

無加温施設栽培の'不知火'および'せとか'における時期別乾燥ストレスと果実品質との関係

誌名	近畿中国四国農業研究 = Kinki Chugoku Shikoku agricultural research
ISSN	13476238
著者名	吉田,純也 豊嶋,貴司 阿部,政人 森末,文徳
発行元	近畿中国四国農業研究協議会
巻/号	23号
掲載ページ	p. 35-40
発行年月	2013年9月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



[原 著]

無加温施設栽培の‘不知火’および‘せとか’における
時期別乾燥ストレスと果実品質との関係

吉田 純也・豊嶋 貴司・阿部 政人・森末 文徳*

香川県農業試験場府中果樹研究所 762-0024 坂出市府中町6117-1

*現 香川県中讃農業改良普及センター 765-0014 善通寺市生野本町1-1-12

Relationships between Drought Stress of Different Periods and
Fruit Qualities of Citrus Cultivar ‘Shiranui’ and ‘Setoka’
in Unheated Greenhouse

Junya YOSHIDA, Takashi TOYOSHIMA, Masahito ABE and Fuminori MORISUE*

Fuchu Fruit Tree Experiment Branch, Kagawa Agricultural Experiment Station, Sakaide Kagawa 762-0024

*Present Address: Chusan Regional Agricultural Extension Center, Zentsuji Kagawa 765-0014

中晩生カンキツの‘不知火’や‘せとか’は、その品質の良さから全国的に生産量が増加しており、出荷時期の集中による価格の下落が懸念されている。生産現場では加温栽培や無加温栽培による出荷時期の分散を図っており、目標とする時期に果実品質を高めることができれば有利販売につながる。しかし、中晩生カンキツにおいては、果実品質をコントロールするためのかん水方法が十分に確立されていないため、各作型における目標出荷時期に、低糖果や高酸果が散見され問題となっている。

ウンシュウミカンにおいては、夏秋季の土壤乾燥による水分ストレスと果実品質との関係についての報告は多く^{6,7)}、それらの知見に基づいたかん水指標も作成されている。近年、露地栽培の‘はれひめ’や‘不知火’^{4,5)}、少加温栽培の‘せとか’¹⁾等においても夏秋季の乾燥ストレスの付与が高糖度果実生産に有効であることが示され、ストレスの程度や付与時期について、葉内最大水ポテンシャル(以下 ψ_{max})を指標とした樹体の積算水分ストレスの考え方をういた検証がなされている。時期別の乾燥ストレスが果実品質に及ぼす影響は品種や作型によって異なると考えられ、その違いを明らかにすることで、品種に対応したかん水方法を確立することができる。そこで、露地栽培よりも早期の出荷で高単価をねらう無加温施設栽培の‘不知火’および‘せとか’を用いて、夏秋季の時期別乾燥ストレスが果実品質に及ぼす影響について検討した。

なお、本研究は地域農業確立総合研究「新品種の導入と正品果率の向上による高収益型カンキツ生産体系の確立」および農研機構現地実証等促進費による現地実証等事業「遊休ハウスの有効活用のための‘マルドリ方式’による中晩柑新品種の施設栽培の現地実証」により実施した。

本研究の遂行にあたり、積算水分ストレス法などについてご助言をいただいた、農業・食品産業技術総合研究機構果樹研究所カンキツ研究口之津拠点の岩崎光徳研究員に深く感謝します。

1 材料および方法

2011年から2012年にかけて、香川県農業試験場府中果樹研究所内のビニルハウス(花崗岩風化土壌を客土後3年目の土壌)に植栽したカラタチ台‘不知火’および‘せとか’(2011年時点7年生)を供試した。天ビニルは通年被覆とし、サイドビニルは冬季は被覆し、4月以降は気温に応じて巻き上げ巻き下ろしを行うとともに、設定温度25℃で換気を行った。満開日はいずれの年においても両品種ともに露地より1~2週間早い5月上旬、果汁蓄積初期(水入り期)は‘不知火’が露地よりも約1週間早い8月上旬、‘せとか’が露地よりも1~2週間早い7月下旬であり、その他の生育ステージにも、大きな年次変動はみられなかった。

各年における処理区の設定は下記のとおりとし、乾燥期間中の ψ_{max} はこれまでの報告^{1,4)}において中晩生カ

ンキツの高品質化に効果があるとされる $-0.7 \sim -1.0$ MPa程度を、他の期間は $-0.5 \sim -0.6$ MPa程度を目安にかん水を行った。各処理区の反復樹数は‘不知火’、‘せとか’ともに2樹とした。なお、両品種とも2年間同一樹を供試したが、達観による調査では1年目の各処理による2年目の着花や樹勢への影響は認められなかった。

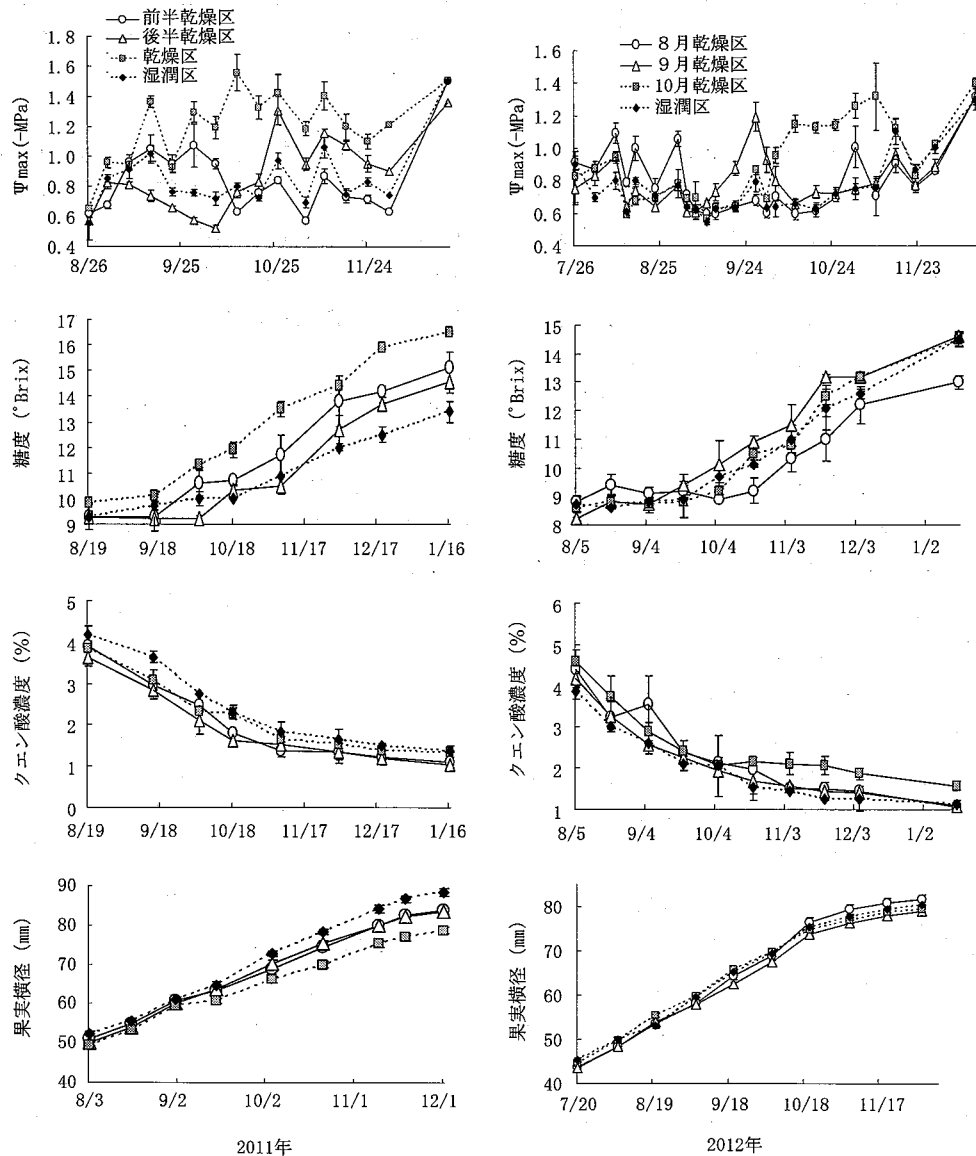
2011年：前半乾燥区（9月上旬～10月中旬乾燥）、後半乾燥区（10月中旬～11月下旬乾燥）、乾燥区（9月上旬～11月下旬乾燥）および湿潤区（9月上旬～11月下旬湿潤）

2012年：8月乾燥区、9月乾燥区、10月乾燥区および湿潤区（8月上旬～10月下旬湿潤）

梅雨明け後、2011年は8月下旬まで、2012年は7月下旬までの期間については、散水パイプによる週20mm程度のかん水を行い、それ以降のかん水には主幹から

20cmと40cmの両側へ植栽列に対して平行に4本設置した点滴かん水チューブ（ラム17、点滴孔間隔20cm、ネタフィルム）を用いた。すべての乾燥処理が終了した後、全処理区の ψ_{max} をそろえ、収穫まで月8mm程度の節水管理を行った。

摘果は両年とも6月中旬～7月中旬にかけて‘不知火’では葉果比90程度、‘せとか’では80程度を目安に行い、その他の栽培管理は慣行の方法に従った。8月上旬頃から約15日おきに樹上にラベルした同一果実の横径を各処理区30果についてノギスで測定するとともに、約1か月おきに酸糖度分析装置（NH-2000、堀場製作所）を用いて各処理区8果の果汁の糖度（°Brix）およびクエン酸濃度を調査した。また、各処理区4枚の葉について、夜明け前の ψ_{max} を週1回プレッシャーチャンバー（DIK-7000 Daiki）により測定し、時期別の乾燥ストレ



第1図 ‘不知火’における時期別土壌乾燥処理が果実品質に及ぼす影響
 図中の縦棒は標準誤差を示す（上からn=6, n=2-4, n=2-4, n=30）

ス強度と同期間の果実品質変化量との関係を、Myers⁸⁾の積算水分ストレス法を一部修正した岩崎ら⁵⁾の方法を用いて解析した。なお、積算水分ストレス値 $S\psi_x$ は以下の式を用いて算出した。

$$S\psi_x = \left| \sum \{(\psi_i + \psi_{i+1})/2 - c\} n \right|$$

ここで、 x は対象期間、 i は期間前の最終測定日のデータ、 c は測定期間中の湿潤状態の ψ_{max} （8～9月は -0.4MPa とし、10月以降は期間中の湿潤状態と思われる区もしくは樹の ψ_{max} の値を使用した）、 n は i から $i+1$ までの測定間隔日数を示す。

いずれの年も1月中旬に全果を一斉に収穫し、果実品質および収量等の調査を行った。また収穫時に、果実品質分析に供した各処理区12果の果皮色を色彩色差計(CR-400, コニカミノルタ)を用いて測定した。

2 結 果

2011年の‘不知火’においては、前半乾燥区で9月

上旬から10月中旬にかけて ψ_{max} が -0.9MPa 程度となり、後半乾燥区および湿潤区より $0.1\sim 0.4\text{MPa}$ 低く推移した(第1図, 2011年)。10月下旬以降は後半乾燥区で -1.0MPa 程度となり、前半乾燥区や湿潤区より $0.1\sim 0.4\text{MPa}$ 程度低く推移した。乾燥区は9月以降 -1.0MPa を下回る乾燥ストレスが継続した。糖度は期間を通じて乾燥区で最も高く、前半乾燥区がそれに続いた。クエン酸濃度は期間を通じて湿潤区がやや高く、乾燥区がそれに続いた。果実横径は期間を通じて湿潤区が最も大きく、乾燥区が最も小さく、前半乾燥区と後半乾燥区はほぼ同等であった。収穫時の果皮色は前半乾燥区で、湿潤区より有意に紅色が濃かった(第1表)。収量および収穫果平均重は湿潤区で最も大きく、乾燥区で最も小さかった。

2012年の‘不知火’においては、8月、9月、10月の乾燥期間中、該当する乾燥処理区において ψ_{max} は他の処理区より $0.2\sim 0.4\text{MPa}$ 低い $-0.9\sim -1.1\text{MPa}$ 程度に維持された(第1図, 2012年)。糖度は各乾燥期間中に増加が認められたが、収穫時には9月乾燥区および10月

