

## IV 夜温が果実の水・炭素収支に及ぼす影響

## 1 はじめに

成熟したハウスミカン果実は、90%程度の水を含み、残り10%が乾物である。したがって、ウンシュウミカンにおいて水蓄積に関連した要因が果実サイズ、品質、および収量を決定しており、水管理と水収支の重要性が多く報告されている(間苧谷・町田<sup>97)</sup>、1980; 川野<sup>72)</sup>、1984; Yakushiji et al.<sup>160)</sup>、1998; Yano et al.<sup>168)</sup>、2012)。販売に求められる糖度12度以上かつ酸1.0%以下の果実を生産するには、水収支だけでなく炭素収支も重要である。トマトでは、果実の水収支について詳細な報告があるが<sup>2)</sup> (Araki et al.<sup>2)</sup>、1997、1998、2004; Kitano and Araki<sup>75)</sup>、2001)、果実の炭素収支に関する報告は少ない。これは、果実への炭素の転流を計測するのが難しいからである。Shishido et al. は、キュウリ苗<sup>134)</sup> (1987) やトマト<sup>133)</sup> (1989) の炭素収支を<sup>14</sup>Cトレーサー法にて計測したが、この方法は小さな植物体に限られる。例えば、Kubota and Motoyama<sup>88)</sup> (1972) は、ポット植栽のウンシュウミカン樹において<sup>14</sup>Cトレーサー法を用い、果実の成長は最寄りの葉、すなわち同一着果枝における葉の影響を強く受けることを明らかにした。また、<sup>14</sup>Cや<sup>13</sup>Cといった同位体を用いた報告の多くは定性的で(Kubota and Motoyama<sup>88)</sup>、1972; Kadoya and Tanaka<sup>70)</sup>、1972; Yakushiji et al.<sup>160)</sup>、1998)、定量的な報告は少ない(Shishido et al.<sup>134)</sup>、1987; Yano et al.<sup>168)</sup>、2012)。これは、多くの均一な植物材料を用意することが困難な背景もある。

本研究の大きなねらいは、果実の水・炭素収支の定量化より、ハウスミカン満開後50-120日の果実成長に及ぼす夜温の影響を明らかにし、この期間における低夜温、中庸水ストレス条件下での最適な高品質果実生産技術を確立することである。本章では、夜温制御

環境下において、定量的な<sup>13</sup>Cトレーサー法や果実への師部・木部輸送の評価などを通じ、昼夜別に果実の水・炭素収支を明らかにした。

## 2 材料および方法

**材料:** ハウス内で栽培された17年生「宮川早生」を用いた。加温開始は2009年11月28日、満開日は2010年1月5日、加温終了は同年5月19日、収穫は同年7月5日であった。

**温度管理:** 満開後50-123日において、昼/夜温を28°C/23°C設定とする中夜温区(MN)と、28°C/13°C設定とする低夜温区(LN)の2区を設けた。両区とも3樹反復とした。気温制御は、昼は換気扇、夜は主に暖房によったが、LNにおいて4月と5月の夜間は冷房を使用した。夜温処理は満開後121日に終了し、ハウスのサイドを開放した。その他の肥培管理は慣行に従った。

**木部水ポテンシャルの計測:** 夜明け前の木部水ポテンシャルは、プレッシャーチャンバー(DKT-7000、Daiki Rika Kogyo Co., LTD., Japan)を用いて10日間隔で調査した。

**ソース・シンクユニットとユニット内の<sup>13</sup>C分配:** 葉から果実への転流動態を計測するため、IIと同様のソース・シンクユニットを定義した。ユニットは、2009年発生 of 夏枝を母枝とし、生産年の2010年に2果と7葉を含む着果枝であった(図2-3)。<sup>13</sup>C分配は、パルス追跡法でIIと同様の方法で行った。

**水・炭素動態の計測:** 葉および果実のガス交換、果実成長速度、および果柄汁液フラックスはIIと同様に計測した。ただし、果実表面の蒸散フラックス( $J_{WF}$ ;  $m^3 \cdot m^{-3} \cdot s^{-1}$ )および暗黒条件下の果実CO<sub>2</sub>放出速度( $J_{CO_2}$ ;  $mmol \cdot m^{-3} \cdot s^{-1}$ )は、IIIと同様、生育ステージに応じて図3-1および図3-2により求めた。表4-1に用いた関係式を示す。

