

ウメの根系にヒドロキシルラジカルが及ぼす影響の生態学的研究

田上公一郎

広島大学大学院生物圏科学研究科

Ecological study of the effect of Hydroxyl-radical on root system in the Japanese apricot (*Prunus mume*)

Koichiro TAGAMI

*Graduate School of Biophere Science, Hiroshima University
Higashi Hiroshima 739-8521 Japan*

要 旨

和歌山県田辺市とその近傍で発生したウメの生育障害を畑作障害でなく森林衰退とみなした。ウメは畑地で栽培される果樹ではあるが、衰弱の症状が衰退木の症状と似ていること、ウメの生育障害の発生に先立ち近くの山地に自生するