施設加温栽培におけるカンキツ'せとか'の樹体への乾燥ストレス状態の違いが果実品質に及ぼす影響

誌名	近畿中国四国農業研究
ISSN	13476238
著者名	安部,伸一郎 藤原,文孝 三堂,博昭 石川,啓
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. 21-26
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

近畿中国四国農研　23：21－26（2013）

[原　著]

施設加温栽培におけるカンキツ‘せとか’の樹体への乾燥ストレス状態の違いが果実品質に及ぼす影響

安部伸一郎*・藤原　文孝・三堂　博昭・石川　　啓**

愛媛県農林水産研究所　果樹研究センター　791－0112　松山市下伊台町1618
*現　愛媛県農林水産部農産園芸課　790－8570　松山市一番町４－４－２
**現　愛媛県農林水産研究所　果樹研究センター　みかん研究所　799－3742　宇和島市吉田町法花津７－115

Effects of Different Drought Stress on Fruit Quality in Citrus ‘Setoka’ grown under Forcing Culture

Shinichirou ABE*, Fumitaka FUJIWARA, Hiroaki MIDO and Kei ISHIKAWA**

Ehime Research Institute of Agriculture, Forestry and Fisheries, Fruit Tree Research Center, Matsuyama, Ehime, 791－0112
*Present address：Agriculture and Horticulture Division, Ehime Prefectural Government, Matsuyama, Ehime, 790－8570
**Present address：Institute for Citrus Fruits, Ehime Research Institute of Agriculture, Forestry and Fisheries, Fruit Tree Research Center, Uwajima, Ehime, 799－3742

‘せとか’は独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構果樹研究所において育成され，2001年に登録されたカンキツ品種である．外観・食味ともに優れ，近年栽培面積が増加しており，愛媛県では露地，ハウスで盛んに栽培され，生産量が全国一位となっている．施設栽培された‘せとか’は大玉で外観が良いため，贈答用果実として高単価で販売されている．しかしながら，糖度不足で食味不良となる場合が生産現場で認められ，問題となっており，外観だけでなく高品質果実を安定生産するための栽培管理法の確立が求められている．

ウンシュウミカンにおいて，土壌乾燥による樹体への乾燥ストレスが果実糖度を上昇させることが知られており，実験的にも明らかにされている[6]．また，薬師寺ら[9]は乾燥ストレス程度について，緩乾燥ストレスが最も果実への同化産物の分配・転流が多かったと報告している．岩崎ら[4]は圃場レベルで葉の最大水ポテンシャルをみながらの灌水で樹体の乾燥ストレスを制御した実験により，早生ウンシュウの果汁蓄積期初期である７月下旬から９月にかけて適切なストレス状態を維持することで高糖度な果実を生産できることを明らかにしている．しかし，‘せとか’の栽培方法における土壌水分管理については，果実生育期の乾燥処理は不要であるとした報告[5]がある一方で，安部ら[1]，藤原ら[2]は，‘せとか’においても高品質果実生産のためには適切な乾燥ストレスの付与が必要であるとしており，明確な結論が得られていない．異なる栽培環境においても再現よく高品質果実生産を行うためには，土壌の乾燥などにより樹体のストレス状態がどのように推移することが最も適切なのかを，明らかにする必要がある．

近年，‘不知火’や‘はれひめ’においても樹体への適切な乾燥ストレス状態の維持が高糖度果実生産に有効であることが示され[3,4]，その付与時期や程度が示されている．その中で，果実発育期の適切な水管理について，葉の最大水ポテンシャル（以下Ψmax）をストレス状態の指標とした樹体の積算水分ストレス[8]の考え方を用いた検証が行われている[4]．

カンキツにおいて高糖度で品質の良い果実を安定生産する技術として，ウンシュウミカンにおいては，透湿性マルチシート被覆と点滴灌水を活用して，果実発育期に樹体に乾燥ストレスを適度に維持することで高品質果実を生産する技術が提案されている[7]．‘せとか’においても，適切な乾燥ストレス状態を維持する時期や程度が明らかになれば，同様な点滴灌水システムを用いた高品質果実生産が可能である．

