

カキの着色機構の解明及び 温暖化の影響評価と対応方策

岐阜県農業技術センター
新川 猛

研究実施の背景

●カキの品種別で最も栽培面積の多い「富有」の発祥地で、昭和40年代半ばまで「富有」の東京市場占有率で全国一であった岐阜県のカキ栽培も、昭和末期をピークに栽培面積が減少に転じ、占有率・平均単価とも他産地の後塵を拝することとなった。

●平成に入ると汗をかきながら収穫作業を行ったり、カキの着色が劣る年が現れるようになり、温暖化の影響が実感できるようになってきた。



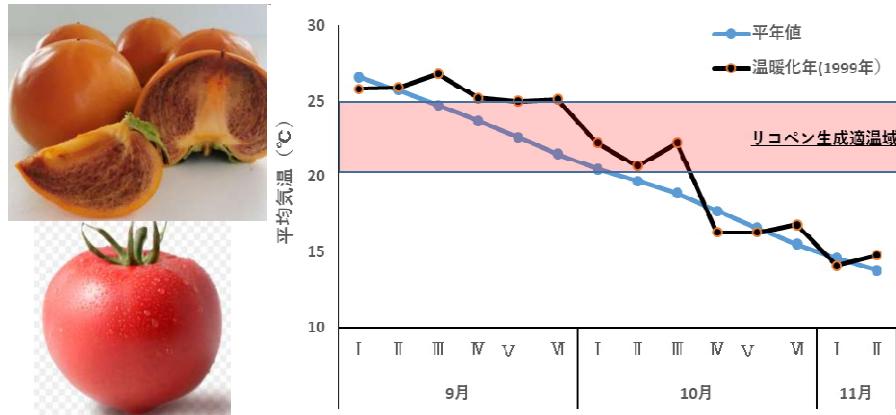
単価安は他県産より着色が劣るから。着色が劣るのは残暑厳しく、その後一気に気温が低下し、リコペン生成の好適温度の遭遇時間が他産地より短いからと教えられたが・・・



他県産富有 岐阜県産富有



同一樹・同一日の着色の違い(10/15)



9月に収穫できる早生柿
夏でも着色しているトマト
温暖化の年の方がリコペン適温に長く遭遇



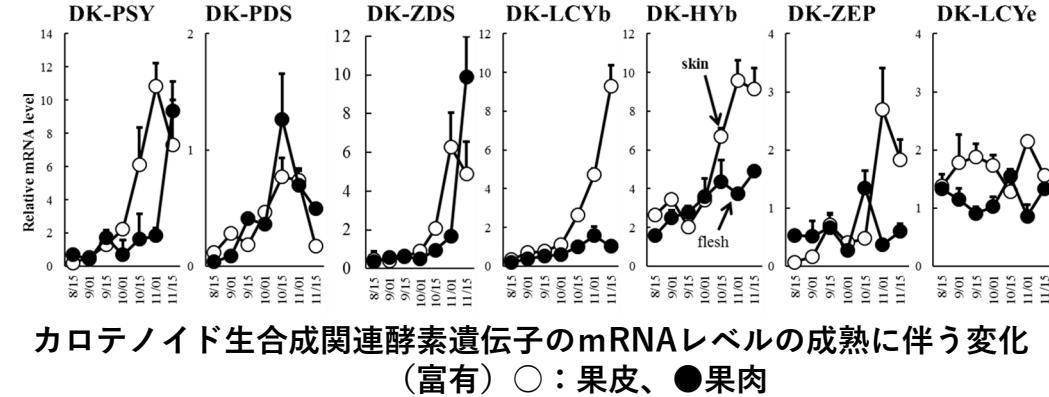
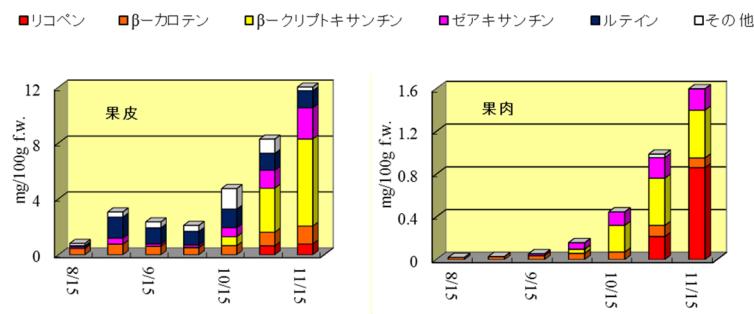
どうも論理的に説明できない

