

## ウメの根系の生長にOHラジカル発生液の 葉面散布処理が与える影響

田上 公一郎\*)・尹 朝熙・Eko Pudjadi・玉井 浩司・中根 周歩

広島大学大学院生物圏科学研究科

花光 重一郎

J A 紀南

**要 旨** : OHラジカルのウメ幼樹の地上部への処理が根系に与える影響を調べるため、和歌山県田辺市のウメ栽培地の実験ハウス内の3処理区に2年生ウメ9本(鉢)/区を2001年12月に設置し、ウメの葉にOHラジカルが発生する溶液を曝露する処理区、蒸留水を曝露する対照区、およびハウス外でOHラジカルを曝露しない屋外区(ハウス外区)を設けた。2002年4月~11月の8カ月の着葉期の間、毎週3回早朝にOHラジカルが発生する溶液を散布し、全根重、太根重、細根重(直径2mm以下)、および細根率(細根重/全根重)を計測して、OHラジカルが根系に与える影響を調べた。分散分析の結果、細根の乾物重と細根率は(それぞれ  $p < 0.05$ ,  $p < 0.01$ )で処理区間に有意な差があり、OHラジカルの地上部処理による根系への影響が認められた。また、曝露量と、細根の乾物重および細根率との回帰分析では、中位の相関が認められた(それぞれ  $y = -0.122x + 95.86$ ,  $r = 0.451^*$ ,  $y = -0.026x + 26.1$ ,  $r = 0.510^{**}$ )。

**キーワード** : OHラジカル, 細根, 根の生育障害, ウメ, 酸性沈着物, 光合成

**Effect of OH-radical generating solution mists on root system growth in the Japanese apricot (*Prunus mume*) :** Koichiro TAGAMI, Johee YOON, Eko PUDJADI, Hiroshi TAMAI, Shigeichiro HANAMITSU and Kaneyuki NAKANE.

**Abstract** In order to investigate the effect of OH-radicals on root system growth in two-year-old Japanese apricot (*Prunus mume*) seedlings, we exposed roots to solutions that produce OH radicals at Tanabe City, Wakayama Prefecture, in western Japan. Solutions containing OH radicals were used to simulate polluted dew water (HOOH with Fe(III) and oxalate ion). The concentrations used were regulated at 30, 90 and 270  $\mu\text{M}$  and the distilled water (0  $\mu\text{M}$ ) was used as a control solution. In addition, no-treatment plants that were not treated with any solution were maintained outside experimental greenhouse house. Test solutions were surfaces of seedlings grown in experimental greenhouses in the early morning, three times a week from April to November 2002.

Upon completion of the exposure experiment in December, dry weights were measured for total root biomass, thick roots (>2 mm in diameter) and fine roots ( $\leq 2$  mm in diameter). Similarly, the fine root: total root ratio was calculated using dry weight for root biomass.

Results revealed a significant difference among all treatments ( $P < 0.05$  and  $P < 0.01$  by ANOVA analysis) suggesting that exposing roots to OH radicals in solution had a negative impact on root growth in Japanese apricot seedlings.

Regression analysis of the concentrations of OH radical solutions against dry weight of fine root and fine root: total root ratio exhibited positive correlation ( $y = -0.122x + 95.86$ ;  $r = 0.451$  and  $y = -0.026x + 26.1$ ;  $r = 0.510$ ).

**Keywords**: hydroxyl radical, fine root, root growth inhibition, Japanese apricot, acid deposition, photosynthesis.

### 結 言

1985年頃から和歌山県田辺市とその近隣の南部川村の山間部でウメの葉が黄色になり、新梢の発生が減少し、次第に衰弱し、ついには枯死するという生育障害が発生した。1994年の秋

津川、上芳養、上秋津の梅栽培農家220を対象とした生育障害発生調査によると1981年~1985年の5年間の生育障害発生件数が7園であるのに対し1986年から1990年の5年間の生育障害発生園数は76園と急増した(梅生育障害

2004年6月2日受付 2004年10月19日受理  
\*連絡先 〒739-8521 東広島市鏡山1-7-1  
E-mail: kotagami@yahoo.co.jp

対策研究会, 2000). しかしその後は1999年をピークとして, 2002年には増加傾向は減少に転じ, 現在は回復傾向にあるといわれている. 生育障害の原因についてさまざまな検討がなされ土壌条件, 栽培管理, 干ばつなどが要因としてあげられているが, いずれも梅生育障害地に共通したものでなく, いまだ決定的なものは見出されていない. 一方, 酸性雨などの環境ストレス下で樹木では地上部よりも地下部根系においてより顕著に現存量が低下することが示唆されてきた (Jones and Mansfield 1982; Cooley and Manning 1987; DeWald et al., 1990; Taylor and Davies 1990; Clemensson - Lindell and Persson 1955). これらの報告から, 環境ストレスによる影響を受けやすい根系を観察することで, より早期に, より高感度にOHラジカルの影響が検出できる可能性があり, 根系に対する影響はOHラジカルの曝露を行う前から存在する太根よりも, 曝露を開始した後で発生し, 生長する細根により端的に影響が現れると考えその検証を試みた.