表4-1 果実表面の蒸散フラックス( $J_{WF}$ )および暗黒条件下の果実CO<sub>2</sub>放出速度( $J_{CO_2}$ )の気温( $T_a$ )による推定で用いた関係式(Yano et al., 2013)

目的変数 (Y)	DAFB	Day or night	関係式 ( $X=T_a$ )	P値
$J_{WF}$	30-90	Day	$Y = 0.0011 e^{0.17X}$	<0.001
		Night	$Y = 0.0010 e^{0.16X}$	<0.001
	90-120	Day	$Y = 0.0028 e^{0.10X}$	<0.001
		Night	$Y = 0.0035 e^{0.10X}$	<0.001
$J_{CO_2}$	30-90	—	$Y = 0.037 X - 0.29$	<0.001
	90-120	—	$Y = 0.0096 X - 0.022$	<0.001

日中・夜間別の果実への炭素転流量の推定：日中の果実への転流量は以下の式で推定した。

$$\Sigma TL_D = \Sigma TL_{Daily} \times \delta^{13}C_{F,D} / (\delta^{13}C_{F,D} + \delta^{13}C_{F,N}) \quad (4-1)$$

ここで、 $\Sigma TL_D$ 、 $\Sigma TL_{Daily}$ 、 $\delta^{13}C_{F,D}$ 、および $\delta^{13}C_{F,N}$ は、日中の葉から果実への炭素転流量、日中と夜間を合計した日積算の葉から果実への炭素転流量、日中の葉から果実への $^{13}C$ 分配増加割合、および夜間の葉から果実への $^{13}C$ 分配増加割合を示す。夜間の炭素転流量 ( $\Sigma TL_N$ ) も  $\Sigma TL_D$  と同様に求めた。日中と夜間はそれぞれ7:00-19:00および19:00-7:00とした。

日中・夜間別の果実乾物増加量の推定：日中および夜間の果実乾物増加量は次式で推定した。

$$DM_{F,D} = \Sigma TL_D - \Sigma J'CO_{2,D} + \Sigma A_F \quad (4-2)$$

$$DM_{F,N} = \Sigma TL_N - \Sigma J'CO_{2,N} \quad (4-3)$$

ここで、 $DM_{F,D}$ 、 $\Sigma J'CO_{2,D}$ 、 $\Sigma A_F$ 、 $DM_{F,N}$ 、および $\Sigma J'CO_{2,N}$ は、日中の果実乾物増加量、日中の果実暗呼吸積算値、果実光合成の日積算値、夜間の果実乾物増加量、および夜間の果実暗呼吸積算値をそれぞれ示す。

果実品質と果皮色：果汁の可溶性糖含量はデジタル糖度計 (PR-101、ATAGO Co.、Ltd.) を用い、酸含量は滴定法で調査した。果皮色は、測色色差計 (ZE2000、NIPPON DENSHOKU Co.、Ltd.) で計測した。

### 3 結果

果実の水・炭素収支を算出した環境条件：成長盛期における果実の水・炭素収支を明らかにするため、満開後60日、71日、100日、および120日の4日間に短期集中調査を行った。いずれの日も、stage IIの果実細胞肥大期 (菊池ら<sup>74)</sup>、1964) に相当し、Iにおけるyoung stageとmiddle stageにあたる。図4-1に4調査日間で平均した気温 ( $T_a$ ) とハウス内日射量 ( $R_s$ ) の日変化を示す。

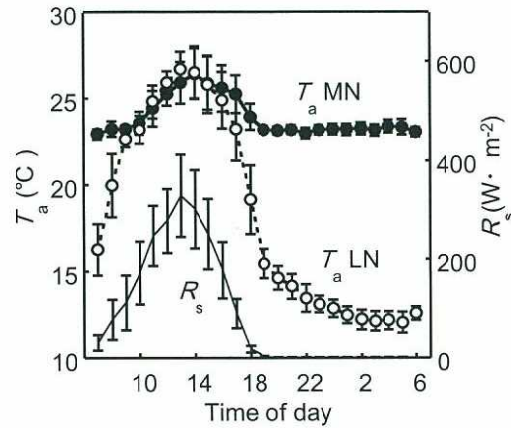


図4-1 中夜温区 (●;MN) および低夜温区 (○;LN) における日射量 ( $R_s$ ) と気温 ( $T_a$ ) の日変化. 各プロットは満開後60, 71, 100, および120日の平均値. バーは標準誤差 ( $n=4$ ).

木部汁液フラックスと環境との関係：満開後60日の日積算節部汁液フラックス ( $\Sigma J_{Phlo}$ ) と日積算木部汁液フラックス ( $\Sigma J_{Xy}$ ) は残念ながら欠測となり、またこの日の日射量は他の満開後71日、100日、および120日の1/4未満であった (表4-2)。

調査した満開後60日、71日、100日、および120日の4日間の $R_s$ 平均値 ( $8.7MJ \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$ ) は、主要ハウスミカン作型を想定した、供試ハウスにおける2月から3月 (満開後60日から120日まで) の2011から2013年の3カ年平均となる $R_s$ 平均値 ( $8.4MJ \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$ ) に近い値であった。もし、満開後60日のデータを除けば、 $R_s$ 平均値 ( $10.9MJ \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$ ) や果実水収支は晴天が強調された結果になる。したがって、満開後60日の欠測を補足することは、満開後60日から120日までの正確な果実水収支を推測する上で重要と思われる。

満開後71日、100日、および120日における日中と夜間の $\Sigma R_s$ と $\Sigma J_{Xy}$ において、有意な負の相関 ( $P<0.001$ ) が認められ (図4-2)、図4-2に示された回帰式より満開後60日の $\Sigma J_{Xy}$ が求められ、これと $\Sigma J_{Sap}$ および式

表4-2 満開後60, 71, 100, および120日におけるハウス内外の日積算日射量 ( $\Sigma R_s$ )

年/月/日	DAFB	ハウス外 $\Sigma R_s$ ( $MJ \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$ )	ハウス内 $\Sigma R_s$ ( $MJ \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$ )	ハウス内 $\Sigma R_s$ /ハウス外 $\Sigma R_s$
2010/3/6	60	3.9	2.2	0.55
2010/3/17	71	21.8	11.1	0.50
2010/4/17	100	26.1	12.2	0.46
2010/5/7	120	17.2	9.5	0.46
平均		17.3	8.7	0.50

(2-3) から  $\Sigma J_{\text{Phlo}}$  が推定できた。

長期間の環境の影響：図4-3に果実成長の長期間の推移を示す。果实体積 ( $V_F$ ) と果実乾物重 ( $DW_F$ ) はLNで抑制された。図4-4に夜明け前水ポテンシャル ( $\Psi_{xy}$ ) の推移を示す。調査期間を通じ、MNとLNは同様の推移を示した。

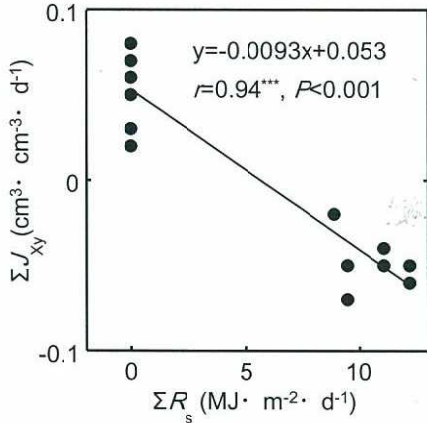


図4-2 満開後71, 100, および120日の日中および夜間における積算日射量 ( $\Sigma R_s$ ) と日積算木部汁液フラックス ( $\Sigma J_{xy}$ ) との関係。

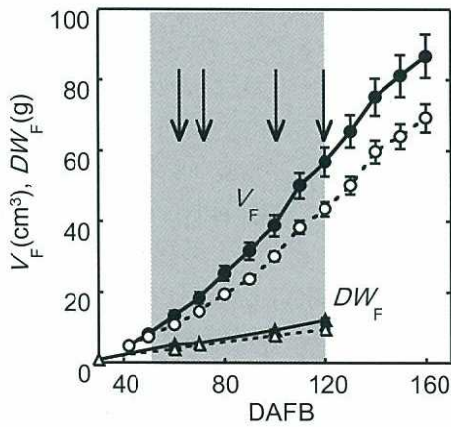


図4-3 満開後60, 71, 100, および120日の中夜温区 (●;MN) および低夜温区 (○;LN) における果实体積 ( $V_F$ ) と果実乾物重 ( $DW_F$ ) の推移。灰色の背景は夜温処理期間を示す。バーは標準誤差 ( $n=15$ )。