着色が劣るのは本当に温暖化の影響なのか？対策技術はあるのか？
赤くなくても機能性成分が豊富であれば差別化は可能ではないか？

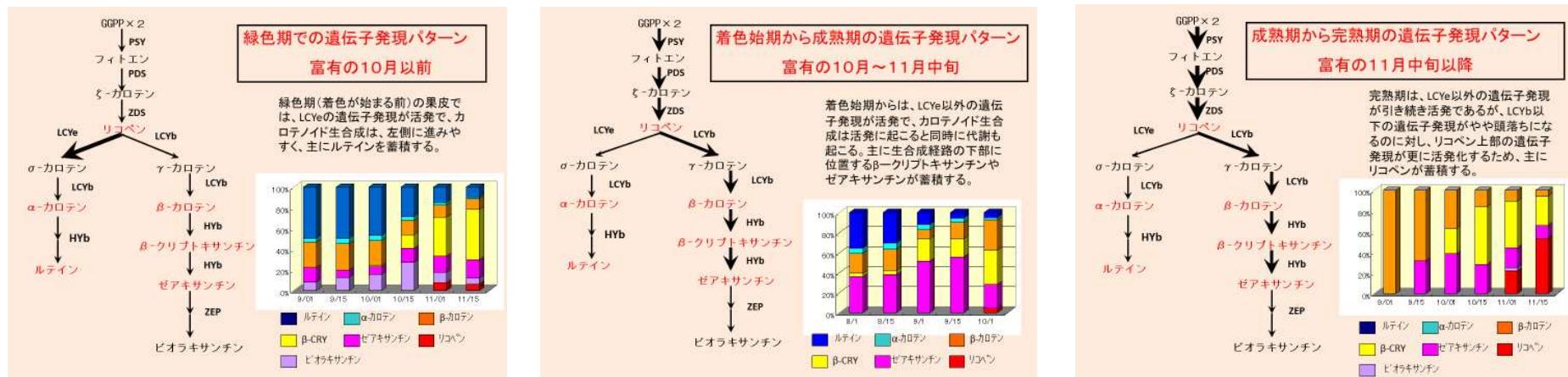
(温州ミカンに含まれるβ-クリプトキサンチンが注目され始め、柿にも少なからず含有されている)

成果(着色メカニズムの解明)

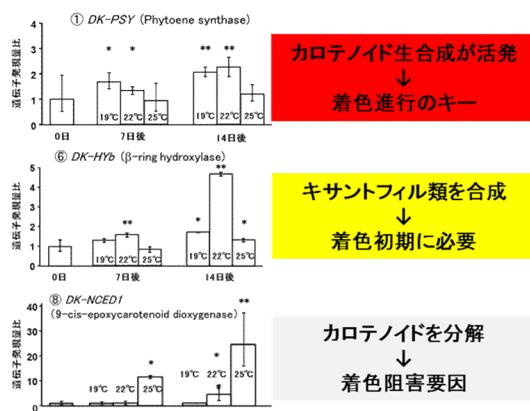
カキは欧米ではマイナー作物のため研究材料として扱われる場合が少なく、先行研究事例に乏しい。着色メカニズムの生理的メカニズムを解明するにあたり、着色関連の遺伝子の単離、当時始まって間もないReal time-PCRによる発現解析を行うとともにHPLC-DADによるカロテノイドの分別定量を実施した。