材料と方法

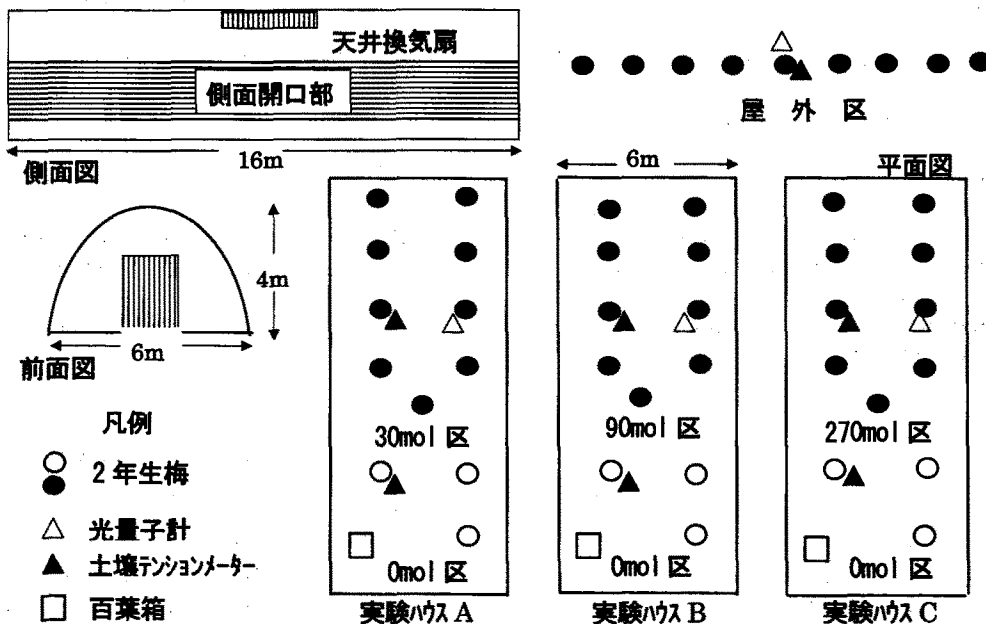
1. 実験実施場所

実験は和歌山県田辺市秋津川字森尾の県営パイロット梅林造成地内に造られた実験用フィルムハウス (以下実験ハウスという) および外構の梅畑で行った (第1図). 実験ハウスは3棟ありA棟は実験処理区としてHOOH 30  $\mu\text{mol l}^{-1}$  区 (以下1倍区という) 用, B棟は同様にHOOH

90  $\mu\text{mol l}^{-1}$  区 (以下3倍区という) 用として, C棟はHOOH 270  $\mu\text{mol l}^{-1}$  区 (以下9倍区という) として用いた. 蒸留水を散布する0  $\mu\text{mol l}^{-1}$  区 (以下対照区という) は処理の誤差を少なくするためA, B, Cの各棟に分散して設けた. 実験ハウスは間口6m×奥行き16m×高さ (最高部) 3.8mのかまぼこ型のフィルムハウスである. ハウス側面下部の地上から0.3m~1.6mの部分はフィルムで覆わず外気に開放されている. フィルムは屋外に近い受光条件を実現するため, 光透過率が可視光線で95%, 紫外線 (近紫外線) 85~90%の性能のもの (テフゼルAS; デュボン社) を使用した. また, ハウスへの強風をさけるために外構に高さ3.5mの防風ネットを設置した. ハウス内は気温を外気温に近づけ, 自然の結露を防ぎ, OHラジカルの曝露の効果を確実にするため, 天井部と側面の一部をフィルムで覆った.

2. 材料と栽培

2001年12月にコンテナに1年生のウメ苗木 (品種, 南高梅) を各コンテナあたり1本を植栽した. 栽培用土は大きさ (縦30×横51×高さ36cm) の栽培コンテナに浸水性の不織布 (JマスタL; グンゼ) の袋を入れその中に森林土壌 (マサ土) を入れた. 実験に供したコンテナ数は対照区, 1倍区, 3倍区, 9倍区, 屋外区のそれぞれに9個ずつであった. 移植前の苗木の根元直径, 樹高および生育状況は (第1表) に示すように処理区間の差異はほとんどないもの



