測	3
(1) 種子数の予測精度(試験1)	3
(2) 異なる照射部位における種子数の予測精度(試験2)	4
(3) 異なる年次に採取した果実での種子数の予測精度(試験3)	5
おわりに	6
参考文献	7
用語解説	7

はじめに

ヒュウガナツは、鮮やかな黄色い果皮、爽やかな香りと酸味が特徴の伊豆特産カンキツです。生果の販売だけでなく、果皮や果汁を利用した加工品も多く、伊豆地域を訪れる観光客に販売する土産物として重要な位置づけとなっています。ヒュウガナツの品種特性として、自家不和合性をもつことから自らの花粉で受粉することができず、かつ単為結果性に乏しいことから、結実には他家受粉が必要な点が挙げられます。他家受粉した果実には種子が含まれ（図1右）、食べやすさを重視する近年の消費者ニーズに合致しないことから、無核果を生産できる新品種の育成が求められてきました。

ヒュウガナツの枝変わり（突然変異）で、静岡県賀茂郡河津町の生産者ほ場において2006年に発見され、2015年に品種登録された‘古山ニューサマー’は、ヒュウガナツに比べて強い単為結果性をもつことから無核果が多く得られることが明らかとなり（図1左）、伊豆地域のカンキツ産地への導入が進みつつあります。しかし、周囲に他のカンキツ樹が植栽されている露地栽培の条件下では、少核果や無核果だけでなく多核果も着果することが知られています。そこで、伊豆農業研究センターでは、無核・少核果を選別して有利販売する技術として、果皮を剥かずに果実に光を照射して得られた近赤外域の波長から種子数を予測する技術を開発したので、その概要を紹介します。なお、本技術は、伊豆地域のカンキツ産地に導入済みである光センサー付き選果機に種子数予測機能を追加することを想定し、試験を行いました。



図1 無核の‘古山ニューサマー’（左）と多核のヒュウガナツ（右）

1 ‘古山ニューサマー’の品種特性と無核果生産機構

‘古山ニューサマー’の樹勢は中庸、とげは短いが多く発生し、ヒュウガナツと同等程度です。また、かいよう病には耐病性です。果皮は黄色であり、果実表面がヒュウガナツに比べてやや滑らかな果実が多い傾向がありますが、外観でヒュウガナツと区別することは困難です（図2）。他のカンキツ類が周囲に定植されている園地で栽培している‘古山ニューサマー’とヒュウガナツの果実品質を2か年で比較したところ（表1）、果実重は120～160gでヒュウガナツに比べてやや小さく、果皮が薄く、1果あたりの種子数が少なく、糖度はヒュウガナツとほぼ同等でした。また、クエン酸含量がヒュウガナツとほぼ同等であったことから、ヒュウガナツの収穫期である4月下旬から5月が、‘古山ニューサマー’の収穫適期であると考えられます。

5月の開花期に‘古山ニューサマー’の花弁および雄ずいを除去し、小袋で覆い周囲からの他品種の花粉の飛来を遮断して着果率を調査したところ、6～7月に他のヒュウガナツ品種（‘西内小夏’、‘室戸小夏’）およびヒュウガナツが落果し、着果率が大きく低下したのに対し、‘古山

ニューサマー’では60%程度の着果率となりました(図3)。産地におけるヒュウガナツの収穫月である4月時点においても、‘古山ニューサマー’の着果率は48.3%で、他の3カンキツ種に比べて高く維持されました。また、4月時点で着果していたすべての果実は、種子を含まない無核果でした。花粉が受粉しなくても結実し無核果が得られる現象は「単為結果性」と呼ばれることから、‘古山ニューサマー’はヒュウガナツやその他のヒュウガナツ品種に比べて強い単為結果性をもち、これが無核果となる要因であることが明らかとなりました。



図2 ‘古山ニューサマー’(左)とヒュウガナツ(右)の着果の様子

表1 ‘古山ニューサマー’の果実特性

	果実重 (g/果)		果肉歩合 (%)		果皮厚 (mm)		種子数 (個/果)		糖度 (Brix%)		クエン酸含量 (%)	
	2013年	2014年	2013年	2014年	2013年	2014年	2013年	2014年	2013年	2014年	2013年	2014年
古山ニューサマー	127	162	75	73	2.9	3.7	1.2	3.0	11.0	12.1	1.65	1.73
ヒュウガナツ	175	182	65	65	5.0	5.3	6.8	6.5	10.8	11.0	1.63	1.40

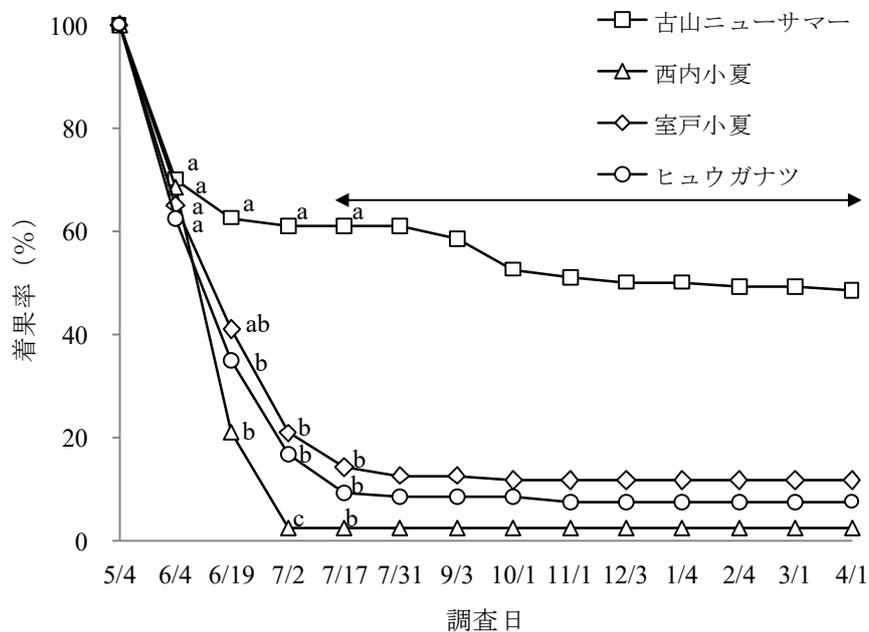


図3 花粉遮断条件下における供試カンキツ種の着果率

図中の異なる符号間には、arcsin変換後Tukeyの多重比較検定により5%水準で有意差あり

図中の矢印は当該期間中の符号が同一であることを示す

2 近赤外分光法による‘古山ニューサマー’の非破壊種子数予測

(1) 種子数の予測精度 (試験1)

静岡県農林技術研究所伊豆農業研究センター内の露地に植栽された‘古山ニューサマー’から、収穫適期に試験用果実74果を採取し、近赤外分光分析装置(HOS-200、(一財)雑賀技術研究所)を用いて果実赤道部(側面)の近赤外域の波長(700~1000nm)を測定しました(図4)。その後、試験用果実の果皮を剥き、種子数(完全種子と不完全種子の合計数)の実測データをとりました(図5)。試験用果実のうち49果の近赤外域の波長と種子数の実測データから検量線を作成し、残る試験用果実25果を用いて、作成した検量線の精度を確認しました。精度の確認方法としては、図6のように、皮を剥いて調べた実測値と検量線を使って予測した予測値の正誤判定を行いました。なお、ここでは、種子数5個以下を少核果(種子が少ない果実)、6個以上を多核果(種子が多い果実)と扱っています。

試験の結果について、まず、近赤外分光分析装置で得られた近赤外域の波長データを、無核果2果、多核果2果(1果あたりの種子数30個および28個)で比べたところ(図7)、750nm、760nm、940nm付近など複数の波長域で吸光度に違いがみられたことから、この違いを解析することで、無核果を無核果、多核果を多核果と予測可能な種子数予測用検量線が作成できる可能性があると考えられました。

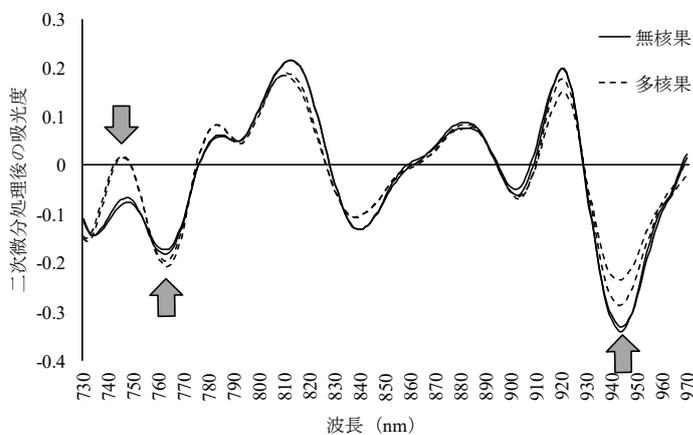


図7 無核果と多核果の近赤外スペクトル(二次微分処理後)

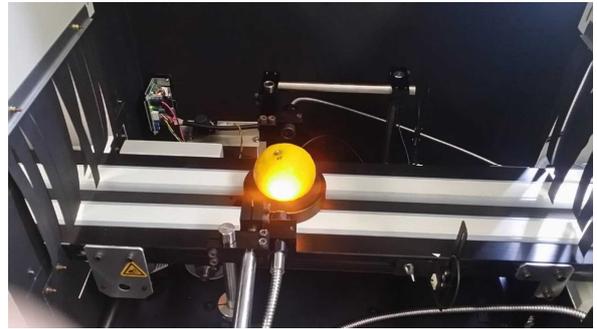


図4 近赤外域の波長測定の様子
果実の赤道部(側面)にハロゲンランプの光を照射



図5 ‘古山ニューサマー’の完全種子と不完全種子

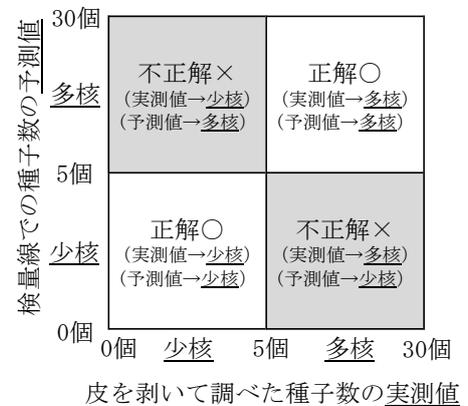


図6 種子数予測用検量線の精度の評価

作成された種子数予測用検量線を図8に示しました。皮を剥いて調べた実測値と検量線を使って得た予測値の相関係数で、数値が1に近いほど相関が高いことを示すRは、0.96と高い値でした。検量線の精度を評価するための果実25果について、皮を剥いて調べた実測値と検量線での予測値から、正解率、不正解率を検証した結果は図9のとおりでした。すなわち、実測値が5個以下の少核果は20果あり、そのうち18果は少核果と予測することができましたが（正解）、残りの2果は少核果と予測することができませんでした（不正解）、残りの2果は多核果と予測し不正解でした。実測値が6個以上の多核果は5果あり、その全てを多核果と予測することができました。多核果を少核果であると予測して販売してしまうと、消費者からのクレームに繋がる可能性があります（図9の太枠内）。今回の試験では、これに該当する果実がなかったことから、近赤外分光法による‘古山ニューサマー’の少核果を選別する技術は、産地において実運用できる可能性があると考えられました。なお、本冊子では、種子数5個以下の少核果の選別に関する検証結果のみを示しています。実際の試験では、種子数0個の無核果のみを近赤外分光法で選別できるか、についても合わせて検証しましたが、種がある果実を無核果と予測してしまう不正解がみられたことから、無核果のみの選別は難しいと考えられました。

(2)異なる照射部位における種子数の予測精度(試験2)

