ウメ ‘南高’ の果実および新梢の同化養分競合特性と着果負担が同化養分の転流と樹体生育に及ぼす影響

土田靖久^{1*}・薬師寺 博²・根来圭一¹・菱池政志¹

¹ 和歌山県農林水産総合技術センター果樹試験場うめ研究所 645-0021 和歌山県日高郡みなべ町東本庄

² 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ブドウ・カキ研究領域 739-2494 広島県東広島市安芸津町三津

Characteristics of Assimilated Carbohydrate Competition between Fruit and Shoot, and Effect of Fruit Load on Assimilated Carbohydrate Translocation and Tree Growth of Japanese Apricot (*Prunus mume* Sieb. et Zucc.) ‘Nanko’

Yasuhisa Tsuchida^{1*}, Hiroshi Yakushiji², Keiichi Negoro¹ and Masashi Hishiike¹

¹ Japanese Apricot Laboratory, Fruit Tree Experiment Station, Wakayama Research Center of Agriculture, Forestry, and Fisheries, Minabe, Wakayama 645-0021, Japan

² Grape and Persimmon Breeding Research Station, National Institute of Fruit Tree Science, Higashi-Hiroshima 739-2494, Japan

Abstract

To determine the characteristics of carbohydrate competition, we investigated changes in ¹³C concentration and distribution rate in fruit-bearing branches of Japanese Apricot (*Prunus mume* Sieb. et Zucc.) ‘Nanko’ during fruit growth. We also investigated the effect of heavy crop load on ¹³C concentration and distribution rate in each organ of the whole tree and on the growth of the tree. In fruit-growth stage I, the ¹³C concentration and distribution rate in shoots were higher than those in fruits, however, fruits comprised about 30% of the ¹³C distribution rate. These findings indicated that the carbohydrate competition between fruits and shoots exists from the early fruit growth stage. The ¹³C concentration and distribution rate in fruits was the highest in all organs during stage II. Especially, the ¹³C concentrations in the stone and kernel of the fruit showed significantly higher values. During this stage, the carbohydrate distribution rate in fruit was about 60% and higher than that in shoots at about 40%. In fruit-growth stage III, the ¹³C concentration in fruit declined in comparison in that in stage II; however, the ¹³C distribution rate remained about 40%. The ¹³C concentration in shoots and roots of trees with a heavy fruit load were lower than those of trees with a normal fruit load, and the carbohydrate distribution rates in the former were also lower than those of the latter. A tree with a heavy fruit load showed leaf rolling and etiolation, earlier defoliation, restraint of emerging vigorous shoots, and an increase in dead twigs. In conclusion, it was clear that the carbohydrate competition between shoots and fruit is most significant during fruit-growth stage II. It was thought that trees grown with a heavy fruit load become weaker due to restraint of carbohydrate translocation to shoots and roots.

Key Words : ¹³C, growth stage, photosynthate

キーワード : ¹³C, 光合成産物, 生育ステージ

緒 言

2009 年の農林水産省の発表によると、和歌山県におけるウメの栽培面積および生産量はそれぞれ 5,620 ha および 71,500 t であり、いずれも日本一である。品種では ‘南高’ が約 8 割を占めている。平成 20 年度の和歌山県でのウメの 10 a 当たり収量は 1.4 t と、全国平均の 0.7 t に比べて 2 倍である（近畿農政局和歌山農政事務所, 2010）. ‘南高’ は自家不和合性の品種であり、2 月の開花期にミツバチにより授粉樹の花粉が運ばれて受精し、結実する。温暖な気候の

和歌山県ではミツバチの活動が活発であり、受粉率が高くなるため、他県に比べて収量が多いと考えられる。その反面樹体への着果負担が大きく、連年着果過多を繰り返すと、樹勢が低下する恐れがある。

葉は同化養分を合成し、樹体の各部へ供給するソースとしての働きがある。しかし、展葉間もない未熟な葉は、ソースとしての働きと同時にシンクとして同化養分の供給を受ける（Wareing・Patrick, 1975）。果実は葉、枝、根など他の器官と同化養分を競合するため、着果量が多いと競合は激しくなる（Dann ら, 1984; DeJong ら, 1987; Maggs, 1963; Weinberger, 1931）。

ウメ ‘南高’ 樹体の健全性を保ち、果実を安定生産するためには、果実生育期間中における同化養分の転流や分配

2010 年 8 月 4 日 受付. 2011 年 4 月 19 日 受理.