第1図 実験ハウス 概要図

第1表 移植前の苗木の直径、樹高および生育状況

測定2002. 02. 04

No	0 μmol l <sup>-1</sup> 区			30 μmol l <sup>-1</sup> 区			90 μmol l <sup>-1</sup> 区			270 μmol l <sup>-1</sup> 区			ハウス外区		
	直径(cm)	樹高(cm)	生育	直径(cm)	樹高(cm)	生育	直径(cm)	樹高(cm)	生育	直径(cm)	樹高(cm)	生育	直径(cm)	樹高(cm)	生育
	根元	先端	状況	根元	先端	状況	根元	先端	状況	根元	先端	状況	根元	先端	状況
1	18.57	50.5	良	19.5	54.5	良	17.14	48.0	良	18.07	53.0	良	17.37	53.0	良
2	17.68	49.0	良	20.0	54.0	良	19.07	54.5	優	18.46	53.0	良	19.66	51.0	優
3	16.20	54.5	良	17.3	50.5	良	16.87	55.0	良	18.91	53.0	良	19.91	52.0	優
4	18.65	55.0	優	17.5	53.5	良	18.10	52.0	良	17.54	54.0	良	18.50	49.5	良
5	17.88	54.0	良	18.2	51.0	良	17.40	53.0	良	19.43	54.0	良	17.25	50.0	良
6	16.12	48.0	良	17.2	51.0	良	18.56	51.5	良	19.19	50.5	優	18.52	48.0	良
7	18.00	52.5	良	17.0	56.0	良	17.20	52.5	良	19.48	51.0	優	19.02	52.5	良
8	22.54	52.0	秀	17.6	52.0	良	17.78	52.5	良	18.01	50.5	良	18.00	48.0	良
9	17.49	37.0	良	19.2	52.5	良	16.90	52.0	良	19.31	54.0	優	17.49	50.0	良

\*苗木のため活着し易いように先端部および枝は剪定されています。従って樹高は剪定後の長さを示す。また落葉期のため葉は着いていない。  
 ※生育状況の評価は秀、優、良、可の4段階評価で表した。

第2表 O Hラジカル処理開始前の各処理区の地上部ならびに根乾物重(g/個体)<sup>1)</sup>

測定2001. 12. 17

	0 μmol 区	30 μmol 区	90 μmol 区	270 μmol 区	ハウス外区
地上部	59.29 <sup>ns</sup> ±3.39	64.07 <sup>ns</sup> ±2.28	59.51 <sup>ns</sup> ±1.75	66.55 <sup>ns</sup> ±1.50	61.38 <sup>ns</sup> ±1.17
根	95.83 <sup>ns</sup> ±6.00	87.94 <sup>ns</sup> ±3.90	104.19 <sup>ns</sup> ±3.39	99.68 <sup>ns</sup> ±5.30	89.7 <sup>ns</sup> ±4.80

それぞれの値は平均値±標準誤差で示した。(n=9)  
 ns はANOVAの結果、処理区間で有意な差がないことを示す。  
 1) 詳細は本文の材料と方法を参照

と思われた。なお、樹高は苗木として剪定されたあとのものであり生育状況を示すものとしての意味はない。

各処理区のウメ樹の根系の処理前バイオマスは根系と高い相関のある地上系のバイオマスから植栽前の根の乾物重を推定した。植栽前の根の乾物重の推定は幹元直径の二乗と根の乾物重の関係を実験的に求めた式(梅生育傷害に係る大気関係調査報告書, 2000)  $W_r = 1.68 \times 10^{-2} (R^2)^{1.49}$  を使用して行った。この値に分散分析を行い処理区間の根量の差異を求めたが有意なものではなかった(第2表)。施肥として緩効性肥料のロング肥料 424 (N:P:K;14-12-14) を1コンテナあたり 500g を2002年4月7日に根元に散布した。害虫防除は2002年4月7日にアブラムシにモスラビン 4000 倍と黒星病にストロビードライフロアブルを1回施用した。これらの施肥および害虫防除は付近の梅栽培農家でおこなわれているものと同程度である。ウメへの灌水は、J A紀南本所で測定された過去5年間(平均年間降水量は約 1,470mm) のデータを参

考にし、4月～5月は1日3回、6月～9月は1日5回、10月～11月は1日3回、12月～3月は1日1回の灌水をおこなった。ハウス内外の総散水量を等しくするため、ハウス内には月平均の降水量の2倍に相当する灌水を、ハウス外の灌水量はハウス内の半分の量とした。灌水頻度はハウス内外ともに同じである。ハウス外はこのほか実際の降水量が加わるため、総散水量はハウスの内外でほぼ同量となる。また、目視による生育状況は個体差があるものの、期間を通して、生育障害と思われる枯死枝の発生、徒長枝の著しい発生の減少、葉の黄変などはみられなかった。しかし、2002年8月末から9月初旬にかけての数日間、農業水道の水圧の低下から全般的に灌水量が低下し、特に灌水設備の末端に位置する0 μmol l<sup>-1</sup>区(対照区)と30 μmol l<sup>-1</sup>区の2本ウメでは、葉の黄変やしおれなどの可視障害が発生した。

### 3. 栽培環境と環境の計測

(第1図)に計測機器の位置を示す, ハウス外と各ハウス内1ヶ所の百葉箱で温湿度, 土壌湿度計は (Thermo Recorder RTR52; T&D) を用いコンテナの深さ 10 cm の位置で計測した. また, 土壌水分 (pF) を深さ 5~10 cm で (テンションメーター; 竹村電機) で測定した. ハウス内の気温が 25°C を越える場合は, 天井の換気扇 (300m<sup>3</sup> min<sup>-1</sup>) が自動的に動作し, 外気を取入れ温度の上昇を抑えた. OHラジカルの発生および, 光合成に強く影響する着葉期の光量子密度 ( $\mu\text{mol quanta m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) を各ハウスおよびハウス外で計測 (MDS-I; HOGA) し, 各ハウス内およびハウス外の光環境の差異を求めた.