そこで，本研究では，加温ハウス栽培を行う‘せとか’を用いて果実発育期の内秋冬季における適切な乾燥スト

平成24年11月13日受領，平成25年８月６日受理

レス状態の期間と程度を積算水分ストレスと品質との関係から検討した．

なお，本研究は，農研機構の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」（2008年～2011年）により実施した．また，とりまとめに当たり，ご助言をいただいた近畿中国四国農業研究センターの根角博久氏ならびに，農研機構果樹研究所の岩崎光徳氏に深く感謝します．

1　材料および方法

2010年および2011年に愛媛県農林水産研究所果樹研究センターのビニルハウス内に植栽しているカラタチ台‘せとか’〔‘清見’（*Citrus unshiu* Marc.×*C. sinensis* Osbeck）×‘アンコール’（(*C. nobilis* Lour.×*C. deliciosa* Ten.)×*C. unshiu* Marc.）×‘マーコット’（*C.* spp.）〕を供試し，３月上旬から加温栽培した．2010年の被覆加温期間は３月２日～６月５日とし，最高温度25～27℃，最低温度15～16℃で管理した．また，2011年の被覆加温期間は３月５日～５月20日とし，最高温度25～27℃，最低温度16℃で管理した．両年とも，12月中旬に再被覆して，最高温度18℃，最低温度３℃で収穫期まで管理した．満開は，2010年では４月10日，2011年は４月13日であった．

樹体の乾燥ストレス状態を示すΨmaxの果実発育期間における推移と果実品質との関係を解析するため，樹ごとのΨmaxが分散するように水管理を行った．

2010年度の試験では，８月末まで多灌水で管理し，その後は屋根面フィルムを降雨時に被覆して，雨水を遮断した状態で，18樹を対象に９月中旬～10月上旬，10月中旬～11月上旬に分けて，乾燥と湿潤の組み合わせ処理を行い，樹ごとのΨmaxが分散するようにした．乾燥と湿潤の区分はΨmaxを目安とし，乾燥は－0.8MPa前後，湿潤は－0.4MPa前後として，期間中は概ね３日おき程度にΨmaxを測定し，その推移をみながら主に点滴灌水（１樹あたり４列配置，ドリッパーの吐出量2.3l/時，30cm間隔）により，１～４日おきに５～20分程度の灌水を行い，樹の乾燥ストレス状態を制御した．なお，湿潤状態を維持する樹では，晴天日が続く場合に30～60分程度点滴灌水した．

11月中旬以降は，各区のΨmaxに大きな差が生じないよう適宜灌水した．

2011年度の試験では，８月下旬まで多灌水とし，その後は，前年度同様に雨水を遮断して管理した．９月は，曇や雨の日が多かったため９月25日まで無灌水とし，それ以降は，主に１～４日おきに５～15分程度の点滴灌水を行った（使用状況は2010年度と同じ）．乾燥ストレスにやや個体差がみられた状態で，11月26日まで各樹ほぼ同量の灌水を行い，その後11月27日～１月13日において，少灌水区６樹，多灌水区４樹を設定した．少灌水区は４l/樹の点滴灌水を４回，14～18l/樹の地表面灌水を２回行った．多灌水区は，少灌水区の灌水を行ったうえに，さらに12月中旬まで４日間隔で50l/樹，それ以降は６～８日間隔で50l/樹の点滴灌水を行った．

2010年度および2011年度ともに全樹について，経時的に果実肥大，果汁糖度，クエン酸含量およびΨmaxを測定した．果実肥大は１樹７果程度，品質は１樹２～３果程度とし，Ψmaxは，プレッシャーチャンバー（DIK-7001，大起理化工業）を用いて，夜明け前に１樹１枚を測定した．測定回数は，2010年度が９～10月で20回（およそ３日間隔），11～12月で９回（３～９日間隔），2011年度が９～10月で９回（およそ７日間隔），11～12月で８回（およそ７日間隔）行った．解析方法は，Ψmaxと品質との関係をより明らかにするため，岩崎[4]らの方法に従い，樹ごとに積算水分ストレス値と果実肥大および品質の増減量を算出し，９～10月，11～12月の２期に分けて積算水分ストレスと品質の相関関係について解析した．なお，積算水分ストレス値（SΨx）は以下の式を用いて算出した．

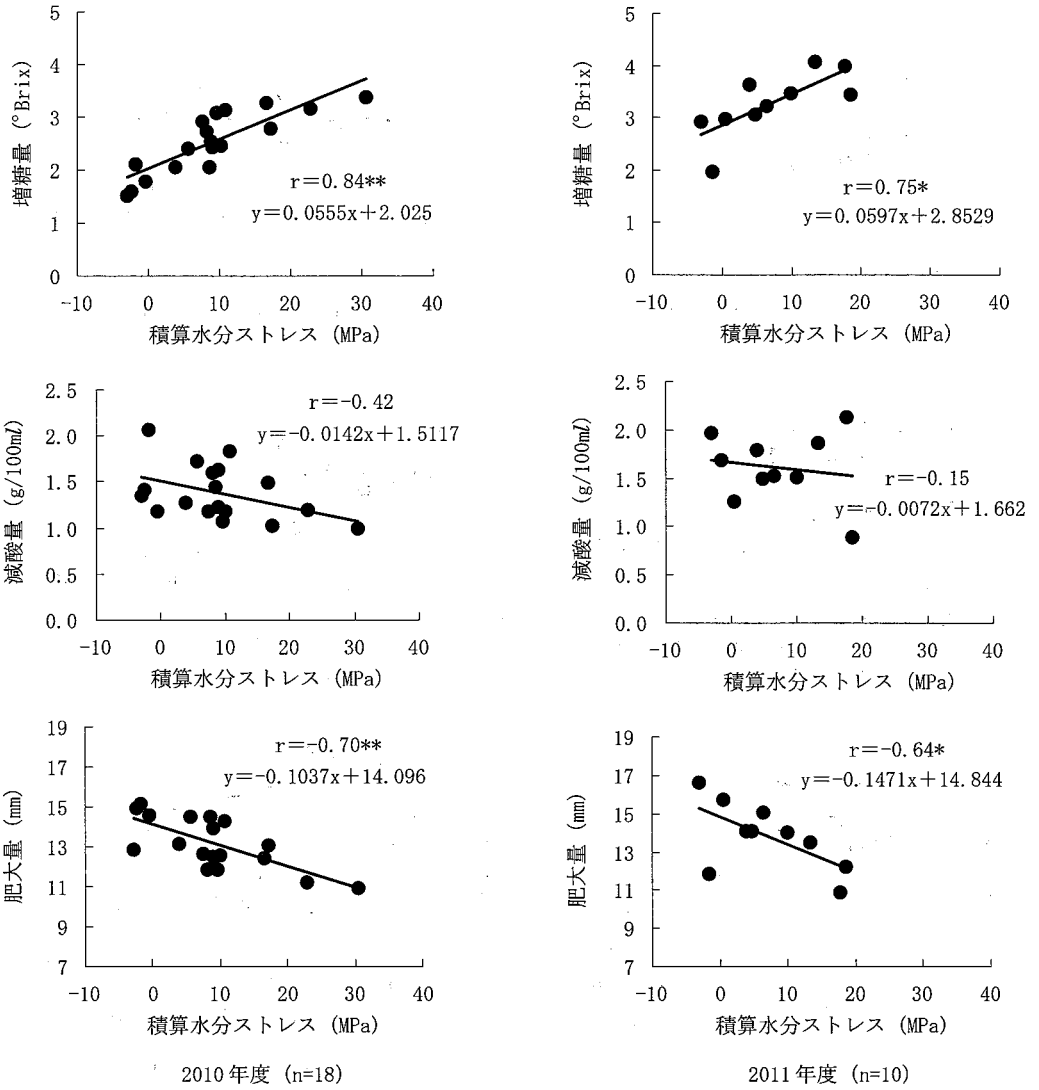
$$S\Psi x = |\Sigma\{(\Psi_i + \Psi_{i+1})/2 - c\}\, n|$$