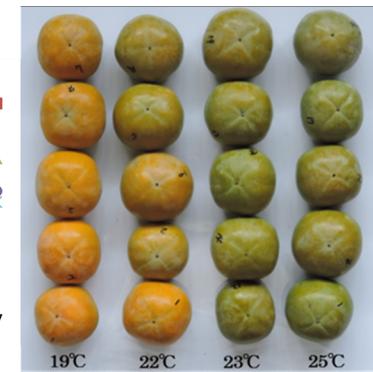
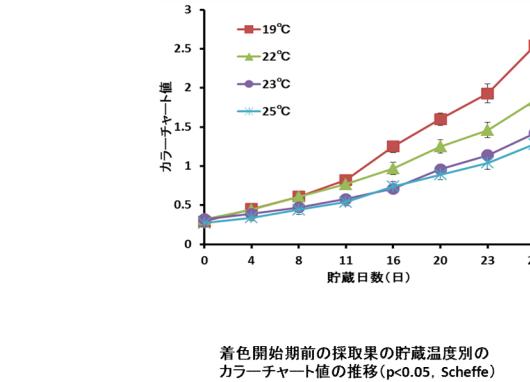
上記の基礎データから、カロテノイドの蓄積は生合成関連酵素遺伝子の発現バランスが成熟程度によって変化し、それぞれの時期に蓄積するカロテノイド種が異なることが明らかになった（下記の模式図を参照）
果実中のカロテノイドは、生合成経路の下流に位置するカロテノイド種から順次蓄積していく傾向が認められた。



成果(カキ‘富有’良品生産のための限界温度)

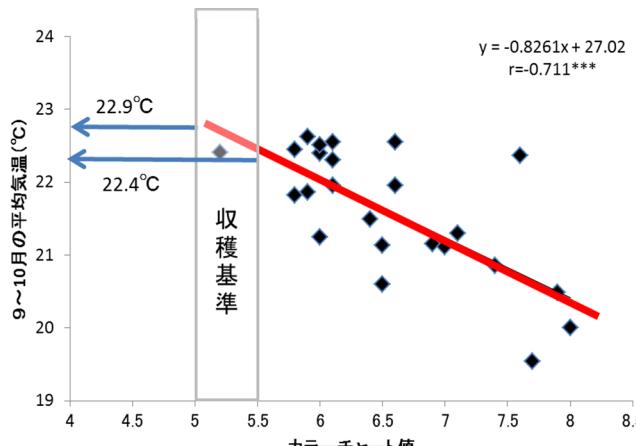


貯蔵温度がカロテノイド生合成・分解関連酵素遺伝子の発現レベルに及ぼす影響
(ΔCt 値に対して、*は5%、**は1%水準で有意。Student's t-test: n=3)



着色開始期前の採取果を各々の温度で保存した際の27日後の着色状況

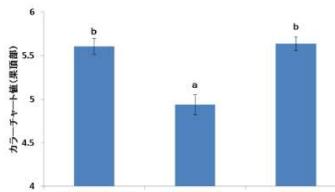
- 高温(25°C)では、カロテノイドを代謝・分解していくが、低温(19 or 22°C)は、合成が活発かつ分解も進みにくいため、着色が進行する。
- 着色開始期直前の果実の貯蔵試験では、22°Cと23°Cで着色の進行が有意に異なり、23°C以上は着色不良となりやすい。



9～10月の平均気温と収穫終期のカラーチャート値との関係
(岐阜農技セ: 1993～2016年)

表2 熊本農研セ果樹研の‘富有’の収穫最盛期と9～10月の平均気温との関係		
平均気温	収穫最盛期	有意性
23°C未満	11月25日	*
23°C以上	12月3日	(P=0.020)