試験1では光の照射部位を果実の赤道部（側面）に限定して調査を行いました。しかし、産地に導入されている光センサー付き選果機では、実際には果実は様々な向きでコンベア上を流れてくるため、光の照射部位は赤道部に限定されません。そこで試験2では、照射部位を変えて種子数の予測精度を検証しました。

伊豆農業研究センター内の露地に植栽された‘古山ニューサマー’から、収穫適期に果実を86果採取し、試験1と同様の条件で近赤外域の波長を測定しました。ただし、果実への光の照射部位は、赤道部（側面）、果梗部（へたの部分）、果頂部（へたの反対側）、赤道部と果梗部の中

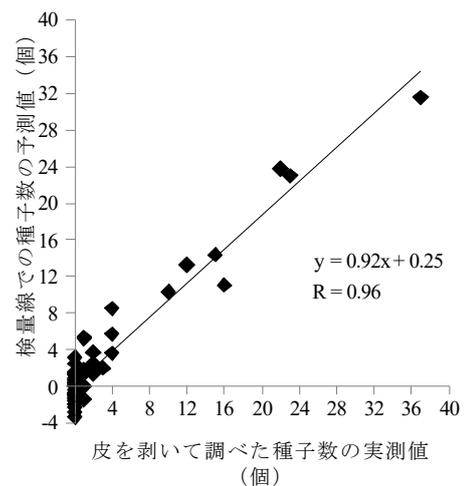


図8 近赤外分光法により作成された‘古山ニューサマー’の種子数予測用検量線
Rは検量線作成時における予測値と実測値の相関係数を示す

検量線での種子数の予測値	多核	不正解× 2果 (8%)	正解○ 5果 (20%)
	少核	正解○ 18果 (72%)	不正解× 0果 (0%)
		0個 少核	5個 多核 30個

皮を剥いて調べた種子数の実測値

図9 近赤外分光法による‘古山ニューサマー’の種子数予測の正誤判定結果
図中の数値は該当する果実数を、括弧内は全評価試料（25果）に占める割合を示す

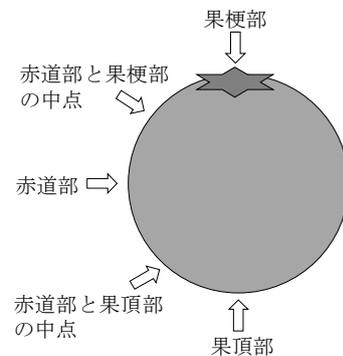


図10 果実への光の照射部位（試験2）

点、赤道部と果頂部の midpoint の 5 部位とし（図 10）、試験用果実 86 果で照射部位を変えて各果実について計 5 回ずつ測定しました。その後、試験用果実の果皮を剥き、種子数を計測しました。試験 1 と同様の方法で検量線を作成し、試験 1 と同じ基準（図 6）に従って、種子数予測の精度の評価を行いました。

結果として、作成された検量線の相関係数 R は 0.76 と、試験 1 に比べてやや低い値でした。種子数 5 個以下を少核果、種子数 6 個以上を多核果とした正誤判定では、正解率は 86.2～93.1% であり、消費者からのクレームにつながると思われる不正解の割合（表 2 括弧内）は 3.4～6.9% で、予測精度の評価に用いた 29 果のうちの 1～2 果と、数は少ないものの該当する果実がありました。しかしながら、これらの不正解に該当した果実はすべて、種子数の実測値が 6 個または 7 個の境界値付近の多核果を少核果であると予測した不正解でした。

以上から、照射部位を変えて得られた近赤外域の波長から作成された検量線の相関係数 R は、試験 1 で赤道部のみに光を照射した場合に比べて小さい傾向

でした。この要因としては、果実の向きによって果実中の種子全体にハロゲンランプの光が照射される場合と、種子が含まれていない部分に一部照射される場合があり、同一の果実であっても照射部位によって近赤外域の波長が異なったことが考えられます。検量線の予測精度について、正解率は 86% 以上と高く、消費者のクレームに繋がる不正解が 3.4～6.9% みられましたが、これらのすべてが種子数 6 個または 7 個の少核果に近い多核果であったため、種子数 5 個以下を少核果として販売した際に、これらの果実が問題になる可能性は低いと考えられます。

表 2 近赤外分光法により作成された「古山ニューサマー」種子数予測用検量線の正解率の照射部位による差異

照射箇所	正解率 (%)	不正解率 (%)
赤道部	89.7	10.3 (6.9) ²
果梗部	93.1	6.9 (3.4)
果頂部	89.7	10.3 (6.9)
赤道部と果梗部の midpoint	89.7	10.3 (6.9)
赤道部と果頂部の midpoint	86.2	13.8 (6.9)

² 括弧内は、図 6 太枠内の消費者からのクレームに繋がる不正解の割合を示す

(3) 異なる年次に採取した果実での種子数の予測精度（試験 3）

近赤外分光法による種子数予測技術を産地の選果機に導入するにあたって、過年度産の果実の近赤外波長データと種子数の実測データから検量線を作成し、当年産果実の種子数予測に用いる可能性が想定されるため、試験 3 では異なる年次の果実を検量線の作成と評価に用いた場合の予測精度を検証しました。

2017 年次、2018 年次、2020 年次と異なる 3 カ年に採取した果実でデータとりました。なお、光の照射部位はすべての年次で赤道部に統一しました。2017 年次、2018 年次、2020 年次の 3 か年の内、2 か年分の果実のデータで検量線を作成し、残りの 1 か年分のデータを評価に用いることで、3 種類の検量線作成と評価方法における予測精度を検証しました。検量線の作成および評価の手法は試験 1 と同様です。

まず、検量線の作成と評価に用いた果実の全種子数の実測データを表 3 に示しました。表の検量線評価用果実において、全種子数の平均値と最大値が最も大きいのは 2020 年産果実であり、次いで 2017 年産、2018 年産の順でした。すなわち、表 3 の検量線作成用果実に示した 3 通りの検量線作成方法（2017 年産+2018 年産、2017 年産+2020 年産、2018 年産+2020 年産）の内、2020 年産が含まれている場合には、検量線作成用果実の全種子数の平均値および最大値

は大きく、2020年産が含まれていない場合には小さくなりました。表3に示した3通りの方法で作成された検量線の相関係数を示すRは0.84~0.88でした。

表3 検量線作成と評価に用いた年次が異なる‘古山ニューサマー’の種子数

供試果実の採取年次	検量線作成用果実				供試果実の採取年次	検量線評価用果実			
	標本数 (果)	種子数(個)				標本数 (果)	種子数(個)		
		最大値	最小値	平均値±標準偏差		最大値	最小値	平均値±標準偏差	
2017年産+2018年産	160	37	0	3.6±7.3	2020年産	70	44	0	14.6±12.4
2017年産+2020年産	144	44	0	9.2±11.8	2018年産	86	31	0	3.1±6.0
2018年産+2020年産	156	44	0	8.3±11.0	2017年産	74	37	0	4.1±8.7

種子数5個以下の少核果と種子数6個以上の多核果を境界とした正誤判定では、2017年産+2018年産の正解率が75.7%と低く、消費者からのクレームにつながると考えられる不正解の割合が10.0%を占めたのに対し、2018年産+2020年産では正解率が90.5%で、クレームに繋がる不正解(表4括弧内)に該当した果実はありませんでした(表4)。2018年産+

表4 異なる年次に採取した果実を用いて近赤外分光法により作成された‘古山ニューサマー’種子数予測用検量線の正解率

検量線作成試料	検量線評価試料	正解率 (%)	不正解率 (%)
2017年産+2018年産	2020年産	75.7	24.3 (10.0) ²
2017年産+2020年産	2018年産	81.4	18.6 (3.5)
2018年産+2020年産	2017年産	90.5	9.5 (0)