ここでのｘは対象期間，ｉは期間前の最終測定日のデータ，ｉ＋１はｉから数日後に測定した値，ｃは測定期間中の湿潤状態のΨmax（９月は－0.3MPa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Ψmax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．

2　結　　果

乾燥ストレス付与の処理を始める９月１日の満開後日数は，2010年度，2011年度ともに約140日で果実横径は6.5cm～7.5cm程度で果汁蓄積が認められた７月上旬から概ね60日後であった．

９～10月の積算水分ストレス値と増糖量との関係は，２か年とも正の相関がみられた．一方減酸量は2011年度では相関がみられなかったものの，2010年度は積算値が大きい樹で減酸量が少ない傾向がみられた．果実肥大量は２か年とも負の相関がみられた（第１図）．11～12月の積算水分ストレスは，２か年とも増糖量，減酸量との相関はみられなかったが，2011年度において積算水分ストレス値が大きい樹でやや増糖する傾向がみられた．肥大量は2011年度でやや負の相関がみられ，増

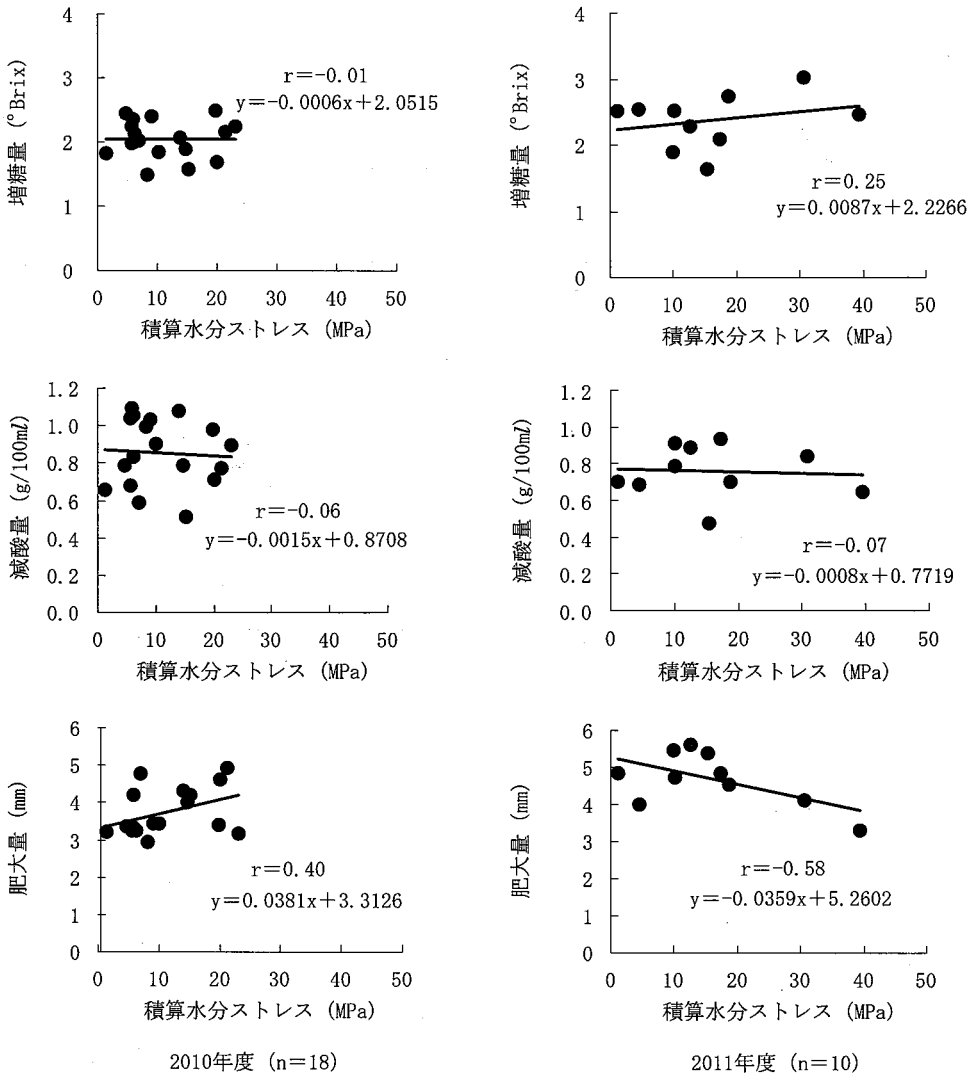


第１図　９～10月の積算水分ストレスが増糖，減酸および肥大量に及ぼす影響

糖量と同様に積算値が大きく，強いストレスが続いた樹でやや肥大量が低下する傾向がみられた（第２図）．