第1表 ‘不知火’における時期別土壤乾燥処理が収穫時の果実品質および収量に及ぼす影響

試験年	試験区	糖度 (°Brix)	クエン酸濃度 (%)	果皮色 ^z	収量 ^y (kg/樹)	収穫果平均重 (g)
2011	前半乾燥区	15.1 b	1.10 b	32.36 a	15.6	252.8
	後半乾燥区	14.6 b	1.03 b	29.24 ab	14.0	271.8
	乾燥区	16.5 a	1.34a	30.34 ab	12.8	234.9
	湿潤区	13.4 c	1.36 a	28.34 b	19.1	296.0
	有意性 ^x	**	**	*	-	-
2012	8月乾燥区	13.1 b	1.06 b	32.45 a	25.2	224.1
	9月乾燥区	14.6 a	1.10 b	31.40 a	28.5	196.0
	10月乾燥区	14.5 a	1.58 a	29.61 a	24.6	208.1
	湿潤区	14.5 a	1.13 b	28.78 a	25.1	218.3
	有意性	**	**	NS	-	-

z: 色差計 a * 値 / b * 値 × 100 値を示す

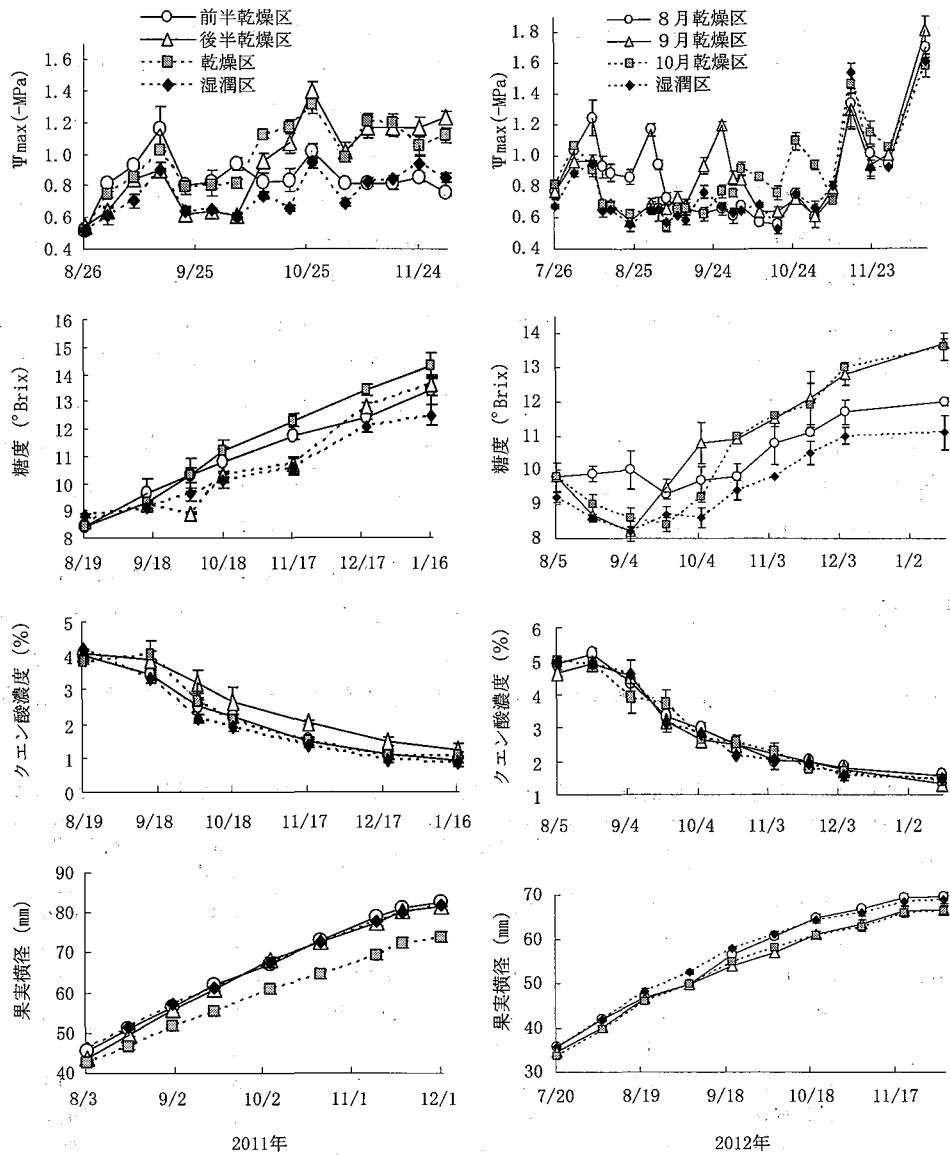
y: 収量および収穫果平均重は2樹の平均値を示す

x: Tukeyの多重検定により異符号間に**は1%水準で、*は5%水準で有意差があることを示す

第2表 ‘不知火’における月ごとの積算水分ストレスと果実品質との相関係数

期間	年次	期間増糖量	期間減酸量	期間肥大量
8月	2012	0.48* (0.01)	-0.73** (-0.03)	0.34 (0.04)
	2012	0.72** (0.07)	-0.30 (-0.01)	-0.80** (-0.07)
9月	2011	0.82** (0.04)	0.17 (0.003)	-0.61** (-0.11)
	2年計	0.70** (0.04)	0.12 (0.002)	-0.57** (-0.09)
10月	2012	0.91** (0.04)	-0.95** (-0.03)	-0.49* (-0.07)
	2年計	0.65** (0.05)	-0.75** (-0.04)	-0.61** (-0.11)
11月	2012	0.42 (0.01)	0.84** (0.04)	-0.42 (-0.01)
	2年計	0.22 (0.02)	-0.19 (-0.01)	-0.40 (-0.02)
	2年計	0.15 (0.01)	0.01 (-0.001)	-0.14 (-0.01)

Pearsonの相関係数を示し、*は5%水準、**は1%水準で有意である(n=16, 2年計はn=32)
()内は回帰直線の傾きを示す



第2図 ‘せとか’ における時期別土壌乾燥処理が果実品質に及ぼす影響
 図中の縦棒は標準誤差を示す (上から n = 6, n = 2 - 4, n = 2 - 4, n = 30)

第3表 ‘せとか’ における時期別土壌乾燥処理が収穫時の果実品質および収量に及ぼす影響