* Corresponding author. E-mail: tsuchida_y0001@pref.wakayama.lg.jp

の特性を明らかにすることが重要である。ウメ樹における同化養分の研究は、季節的变化（渡辺, 1990）、枝齢との関係（渡辺ら, 1990）、夏季における剪定程度との関係（長谷部・黒上, 1987）などの報告がある。しかし、着果が光合成同化養分の転流・分配に与える影響についての研究例は少ない。

Yamaguchi ら（2004）は、複数のウメ品種で3段階の肥大成長を認めている。すなわち、肥大第Ⅰ期は果肉の細胞分裂による肥大、第Ⅱ期は細胞分裂が停止し、第Ⅲ期は果肉細胞の容積が増加して肥大が再び活発になり、成熟が進む。和歌山県主産地の「南高」では、第Ⅰ期が2月の開花・結実から5月上旬にあたり、その間3～4月に発芽、展葉する。第Ⅱ期は5月上旬にあたり、硬核期と呼ばれ、核の硬化が認められる。第Ⅲ期は5月上旬以降～6月の収穫期にあたる。

Warren（1972）は、光合成産物の転流方向と、分配量を支配する力をシンク強度（sink strength）と定義し、シンク強度は組織の総重量とシンクの単位重量当たりの光合成産物の取り込み速度の積によって決定するとしている。

各器官の同化養分のシンク強度は生育ステージによって変化し、シンク強度が最も強い器官に優先的に養分が転流する（Ho, 1980; Wright, 1989）。このことから、ウメにおいても果実および新梢のシンク強度は、生育ステージの推移と共に変化すると考えられる。

本研究では、ウメ「南高」の養分競合の実態を明らかにするために、生育ステージ別の新梢と果実の間の同化養分の競合特性、着果量がウメ樹体の各器官への同化養分の転流・分配特性および樹体生育に及ぼす影響を調査した。

材料および方法

1. 果実生育期間における結果枝中の同化養分の転流の変化

2008年に32年生「南高」（満開期2月22日）3樹を供試した。長さ約30 cm、着果数10果の結果枝を1樹当たり3本選定し、肥大第Ⅰ（4月9日）、Ⅱ（5月9日）、Ⅲ期（6月17日）のそれぞれの時期（生育状況を第1図に示す）に $^{13}\text{CO}_2$ を吸収させた。すなわち、結果枝を厚さ0.15 mmの透明ビニル袋で密閉し、その中に2 gの $\text{Ba}^{13}\text{CO}_3$ （98%、旭光通商）が入った三角フラスコを2つと、袋内に発生する $^{13}\text{CO}_2$ を攪拌するためのファンを1台設置した。午前10時と11時に、 $\text{Ba}^{13}\text{CO}_3$ に50%乳酸を加え、 $^{13}\text{CO}_2$ を発生させた。午後3時にビニル袋を外し、処理を終了した。肥大第Ⅰ～Ⅲ期の袋内の気温はそれぞれ19.9、26.3および29.2°Cであった。 $^{13}\text{CO}_2$ 処理終了2日後に結果枝を採取し、葉、当年枝、2年枝、果梗および果実に分解した。果実はさらに果皮、果肉、核および仁に分解した。ただし、肥大第Ⅰ期は核が未分化だった。これらを80°Cで乾燥後に粉碎した。約1 mgの粉碎粉を供試し、赤外分析計（日本分光、EX-130S型）により、炭素率および ^{13}C excess%の測定を行った。各器官および果実組織の炭素含量を、乾物重と炭素率

の積によって求めた。この炭素含量と ^{13}C excess%から各組織の乾物1 g当たりの ^{13}C 吸収量、および、この値と乾物重の積から ^{13}C 総吸収量を求めた。さらに、結果枝全体の ^{13}C 吸収量（光合成量）を100%とした各器官、および、果実組織の ^{13}C 吸収量の割合を、 ^{13}C 分配率として求めた。また、本研究期間中の4月6日～6月20日の間に、1樹当たり3果の側径を5～10日間隔で測定した。

2. 着果量が樹体中の同化養分の転流に及ぼす影響

2005年5月16日に、着果量が1 m²当たり3.0および1.0 kgになるように調整した「南高」7年生樹（満開期2月24日）について、前者を着果多区、後者を着果少区とし、各区それぞれ2樹供試した。これらの樹体について、6月14日に試験1と同様の方法で $^{13}\text{CO}_2$ を処理した。すなわち樹体全体をビニルで覆い、6 gの $\text{Ba}^{13}\text{CO}_3$ が入った三角フラスコを3つ設置し、午前10、11および12時に $^{13}\text{CO}_2$ を発生させた。ビニル内の平均気温は26°Cであった。午後1時にビニルを外し、処理を終了した。1週間後に樹体を果実、葉、当年枝、2年枝、3年生以上枝、幹、細根（直径<2 mm）、中根（直径2～20 mm）、太根（直径>20 mm）に分け、試験1と同様の方法で乾物1 g当たりの ^{13}C 吸収量、 ^{13}C 総吸収量および ^{13}C 分配率を求めた。

3. 剪定量が樹体成長に及ぼす影響

「南高」29年生樹を供試した。2005～2008年の毎年1月に、切り返し剪定主体の強剪定と間引き剪定主体の弱剪定を施し、3樹反復とした。強剪定区および弱剪定区の毎年の平均剪定量はそれぞれ0.7および0.3 kg・m⁻² FWで、毎年の平均果実収量はそれぞれ2.7および4.8 kg・m⁻²であり、後者は前者に比べて着果量が多く推移した。

2008年春～夏季に、1樹当たり当年枝50本の長さを5～10日間隔で測定し、調査毎に伸長停止した当年枝本数の割合を求めた。また、同年11月に当年枝の長さ別本数を調査した。すなわち短果枝（10 cm以下）、中果枝（10～20 cm）、長果枝（20 cm以上）および発育枝（基部直径1 cm以上、長さ50 cm以上の直上に伸長した当年枝）の本数を調査した。これらに加えて、枯死枝の本数を調査した。

結 果

1. 果実生育期間における結果枝中の同化養分の転流の変化

果実肥大は4月下旬にかけて進み、5月上～中旬にかけて鈍り、以降再び進行した（第1図）。肥大第Ⅰ期では、葉の乾物1 g当たりの ^{13}C 吸収量が21.9 mg・g⁻¹ DWと、全ての器官の中で最も多かった（第2図左列上段）。次いで、当年枝で11.8 mg・g⁻¹ DWであった。果実での乾物1 g当たりの ^{13}C 吸収量は4.3 mg・g⁻¹ DWと、葉や当年枝に比べて少なかった。果実の組織別でみると、果皮、果肉、仁でそれぞれ5.9、3.8および3.9 mg・g⁻¹ DWとなり、これらの間に差はなかった（第2図右列上段）。しかし、肥大第Ⅱ期では葉と当年枝の乾物1 g当たりの ^{13}C 吸収量は、それぞれ9.0および5.6 mg・g⁻¹ DWであり、第Ⅰ期に比べて半減

第1図 ウメ‘南高’32年生樹の果実肥大の推移と ^{13}C 処理を行った時期における生育状況
果実肥大は縫合線を挟んだ側径を測定。縦線は標準誤差 ($n=3$) を示す
図中矢印は ^{13}C 処理日を示す

第2図 ウメ‘南高’32年生樹の果実生育I～III期における結果枝の各器官および果実組織中の ^{13}C 吸収量
左列：結果枝器官，右列：果実組織
第I期の核は未分化
図中の縦線は標準誤差 ($n=3$) を示す
図中の異なる英字間にはTukey多重検定により5%水準で有意差があることを示す

した(第2図左列中段)。反対に、果実では乾物1g当たりの ^{13}C 吸収量は $8.4 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ DW}$ に増加した。特に核および仁で、それぞれ 12.4 および $10.0 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ DW}$ と果実組織中で多かった(第2図右列中段)。肥大第III期では、葉の乾物1g当たりの ^{13}C 吸収量は $9.0 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ DW}$ と第II期と同水準で、器官中最も多かった(第2図左列下段)が、当年

枝および果実の乾物1g当たりの ^{13}C 吸収量はそれぞれ2.3および $2.8 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ DW}$ と、第II期に比べてそれぞれ約2分の1と3分の1に減少した。果実組織別では果皮、核、仁でそれぞれ 1.8 , 0.3 , $4.1 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ DW}$ となり、第II期と比べて減少した(第2図右列下段)。特に核の乾物1g当たりの ^{13}C 吸収量は、第II期の2%と大きく減少した。

果梗および2年生枝の乾物1g当たりの ^{13}C 吸収量は、肥大I～III期を通じて他器官に比べて少なく推移した。これらの果実生育期間中の平均値は、それぞれ1.9および $0.6 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ DW}$ であった(第2図左列)。

各器官の乾物重は、果実の生育ステージの進行とともに増加した(第1表)。生育期間を通じて、果実の乾物重が最も重く推移した。肥大第I, II, III期における結果枝全体の ^{13}C 総吸収量(光合成量)は、それぞれ18.1, 163.1および 250.6 mg と、生育の進行とともに増大した(第1表)。各器官の ^{13}C 総吸収量は、肥大第I期では葉で最も多く 11.9 mg 、次いで果実で 4.9 mg であった(第1表)。第II期では、逆に果実で最も多く 102.9 mg 、次いで葉で 56.4 mg であった。第III期では葉と果実で多く、それぞれ 127.4 mg および 106.7 mg で、これらの間に有意差は認められなかった。このように、果実生育期を通じて、葉と果実の ^{13}C 総吸収量が他の器官に比べて多かった。果実組織では、肥大第I期とIII期で果肉、第II期で核の ^{13}C 総吸収量が最も多かった。

^{13}C 分配率をみると、肥大第I期は葉で66.0%となり、全ての器官中最も高かった(第1表)。葉の分配率に当年枝の分配率4.2%を合わせた新梢の分配率は、70.2%となった。次いで高かったのは果実で、27.3%であった。果実組織で最も分配率が高かったのは果肉で17.4%、次いで果皮で8.2%、最も低かったのは仁で1.7%であった。

肥大第II期では葉の ^{13}C 分配率は34.6%に低下し、これに当年枝の分配率1.2%を加えた新梢の分配率は35.8%と、第I期の約半分になった。一方、果実の分配率は63.1%と大きく増加した。果実組織で分配率が高かったのは核で、40.0%であった。核に次いで果肉、果皮、仁の順に ^{13}C 分配率が高く、それぞれ15.8, 5.0および2.3%であった。

肥大第III期では、葉および当年枝の ^{13}C 分配率がそれぞれ50.8および4.7%と第II期に比べて高くなり、これらを合わせた新梢への ^{13}C 分配率は55.5%となった。果実の ^{13}C 分配率は42.6%と、肥大第II期に比べて低下した。果実の組織中では果肉、仁、果皮、核の順に ^{13}C 分配率が高く、それぞれ32.3, 6.5, 2.5, 1.3%であり、果肉と仁は第II期に比べて増加し、反対に核で第II期の30分の1と、大きく低下した。

2年枝および果梗の ^{13}C 分配率は、肥大第I～III期を通じて0.3および2.2%以下の水準で、他器官に比べて低く推移した。

2. 着果量が樹体中の同化養分の転流に及ぼす影響

着果多区の乾物1g当たりの ^{13}C 吸収量は、葉、新梢、中根および太根で着果少区に比べて少なかったが、果実でわ

第1表 ウメ ‘南高’ の果実生育Ⅰ～Ⅲ期における結果枝の各器官と果実組織の乾物重、¹³C総吸収収量および¹³C分配率

器官別	果実					
	果実			葉		
	当年枝			2年生枝		
器官別	乾物重 (g) ^z	¹³ C総吸収収量 (mg) ^y	¹³ C分配率 (%)	乾物重 (g)	¹³ C総吸収収量 (mg)	¹³ C分配率 (%)
	乾物重 (g)	¹³ C総吸収収量 (mg)	¹³ C分配率 (%)	乾物重 (g)	¹³ C総吸収収量 (mg)	¹³ C分配率 (%)
第Ⅰ期	1.2±0.2	4.9±0.7	27.3	0.5±0.1 ^z	11.9±2.5 ^y	66.0
第Ⅱ期	12.1±1.1	102.9±14.6	63.1	6.3±1.0	56.4±9.3	34.6
第Ⅲ期	38.9±0.9	106.7±6.4	42.6	15.5±3.9	127.4±12.8	50.8
器官別続き						
器官別	器官合計					
	乾物重 (g)	¹³ C総吸収収量 (mg)	¹³ C分配率 (%)	乾物重 (g)	¹³ C総吸収収量 (mg)	¹³ C分配率 (%)
第Ⅰ期	0.03±0.02	0.1±0.04	0.3	1.3±0.1	0.4±0.2	2.2
第Ⅱ期	0.08±0.01	0.2±0.06	0.1	2.7±0.4	1.6±1.0	1.0
第Ⅲ期	0.07±0.00	0.1±0.02	0.1	5.2±1.4	4.6±1.4	1.8
果実組織別	果皮			果肉		
	乾物重 (g)	¹³ C総吸収収量 (mg)	¹³ C分配率 (%)	乾物重 (g)	¹³ C総吸収収量 (mg)	¹³ C分配率 (%)
	乾物重 (g)	¹³ C総吸収収量 (mg)	¹³ C分配率 (%)	乾物重 (g)	¹³ C総吸収収量 (mg)	¹³ C分配率 (%)
第Ⅰ期	0.3±0.03	1.5±0.09	8.2	0.8±0.2	3.1±0.6	17.4
第Ⅱ期	1.5±0.30	8.1±1.82	5.0	5.1±0.3	25.8±1.4	15.8
第Ⅲ期	3.4±0.10	6.1±2.78	2.5	18.7±0.5	81.1±5.9	32.3
^z 平均値±標準誤差 (n=3)						
^y 乾物1g当たりの含量と乾物重の積から算出, 平均値±標準誤差 (n=3)						
果実組織別	核			仁		
	乾物重 (g)	¹³ C総吸収収量 (mg)	¹³ C分配率 (%)	乾物重 (g)	¹³ C総吸収収量 (mg)	¹³ C分配率 (%)
	乾物重 (g)	¹³ C総吸収収量 (mg)	¹³ C分配率 (%)	乾物重 (g)	¹³ C総吸収収量 (mg)	¹³ C分配率 (%)
第Ⅰ期	—	—	—	0.08±0.02	0.3±0.1	1.7
第Ⅱ期	5.2±0.6	65.3±11.9	40.0	0.40±0.02	3.7±0.4	2.3
第Ⅲ期	12.9±0.4	3.3±1.8	1.3	3.90±0.20	16.0±3.0	6.5

第2表 着果量の異なるウメ‘南高’7年生樹体の各器官の乾物重, ^{13}C 総吸収量および ^{13}C 分配率

	着果多 ^z			着果少 ^y		
	乾物重 (g)	^{13}C 総吸収量 (mg) ^x	^{13}C 分配率 (%)	乾物重 (g)	^{13}C 総吸収量 (mg) ^x	^{13}C 分配率 (%)
果実	1015.9	152.1	24.9	275.0	35.8	6.0
葉	614.2	111.0	18.1	468.0	151.3	25.5
当年枝	292.3	30.6	5.0	467.7	98.0	16.5
2年生枝	325.5	23.6	3.8	123.5	8.7	1.5
3年生以上枝	2775.0	204.6	33.5	3903.5	159.5	26.9
幹	865.2	19.0	3.1	928.6	18.6	3.2
細根	214.2	9.0	1.5	178.5	8.2	1.4
中根	1040.2	28.0	4.6	1076.3	55.5	9.4
太根	693.1	33.5	5.5	988.1	57.1	9.6

^z 樹冠 m^2 当たり着果量 3.0 kg^y 樹冠 m^2 当たり着果量 1.0 kg^x 乾物 1 g 当たりの含量と乾物重の積から算出 第3図 着果量の異なるウメ‘南高’7年生樹の各器官の ^{13}C 吸収量 (n = 2)

ずかに多く, また3年生以上枝で多かった (第3図). 着果多区における各器官の乾物重については, 果実, 葉, 2年生枝および細根が着果少区に比べて重く, 反対に当年枝, 3年生以上枝, 幹および太根の乾物重は軽かった (第2表). 着果多区における器官別の ^{13}C 総吸収量については, 果実, 2年生枝および3年生以上枝で着果少区に比べて多く, それぞれ 152.1, 23.6, 204.6 mg と, 着果少区の 4.2, 2.7, 1.3 倍であった (第2表). 反対に葉, 当年枝, 中根および太根では少なく, それぞれ 111.0, 30.6, 28.0, 33.5 mg と, 着果少区の 73.4, 31.2, 50.5, 58.7% であった. 着果多区の果実の ^{13}C 分配率は 24.9% と, 着果少区の 6.0% に比べて高かったが, 反対に葉, 当年枝, 中根, 太根ではそれぞれ 18.1, 5.0, 4.6, 5.5% と, 着果少区の 25.5, 16.5, 9.4, 9.6% に比べて低かった (第2表).

3. 剪定量が樹体成長に及ぼす影響

弱剪定区および強剪定区の2008年における当年枝の伸長停止本数割合は, それぞれ5月26日および7月10日に100%となり, 弱剪定区で新梢の伸長期間が短く, また伸長停

第4図 剪定量の異なる樹体の伸長停止新梢本数の割合 ( ) 内の数字は伸長停止時の当年枝長 (cm; 平均値 ± 標準誤差) を示す
**はt検定により1%水準で強剪定樹に比べて有意に短いことを示す (n = 50)

第3表 剪定量が異なるウメ‘南高’32年生樹の当年枝の長さ別本数

	短果枝 ^x	中果枝	長果枝	発育枝	枯死枝
強剪定 ^z	88.7 ± 10.8 ^w	3.6 ± 0.7	9.2 ± 1.1	3.0 ± 0.4	28.5 ± 5.1
弱剪定 ^y	165.9 ± 26.6	0.8 ± 0.2	0.2 ± 0.1	0.1 ± 0.1	156.4 ± 18.8
有意差 ^v	*	*	**	**	**

^z 切り返し剪定主体で樹冠 m^2 当たり 0.7 kg 剪除^y 間引き剪定主体で樹冠 m^2 当たり 0.3 kg 剪除^x 短果枝, 中果枝, 長果枝はそれぞれ長さ 10 cm 以下, 10 ~ 20 cm, 20 cm 以上の当年枝発育枝は基部直径 1 cm 以上で長さ 50 cm 以上の直上に伸長した当年枝を示す^w 樹冠 m^2 当たりの本数, 2008年11月調査^v *および**は, それぞれt検定により5%および1%レベルで有意差ありを示す (n = 3)

止後の平均新梢長はそれぞれ 3.3 および 24.0 cm と, 弱剪定区で短かった (第4図). さらに弱剪定区では, 短果枝および枯死枝本数が多かった (第3表). 枯死枝には病害虫の被害は認められなかった. 反対に中果枝, 長果枝および発育枝の本数は, 弱剪定区で少なかった. 弱剪定区では新梢の

第5図 剪定量の異なる29年生ウメ‘南高’の処理2年後の状態(2006年11月撮影)

伸長が抑えられ、葉が巻いて葉色が薄くなり、早期落葉が認められた(第5図)。

考 察

本研究では、果実の生育期間中における結果枝中の ^{13}C 吸収量および分配率の変化を調査した。また、着果量が樹体の器官別の ^{13}C 吸収量および分配率、樹体生育に及ぼす影響を調査した。肥大第Ⅰ期では、葉と当年枝で果実に比べて乾物1g当たりの ^{13}C 吸収量が多かった(第2図左列上段)。これらの ^{13}C 分配率の合計は、結果枝全体の約7割に達していたため(第1表)、新梢がこの時期における主要なシンクであると考えられる。この結果は、展葉期においては葉自体がシンクとなる(Hansen, 1971; Hansen・Grausland, 1973; Jackson・Coombe, 1966; Keller・Loescher, 1989; Martinら, 1964)という報告と一致している。この時期の光合成量(結果枝全体の ^{13}C 総吸収量)は、最も多い時期である第Ⅲ期の7%しかないため(第1表)、少量の同化養分を将来の生育を担うソースの生育を促すために、葉に優先的に供給していると考えられる。しかし、果実にも約3割の ^{13}C が分配されていた(第1表)。果樹における同化養分の転流特性に関する報告(Darell・Birkhold, 1996; Davis・Sparks, 1974; Hansen, 1971; 林・田辺, 1991; Tengら, 1999)では、幼果の生育は前年の貯蔵養分だけでなく、展葉期の未成熟の葉からの同化養分にも依存していることが示唆されている。また、リンゴで生育初期の展葉期の未熟新梢と幼果の間に、同化養分の競合がすでに起こっていることが報告されている(Jackson, 2003; Tustinら, 1992)。これらのことから、ウメ樹では肥大第Ⅰ期から同化養分は未熟葉から果実に転流しており、果実と新梢の間の同化養分の競合はすでに発生していると考えられる。

肥大第Ⅱ期では、果実の乾物1g当たり ^{13}C 吸収量が葉と同程度で(第2図左列中段)、特に核と仁で多かった(第

2図右列中段)。この結果はLilleland(1930)が示唆したように、アンズにおける核の生育は肥大第Ⅱ期に旺盛であることや、ウメの核の主要成分はリグニンであり(Tsubakiら, 2010)、その形成に多量の養分が消費されと考えられていること(石田, 1995)と一致している。そのため果実の ^{13}C 総吸収量は器官中最大になり(第1表)、同時に ^{13}C 分配率も器官中最大の約6割となった。この結果は、この時期に新梢と果実の間に強い同化養分の競合が存在していることを示している。このことは、和歌山県のウメ産地では生理落果は肥大第Ⅱ期に当たる5月上旬に発生することや、同じ核果類のモモの生理落果においても新梢と果実の間や果実間での養分競合が関係していること(石田, 1995; 岡本, 1993)と一致する。

果実肥大第Ⅲ期においては、果実の乾物1g当たり ^{13}C 吸収量が第Ⅱ期に比べて低下した(第2図左列下段)。この原因として、核の乾物1g当たりの ^{13}C 吸収量が大幅に減少したこと(第2図右列下段)が原因と考えられる。モモの核では肥大第Ⅱ期に限り生育が旺盛であり、それ以降は核中の可溶性糖、デンプンおよびヘミセルロース含量が減少することが示されている(Lott, 1942)。このことから、ウメの核も同様に、生育の停止により ^{13}C 吸収量が減少したと考えられる。しかし、果肉と仁の ^{13}C 総吸収量および分配率は、生育ステージ中最大であった(第1表)。これは、肥大第Ⅲ期に果肉および仁の乾物重が増加したことによる。この結果、果実の ^{13}C 総吸収量は第Ⅱ期と比べて差はなかった。しかし、果実への ^{13}C 分配率は約4割と、第Ⅱ期に比べて低下した。これは、新梢の発達により光合成量が第Ⅱ期に比べて約3倍になったため(第1表)、果実と新梢の間の養分競合がやや緩和されたことを示している。

これらの結果より、新梢と果実の間の同化養分の競合は、果実生育初期の幼果期から後期の成熟期を通して存在し、特に果実肥大第Ⅱ期に強い競合が起こっていると考えられた。

着果量の多い樹体では、少ない樹体に比べて葉、当年枝、中根および太根の乾物 1 g 当たりの ^{13}C 吸収量が少なかった (第 3 図)。これは、着果量が多かったため、これらの器官と果実との間の同化養分の競合が強くなり、 ^{13}C が転流しにくくなったことによると考えられる。またその結果として、これらの器官における ^{13}C 総吸収量や分配率が少なかった (第 2 表)。着果量の多い樹体では、果実の乾物 1 g 当たりの ^{13}C 吸収量が少ない樹体に比べてわずかに多く、また 3 年生以上枝でも多かった (第 3 図)。果実で ^{13}C 吸収量が多かった要因については、武藤ら (2010) がカンキツでの報告で示唆したように、着果が多いと果実のシンク強度が増大することによると考えられる。また、3 年生以上枝の ^{13}C 吸収量が多かった要因については、能動的な養分貯蔵の働きがあった可能性が考えられるが、今後の検討を要する。これらの結果から、ウメ樹の着果が多いと同化養分が果実に偏って転流し、新梢や根への転流が抑制されることが示唆され、そのために翌年の生育に必要な貯蔵養分量が少なくなる可能性が示された。なお、これらの結果は 7 年生の若木を供試したものであり、また肥大第 II 期直後の 5 月中旬に人為的に着果量に差をつけ、第 III 期に ^{13}C 分配率を調査している。慣行栽培における着果負担は結実直後から始まり、また果実生産力の高い 20 年生前後の「南高」では、若木に比べて樹冠面積当たりの着果量が多い。すなわち、一般栽培における「南高」成木の着果負担は、本試験に比べて大きいと考えられるため、新梢や根への同化養分の転流がさらに抑制されると考えられる。