収穫期に高品質であった樹，糖低および酸高など低品質であった樹を選び，９，10月の旬ごとの平均Ψmaxの推移を第３図に示した．Ψmaxの推移は，2010年度の高品質果実生産樹（第３図Ａ）で，９月上旬は－0.4MPaの湿潤状態で，中下旬はNo.５でやや高く推移したが，概ねNo.１～４まで－0.6MPa前後のストレスで推移した．その後10月は，一時的にNo.２で中旬に－1.0MPaの強ストレス，No.４で下旬に－0.5MPaの弱ストレス状態となったが，No.１～５ともに概ね－0.6～－0.8MPaのストレスで推移した．一方糖低樹（第３図Ｂ糖低）は期間中－0.5MPa以上のストレスが付与されない状態が維持された．酸高樹（第３図Ｂ酸高）は，９月中旬以降－0.8MPa以下の強ストレスが続いた．2011年度の高品質果実生産樹（第３図Ｃ）は，No.１～４ともに９月中旬まで－0.4MPa以上の湿潤状態で推移し，その後９月下旬以降，一時的にNo.２～４で－1.0MPa以下の強ストレスとなったが，No.１～４ともに概ね－0.6～－0.8MPaのストレスで推移した．糖低樹（第３図Ｄ糖低）は，一時的に10月上旬に－0.8MPaのストレス状態となった樹もみられたが，期間を通じて－0.6MPa以上の弱ストレスで推移した．酸高樹（第３図Ｄ酸高）は９月下旬～10月上旬に－1.0MPa以下の強ストレス状態が維持された．

2010年度の試験対象として９，10月の積算水分ストレス値が同程度で，期間中のΨmaxが異なる推移を示す樹を２樹ずつ選び，その推移を第４図，積算水分ストレス値，果実肥大量，果実品質を第１表に示した．区分は，９月中下旬に－0.4MPa～－0.6MPaで推移し，10月以降－0.6MPa～－0.8MPaで推移するＡ区，９月中下旬は－0.4MPa以上でその後10月以降低下し，下旬には－1.0MPa程度となるＢ区，９月上旬以降低下し下旬に－0.8MPa程度となり，その後－0.5MPa程度まで緩やかに上昇するＣ区の３つとなった．積算水分ストレスは