ソース・シンクユニット内の $^{13}\text{C}$ 分配：図4-5にMNとLNにおけるユニット内の $^{13}\text{C}$ 分配の推移を示す。ソース・シンクユニット内における果実への $^{13}\text{C}$ 分配速度は、日中 (11:00-19:00) は、MN:  $3.9\% \cdot \text{h}^{-1}$ 、LN:  $3.8\% \cdot \text{h}^{-1}$ で、夜間 (19:00-7:00) はMN:  $1.9\% \cdot \text{h}^{-1}$ 、LN:  $1.1\% \cdot \text{h}^{-1}$ であった (図4-5)。したがって、 $\delta^{13}\text{C}_F$ の日中/夜間比は、MNで2.0およびLNで3.3となった。平均気温は、

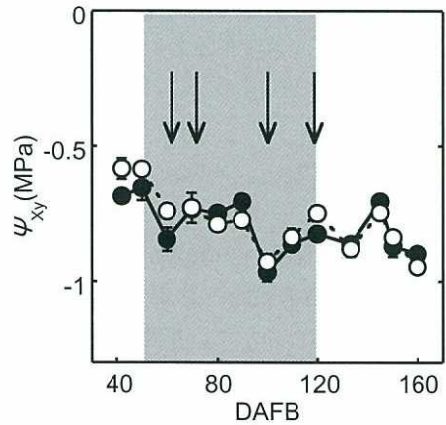


図4-4 満開後60, 71, 100, および120日の中夜温区 (●;MN) および低夜温区 (○;LN) における夜明け前水ポテンシャル ( $\Psi_{xy}$ ) の推移。灰色の背景は夜温処理期間を示す。バーは標準誤差 ( $n=6$ )。

日中 (11:00-19:00) はMN:  $25.3^\circ\text{C}$ 、LN:  $24.6^\circ\text{C}$ で、夜間 (19:00-7:00) はMN:  $23.2^\circ\text{C}$ 、LN:  $13.1^\circ\text{C}$ であった (図4-2)。これら結果より、 $23\text{--}25^\circ\text{C}$ の範囲において、ソース・シンクユニット内における果実への $^{13}\text{C}$ 分配速度は、夜間よりも日中の方が大きかった (図4-6)。

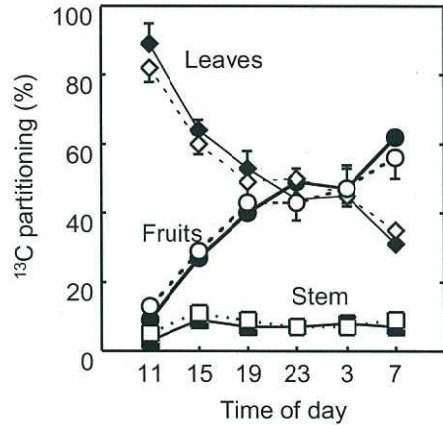


図4-5 満開後60, 71, 100, および120日の中夜温区 (黒;MN) および低夜温区 (白;LN) におけるソース・シンクユニット内 $^{13}\text{C}$ 分配の日変化。バーは標準誤差 ( $n=4$ )。

日中および夜間の果実水収支：図4-7に満開後60日、71日、100日、および120日のMNとLNにおける果实体積変化速度 ( $GRF$ ) の日変化を示す。満開後60日の $GRF$ のみ終日正の値であったが、満開後71日、100日、および120日は果実の収縮に伴い、日中は負の値を示した。

図4-8にMNとLNにおける水動態の日変化から求めた

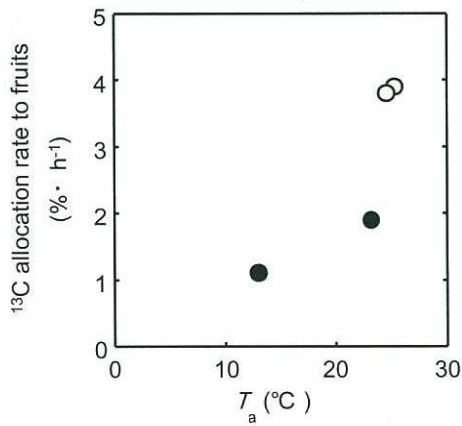


図4-6 日中(○)と夜間(●)の葉から果実への $^{13}\text{C}$ 分配速度のプロット。 $^{13}\text{C}$ 分配速度は、図4-5における11:00, 19:00, および7:00のデータより算出した。