着果量の多い状態で 3 年経過した弱剪定樹は、少なく推移した強剪定樹に比べて新梢の伸長が早期に停止し (第 4 図)、短果枝や枯死枝が多くなり (第 3 表)、樹勢の低下が認められた (第 5 図)。これは本試験で明らかになったように、同化養分の転流が果実に偏り、新梢の生育に必要な同化養分が不足するためと考えられる。また、本試験において新梢の伸長に伴って光合成量が増加することが認められたが (第 1 表)、着果量が多くなると新梢の生育抑制により光合成量が少なくなり、当年だけでなく、翌年の生育に必要な貯蔵養分の不足を招くと考えられる。

以上より、ウメ果実生育中における養分競合は、肥大第 II 期に最も強いと考えられ、また、連年着果過多を繰り返すと樹勢低下を引き起こすことが明らかとなった。これらのことから、ウメ「南高」の樹勢を維持しながら安定的に果実生産を行うには、切り返し主体の強めの剪定を行い、着果量を調整することが重要である。

摘 要

ウメ「南高」果実の生育期間中における同化養分の競合特性を調べるために、 ^{13}C を用いて「南高」の果実肥大第 I (展葉期・前期肥大期)、II (硬核期) および III 期 (後期肥大期) のそれぞれの時期において、新梢と果実中の ^{13}C 吸収量および分配率の変化を調べた。また、着果負担が樹体

器官別の ^{13}C 吸収量や分配に及ぼす影響、および、樹体生育に及ぼす影響について調査した。肥大第 I 期では、新梢の乾物 1 g 当たりの ^{13}C 吸収量が果実に比べて多く、分配率も高かった。ただし、果実にも約 3 割の同化養分が分配されており、果実生育初期から養分競合が始まっていることが確認された。肥大第 II 期は、果実の乾物 1 g 当たりの ^{13}C 吸収量が葉と同程度まで増加した。特に、核と仁の ^{13}C 吸収量が多かった。その結果、果実への ^{13}C 分配率は約 6 割となり、新梢の約 4 割に比べて高くなった。肥大第 III 期における果実の乾物 1 g 当たりの ^{13}C 吸収量は、第 II 期に比べて少なくなったが、 ^{13}C 分配率は約 4 割を維持していた。このことから、果実と新梢の間の同化養分競合は、果実の全生育期間を通じて存在しており、特に肥大第 II 期に最も強いと考えられた。着果量の多い樹体では、少ない樹体に比べて新梢と根の乾物 1 g 当たりの ^{13}C 吸収量が少なくなり、 ^{13}C 分配率も低かった。また、弱剪定を施した着果量の多い樹体では、葉の黄化や巻きおよび早期落葉が認められた。また、当年枝の伸長停止が早まるため、長果枝や発育枝などの生育旺盛な枝の本数が少なくなり、短果枝や枯死枝が増加した。以上のことから、ウメ「南高」樹体における新梢と果実の間の同化養分競合は、果実肥大第 II 期に最も激しいことが明らかになった。また着果量が多いと新梢や根への同化養分転流が抑えられ、樹体生育が抑制されると考えられた。

謝 辞 本論文をまとめるにあたり、(独) 果樹研究所森永邦久氏に多大なご助言やご指導をいただいた。また、本研究の実施にあたり、西野峯廣氏、中岡照雄氏、有本陽平氏、松川和幹氏にご協力をいただいた。深く感謝の意を表する。

引用文献

- Dann, I. R., R. A. Wildes and D. J. Chalmers. 1984. Effects of limb girdling on growth and development of competing fruit and vegetative tissues of peach trees. *Aust. J. Plant Physiol.* 11: 49–58.
- Darell, R. L. and K. B. Birkhold. 1996. Carbohydrate contribution to fruit development in two phonologically distinct rabbiteye blueberry cultivars. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 121: 1132–1136.
- Davis, J. T. and D. Sparks. 1974. Assimilation and translocation patterns of carbon-14 in the shoot of fruiting pecan trees. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 99: 468–480.
- DeJong, T. M., J. F. Doyle and K. R. Day. 1987. Seasonal patterns of reproductive and vegetative sink activity in early and late maturing peach (*Prunus persica*) cultivars. *Physiol. Plant.* 71: 83–88.
- Hansen, P. 1971. ^{14}C -studies on apple trees. VII. The early seasonal growth in leaves, flowers and shoots as dependent upon current photosynthates and existing reserves. *Physiol.*