2001～2015年、気温はアメダス熊本のデータを使用

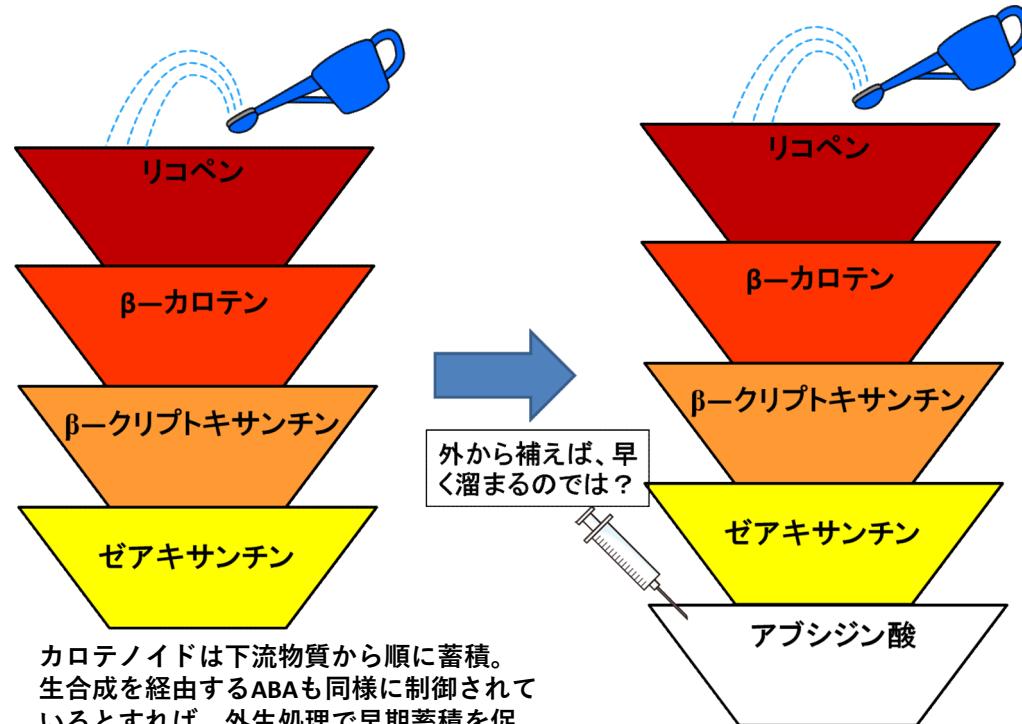


2016年11月中旬の3地域のカキ‘富有’の果頂部カラーチャート値と9～10月の平均気温

- 過去のデータ解析から、限界温度の算出を行ったところ、23°C以上となると収穫基準に到達できない可能性が示された。
- 岐阜より高温な熊本でも、23°C以上となると収穫最盛期は有意に遅れており、品種として汎用性のある温度と考えられた

- 秋季の気温推移から、当年産果実の着色の良否が判断できる。
 - 新植・改植に際しては、気温の高くなりにくい等の園地を選定し、良品生産を行う
 - 将来的に9～10月の平均気温が23°C以上になると現状の栽培技術では良品生産は限界(現状の着色基準を担保できない)

成果 (S-ABAを用いた着色促進)



カロテノイドは下流物質から順に蓄積。生合成を経由するABAも同様に制御されているとすれば、外生処理で早期蓄積を促すことで着色が早く進行するのではないか？

S-ABA（天然型アブシジン酸）は、ブドウなどのアントシアニン集積量を高めるための植物成長調節剤として、日本及び欧米各国で利用されている。カロテノイド蓄積型果実での知見は少ないが、カキにおいても処理時期によっては顕著な効果が認められた。カキでは現時点では経済的観点から植調剤登録は見送られているが、S-ABAを含有する葉面散布用肥料が市販されている。

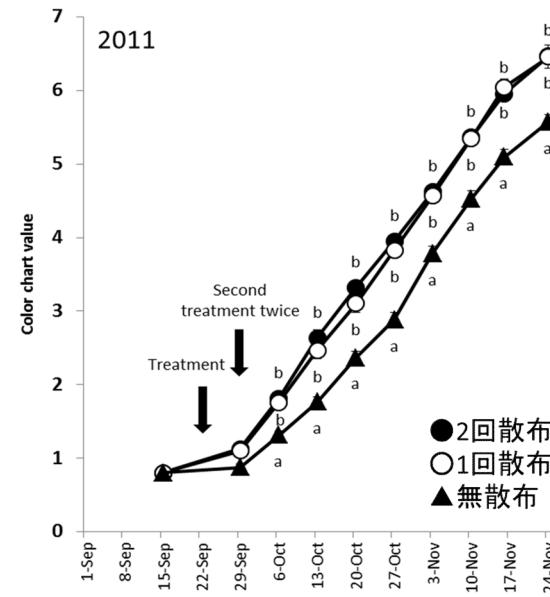


図 ABA含有肥料散布後のカラーチャート値の推移

$P < 0.01$ by Tukey test ($n=30$).