### 4. OHラジカルの葉面処理方法

処理に用いたOHラジカル発生溶液の濃度は現地での測定された値を参考として設定した. 発生量は2001年10月および12月に秋津川の梅栽培地で採取された葉上降下物質から測定した. OHラジカルの測定値は, 10月の測定で平均値  $6.57 \mu\text{mol l}^{-1} \text{h}^{-1}$  (1時間に発生する液体1リットル当りの濃度) であり, 12月の測定では, 平均値が  $2.80 \mu\text{mol l}^{-1} \text{h}^{-1}$  であった. 2回の測定の平均は  $4.68 \mu\text{mol l}^{-1} \text{h}^{-1}$  となる, これと同量のOHラジカルを発生するOHラジカル発生溶液の濃度として,  $30 \mu\text{mol l}^{-1}$  の  $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{FeCl}_3$  が相当する (中根ら, 2001). OHラジカルの生成は, 光-Fenton 反応による (Zepp など, 1992).  $\text{FeCl}_3$  はOHラジカルの発生を促進する目的で添加さ

れている (Kume *et al.* 2001). OHラジカル発生溶液の散布は次のようにして行った, 1倍区, 3倍区, 9倍区にはそれぞれ  $30 \mu\text{mol l}^{-1}$ ,  $90 \mu\text{mol l}^{-1}$  および  $270 \mu\text{mol l}^{-1}$  濃度の (HOOH + Fe (III) + Oxalate 溶液; pH4.4) を期間中の毎週火・木・土曜日の午前中に自動携帯噴霧器を使って葉面に散布した. 散布液の組成は (Arakai *et al.*, 1998), (Kume *et al.*, 2001) を参考とし  $30 \mu\text{mol l}^{-1}$  溶液が (HOOH : 0.05M,  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$  : 0.025M,  $\text{FeCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  : 0.025M),  $90 \mu\text{mol l}^{-1}$  溶液が (HOOH : 0.15M,  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$  : 0.025M,  $\text{FeCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  : 0.025M), および  $270 \mu\text{mol l}^{-1}$  溶液で (HOOH : 0.45M,  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$  : 0.025M,  $\text{FeCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  : 0.025M), となっている. 散布量は, 実際の露や霧を想定し葉面に水滴が付着し, 一部水滴が垂れる程度 葉面当り約  $9 \mu\text{l cm}^{-2}$  であった. 処理期間は2002年4月15日から11月29日であった. 根の掘取り調査は2002年12月に各処理区の合計45本のウメをコンテナから抜取り水圧水洗法で根から土壌を除去した. 根の直径が2mm以下のものを細根として根から分別し切取った. 切取りにあたっては, デジタルノギス (CD-15, Mitutoyo) で直径を計測して区分した. 採取した材料は熱風乾燥器 (Constant Temperature Oven, DN910 Yamato Science) で75°C, 48時間乾燥させ, さらに附着している土は筆で取去り, 乾燥重量を秤量した.

### 5. 計測対象と目的

一般に, 根の太さ別に, 直径1mmまたは2mm

第3表 実験ハウス内外の環境条件 2002年1月~12月

環境条件		実験ハウスA	実験ハウスB	実験ハウスC	ハウス外
気温 (°C)	最高	37.1	37.2	36.7	36.2
	最低	4.4	4.0	4.8	4.5
	平均	15.7	15.6	15.1	15.1
光量子密度 <sup>1)</sup> 平均 ( $\mu\text{mol quanta m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )		515.5	575.5	530.9	601.7
	最高	1.9	1.4	1.5	1.1
土壌水分 (pF)	最高	99.0	99.0	99.0	99.0
	最低	0.5	0.5	0.5	0.5
	平均	1.1	0.8	0.9	1.0
相対湿度 (%)	最高	99.0	99.0	99.0	99.0
	最低	11.0	11.0	11.0	12.0
	平均	78.2	79.1	82.1	81.1
飽差 (hPa)	最高	42.80	42.50	40.10	41.60
	最低	0.05	0.05	0.05	0.05
	平均	5.93	5.77	4.77	5.02

測定値は年最高値および最低値, 平均は月平均を年間で平均した

1) 光量子密度は10分間値の日平均を年間で平均した

以下を細根, それ以上を粗根(太根)などと区別することが多い(Karizumi, 1974; Vogt, G. and Persson, H., 1991). 本研究ではこの区分にならうとともに, 平行して実施しているMinirhizotronによる根系調査とのデータの共通性を考慮して直径2mm以下を細根と規定し, 全根重(乾物重), 太根重, 細根重および細根が全根重に占める割合(細根率)を調べた. これらの結果から地上部の葉へのOHラジカルの曝露が根系の生長に及ぼす影響と, さらに曝露量と根系の生長量との関係を求めた.

**結果と考察**

**1. ハウス間およびハウス内外の環境条件の差異**

各実験ハウス間および各ハウスとハウス外で計測した環境条件の差異について第3表に示す. 計測した環境因子のうち, 光量子密度と土壤水分を除いたものは実験ハウス間および各ハウスとハウス外の差異に有意な差は認められなかった. 光量子密度の実験ハウス間の差異は有意でないが, 各ハウスとハウス外は分散分析の結果(p<0.05)で有意な差が認められた. 以上の結果から実験ハウス間の計測した環境条件はほぼ等しく, 実験ハウスと実験ハウス外の計測した環境条件は光量子密度を除いてはほぼ等しいと思われる. また光量子密度のハウス内外の差異はハウスの屋根および側面に使用したフィルムの光透過率とフィルム面の汚れによるものであり, ハウス間の差異は朝夕の太陽の高度が低い時の日陰の違いが影響していると思われる. よって, ハウス間の環境条件の差異はほとんど無視できるものと思われた.

**2. OHラジカル曝露による根系の乾物重への影響**

OHラジカル曝露液の葉面処理による根系への影響を知るため, 蒸留水を散布する0

$\mu\text{mol l}^{-1}$ 区(対照区),  $30\mu\text{mol l}^{-1}$ 区,  $90\mu\text{mol l}^{-1}$ 区,  $270\mu\text{mol l}^{-1}$ 区の4処理区的全根重, 太根重, 細根重(いずれも乾物重)について分散分析を使って差異をもとめた. その結果(第4表), 全根重ならびに太根重には有意な差が認められなかったが, 細根重ならびに細根率では(それぞれ $p<0.05$ ,  $p<0.01$ )処理区間で有意な差が認められた. さらに, 細根重ならびに細根率について多重比較試験FisherのPLSDによる検定を行ったところ,  $0\mu\text{mol l}^{-1}$ 区(対照区)と $270\mu\text{mol l}^{-1}$ 区の間および $30\mu\text{mol l}^{-1}$ 区と $270\mu\text{mol l}^{-1}$ 区の間には有意な差(それぞれ $p<0.05$ ,  $p<0.05$ )が認められた.

**3. 曝露液の処理濃度と乾物重の関係**

曝露液の濃度と全根重, 太根重, 細根重, および細根率に関係について, 回帰分析の結果, 全根重, 太根重の間には有意な相関関係はないが, おおむね曝露液の濃度にしたがって乾物重は減少する傾向にある. 曝露液の濃度と細根重, および細根率との間には中位の相関関係が認められた(第2図), (第3図). (それぞれ $y=-0.122x+95.86$ ,  $r=0.451^*$ ,  $y=-0.026x+26.1$ ,  $r=0.510^{**}$ ).

**4. 地下部と地上部との関係**

本研究と同一の個体で実施した, 葉の光合成速度, 気孔コンダクタンスおよび地上部の生長量比や相対成長率へのOHラジカルの影響の調査(中根周歩ら2003b)によれば葉の光合成速度は5月, 6月, 7月, 9月, 10月, および11月の6回の測定のうち7月, と9月の2回ハウス内の処理区間で有意な差がある. 気孔コンダクタンスは上記の6回の測定のうち6月, 7月, 9月, および11月の4回ハウス内の処理区間で有意な差がある. このことからOHラジカルが

第4表 OHラジカル処理が根の乾物重(g/個体)ならびに細根率(%)に及ぼす影響

処理区	0 $\mu\text{mol}$ 区	30 $\mu\text{mol}$ 区	90 $\mu\text{mol}$ 区	270 $\mu\text{mol}$ 区	参考:ハウス外区
全 根	375.57 <sup>a</sup> ±16.70	357.80 <sup>a</sup> ±32.37	338.88 <sup>a</sup> ± 8.80	340.02 <sup>a</sup> ±20.88	289.53±15.86
太 根	278.92 <sup>a</sup> ± 9.61	261.27 <sup>a</sup> ±23.04	260.94 <sup>a</sup> ±12.06	275.22 <sup>a</sup> ±17.42	219.41±10.70
細 根	96.65 <sup>a</sup> ± 9.62	87.94 <sup>a</sup> ±11.36	77.94 <sup>b</sup> ± 7.41	64.80 <sup>b</sup> ± 5.19	70.12± 8.38
細根率	25.3 <sup>a</sup> ± 1.70	26.7 <sup>a</sup> ±1.42	23.1 <sup>b</sup> ± 2.09	19.1 <sup>b</sup> ± 0.97	23.8 ± 1.92

注)それぞれの値は平均値±標準誤差で示した.(n=9).

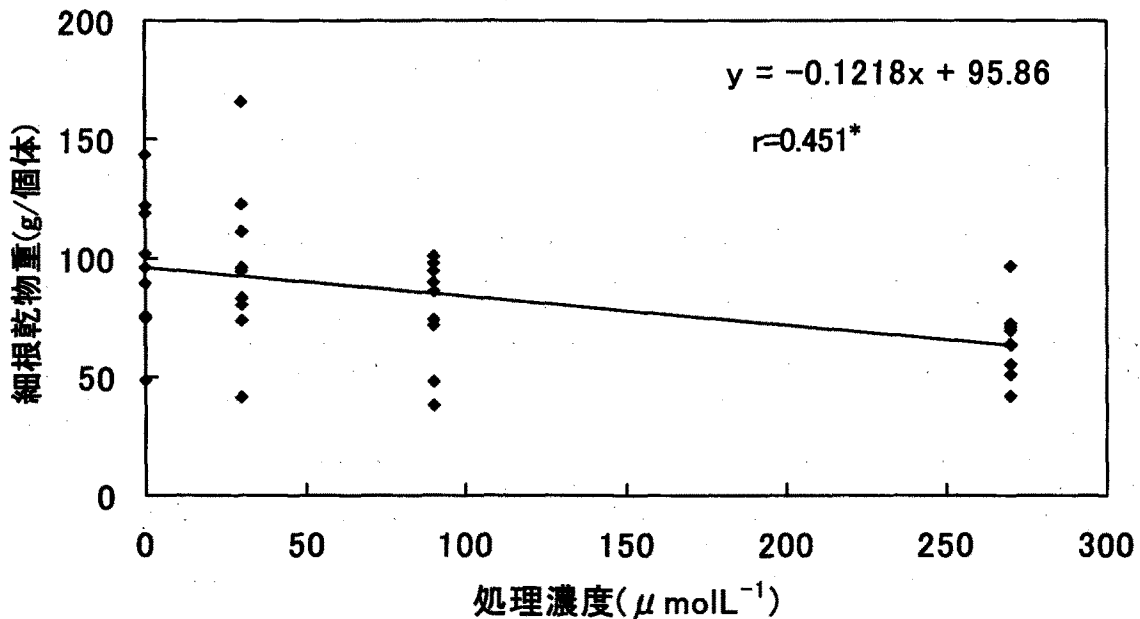
添え字が異なる文字の処理区の間では5%水準で有意な差がある.(Fisher's PLSD-test)

光合成や気孔の開閉に影響しているものと思われるが、地上部の生長量比や相対成長率では処理区間で有意な差となって現れていない。ウメやヤマザクラなどのサクラ属の樹木の衰退について酸性雨や酸性霧、あるいはガス状大気汚染物質の関与が指摘されている(中根周歩ら, 1997)。一方、大気汚染による樹木の生育障害の発生のメカニズムとして以下の指摘がされている。すなわち、大気汚染に由来する硝酸や亜硝酸からOHラジカルが生成され、またOHラジカルが過酸化水素や未同定溶存有機物から生成されている可能性が指摘された(Faust and Allen, 1993)。さらに、瀬戸内海沿岸のアカマツ立枯れ地域内のアカマツの針葉上に形成された露水中に $\mu\text{mol}$ レベルのOHラジカルの生成が観察されている(新垣ら, 1998)。また、OHラジカルの生成物質を含む溶液をアカマツの苗木に曝露する実験において、気孔の開閉不全や光合成速度の低下を引き起こすことが報告されている(Kobayasi et al., 2002)。OHラジカルの生成物質を含む溶液をウメに曝露した結果、ウメの葉の最大光合成速度と気孔コンダクタンスが曝露溶液の濃度に応じて低下し、個体の乾物重、相対成長率にも同様の低下傾向がみられている(中根ら, 2003a)。本実験の地下部では細根重および細根率は処理区間に有意な差となってOHラジカルの影響が発生している。OHラジカルの影響を地上部と地下部で比較すると、地下部では細根に影響が発生しているが、地上部で外観を含め生長量比や相対成長率に影響は見ら

れない。このことは、地下部は地上部よりも光合成生成量の減少の影響が現れやすいことを示唆し、地上部の葉の色や成長量に変化がみられない場合でも地下部の細根量に影響がみられること(Vogt et al., 1993)や、いくつかの植物では、酸性雨や $\text{O}_3$ などの影響で光合成能が低下すると、葉茎は光合成産物の利用に関して根に比べ優先権をもっているため、葉茎への光合成産物の分配量が相対的に多くなる(Irving, P.M., 1985)とした報告を裏付け、地下ではOHラジカルの影響が前駆的に、またはより高感度に現れることが示唆された。

5. 実験に影響したと考えられる要因についての考察

本実験では、影響を与える曝露液としてOHラジカル発生溶液、対照として蒸留水を用いた、しかし正確を期するにはOHラジカル発生溶液による影響か、過酸化水素による影響か、または過酸化水素を抜いた残りの溶液による影響かを見極める必要がある。本実験に先行する研究(Kume et al. 2001)ではアカマツの苗木の葉にOHラジカル発生溶液を散布する実験において、OHラジカルが発生する $\text{HOOH}+\text{Fe(III)}$ のみに影響をみとめ、OHラジカルが発生しない $\text{HOOH}$ のみ、 $\text{Fe(III)}$ のみには影響が認められなかったと報告されている。本実験では先行研究の結果をうけて、影響のなかった、OHラジカルが発生しない $\text{HOOH}$ のみ、 $\text{Fe(III)}$ のみの調査は省いた。また、曝露液から過酸化水素を抜いた溶液についてはOHラジカルが発生し