- Plant. 25: 469–473.
- Hansen, P. and J. Grausland. 1973. ^{14}C -studies on apple trees. VIII. The seasonal variation and nature of reserves. *Physiol. Plant.* 28: 24–32.
- 長谷部秀明・黒上九三郎. 1987. ウメの夏季せん定程度が根の重さと同化養分含量に及ぼす影響. 徳島果試研報. 15: 1–6.
- 林 真二・田辺賢二. 1991. くだものづくりの基礎. 鳥取県果実農業協同組合連合会.
- Ho, L. C. 1980. Control of import into tomato fruits. *Ber. Dt. Bot. Ges.* 93: 315–325.
- 石田雅士. 1995. 生理的落果. p. 基 46–48. 農業技術体系果樹編6 (モモ, ウメ, スモモ, アンズ). 農文協. 東京.
- Jackson, J. E. 2003. *Biology of apples and pears*. Cambridge Univ. Press, Cambridge, U. K.
- Jackson, D. I. and B. G. Coombe. 1966. The growth of apricot fruits. I. Morphological changes during development and the effects of various tree factors. *Aust. J. Agric. Res.* 17: 465–477.
- Keller, J. D. and W. H. Loescher. 1989. Nonstructural carbohydrate partitioning in perennial parts of sweet cherry. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 114: 969–975.
- 近畿農政局和歌山農政事務所. 2010. 果樹栽培 (結果樹) 面積及び収穫量・出荷量. P105. 和歌山農林水産統計年報 (平成20年～21年). 近畿農政局和歌山農政事務所. 和歌山.
- Lilleland, O. 1930. Growth study of the apricot fruit. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 27: 237–245.
- Lott, R. V. 1942. Effect of nitrate soda on development of the Halehaven peach. *Univ. Illinois Agr. Expt. Sta. Bul.* 493: 323–384.
- Martin, D., T. L. Lewis and J. Cerny. 1964. Apple fruit cell numbers in relation to cropping alternation and certain treatments. *Aust. J. Agric. Res.* 15: 905–919.
- Maggs, D. H. 1963. The reduction in growth of apple trees brought about by fruiting. *J. Hort. Sci.* 38: 119–128.
- 武藤浩志・末松信彦・荒木勇二・馬場富二夫・石井ちか子・石井香奈子・稲葉善太郎・杉山和美. 2010. ‘はるみ’の着果, 果実の大きさ, 糖度および葉と根のデンプン含量が次年度の着花に及ぼす影響. 植物環境工学. 22: 181–186.
- 岡本五郎. 1993. 果実の発育とその調節 (16). 農及園. 68: 529–534.
- Teng, Y., K. Tanabe, F. Tamura and A. Itai. 1999. Partitioning pattern of ^{13}C -assimilates in ‘Nijisseiki’ pear trees during the initial period of fruit growth. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 68: 1079–1083.
- Tsubaki, S., Y. Ozaki and J. Azuma. 2010. Microwave-assisted autohydrolysis of *Prunus mume* stone for extraction of polysaccharides and phenolic compounds. *J. Food. Sci.* 75: C152–C159.
- Tustin, S., B. Corelli-Grappadelli and G. Ravaglia. 1992. Effect of previous-season and current light environments on early-season spur development and assimilate translocation in ‘Golden Delicious’ apple. *J. Hort. Sci.* 67: 351–360.
- Wareing, P. F. and J. Patrick. 1975. Source-sink relations and the partition of assimilate, p. 481–499. In: J. P. Cooper (ed.). *Photosynthesis and productivity in different environments*. Cambridge University Press, Cambridge, U. K.
- Warren, W. J. 1972. Control of crop processes. In: A. R. Rees, K. E. Cockshull, D. W. Hand and R. G. Hurd. (ed). *Crop processes in controlled environment*. p. 7–30. Academic Press. New York.
- 渡辺 毅. 1990. ウメ樹体各器官の炭水化物含量の季節的变化と着果に及ぼす枝の可溶性糖含量の影響. 福井園試報. 7: 21–30.
- 渡辺 毅・福井博一・中村三夫. 1990. ウメ樹における枝の齢と全アミノ酸及び可溶性糖類, デンプン含量の関係. 園学雑. 59: 641–648.
- Weinberger, J. H. 1931. The relation of leaf area to size and quality of peaches. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 28: 18–22.
- Wright, C. J. 1989. Interactions between vegetative and reproductive growth. p. 15–27. In: C. J. Wright (ed.). *Manipulation of fruiting*. Butterworths, London.
- Yamaguchi, M., T. Haji. and H. Yaegaki. 2004. Differences in mesocarp cell number, cell length and occurrence of gumming in fruit of Japanese apricot (*Prunus mume* Sieb. et Zucc.) cultivars during their development. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 73: 200–207.