

# オゾン (O<sub>3</sub>) が、ニホンナシ ‘幸水’ , ‘豊水’ の 転流に及ぼす影響

関 達哉

---

## Effect of Ozone (O<sub>3</sub>) on the Assimilates Distribution of Japanese Pear (*Pyrus serotina* Rehder) ‘Kousui’ and ‘Housui’

Tatsuya SEKI

---

### 摘 要

オゾン(O<sub>3</sub>)がニホンナシ (*Pyrus serotina* Rehder) ‘幸水’ 及び ‘豊水’ の転流に及ぼす影響について調べるため、人工環境下で150 nL・L<sup>-1</sup>(ppb)のオゾンを4時間暴露し、炭素の安定同位体<sup>13</sup>CでラベルしたCO<sub>2</sub>の植物への取り込みを指標として、同化産物の転流に与える影響を検討した。その結果、‘豊水’では、当年枝上部葉、中部葉、下部葉、1年枝着生葉における葉内の同化産物量がオゾン暴露区で有意に増加し、すべての枝と細根において減少していた。また、‘豊水’の当年生中部枝、下部枝、1年枝における同化産物量が対照区に比べて減少していた。一方、‘幸水’においてはオゾンによる転流パターンへの有意な影響は認められなかった。

このことから、‘豊水’においては、オゾンが葉からの同化産物の転流を阻害している可能性が示唆された。

### 謝 辞

神奈川県農業総合研究所真子正史博士には、本稿の校閲を頂き、神奈川県環境科学センター大気環境部相原敬次専門研究員には、原稿の校閲及び実験に関する指導助言を頂いた。(株)昭光通商科学システム部丸山渉氏には試料の分析に関する技術的な指導助言を頂いた。ここに記して感謝の意を表す。

キーワード：オゾン、O<sub>3</sub>、ニホンナシ、転流、<sup>13</sup>CO<sub>2</sub>

### Summary

To evaluate the effect of ozone(O<sub>3</sub>) on the translocation of two major Japanese pear (*Pyrus serotina* Rehder) cultivars ‘Kousui’ and ‘Housui’, one-year-old grafted trees were exposed to 150 nL・L<sup>-1</sup>(ppb) ozone(O<sub>3</sub>) for 4 hours using a <sup>13</sup>C<sub>2</sub> assimilation chamber. <sup>13</sup>C-labelled carbon dioxide was used as an index of carbohydrate translocation. As for ‘Housui’, assimilated carbohydrates in the leaves of current upper part, middle part, lower part and one-year-old branches were significantly increased, whereas the translocation of the assimilates into all part of branches and fine roots were decreased. No significant effect was detected in ‘Kousui’.

These results suggests that ozone might inhibit the translocation of assimilates in the leaves of ‘Housui’ .

**Key words:** ozone, O<sub>3</sub>, Japanese pear, translocation, and <sup>13</sup>CO<sub>2</sub>

## 緒 言

神奈川県内におけるナシの栽培面積は平成12年度現在288haあり、主として横浜市、川崎市、厚木市、伊勢原市などを中心に、住宅地や道路沿いの畑で栽培されている。主力品種は‘幸水’（90ha）や‘豊水’（100ha）である。

これらの園地では、特に‘幸水’において、7月中下旬から8月中旬にかけて、生育期のナシの葉が黄変落葉する現象がみられる。このようなナシの早期落葉については、1960年代から‘幸水’を中心として発生がみられ、原因究明や対策について、さまざまな報告がなされている。原因としては、薬剤散布（一畝田・大野 1975）、土壌条件の悪化（茂木ら 1976）、葉の老化（片野・安延 1977a）及び大気汚染（浅野ら 1984）といった指摘がなされている。対策としては、炭酸カルシウム（茂木ら 1976）やベンジルアデニンの葉面散布（片野・安延 1977b）について報告がある。

浅野ら（1984）は、早期落葉の経時変化と大気汚染との関連について調べた。1979年から1982年における光化学オキシダント日最高値と、その日から3～6日後の落葉数の相関が高かった。また、‘幸水’の圃場内に、オーブントップハウス装置を設置し、内部に浄化空気を通したところ、非浄化区に比べて落葉が明らかに少なかった。これらのことから、早期落葉には光化学オキシダントの影響が極めて強いとの結論を得ており、さらに日照不足が落葉を助長するとしている。