第2図 曝露液の濃度による細根の乾物重の変化

ないため調査は行っていない、このため曝露液から過酸化水素を抜いた溶液の成分による影響の可能性も完全には否定できない。乾燥による影響については、実験の途中の2002年8月末から9月初旬にかけて発生した農業水道の水圧低下による乾燥害が発生した。0 μmol l<sup>-1</sup>区(対照区)、30 μmol l<sup>-1</sup>区で顕著に見られたことから、乾燥害が処理区間の地上部の生長量比や相対成長率の平準化に何らかの寄与した可能性が指摘されている(中根周歩ら, 2003b)。しかし、可視的に乾燥害が顕著に見られた2本のウメを除いて地上部の生長量比や相対成長率を計算しても処理区間に有意な差がないことは変わりがなかった。また、このような状況下では、当然、地下部でも乾燥害を受けていると思われるが、地上部で乾燥害が顕著に見られた2本のウメを除いても細根および細根率の処理区間で有意な差があることは変わりがなかった。このことからこの乾燥害による処理区間差への影響は重大なものではないと考えた。

**結 論**

以上結果から、実験ハウス間には環境因子、栽培条件、害虫防除には差異がほとんど認められないにもかかわらず、細根ならびに細根率での処理区間の差異が生じたことはOHラジカルの暴露によるものと思われる。これは細根の多くが移植後のOHラジカルの暴露を受ける実験期間中に、発生し、生長したものが多いため、より端的に曝露の影響がみられたものと考えら

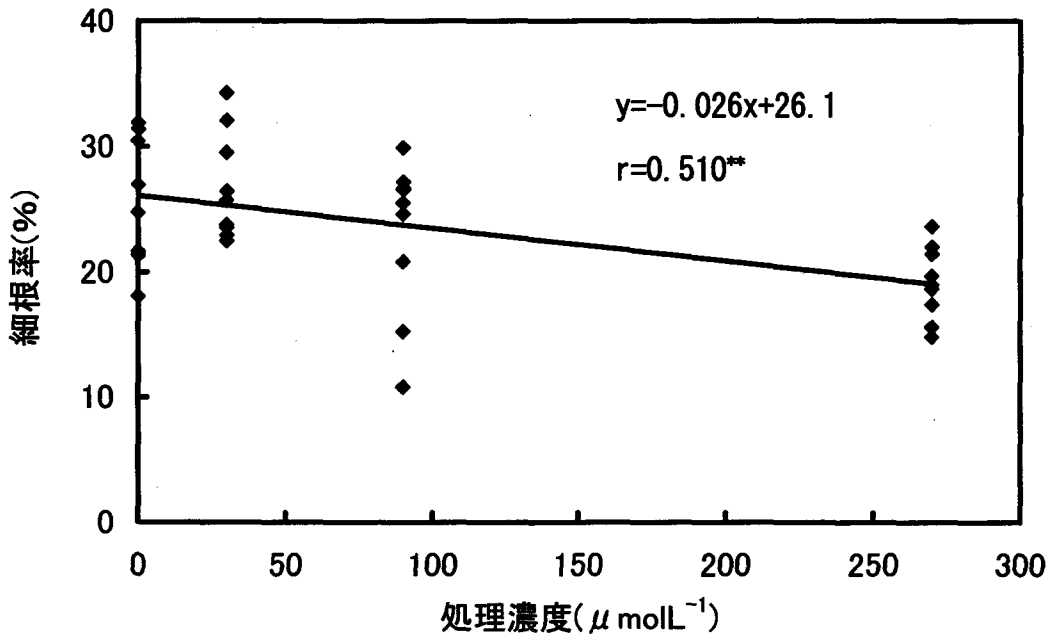
れる。また、地上部の生長量比や相対成長率でOHラジカルの有意な影響が認められなかったのに対して、地下部、とくに細根で有意な影響が認められたことはOHラジカルの影響が地上部に先駆けて地下部に現れることが示唆された。(平野 1998)によると、根系は樹木が最初に干渉(ストレス)を受ける器官として、とくに環境ストレスに対する感受性指標として根系成長が注目されつつあるという。本実験は田辺市とその近郊に見られるウメの生育障害の発生を早期に検出する手がかりとなる可能性をもつものと思われる。また、本実験は1生長期のみを観察であったが、さらに生長期を重ねることにより、より明瞭に処理区間の差が生じるものと思われる。

**謝 辞**

研究を進める上で様々なご助言をいただき広島大学大総合科学部、堀越教授、京都大生態学研究センター里村さんに心から感謝申し上げます。また、実験ハウスの維持管理から根の堀上げまでご協力いただいたJA紀南、田辺市農林課の皆さん、調査に協力いただいた中根研究室の皆さんに厚くお礼申し上げます。