試験年	試験区	糖度 (°Brix)	クエン酸濃度 (%)	果皮色 ^z	収量 ^y (kg/樹)	収穫果平均重 (g)
2011	前半乾燥区	13.4 b	0.95 ab	47.12 ab	14.2	249.5
	後半乾燥区	13.6 ab	1.21 a	44.49 b	6.5	264.5
	乾燥区	14.3 a	1.08 ab	47.56 a	12.5	223.9
	湿潤区	12.5 c	0.86 b	45.47 ab	19.2	241.0
	有意性 ^x	*	*	*	-	-
2012	8月乾燥区	12.0 b	1.05 a	40.15 a	25.2	153.8
	9月乾燥区	13.7 a	0.81 a	40.80 a	28.5	133.6
	10月乾燥区	13.6 a	0.94 a	42.02 a	29.8	154.2
	湿潤区	11.1 b	0.95 a	40.55 a	25.1	155.2
	有意性	*	NS	NS	-	-

z : 色差計 a * 値 / b * 値 × 100 値を示す

y : 収量および収穫果平均重は2樹の平均値を示す

x : Tukeyの多重検定により異符号間に**は1%水準で、*は5%水準で有意差があることを示す

第4表 ‘せとか’における月ごとの積算水分ストレスと果実品質との相関係数

期間	年次	期間増糖量	期間減酸量	期間肥大量
8月	2012	0.85** (0.05)	-0.14 (-0.004)	-0.77** (-0.09)
	2012	0.92** (0.15)	0.77** (0.03)	0.09 (0.02)
9月	2011	0.75** (0.08)	-0.22 (-0.04)	-0.26 (-0.06)
	2年計	0.77** (0.08)	-0.40* (-0.03)	0.31 (0.08)
10月	2012	0.89** (0.11)	-0.43 (-0.02)	-0.71** (-0.10)
	2011	0.56* (0.02)	0.85** (0.05)	-0.42 (-0.08)
	2年計	0.63** (0.05)	0.39* (0.002)	-0.19 (-0.08)
11月	2012	0.59** (0.04)	0.24 (0.01)	-0.37 (-0.04)
	2011	0.48* (0.04)	0.58** (0.02)	0.67** (0.03)
	2年計	0.49** (0.02)	0.53** (0.02)	0.36* (0.03)

Pearsonの相関係数を示し、*は5%水準、**は1%水準で有意である (n=16, 2年計はn=32)
()内は回帰直線の傾きを示す

乾燥区は湿潤区と同等で、8月乾燥区が明らかに低かった。クエン酸濃度は、10月中旬以降、10月乾燥区で高く推移し、収穫時においても他の3区と比較して明らかに高かった。果実横径は9月中旬以降に9月乾燥区で小さく、10月中旬以降は8月乾燥区で大きく推移した。収穫時の果皮色は乾燥処理の時期が早いものほど紅色が濃かったが、有意な差ではなかった(第1表)。収量は9月乾燥区で最も多く、収穫果平均重は8月乾燥区で最も大きかった。