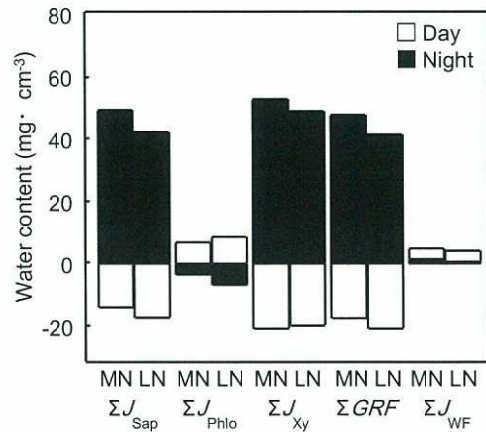


図4-8 中夜温区(MN)および低夜温区(LN)における短期の果実水動態から求めた日中および夜間の果実積算水収支。満開後60, 71, 100, および120日で得られた数値を平均した。 $\Sigma J_{\text{Sap}}$ ,  $\Sigma J_{\text{Xy}}$ ,  $\Sigma J_{\text{Phlo}}$ ,  $\Sigma J_{\text{WF}}$ , および $\Sigma \text{GRF}$ は積算果柄汁液フラックス, 積算木部汁液フラックス, 積算師部汁液フラックス, 積算果実蒸散フラックス, および積算果実体積増加速度を示す。

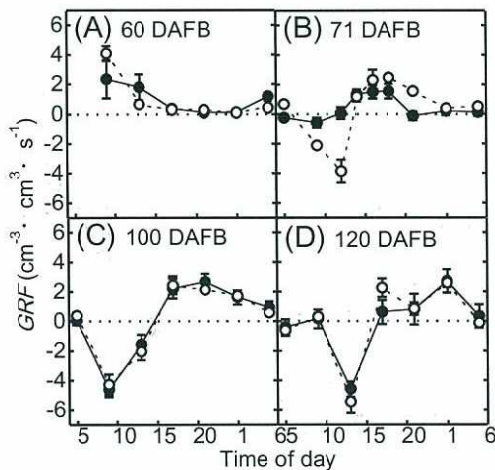


図4-7 満開後60日(A), 71日(B), 100日(C), および120日(D)の中夜温区(黒;MN)および低夜温区(白;LN)における果実体積増加速度(GRF)の日変化。バーは標準誤差( $n \geq 3$ )。

日中および夜間の果実積算水収支を示す。水収支の基礎に基づけば、果実に流入する日積算汁液フラックス( $\Sigma J_{\text{Sap}}$ )は $\Sigma J_{\text{Phlo}}$ と $\Sigma J_{\text{Xy}}$ で構成され、また $\Sigma J_{\text{Sap}}$ は日積算果実体積増加速度( $\Sigma \text{GRF}$ )と日積算蒸散フラックス( $\Sigma J_{\text{WF}}$ )との和に等しい。図4-7において、日中の $\Sigma \text{GRF}$ は負の値であったが、夜間は正の値であった。 $\Sigma \text{GRF}$ の絶対値は、MNとLNの両者とも夜間が日中の2倍であった。果実生育に重要な水流入は、夜間の積算木部汁液フラックス( $\Sigma J_{\text{Xy}} > 0$ )で、日中と夜間の $\Sigma J_{\text{Phlo}}$ のどちらでもなかった。日中の $\Sigma J_{\text{Phlo}}$ は、MNとLNの両者とも夜間よりも大きくなった。

日中および夜間の果実炭素収支：図4-9にMNとLNにおける炭素動態の日変化から求めた日中および夜間の果実積算炭素収支を示す。日中において、MNとLNにおける日積算果実光合成量( $\Sigma A_F$ )は、果実への総炭素供給量( $\Sigma A_F + \Sigma TL_D$ )のそれぞれ12%および9%で、