**引用文献**

Arakaki, T., Faust, B.C. 1998. Source, Sinks, and Mechanisms of Hydroxy l Radical (·OH) Phtoproduction and Consumption in Authentic Acidic Continental Cloude Water from Whiteface



第3図 曝露液の濃度による細根率の変化

- Mountain .New York:the role of the Fr(R=II III) photoproduction cycle. Journal of Geophysical Research 103:3487-3504.
- 新垣 雄光, 三宅 孝之, 柴田 美智恵, 佐久川 弘 1998. 雨水・露水中に光化学的に生成するヒドロキシラジカル量の計測. 日本化学会誌 619-625.
- Clemensson-Lindell, A. and Persson, H. 1955. Fine-root vitality in a Norway spruce stand subjected to various nutrient supplies. Plant Soil. 168/169: 167-172.
- Cooley, D.R. and Manning, W.J. 1987. The impact of ozone on assimilate partitioning in plants: A review. Environ.Qual. 24: 209-226.
- De Wald L.E., Sucoff E.I., Ohno T. and Buchena C.A. 1990. Reponse of northern red oak (*Quercus rubra*) seedling to soil solution aluminum. Can.J.For.Res. 20: 331-336.
- Faust, B.C. and Allen ,J.M. 1993. Aqueous-phase photochemical formation of hydroxyl radical in authentic cloud waters and gorwaters. Envirometal Science and Technology 27: 1221-1224.
- 平野恭弘 1998. モデル実験系における酸性物質のスギ苗系に与える影響. 名大森研 17: 25-74
- Irving, P.M. 1985. Modeling the response of greenhouse-grown radish plants to acid rain, Environ. Exp. Bot. 25: 327-338.
- Jones, T., and Mansfield, T.A. 1982. The effect of SO<sub>2</sub> on the growth and development of seedling of *Phleum pratense* under different light and temperature environments. Environ Pollut. A27: 57-71.
- Karizumi, N. 1974. The mechanism and function of the root biomass. Bulletin of the Government Forestry Experiment Station 259:1-99
- Kobayasi, T., Nakatani, N., Hirakawa, T., Suzuki, M., Miyake, T., Chiwa, M., Yuhara, T., Hashimoto, N., Inoue, K., Yamamura, K., Sinogaya J.R., Nakane, K., Kume, A., Arakaki, T., and Sakugawa, H. 2002. Variation in CO<sub>2</sub> assimilation rate induced by simulated dew waters with different source of hydroxyl radical( $\cdot$ OH) on the needles surface of Japanese red pine (*pinus densflora Sieb.et Zucc.*). Environmental Pollution. 118: 383-391.
- Kume, A., Arakaki, T., Tsuboi, N., Suzuki, M., Kuramoto, D., Nakane, K., and Sakugawa, H. 2001. Harmful effects of radicals generated in polluted dew on the needles of Japanese red pine (*pinus densflora*). New Phytologist 152: 53-58.
- 中根周歩 1997. わが国の森林衰退と大気汚染. 科学技術振興事業団戦略的基礎 研究プロジェクト「森林衰退に係わる大気汚染物質の計測, 動態, 制御に関する」平成8年度研究成果報告書 pp106-107.
- 中根周歩, 内田雅巳, 玉井浩司, 鈴木雅代, Eko Pudjadi 2001. 田辺市における梅生育障害の原因解明と対策 研究報告書(平成12年度). 紀南農業共同組合, 田辺市, pp98
- 中根周歩, 尹 朝熙, 田上公一郎, 玉井浩司, Eko Pudjadi, 鈴木雅代, 内田雅巳 2003. 田辺市における梅生育障害の原因解明と対策 研究報告書. 紀南農業共同組合, 田辺市, pp177-201.
- 中根周歩, 尹 朝熙, 田上公一郎, 玉井浩司, Eko Pudjadi, 鈴木雅代, 内田雅巳 2003b. 田辺市における梅生育障害の原因解明と対策 研究報告書. 紀南農業共同組合, 田辺市, pp150-157.
- Taylor, G. and Davies, W.J. 1990. Root growth of *Fogus sylvatica*: impact of air quality and drought at a site in southern Britain. New Phytol. 116: 457-464.
- 梅生育障害対策研究会 2000. 梅生育傷害に係る大気関係調査報告書. 梅生育障害対策研究会, 田辺市, pp178-179.
- Vogt, K.A. and Persson, H. 1991. Measuring growth and development of roots. In Techniques and approaches in forest tree ecophysiology (Lassoie, K.P. and Hinckley, T.M. eds), pp477-501. CRC Press, Boca Raton.
- Vogt, K.A. and Publicver, D.A., Bloomfield, J., Perez, J. M., Vogt, D. J. and Silver, W.L. 1993. Blowground response in forest as indicators of environment change. Environmental and Experimental Botany 33: 189-205
- Zepp, R.G., Faust, B.C., Hoigne, J. 1992. Hydroxyl radical formation in aqueous reaction (pH3-8) of iron(II) with hydrogen peroxide:the photo-Feton reaction. Environmental Science and Technology 26: 313-319.