期間増糖量と積算水分ストレスとの間には、両年とも9~10月に高~中程度の正の相関が認められ、増糖効果の強さを示す回帰直線の傾きには9月と10月で大きな差は見られなかった(第2表)。期間減酸量と積算水分ストレスの間には、両年とも10月に高い負の相関が認められた。期間肥大量と積算水分ストレスの間には、両年とも9~10月に高~中程度の負の相関が認められた。肥大への影響の強さを示す回帰直線の傾きは9月と10月で大きな差は見られなかった。

2011年の‘せとか’においては、前半乾燥区および乾燥区で9月上旬から10月中旬にかけて ψ_{max} は-0.9MPa程度に維持され、後半乾燥区や湿潤区に比べて0.2~0.3MPa低く推移した(第2図, 2011年)。10月下旬以降は後半乾燥区および乾燥区で-1.1MPa程度となり、前半乾燥区や湿潤区より0.2~0.4MPa低く推移した。糖度は9月下旬以降乾燥区で最も高く推移し、前半乾燥区がそれに続いたが、12月以降は後半乾燥区が前半乾燥区を上回った。クエン酸濃度は10月上旬以降、後半乾燥区で最も高く、湿潤区で最も低く推移した。収穫時の果皮色は乾燥区が後半乾燥区に対して有意に紅色が濃かった(第3表)。収量は湿潤区で、収穫果平均重は後半乾燥区で最も大きかった。

2012年の‘せとか’においては、8月、9月、10月の乾燥期間中、該当する乾燥処理区において ψ_{max} は他

の処理区より0.2~0.4MPa低い-0.9~-1.1MPa程度が維持された(第2図, 2012年)。糖度はいずれの乾燥処理区においても乾燥期間中に大きく増加し、収穫時には9月乾燥区および10月乾燥区が、他の区より明らかに高かった。クエン酸濃度は期間を通じて一定の傾向は認められなかった。収量は10月乾燥区で、収穫果平均重は湿潤区で最も大きかった。

期間増糖量と積算水分ストレスの間には、両年とも期間を通じて高~中程度の正の相関が認められた(第4表)。また、両年とも10~11月と比較して、8~9月の相関が高く、回帰直線の傾きは9月が最も大きくなった。期間減酸量と積算水分ストレスの間には、期間や年次に関わらず一定の傾向は認められなかった。期間肥大量と積算水分ストレスの間には、2012年の8月および10月にやや高い負の相関が認められた。

3 考 察

露地栽培の‘不知火’について、平山³⁾は7~10月の乾燥で増糖効果があり、7月上旬~10月下旬の灌水と11~12月の少水分管理が減酸を促進するとしている。また、岩崎ら⁵⁾は8月のみの短期間の乾燥ストレスは糖度上昇につながらないが、8~9月の乾燥ストレス強度が増糖量との間に高い相関があり、10~11月の乾燥ストレスは減酸を抑制し、果実肥大期間中の乾燥ストレスは時期に関わらず肥大を抑制すると報告している。

無加温施設栽培における‘不知火’を用いた本実験においても、9月上旬から10月上旬に乾燥ストレスを与えた処理区で、糖度が高く減酸も良好で、果皮の紅色が濃い高品質果実を生産できた。また、9~10月の積算水分ストレス強度と増糖量との間には正の相関が、10月の積算水分ストレス強度と減酸量との間に負の相関が

それぞれ見られ、9～10月の乾燥ストレス強度と肥大量との間に高～中程度の相関が見られたことも、平山³⁾や岩崎ら⁵⁾の報告と一致している。

このことから、無加温栽培の‘不知火’においては、露地栽培と同様に9月に ψ_{max} が $-0.7\sim-1.1\text{MPa}$ 程度の乾燥ストレス状態とすることで、減酸を極端に抑制することなく、糖度を高めることができると考えられた。また、8月や11月の乾燥ストレス強度と増糖量との相関は低く(第2表)、10月の強い乾燥ストレスは、減酸や肥大を抑制する懸念があるため、この期間には定期的なかん水を行わなければならない。なお、収穫時の糖度は全ての処理区で高品質果実の基準となる13を上回っていたことから、減酸と乾燥ストレスとの相関が高い10月に十分なかん水を行って減酸を促すことで、より早期に収穫できる可能性が示唆された。