神奈川県における大気汚染の状況は、県内に56か所設けられている大気環境測定局において常時観測されている。平成11年には、オキシダントの環境基準値である「1時間値 $60\text{nL}\cdot\text{L}^{-1}$ (ppb)以下」に対しては、全測定局において不適合、すなわち基準値以上の値を示しているのが現状である（かながわ環境白書 2001、神奈川の大気汚染 1999）。そのため、大気汚染が県内におけるナシの早期落葉に関与している可能性がある。

光化学オキシダントの主成分はオゾン（ $\text{O}_3$ ）であり、1970年代以来、主として可視的な被害を受けやすいサトイモ、ハツカダイコン、イネ、ラッカセイなどの作物を中心に、オゾンが作物に及ぼす影響について研究が重ねられてきた（篠崎 1974、松岡ら 1975）。また、可視的な被害を生じさせないような低濃度のオゾン処理でも、物質生産に影響を及ぼすことが幅広い作物で報告されている。しかし、ナシについては二酸化硫黄による可視的な被害についての報告がある（川俣 1976）が、オゾン

の単独影響についての報告は少ない（神奈川県農総研ほか 1977、大嶋・古藤 1977、大嶋ら 1978、大嶋ら 1979）。松島ら（1973）は、‘長十郎’に可視的な被害が発生するオゾンガスの限界負荷量は、 $30\text{pphm}\cdot\text{hr}$ （ $300\text{nL}\cdot\text{L}^{-1}$ (ppb) $\times 10\text{h}$ ）と報告している。

ナシに対する大気汚染の影響を評価するためには、葉の物質生産に対する影響だけでなく、同化産物の果実への転流への影響を評価する必要があるが、これらについての研究は少ない。光化学オキシダントは同化産物の転流を阻害するという知見が、ナシやトマトなどで得られている（兵庫県農試 1977、川俣 1976）が、オゾン単独の暴露実験による、ナシにおける同化産物の分配パターンの変化について調べた研究はない。

そこで、今回は、オゾンがナシの主要二大品種である‘幸水’と‘豊水’の転流に及ぼす影響について明らかにしようとした。

## 材料及び方法

植物材料として、ニホンナシ（*Pyrus serotina* Rehder）の‘幸水’‘豊水’の苗木を利用した。まず、平成12年1月に、30cm径プラスチックポットに1年生実生マンシュウマメナシ（*Pyrus betulaefolia* Bunge）を植えて台木を養成した。同年3月6日に‘幸水’と‘豊水’のえき花芽2芽が着生した穂木を利用し、マンシュウマメナシ1個体当たり4枝を枝接ぎした。4月上旬から中旬にかけて開花し、5月25日に1個体1果に摘果した。

同年8月30日に、 $^{13}\text{CO}_2$ 同化チャンバー（小糸工業 KB-10D、アクリル製、 $60\text{cm}\times 60\text{cm}\times 100\text{cm}$ ）を用いて、内部の環境条件を $25^\circ\text{C}$ 、75%RH、光合成光量子束密度 $472.5\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ （約30,000 lx）に設定し、供試品種各2個体を静置した。このとき、光源として、メタルハライドランプのBOCランプ（三菱製）2本と、陽光ランプ（東芝製）2本を用い、高さ100cmのチャンバー上部より照射した。同日11:50～14:50、15:40～16:40の計4時間にわたって、オゾン発生器によりチャンバー内にオゾンガスを通し、濃度を $150\text{nL}\cdot\text{L}^{-1}$ (ppb)に保った。また、15:40～16:40に、チャンバー内に $^{13}\text{CO}_2$ を通し、内部を $^{13}\text{CO}_2 250\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ (ppm)、 $^{12}\text{CO}_2 150\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ に制御した。その後、チャンバーから供試個体を取り出して温室内に静置し、48時間後に各器官別（当年枝、当年枝着生葉、1年枝、1年枝着生葉、果実、直径5mm以下の細根）にサンプリングした。

また、当年枝と当年枝着生葉は枝長を3等分して枝と

葉を分け、上部枝、上部葉、中部枝、中部葉、下部枝、下部葉とした。10日間熱風乾燥機 (Shimadzu DOL-360T) で乾燥 (80°C) し、粉碎機 (C.M.T. T1-100) で粉末化したものを分析試料とした。