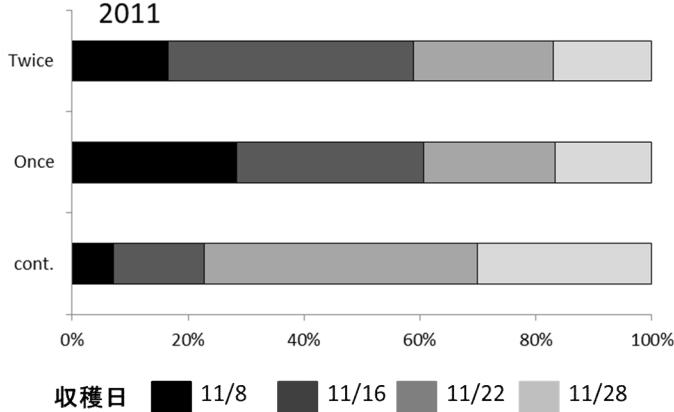


図 ABA含有肥料の散布が累積収穫率に及ぼす影響

着色開始期直前のS-ABAの果実散布は、処理回数にかかわらず有意に着色を向上させる。11月中旬までの無処理区の収穫進度が20%に対して、散布区は60%程度と収穫の前進化が図れる。

成果（流通・小売りへの正確な産地情報の提供）



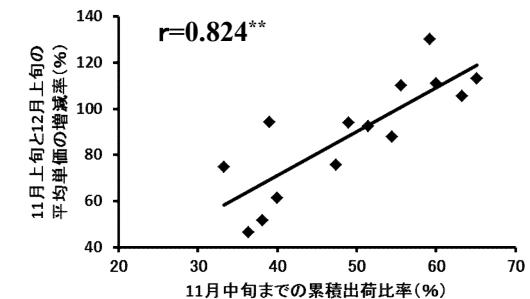
富有の販売期間

11月初旬～12月上旬の約40日間

収穫期前半（11月中旬まで）の果実の役割

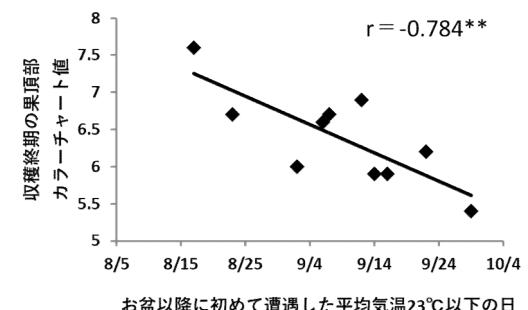
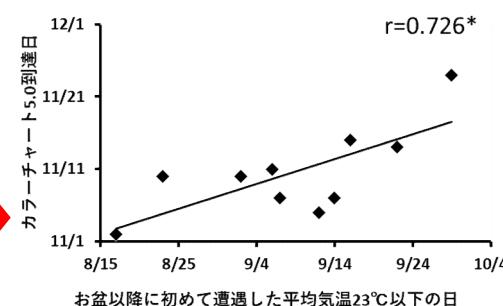
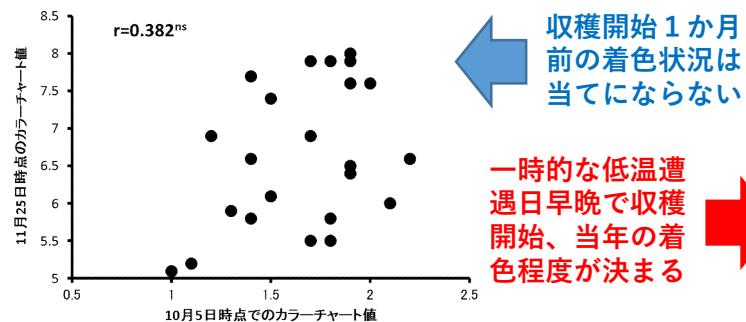


- 早期に量販店で売り場を確保し、シーズン通じた安定的な販売を実施
- 対面販売等の消費宣伝するイベントが多く設定される。
- 品種出回り期（初物）で、進物用需要の引き合いが強い。



前半の出荷が少ないと後半の単価が下落

着色不良に伴う収穫時期の遅延等による計画修正のためには、遅くとも一月前には市場に正確な情報提供が不可欠



$$Y = -0.6126 \times X_1 - 0.016 \times X_2 + 23.8134 \text{ (修正R=0.804**)}$$

Y:最終的な果頂部カラーチャート値

X1:9～10月の平均気温

X2:8月中旬以降の日平均気温23℃以下初遭遇日

より正確には上記の重回帰式

‘富有’の収穫開始は、お盆以降に日平均気温23度以下にいつ遭遇したかで遅くとも10月初旬には産地情報として流通場面に提供が可能

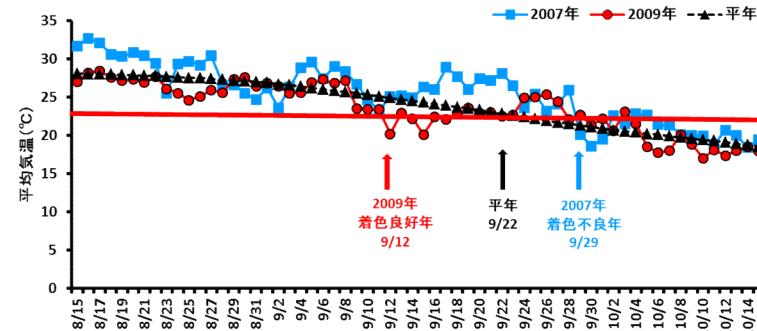


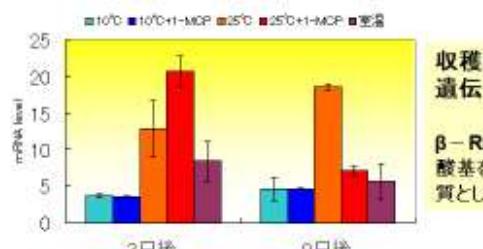
図 岐阜市(アメダス岐阜)における日平均気温の推移

より簡便には日平均気温の推移から

成果（貯蔵条件による機能性成分の増強：特にβ-クリプトキサンチン）

β-クリプトキサンチンとは・・・

- ・β-カロテンに水酸基が一つ結合したキサントフィルで、カンキツでは骨粗鬆症予防効果を謳った機能性表示が行われている。また動物実験等でβ-カロテンの5倍の発ガン抑制効果が認められた。ヒトレベルでの研究も開始され注目されている。
- ・供給源が、温州ミカン・カキ・ビワ等日本古来の果樹に限定されており、オレンジやグレープフルーツ等にはほとんど含有されていない。そのため、欧米人の血中には少なく、日本人の血中に特異的に多い。
- ・成分がほぼ日本限定のため、生理機能研究事例が少なく、サプリメントにほとんど供されていない。

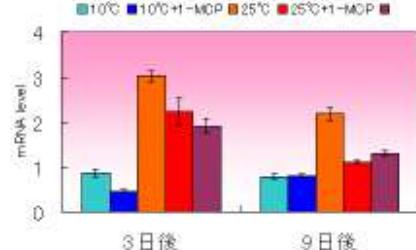


収穫後の温度処理が β -Ring hydroxylase遺伝子の発現に及ぼす影響

β -Ring hydroxylase: β -カロテンを基質として、水酸基を一つ導入する及び β -クリプトキサンチンを基質として、水酸基を一つ導入する酵素

収穫後の温度処理がZeaxanthin epoxidase遺伝子の発現に及ぼす影響

Zeaxanthin epoxidase: ゼアキサンチンを基質として、ビオラキサンチンを合成する酵素

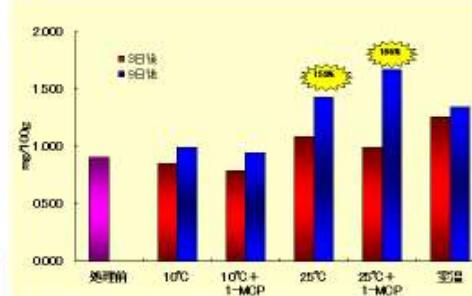


収穫後の温度処理がPhytoene synthase遺伝子の発現に及ぼす影響

Phytoene synthase: 2分子のGGPP(ゲラニルゲラニルピロリン酸)からフィトエンを合成する酵素

カキ果実中のカロテノイド量は、収穫後にも増加していく。
25°Cでは9日後に約2倍(2.2mg/100g)まで増加する。

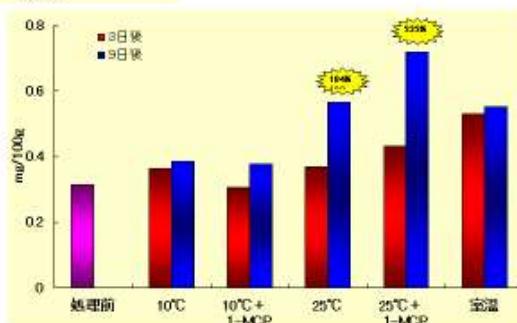
保存温度によって増加するカロテノイドの種類は異なり、
25°Cでは、 β -クリプトキサンチン、ゼアキサンチンおよび
リコ펜が、10°Cではリコペンが主に増加する。



収穫後の温度処理がカロテノイド含有量に及ぼす影響

* 左: 総カロテノイド量(リコペン、 β -カロテン、 β -クリプトキサンチン、ビオラキサンチン(シス型+トランス型)、ルテイン、 α -カロテン、ゼアキサンチンの合計)

* 下: β -クリプトキサンチン量

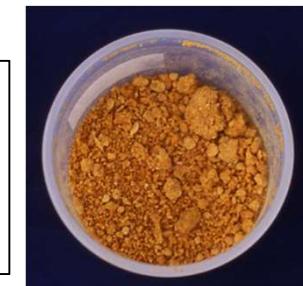


収穫後のカキ果実中の可食部のカロテノイドは、追熟期間中に増加していく傾向にある。

カロテノイドの増加は、25°C > 室温(15.6°C) > 10°Cの順で高温ほど高い。
特に25°Cでは、 β -CRYの増加が顕著で、総カロテノイド増加分の約半分が β -CRYに起因する。

注) 1-MCP: エチレン作用阻害効果を持ち、果実軟化を抑制する。本研究では、保管中の軟化を防止するために用いた。

- 家庭できる簡単な方法として、NHK「あさイチ」などもメディアで紹介
- 柿パウダーなどの加工品の製造工程に組み込むなど利用



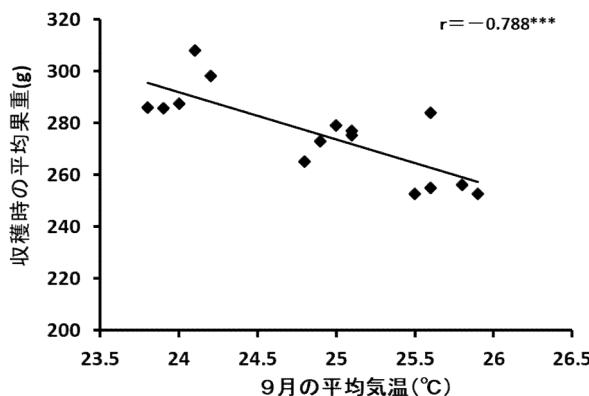
付帯成果（出荷階級割合の予測）

表 1998~2012年の収穫時の平均果重と月別

平均気温との相関関係

	相関係数	p値	有意性 ^z
3月	0.468	0.037	*
4月	0.285	0.224	ns
5月	0.312	0.181	ns
6月	-0.204	0.389	ns
7月	0.195	0.411	ns
8月	-0.520	0.019	*
9月	-0.788	0.000	***
10月	-0.272	0.246	ns
11月	-0.078	0.743	ns