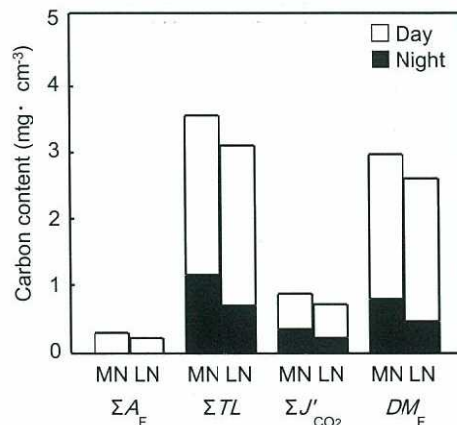


図4-9 中夜温区(MN)および低夜温区(LN)における短期の果実炭素動態から求めた日中および夜間の果実積算炭素収支。満開後60, 71, 100, および120日で得られた数値を平均した。 $\Sigma A_F$ ,  $\Sigma TL$ ,  $\Sigma J'_{\text{CO}_2}$ , および $DM_F$ は日積算果実光合成速度, 1果あたり積算転流量, 日積算果実暗呼吸量, および日果実乾物増加量を示す。

同様にMNとLNにおける $\Sigma J'CO_{2,0}$ は果実への総炭素供給のそれぞれ20%および19%であった。夜間において、MNとLNにおける $\Sigma J'CO_{2,N}$ は、果実への総炭素供給量( $\Sigma J'CO_{2,N} + DM_{F,N}$ )のそれぞれ31%および33%であった。  
 収穫果の品質と果実収量：表4-3に収穫果の品質と葉面積あたり果実収量を示す。MNの果皮色はLNよりも優

れた(表4-3)。LNの酸含量は、MNより有意に低くなったが( $P < 0.001$ )、差は小さかった(表4-3)。葉面積あたり果実収量では、MNとLNの間に有意な差は認められなかった(表4-3)。

表4-3 中夜温区(MN)と低夜温区(LN)における収穫果の品質と葉面積あたり収量

処理	収穫果の品質 (n=20)				葉面積あたり収量 (n=3) (kg m <sup>-2</sup> )
	1果重 (g)	SSC (°Brix)	TA (%)	果皮色	
MN	104.4 ±	11.3 ±	0.75 ±	0.29 ±	2.71 ± 0.17
LN	94.9 ±	11.0 ±	0.60 ±	0.17 ± 0.018	2.57 ± 0.17
有意性 <sup>Y</sup>	NS	NS	***	**	NS

<sup>Y</sup>平均値±標準誤差。\*:\*\*\*;  $P < 0.001$ , \*\*:  $P < 0.01$ , NS; not significant at t-test.

#### 4 考察

本章において、植物の水ストレス指標となる夜明け前の木部水ポテンシャルは、満開後50-120日を平均すると、MNで $-0.79 \pm 0.04$  MPa、LNで $-0.77 \pm 0.03$  MPaであった(図4-4)。これら値は、ウンシュウミカンにおいて中庸なストレス程度と思われる(Yakushi et al.<sup>160</sup>, 1998)。概して、果実体積あたりで算出した果実水および炭素収支の日積算は、MNとLNの間で大きな差は認められなかった(図4-10)。果皮色を除く果実品質と果実収量についても同様であった(表4-3)。これらの結果は、満開後60-120日の夜温と、満開後180日の果実糖度および滴定酸度との間に有意な相関が認められなかったIの結果と一致した。

果実の日積算水収支では、ウンシュウミカンに特徴的な点として以下4点を挙げる事ができる。第1点は、果実に流入する日積算汁液フラックス(日積算師部汁液フラックス+日積算木部汁液フラックス)の多くが果実成長に寄与していたことである。果実からの蒸散は収支バランス上小さく、果実表面の日積算蒸散フラックスが果実に流入する日積算汁液フラックスに占める割合は14%であった(図4-10)。第2点は、果実に流入する汁液のうち、師部輸送の占める割合が、日積算師部汁液フラックスで6-10%と小さかったことである(図4-10)。既往のトマトにおける報告とウンシュウミカンで日積算師部汁液フラックスの変動幅を比較すると、トマトで $0.116-0.075 \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$ であったのに対し(Araki et al.<sup>2</sup>, 2004)、本章では $0.004-0.003 \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$ で、ウンシュウミカンの日積算師部汁液フラックスは明らかに低い変動幅であった。第3点