² 括弧内は、図6太枠内の消費者からのクレームに繋がる不正解の割合を示す

2020年産を用いた場合に検量線の評価が良好であった要因としては、検量線作成用果実として3か年の内、全種子数が最も多い2020年産と最も少ない2018年産を用いたことから、種子数が多い果実から少ない果実まで広範囲の果実を検量線作成に用いることができたためであると考えられます。反対に2017年産+2018年産を検量線作成用果実とした場合に不正解が多くみられたのは、種子数が少ない2017年産と2018年産の果実を用いて、種子数が多い2020年産を予測したためと考えられました。2018年産+2020年産を検量線作成用果実とした場合のように、無核果から多核果まで種子数の幅が広い果実集団を検量線の作成に用いることで、異なる年次に採取した‘古山ニューサマー’果実であっても近赤外分光法による種子数の予測は可能であると考えられました。

おわりに

本研究では、近赤外分光法を用いた‘古山ニューサマー’の種子数の予測精度について、実際にカンキツ産地に本技術を導入することを想定して、3つの試験を行いました。結果として、試験1から、近赤外分光法を用いることで、‘古山ニューサマー’の少核果を選別することが可能であると考えられました。また、試験2から、果実への光の照射部位が異なった場合、同一部位に照射した場合に比べてやや精度が低下しますが、実用上大きな問題になる可能性は低いと考えられました。さらに、試験3から、異なる年次に採取した果実においても種子数の予測は可能であり、無核果から多核果まで、種子数の幅が広い果実を検量線の作成に用いることで、種子数の予測精度を高められることが示されました。これらのことから、消費者の嗜好に合った、無核もしくは少核の‘古山ニューサマー’を安定的に供給するための選果技術として、近赤外分光法が利用可能であることが明らかになりました。今後は、伊豆地域のカンキツ産地において‘古山ニューサマー’の生産量の増加が見込まれることから、産地の選果機に本技術を導入することで、種が少なく消費者の嗜好に合った‘古山ニューサマー’を安定的に供給可能となり、販売単価の向上に繋がることが期待されます。

参考文献

- 1) 浜部直哉・馬場明子・前田未野里・勝岡弘幸・種石始弘・久松 奨・野田勝二. 2020. ‘ヒュウガナツ’の枝変わり品種‘古山ニューサマー’の受粉および結実特性. 園学研. 19: 229-235.
- 2) 浜部直哉・馬場明子・前田未野里・勝岡弘幸・種石始弘・久松 奨・野田勝二. 2020. 開花期にネットを被覆した‘古山ニューサマー’における無核果の着果量, 着果特性および果実品質. 園学研. 19: 331-337.
- 3) 浜部直哉・馬場明子・宗野有雅・池ヶ谷 篤・大場聖司・種石始弘・馬場富二夫・野田勝二. 2023. 近赤外分光法を用いた‘古山ニューサマー’の非破壊種子数予測. 園学研. 22: 89-97.

用語解説

1) 枝変わり

果樹類では、成熟期の早晩や高糖度化、少核化など、異なる特徴をもった枝が発見されることがあり、枝変わりと呼ぶ。遺伝子の突然変異により起こる。

2) 単為結果性

受粉せずに結実する性質。単為結果した果実は種なしとなる。

3) 自家不和合性

自らの花粉では受粉することができない性質。

4) 近赤外分光法

物質に光を照射した際に得られた近赤外域の波長を解析に用いることで物質を破壊することなく成分を測定する方法。

5) 完全種子

正常に発育した種子。

6) 不完全種子

完全種子に比べて小さく、厚さが薄い種子。完全種子と同様に口に残るため、食べる際には除去する必要がある。

7) 検量線

物質の成分量を直接定量できない場合に作成する、測定値と量や濃度との関係式。本研究では、果実中の種子の数により近赤外域の波長に違いがあることを利用し、近赤外域の波長（測定値）と種子数との関係から検量線を作成して、種子数を予測した。

農林技術研究所 伊豆農業研究センター生育・加工技術科 上席研究員 浜部直哉