浄化区については、同年8月23日に、 $^{13}\text{CO}_2$ 同化チャンパー内に活性炭フィルターでろ過した浄化空気を通して、各品種2個体を供試し、チャンパー内部の環境条件、 $^{13}\text{CO}_2$ 同化条件、サンプリングの方法についてはオゾン暴露区と同様にした。

分析試料中の $^{13}\text{C}$ 含量を、赤外線アナライザー (JASCO EX-130S) で分析した。このとき、8点に1点の割合でナチュラルグリシン ( $^{13}\text{C}$  1.11%) を測定した。得られた測定値から、 $^{13}\text{CO}_2$ 無施用個体の各器官の $^{13}\text{C}$ 含量を差し引き、 $^{13}\text{C}$  atom % excessとした。さらに、Kouchi・Yoneyama(1984)の方法により、各部位における施用 $^{13}\text{C}$ の占める割合すなわち $^{13}\text{C}$ 寄与率を求めた後、各部位への同化産物の移行量を算出し、施用 $^{13}\text{C}$ の転流・分配量を求めた。なお、各部位の炭素率及び $^{13}\text{CO}_2$ 無施用個体の $^{13}\text{C}$ 含量については、第1表に示した値 (関ら 2000) を用いた。

※ 各部位における $^{13}\text{C}$ 寄与率 (RSA)

$$= \text{各部位のatom\%excess} / \text{施用atom\%excess}$$

※ 各部位への同化産物移行量 ( $^{12}\text{C} + ^{13}\text{C}$ ) (mg)

$$= \text{RSA} \times \text{各部位の乾重量(g)} \times \text{炭素率(\%)} \times 1000$$

第1表 ナシの各器官における炭素率および $^{13}\text{C}$ 含量(%) (関ら 2000)

	炭素率(%)	$^{13}\text{C}$ 含量(%)
当年枝	43.59	1.093
1年枝	42.77	1.044
葉	43.51	1.099
果実	42.77	1.096
細根	45.04	1.052

## 結 果

‘幸水’及び‘豊水’の各部位における乾重量を第2表に、 $^{13}\text{C}$ 含有量を第3表にそれぞれ表した。‘幸水’では、オゾン暴露区における当年枝上部葉、下部葉、当年枝のすべての部位及び1年枝着生葉、果実において浄化区より $^{13}\text{C}$ 含量が減少した。中部葉、1年枝及び細根ではオゾン暴露区における値が浄化区より増加した。一方、‘豊水’では、当年枝に着生するすべての部位の葉、下部葉及び1年枝着生葉においてオゾン暴露区の値が増加した。特に、当年枝上部葉では、浄化区より0.148%、1年枝着生葉では浄化区より0.141%増加していた。一方、上部枝、中部枝及び1年枝においては逆に浄化区より減少した。果実の値は、オゾン暴露区が、浄化区より0.26%と大きく増加し、細根は0.003%とわずかに増加した。

各部位の $^{13}\text{C}$ 含有量、炭素率、乾重量より算出した同化産物 ( $^{12}\text{C} + ^{13}\text{C}$ ) 量を第1図及び第2図に示した。

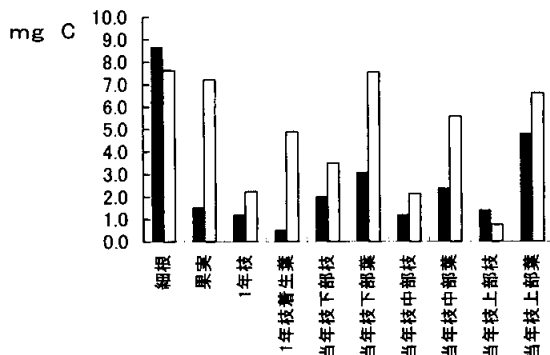
‘幸水’では、上部枝及び細根においてオゾン暴露区の値が浄化区に比べて増加していたが、上部葉、中部葉、

第2表 供試個体の部位別乾重量

部 位	幸 水		豊 水		
	オゾン暴露区	浄 化 区	オゾン暴露区	浄 化 区	
当年枝 葉	上部	6.99 g	7.55 g	14.67 g	13.66 g
	中部	3.13	6.80	7.48	7.57
	下部	5.02	9.38	8.43	10.31
枝	上部	5.58	3.93	8.53	8.62
	中部	4.94	6.05	11.89	11.67
	下部	7.31	8.91	17.06	16.32
1年枝 葉		0.96	7.11	3.56	2.66
	枝	8.05	10.79	10.68	14.57
果 実		5.40	16.08	16.78	16.99
細 根		12.78	12.30	21.47	18.61