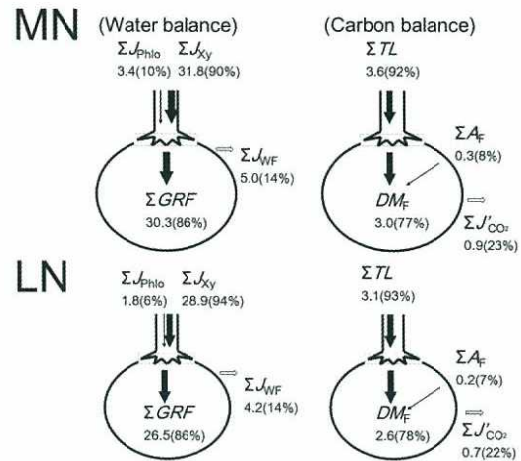


図4-10 中夜温区(MN)と低夜温区(LN)における果実の積算水・炭素収支。満開後60, 71, 100, および120日で得られた数値を平均した。水収支における $\Sigma J'Xy$ ,  $\Sigma J'Phlo$ ,  $\Sigma J'WF$ , および $\Sigma GRF$ は日積算木部汁液フラックス, 日積算師部汁液フラックス, 日積算果実蒸散フラックス, および日積算果実体積増加速度を示す。炭素収支における $\Sigma AF$ ,  $\Sigma TL$ ,  $\Sigma J'CO_2$ , および $DMF$ は日積算果実光合成速度, 1果あたり積算転流量, 日積算果実暗呼吸量, および日果実乾物増加量を示す。

は、日積算木部汁液フラックスの大きな昼夜間変動である(図4-8)。これら水収支におけるトマトとウンシュウミカンとの差異は、主に形態や水分ストレス状態の違いによると思われる。例えば、Koch and Avigne<sup>84</sup>(1990)は、グレープフルーツ(*Citrus paradisi* Macf.)砂じょうへの<sup>14</sup>C分配速度は、師部積み下ろし

以降の転流経路では遅くなることを示した。これは、カンキツ果実の転流機構は、非維管束組織を含み複雑であることを示唆している。このカンキツ果実の複雑さが、ウンシュウミカンにおける師部輸送あるいは果実への炭素転流の速度に関係していることが考えられる。Araki et al.<sup>2)</sup> (2004) はトマトにおいて、水分欠乏条件下 (日中 $-1.4 \pm 0.2$  Mpa) で負の日積算木部汁液フラックス (日積算 $-0.014 \pm 0.003$   $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$ ) を、潤沢な水分条件下 (日中 $-0.6 \pm 0.1$  MPa) で正の日積算木部汁液フラックス (日積算 $0.077 \pm 0.017$   $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$ ) を報告している。本章でも、負の日積算木部汁液フラックス (図4-8) は日中の水分欠乏と関係すると考えられる。第4点は、日積算師部汁液フラックスに対する夜温の影響が小さいことで、MNとLNを比較するとわずか4%の違いであった (図4-8)。

果実への木部汁液フラックスは、茎と果実間の水ポテンシャル勾配で駆動されるものと考えられる。果実の水ポテンシャルと比較して、茎の水ポテンシャルは変動しやすく、根の水分状態や植物体近傍の蒸散要求の影響を受ける (Johnson et al.<sup>67)</sup>, 1992; Araki et al.<sup>4)</sup>, 1998)。本章では、積算日射量と日積算木部汁液フラックスとの間に有意な負の相関が認められた (図4-2)。水分欠乏や高塩ストレス、高蒸散要求条件下では、茎の水ポテンシャルが果実よりも低下し、木部経由で汁液が逆流して果実の収縮をもたらす (Pearce et al.<sup>128)</sup>, 1993; Kitano et al.<sup>79)</sup>, 1996; Yano et al.<sup>168)</sup>, 2012)。満開後71日、100日、および120日において、MNとLNは両者とも負の果実体積変化速度を示したが (図4-7)、これは木部汁液の逆流による果実体積の収縮であった (図4-8)。