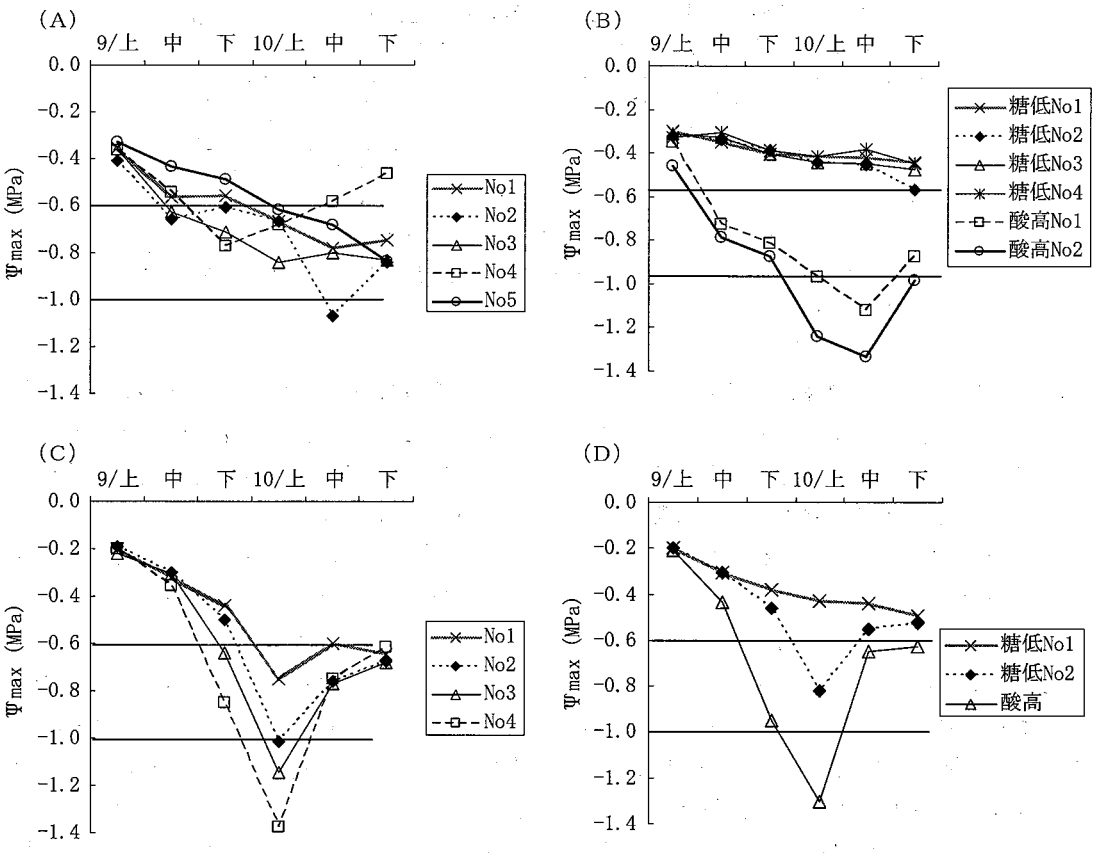


第２図　11～12月の積算水分ストレスが増糖，減酸および肥大量に及ぼす影響

Ａ区が12.8，Ｂ区が11.8，Ｃ区が12.9であった．９，10月間の果実肥大量はＢ区，Ａ区，Ｃ区の順に大きかった．果汁糖度はＡ区が最も高く，Ｂ，Ｃ区が同じであった．クエン酸含量はＣ区，Ａ区，Ｂ区の順に高かった．

３　考　　察

土壌乾燥により樹をストレス状態で維持して高品質果実を生産する技術は，ウンシュウミカンを中心に普及している．一方‘せとか’は，品種登録されて10年と比較的新しい品種で高品質果実生産を目的とした最適な乾燥ストレス状態の制御方法についてはまだ明らかにされていない点が多い．そこで本研究では，３月上旬加温栽培の作型で，９～12月の乾燥ストレス状態と果実品質との関係について積算水分ストレス値を指標とし，収穫期の果実品質との関係について検討した．その結果９，10月（３月上旬から加温する栽培で満開後140～200日）に乾燥によるストレス状態の維持が果実品質に与える影響が大きかった．また，高品質果実生産樹における最適な乾燥ストレスの強さ，期間を調べるため９，10月のΨmaxの推移を１樹ごとに検討した結果，９月上中旬までは－0.4MPa～－0.6MPa，９月下旬以降は概ね－0.8MPa前後で推移する傾向にあった．また，９，10月における積算水分ストレス値が同程度であっても，ストレスがかかる時期により，果実品質に違いがみられた．すなわち，９月中下旬にストレスが付与されるとクエン酸含量が高く，肥大量が小さくなる傾向があり，９月中下旬に湿潤状態が続くと，10月に－1.0MPa程度の強ストレス状態となっても，９月中旬から弱～中程度のストレスが維持された樹に比べて，クエン酸含量はやや低いものの，糖度も低くなった．以上のことから，加温栽培における‘せとか’の高品質果実生産には，９月中下旬から弱～中ストレスを維持することが重要であると考えられた．一方，ウンシュウミカンで必要とされているΨ