^z*、***は5%または0.1%水準で有意であること、nsは5%水準で有意でないことを示す



力キは、着色の開始とほぼ同時に果実成長第Ⅲ期に移行して、果実肥大が旺盛となる。この果実肥大第Ⅲ期への移行と気象要因との解析を行ったところ、着色に関与する気象要因とほぼ同じ

以下の重回帰式により高精度で定点圃場の平均果重の予測が可能

$$Y = 15.3X_1 - 0.28X_2 - 8.92X_3 + 528.22 \quad (R^2 = 0.936***)$$

Y: 平均果重(g)

X₁=9/5~10/5の間の果周増加量(cm)

X₂=23°C以下初遭遇日(1/1を起点とした日数)

X₃=9月の平均気温(°C)

岐阜県内には系統共販の選果場が7か所あり、立地、経営面積、栽培技術がまちまちな複数の生産者が果実を持ち込んでいる。
上記で必要となる年度ごとの平均果重等の基礎データの蓄積はないが、年度ごとの階級実績のデータは蓄積されている。

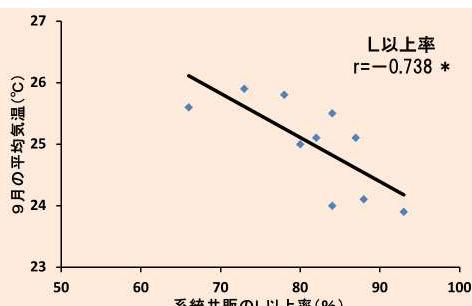


図 9月の平均気温と岐阜県系統共販‘富有’のL以上率との関係
(2003~2012年の10年間)

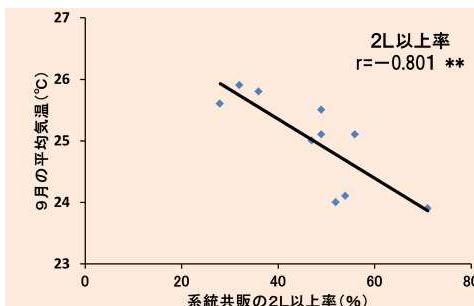


図 9月の平均気温と岐阜県系統共販‘富有’の2L以上率との関係
(2003~2012年の10年間)

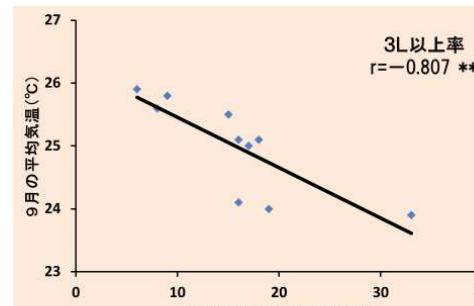


図 9月の平均気温と岐阜県系統共販‘富有’の3L以上率との関係
(2003~2012年の10年間)

系統共販の階級比率は、9月の平均気温との間の単相関で一定以上の精度を持って予測できる。また選果場ごとの階級比率もほぼ同等の精度で予測可能である。

表 9月の平均気温から予測した系統共販により出荷された岐阜県産‘富有’の予測階級率と出荷階級率(%)

年度	M(48玉)	L(42玉)	2L(36玉)	3L以上(27or30玉)
25年 (2013)	予測 17	34	32	17
	実績 14	34	33	18
26年 (2014)	予測 8	26	39	27
	実績 7	20	34	38

着色状況と併せて、当年産の富有柿について「いつから」「どんな大きさ」の果実が出荷されるのかという情報を9月末に流通サイトに提供可能

今後の展望

秋季の気温低下が成熟反応のスイッチとして働いていると考えられるが、厳密には植物ホルモンの一種であるABAが関与していると推察される。果実の成熟機構解明や成熟制御への発展が期待される。