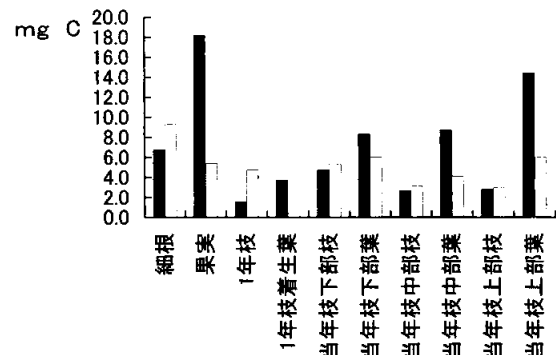
第3表 オゾン暴露が，‘幸水’ ‘豊水’の各部位における<sup>13</sup>C含量(%)に及ぼす影響

部 位	幸 水		豊 水			
	オゾン暴露区	浄 化 区	オゾン暴露区	浄 化 区		
当年枝	葉	上部	1.189%	1.219%	1.227%	1.079%
		中部	1.212	1.208	1.252	1.156
		下部	1.182	1.204	1.234	1.193
	枝	上部	1.033	1.123	1.129	1.133
		中部	1.129	1.136	1.101	1.108
		下部	1.130	1.138	1.123	1.102
1年枝	葉	1.173	1.179	1.241	1.100	
	枝	1.132	1.129	1.065	1.108	
果 実		1.131	1.157	1.256	1.085	
細 根		1.142	1.139	1.100	1.093	



第1図 ‘幸水’の器官別同化炭素量(<sup>12</sup>C + <sup>13</sup>C)に及ぼすオゾンの影響

■オゾン暴露区 □浄化区



第2図 ‘豊水’の器官別同化炭素量(<sup>12</sup>C + <sup>13</sup>C)に及ぼすオゾンの影響

■オゾン暴露区 □浄化区

第4表 オゾン暴露が，‘幸水’ ‘豊水’の各部位における単位乾重量当たり同化産物量(mg・g<sup>-1</sup>)に及ぼす影響

部 位	幸 水		豊 水		
	オゾン暴露区	浄 化 区	オゾン暴露区	浄 化 区	
当年枝	上部葉	0.760 (92) <sup>z</sup>	0.822 (100)	0.971 <sup>**y</sup> (211)	0.461 (100)
		0.749 (102)	0.731 (100)	1.128 <sup>**</sup> (210)	0.538 (100)
		0.620 (82)	0.759 (100)	0.932 <sup>*</sup> (169)	0.553 (100)
	葉全体	0.708 (95)	0.746 (100)	1.015 <sup>**</sup> (215)	0.472 (100)
	上部枝	0.215 (97)	0.222 (100)	0.186 (63)	0.294 (100)
	中部枝	0.266 (95)	0.279 (100)	0.219 (80)	0.274 (100)
	下部枝	0.274 (90)	0.306 (100)	0.274 (79)	0.347 (100)
	枝全体	0.265 (95)	0.279 (100)	0.260 (69)	0.378 (100)
1年枝	葉	0.453 (75)	0.601 (100)	1.044 <sup>*</sup> (306)	0.341 (100)
	枝	0.138 (75)	0.185 (100)	0.146 (49)	0.295 (100)
果 実		0.251 (58)	0.434 (100)	1.149 (471)	0.244 (100)
細 根		0.681 (104)	0.654 (100)	0.359 (79)	0.458 (100)

z ( )内は浄化区を100としたときの相対値.

y t検定により, \*;5%水準で有意差あり, \*\*;1%水準で有意差あり.

中部枝, 下部葉, 下部枝, 1年枝着生葉, 1年枝及び果実においては逆に減少した。

一方, '豊水'では, 上部葉, 中部葉, 下部葉, 1年枝着生葉及び果実においてオゾン暴露区の値が, 浄化区に比べて増加した。逆に, 上部枝, 中部枝, 下部枝, 1年枝及び細根においては, オゾン暴露区において浄化区より減少した。

この結果, 両品種とも, 中部枝, 下部枝, 1年枝においてオゾン暴露により同化産物量が減少した。特に, 1年枝への転流が減少し, オゾン暴露区における値を100としたときの相対値は, 1年枝においては'幸水'で54, 豊水で33に減少していた。

オゾンによる転流パターンの変化をさらに解析するため, 各部位における単位乾重量当りの同化産物量を算出し, 第4表に示した。'幸水'ではオゾン暴露区において中部葉を除くすべての枝葉で浄化区より同化産物量が減少していたが有意な差ではなかった。また, 浄化区の各部位における値を100とした場合, 1年枝と1年枝着生葉では, オゾン暴露区で75, 果実においては58であったのに対し, 細根では104と逆に増加していた。一方, '豊水'では, すべての部位の葉において同化産物量が有意に増加していた。

## 考 察

今回の実験では, '豊水'において, オゾン暴露による葉内の同化産物量の有意な増加, 枝内の同化産物量の減少が認められた。一方'幸水'においては転流パターンの変化は認められなかった。

オゾンが果樹に及ぼす影響を考慮する場合, まず物質生産への影響について考慮する必要がある。大嶋ら(1978)は'長十郎'2年生苗木へ1日6時間, 7日間にわたって $160\text{nL}\cdot\text{L}^{-1}$ (ppb)のオゾンを暴露したところ, 暴露日数が増すにつれて光合成阻害率も上昇し, 暴露終了後8日目の光合成阻害率は23.7%であると報告している。また, 神奈川農総研他(1977)によると, '長十郎'1年生苗木に対し $180\text{nL}\cdot\text{L}^{-1}$ のオゾンを7時間接触させたが, 光合成速度はほとんど影響を受けなかったとしている。今回の実験では,  $150\text{nL}\cdot\text{L}^{-1}$ のオゾンを4時間接触させたため, オゾンドースはこれらの文献より少ない。ナシの光合成速度に及ぼす影響は, 本研究では不明であるが, 今後は,  $100\sim 150\text{nL}\cdot\text{L}^{-1}$ のオゾンが数時間暴露された時に生じる光合成への影響について, 詳細に検討する必要がある。

オゾンガスが果樹の転流に与える影響についての報告

は限られている。川俣(1976)は, '二十世紀'7年生樹を, 大気中空气を導入した汚染空気室内に静置し, 清浄空気内に置いたものと比較したところ, 8月下旬に汚染空気室のナシ樹の葉にのみ被害が発生した。比較的軽症の葉において, デンプンを健全葉より多く含有していた。重症の葉については, デンプンが多量に蓄積していた形跡が認められたが, 大部分は崩壊していた。光化学オキシダントにより, 同化デンプンの転流が抑制されたためと結論づけている。

今回の実験では, '豊水'において, オゾン暴露により, 葉内の単位乾重量当りの同化産物量が有意に増加していること, また枝における同化産物量が減少していたことから, オゾン暴露により同化産物の転流が抑制されたことが示唆された。しかし, '幸水'においては, 葉における同化産物の蓄積は認められず, 上部枝を除くすべての枝で同化産物量は低下したが有意な差ではなかったことから, '豊水'でみられたようなオゾンによる転流の抑制は起きていないと考えられた。このように, 品種によってオゾンの影響に違いがみられた。

また, 第4表に示したように, オゾン暴露区の'豊水'における当年のすべての部位の葉, 当年葉全体及び1年枝着生葉は浄化区のそれらに比べて有意な増加を示し, 浄化区に対する相対値が上部葉で211, 中部葉で210であったことから, '豊水'においては比較的上部の葉においてオゾンによる転流阻害が生じている可能性が示唆された。

今回の実験では, 葉ごとの光合成速度について調査を行っていないが, チャンバー内の葉の位置により, 光条件が異なることが考えられる。能代ら(1990b)は, ナシの光合成速度における光飽和点を,  $1200\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ とした。また, 能代ら(1990a)は, 光飽和点を十分超える $1500\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , 気温 $25^{\circ}\text{C}\sim 29^{\circ}\text{C}$ の条件下で光合成速度を測り, 気温, 呼吸速度, 気孔伝導度, 相対湿度との関係を調べたところ, 相対湿度及び気孔伝導度との正の相関が認められた。また, 気温は $25^{\circ}\text{C}\sim 30^{\circ}\text{C}$ が最適範囲であり,  $30^{\circ}\text{C}$ を超えると光合成速度は急激に低下した。光量子密度と気温を好適条件にした場合の光合成速度は, '幸水'が $15.1\pm 0.60\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , '豊水'が $14.8\pm 0.48\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ であった。今回の実験では, 光条件を $472\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ としたため, 光飽和点より低く, 気温( $28^{\circ}\text{C}$ )及び相対湿度(75%)は好適な範囲内であると考えられる。このため, 光合成速度は葉と光源の間の距離によって影響を受け, 光源に近い上部葉は比較的光合成速度が高かったと考えられる。このような光強度とオ