‘せとか’については、安部ら¹⁾が3月上旬加温の作型において、9～10月の乾燥ストレスが11～12月に比べて増糖効果が高く、減酸は強い乾燥ストレスで抑制され、肥大は9～10月の乾燥ストレスで低下している。また、藤原ら²⁾は、露地栽培の‘せとか’において9～10月に穏やかな乾燥ストレスを維持すると、湿潤状態よりも糖度が高まるとしている。

本実験においても、9月の積算水分ストレスと増糖量との相関が最も高く、また、その増糖効果を示す回帰直線の傾きも9月で最も大きかった(第3表)ことから、無加温栽培の‘せとか’において糖度を高めるためには、9月中の乾燥ストレス付与が効果的であると考えられた。しかし、 ψ_{max} が -1.0MPa を下回るような強い乾燥ストレスは果実肥大を抑制する懸念があることから、乾燥ストレス強度と増糖量との相関が認められる8～11月にかけては、 ψ_{max} が -0.8MPa 程度までの緩やかな乾燥ストレス状態を維持することで、大果で高品質な果実生産が可能であると考えられた。

本実験における無加温栽培の‘不知火’と‘せとか’の結果の比較から、両品種ともに増糖に最も効果的な乾燥ストレス付与時期は9月であり、この期間に ψ_{max} を $-0.7\sim-0.9\text{MPa}$ 程度に維持することが重要であると考えられた。なお、9月の果実横径は‘不知火’が60～70mm、‘せとか’が50～65mmであり、これは果汁蓄積初期の果実横径から約10mm肥大した時点から、約20mm肥大するまでの期間に当たる。この果実横径の期間を目安に適度な乾燥ストレス状態とすることで、作型を問わず効率的に糖度を高められる可能性がある。

8月中や10月以降の乾燥ストレスへの反応は品種間で異なり、‘不知火’においては減酸の遅れや小玉化の

デメリットが懸念されるのに対し、‘せとか’では強い乾燥ストレス状態でなければ、減酸を極端に抑制させることなく期間を通じて増糖効果が認められた。

夏秋季の強い乾燥ストレスは、両品種ともに小玉化や減酸の遅れ、樹勢の低下などにつながり、‘せとか’においては日焼けや裂果などの生理障害を助長するおそれもある。本実験においては乾燥ストレス程度の指標として ψ_{max} を用いたが、品種や作型に応じた水管理を実践する上では、生産現場において樹体の乾燥ストレス状態を簡易に把握できる指標の検討が必要である。

4 摘 要

無加温施設栽培の‘不知火’および‘せとか’について、高品質果実生産に適した水管理方法を明らかにするため、夏秋季(8～11月)の時期別乾燥ストレスが果実品質に及ぼす影響について検討した。乾燥ストレス程度を時期によって変え、収穫時の果実品質、月ごとの積算水分ストレスと同期間の果実品質変化量との関係から、両品種とも9月に葉内最大水ポテンシャル $-0.7\sim-0.9\text{MPa}$ 程度の乾燥ストレスを付与することで、高糖度果実生産が可能と考えられた。また、10月の乾燥ストレスは、‘不知火’で減酸の遅れや小玉化につながったが、‘せとか’においては、強い乾燥ストレス状態でなければ、減酸を極端に抑制することなく、期間を通じて増糖効果が認められた。

引用文献

- 1) 安部伸一郎・藤原文孝・三堂博昭・石川 啓：近畿中国四国農業研究(投稿中)
- 2) 藤原文孝・安部伸一郎・石川 啓：園学中四国支部要旨，園学研，10(別2)603，2011
- 3) 平山秀文：九州農業研究成果情報，9，225-226，1994
- 4) 岩崎光徳・深町 浩・今井 篤・野中圭介：園学研，10，191-196，2011
- 5) 岩崎光徳・深町 浩・今井 篤・平岡潔志・奥田均：園学研，11，327-335，2012
- 6) 貝原洋平・宮本輝仁・新堂高広：園学雑，75(別2)，99，2006
- 7) 宮本久美・前田隆昭：園学研，7(別2)，144，2008
- 8) Myers, B. J.: Tree physiol, 4, 315-323, 1988