既往の報告では、第一果房の開花後約3週間における糖集積が活発な生育段階のトマトにおいて、果実への汁液は主に師部経由であることが示されている (Araki et al.<sup>2)</sup>, 2004; Ho et al.<sup>52)</sup>, 1987)。近年の核磁気共鳴画像法による研究では、興味深いことに、第8週目のトマトでは、果房に流入する正味の汁液のうち、少なくとも75%は果柄外周に存在する木部経由の汁液で、残り25%は果柄内部の師部および木部を経由する汁液であった (Windt et al.<sup>156)</sup>, 2009)。本章では、Araki et al.<sup>2)</sup> (2004) の報告と同様の手法で1果について評価したにも関わらず、得られた結果はWindt et al.<sup>156)</sup> (2009) の結果に類似していた (図4-10)。この理由は、種特有の維管束輸送システムや計測方法の違いなどが考えられるが、詳細は今後の研究に期待する。

果実の水・炭素収支日積算の概要を見ると、果柄を経由して果実へ運ばれる水や炭素の多くは果実に貯留しており、蒸散や呼吸で放出されていない (図4-10)。果実の光合成の寄与は、果実成長に分配される炭素の10-15%程度であることがグレープフルーツ (*Citrus paradisi* Macf.) やカラマンダリン (*Citrus madurensis* Lour.) (Huang et al.<sup>58)</sup>, 1992)、ブルーベリー (*Vaccinium ashei* Reade) (Birkhold et al.<sup>10)</sup>, 1992) で報告されている。本章において、果実へ流入する炭素 (果実光合成+葉から果実への転流炭素) のうち果実光合成の占める割合は、MNで8%およびLNで7%であった (図4-10)。この結果は、IIで得られた結果と概ね同様であり、茎の師部を経由する葉から果実への炭素転流が、果実への主要な炭素供給源となっていることが再確認された。

高等植物においては、暗期よりも明期で炭素の転流が活発なことがトウモロコシの葉 (Troughton et al.<sup>148)</sup>, 1977) やトマト (北野<sup>77)</sup>, 1998) などで報告されている。本章でも、23-25°Cでは、ソース・シンクユニット内の葉から果実への<sup>13</sup>C分配速度は、夜間よりも日中の方が大きかった (図4-6)。この結果は、夜温よりも昼温に注意が払われる必要があることを示している。また、満開後60日、71日、100日、および120日で平均した夜間積算師部汁液フラックスは負の値を示したが (図4-8)、これは単に積算師部汁液フラックスが積算木部汁液フラックスよりも十分に小さいことを意味すると考えられる。これに対し、ソース・シンクユニット内の葉から果実への<sup>13</sup>C分配は正の値であり (図4-6)、夜間における師部を介した葉から果実方向への転流は確実に生じていると考えられる。汁液の逆流は、木部汁液フラックスでの報告はあるが (Kitano and Araki<sup>75)</sup>, 2001; Eguchi et al.<sup>26)</sup>, 2003)、本章ではLNにおいて師部での逆流を示す結果が得られ (図4-8)、これは果実が一時的にソースになったことを意味する。しかし、仮に果実がソースになったとしても、樹体全体からみたソース能力は、葉と比較すればはるかに小さいことが推察できる。

以上より、慣行着果量のハウスミカンにおいて、満開後50-120日を低夜温 (13°C) で管理した場合の問題は、果実成長の抑制による収量減と着色遅延であることが明らかとなった。慣行着果量が満開後50-120日に本章の範囲で夜温を下げて管理しても、果実体積あたりの水・炭素収支の様相は大きく変化せず、換言すれば果実成長の根本となる質的なメカニズムは、低夜温でもあまり変わらない。ただし、果実サイズを反映

させ、量的に見れば夜温が果実成長に及ぼす影響は大きいと考えられる (図4-3)。

なお、本章より考えられる省エネルギー栽培管理の留意点は、以下2点である。第1点は、水管理と低夜温とのバランスである。満開後50-120日を13°Cのような大幅な低夜温とし、果実成長の抑制を水管理で補おうとすると、過剰かん水となり低糖度果実しか生産されない。第2点は、夜温よりも昼温に注意が払われる必要があることである。23-25°Cでは、ソース・シンクユニット内の葉から果実への<sup>13</sup>C分配速度は、夜間よりも日中の方が大きかった。よって、昼温の最適化と省エネルギーは密接に関係すると考えられる。