第３図　収穫期の品質が異なる樹の９，10月の旬ごとの平均Ψ*max*の推移

（A），（B）は2010年度で分析日は2011年２月４日，（C），（D）は2011年度で分析日は2012年１月19日

（A）高品質果実生産樹（°Brix14以上，クエン酸1.0 g/100m*l*以下を基準に抽出）

５樹平均　°Brix14.3　クエン酸0.89 g/100m*l*　果実重262 g

（B）低品質果実生産樹　糖低（４樹平均）°Brix12.5　クエン酸0.87 g/100m*l*　果実重263 g

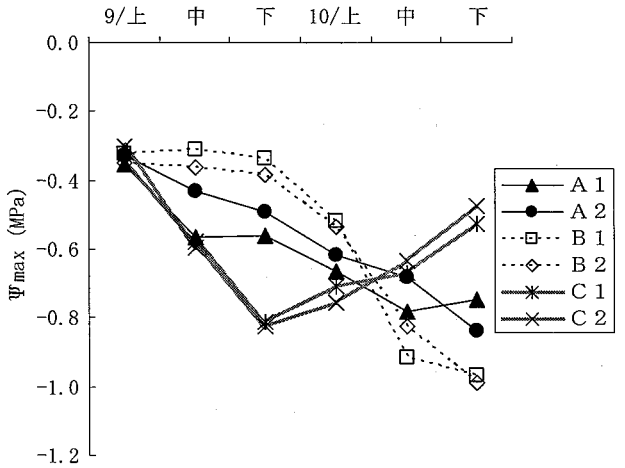
酸高（２樹平均）°Brix15.0　クエン酸1.13 g/100m*l*　果実重239 g

（C）高品質果実生産樹（°Brix13以上，クエン酸1.0 g/100m*l*以下を基準に抽出）

４樹平均　°Brix13.7　クエン酸0.86 g/100m*l*　果実重326 g

（D）低品質果実生産樹　糖低（２樹平均）°Brix12.4　クエン酸0.77 g/100m*l*　果実重334 g

酸高（１樹）　°Brix13.7　クエン酸1.18 g/100m*l*　果実重321 g



第４図　９，10月の積算水分ストレスが同程度の樹における異なるΨ*max*の推移（2010年度）

注）Ａ～Ｃは推移の違いによる区分で２樹ずつ，Ψ*max*は旬平均

max－1.0MPaほどの強ストレスの維持は必要なく，逆に－0.8MPa以下の強ストレスの維持は，高糖度となるものの，減酸を妨げ，出荷の遅れ，小玉化，樹勢低下を招く恐れがあると考えられる．

なお，2010年度と2011年度では積算水分ストレス値が０でも，増糖量に約1.4倍の差がみられた．これは処理前の生育状況などが影響しているものと推察されるが，原因については今後検討する必要がある．しかし，両年とも回帰直線の傾きは約0.06であり積算値と増糖量の関連性は参考にできると考えられる．

これまで，安部ら[1]は，‘せとか’の乾燥ストレスと品質に関して３月上旬の加温栽培においてΨ*max*を変えて行った試験で，９月中旬～11月上旬に－0.8MPa程度のストレス付与が湿潤状態である－0.4MPa程度と比べて糖度を上昇させる効果があるとしてきた．

第１表　９，10月の積算水分ストレス値が同程度で，Ψmaxが異なる推移を示す樹の果実肥大量，果実品質（2010年度産）

区　分	９，10月の積算水分ストレス値（MPa）	果実肥大量（㎜）	果汁糖度（°Brix）	クエン酸含量（g/100ml）
A	12.8±0.9	13±0.9	14.1±0.0	0.90±0.08
B	11.8±0.2	14±0.3	13.3±0.0	0.82±0.03
C	12.9±0.3	12±0.4	13.3±0.0	1.01±0.02

注）各区２樹平均，値は平均値±標準誤差（n＝２），肥大量は９，10月の間，品質は２月４日調査

本研究における詳細な解析の結果，３月上旬から加温する‘せとか’の促成栽培においては，９月から10月（満開140～200日）の乾燥ストレス付与の果実品質に与える影響が大きく，早期出荷を目標とした高品質果実を生産するには，その期間，弱～中程度の乾燥ストレスを維持することが有効であると考えられた．また，そのΨmaxの目安は９月中旬～10月末で－0.6MPa～－0.8MPaと考えられた．薬師寺ら[9]は，ウンシュウミカンにおいて－0.6MPa程度の緩乾燥ストレスが－1.0MPaの強乾燥ストレスよりも光合成産物の転流・分配が高いと報告しており，‘せとか’においても健全な樹勢維持の観点から緩乾燥ストレスによる増糖処理が適切であると考えられる．

また，本研究の生育ステージとは異なるが，藤原ら[2]は露地栽培のマルチ処理で９月から10月にかけて－0.5MPa～－0.7MPa程度の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．このことは，本研究における施設加温栽培と約１か月開花期が遅い露地栽培においても，乾燥ストレスの維持の程度や方法で果実の高品質化に効果があることを示唆するものである．

11月（３月上旬加温栽培で満開200日後）以降における乾燥ストレスが品質に与える影響として，本研究においては11月下旬以降で乾燥区，湿潤区を設定したが，極端な強ストレスが続いた樹では，やや増糖し，肥大が抑制される傾向がみられた．喜多ら[5]は，少加温栽培で11月以降の乾燥処理は，果実品質に大きな影響を及ぼさず肥大を悪化させると報告している．これらのことから，11月以降においても９，10月ほどの影響はないが，強度の乾燥ストレス付与は増糖や肥大量の低下に影響するため，気象条件により灌水の必要があると考えられた．

4　摘　　要

中晩生カンキツ‘せとか’の３月上旬加温の作型において，秋冬季における樹体の乾燥ストレス状態の推移と果実品質の関係について，積算水分ストレス値を指標とし検討した．その結果，気温が低下した11，12月においては，増糖量，減酸量，肥大量とも積算水分ストレス値と有意な相関は認められなかったが，９月中旬から11月上旬（満開後150日から210日）に乾燥ストレス状態を変えた場合に，積算水分ストレス値は，増糖量との間に有意な正の相関，果実肥大量との間に有意な負の相関が認められた．また高品質果実が生産されたのは，Ψmaxを９月中旬～10月末に－0.6MPa～－0.8MPaで推移させた樹であり，この期間にストレス状態とならない場合は，糖度が低く，過度な乾燥ストレス状態が続いた場合は酸含量の高い果実となった．そのため，９，10月において積算水分ストレス値が同程度でも，弱～中ストレスを維持した樹が糖酸のバランスが最も良かった．これらの結果は，‘せとか’においても，土壌乾燥と細やかな水管理により適度なストレス状態を維持することで，高品質果実を生産できることを示している．

引　用　文　献

１）安部伸一郎・藤原文孝・石川　啓：園学中四国支部要旨，50，５，2011.
２）藤原文孝・安部伸一郎・石川　啓：園学中四国支部要旨，50，４，2011.
３）岩崎光徳・深町　浩・今井　篤・野中圭介：園学研，10，191－196，2011.
４）岩崎光徳・深町　浩・今井　篤・平岡潔志・奥田均：園学研，11，327－335，2012.
５）喜多景治・薬師寺弘倫・脇　義富・中川雅之：愛媛果樹試研報，21，27－34，2007.
６）間苧谷徹・町田　裕：園学雑，49，41－48，1980.
７）森永邦久・吉川弘恭・草場新之助・島崎昌彦・中尾誠司・星　典宏・長谷川美典：園学研，９（２），129－135，2010.
８）Myers, B. J：Tree physiol, 4, 315－323, 1988.
９）薬師寺博：果樹研報，１，95－97，2002.