ゾンによる転流阻害の程度との関連性については今後の検討課題である。

また、オゾン影響の品種間差異についての研究は、ハツカダイコンなど作物ではみられるが、ナシについての詳細な研究は今のところない。浅野ら(1984)は、光化学オキシダントが主原因ではないかとする‘幸水’の早期落葉について、他の品種における早期落葉の時期別落葉数を調べ、品種間差異について比較している。それによれば、‘幸水’は、毎年ほぼ7月中下旬に落葉のピークが存在していた。一方、‘二十世紀’は6月下旬に、‘八幸’は6月中旬から7月下旬にかけてピークとなった。‘長十郎’は特に際だったピークは存在せず、6月下旬～8月上旬全般にわたって落葉がみられたが、落葉数は少なかった。このように、品種によって落葉の時期が異なることは、気象的な要因や他の環境要因だけでなく、品種間において光化学オキシダントに対する感受性が異なることが予測される。さらに、‘幸水’の年次別落葉パターンは、年により大きな違いはなく、ほぼ7月中下旬にピークがあったという結果から、‘幸水’の収穫60日前ころになると、樹体内の生理状態が変化し、何らかの条件に対する感受性が高まるためではないだろうかと結論している。今回の実験においても、‘豊水’と‘幸水’とでは、転流への影響が異なったことから、オゾンに対する感受性が異なる可能性がある。また、今

回のオゾン暴露日である8月30日は、‘豊水’の収穫約2週間前、‘幸水’の収穫後期にあたる。今後研究を進めていく上で、このような生育ステージの違いについても考慮する必要がある。

今回、‘豊水’でみられたような転流阻害のメカニズムについては、同化産物が葉内細胞から師管へ移動する過程の阻害によることが、数種の植物に及ぼすSO<sub>2</sub>の影響を調べた研究から推測されている(岡野 1987)。またオゾンに樹木に暴露した実験においても葉からの転流阻害が認められている(河野・松村 1999, 松村ら 1998)。しかし、果実を結実している果樹に対するオゾンの転流阻害についてのメカニズムは解明されていないため、今後検討する必要がある。

一方、根や果実への転流への影響については、‘豊水’のオゾン暴露区において、果実への転流が増加し、根への転流が減少した。‘豊水’は当県では9月上中旬に熟期を迎える。オゾン暴露を行った日は、収穫約2週間前に当たり、果実が多量の糖を蓄積する時期であるが、オゾン暴露区における果実への転流増加の理由は明らかではない。

根への同化産物の減少については、これまでもさまざまな報告があり、オゾンによりT/R比の増加(三輪ら 1993)や、根の乾重量の減少(河野・松村 1999, 松村ら 1998)が引き起こされることが確認されている。果



第3図  $^{14}\text{C}$ 同化チャンパー内でオゾン暴露中のナシ‘幸水’‘豊水’。



第4図 オゾン暴露後48時間経過後のナシ‘豊水’。

樹においては、発芽や開花等の初期生育は、前年の貯蔵養分に大きく依存するため、貯蔵養分への影響についても今後の研究が待たれる。

最後に、果樹へのオゾン影響の研究を今後進めていく上で、台木を含めた材料の均一化、品種、生育ステージ、暴露条件等の要因を考慮していく必要があり、特に生育ステージに着目した、時期別の暴露実験が重要である。年間を通じた試験結果から、オゾンが果樹に及ぼす影響を明らかにし、対策を講じる必要がある。

## 引用文献

- 浅野聖子・向井武勇・山田晴彦. 1984. ナシの早期落葉に関する研究. 埼玉県園試研報, 13 : 1-10
- 一鍛田 済・大野敏朗. 1975. ナシの早期落葉に関する研究 第1報 早期落葉の様相と発生関連要因. 千葉農試研報, 16 : 1-10
- 兵庫農農試. 1977. オゾンの糖質及びクロロフィルにおよぼす影響. 光化学スモッグによる農作物可視被害に関する研究 (埼玉県農業試験場他), 258-260
- かながわ環境白書. 2001. 神奈川県環境農政部
- 神奈川の大气汚染. 1999. 神奈川県環境科学センター
- 神奈川農総研・園試・蚕セ. 1977. 農作物の光合成速度におよぼすオゾンの影響. 光化学スモッグによる農作物可視被害に関する研究 (埼玉県農業試験場他), 255-258
- 片野佳秀・安延義弘. 1977a. ニホンナシの早期落葉に関する研究 (第1報). 神奈川園試研報, 24 : 26-31
- 片野佳秀・安延義弘. 1977b. ニホンナシの早期落葉に関する研究 (第2報). 神奈川園試研報, 24 : 32-37
- 川俣恵利. 1976. 果樹に及ぼす大气汚染の影響. 光化学スモッグによるナシの被害. 園学雑, 45(1) : 15-23
- Kouchi, H. and T. Yoneyama. 1984. Dynamics of carbon photosynthetically assimilated in nodulated soybean plants under steady-state conditions. 1. Development and application of  $^{13}\text{C}$  assimilation system as a constant  $^{13}\text{C}$  abundance. *Ann. Bot.* 53 : 875-882.
- 河野吉久・松村秀幸. 1999. スギ・ヒノキ・サワラの生育に及ぼすオゾンと人工酸性雨の複合影響. 大気環境学会誌, 34(2) : 74-85
- 松村秀幸・小林卓也・河野吉久. 1998. スギ・ウラジロモミ・シラカンバ・ケヤキ苗の乾物成長とガス交換速度に対するオゾンと人工酸性雨の単独及び複合影響. 大気環境学会誌, 33(1) : 16-35
- 松岡義浩・高崎強・森川昌記・松丸恒夫・白鳥孝治・大道真男・依田彦太郎. 1975. サトイモ葉の褐変症状の発生経過とその原因解明—とくに光化学オキシダントとの関係について—. 千葉県農業試験場研究報告, 16 : 93-102
- 松島二郎ら. 1973. 指標植物の検索に関する研究 (昭和47年度) (三重大学農学部園芸学教室).
- 三輪誠・伊豆田猛・戸塚績. 1993. スギ苗の生長に対する人工酸性雨とオゾンの単独及び複合影響. 大気汚染学会誌, 28 : 185-199
- 茂木惣治・坂本秀之・金子友昭・松浦永一郎・中野政行. 1976. ナシ幸水の早期落葉防止に関する研究. 栃木農試研報, 21 : 61-68
- 能代克巳・千葉直史・塚原卓郎. 1990a. リンゴ, ナシ, モモ及びブドウの葉の純光合成速度とその関連要素について. 信大農紀要, 27(1):15-26.
- 能代克巳・塚原卓郎・阪本祐一. 1990b. 携帯型装置による果樹葉の光合成及び蒸散速度の測定. 信大農紀要, 26:63-78.
- 岡野邦夫. 1987. 大気汚染物質に対する植物の適応的生長反応. 植物の大気環境浄化機能に関する研究, 国立公害研究所研究報告, 108 : 225-237
- 大嶋保夫・古藤 実. 1977. ナシの光合成速度及び養分吸収におよぼすオゾンの影響. 神奈川農総研公害調査関係試験成績抄録, 31-32
- 大嶋保夫・和地 清・古藤 実. 1978. ナシ・モモの光合成速度及び養分吸収におよぼすオゾンの影響. 神奈川農総研公害調査関係試験成績抄録, 37-38
- 大嶋保夫・古藤実・相原敬次. 1979. ナシの落葉におよぼすオゾンの影響. 神奈川農総研公害調査関係試験成績抄録, 31-32
- 関 達哉・堀越楨一・内山真由美. 2000.  $^{14}\text{CO}_2$ 同化チャンパー利用による, ニホンナシ苗木における乾物生産特性及び $^{13}\text{C}$ 同化産物の分配特性. 園学雑69(別1) : 219.
- 篠崎光夫. 1974. オキシダントの植物被害症状と植物の指標性. 公害と対策, 10 : 1047-1053.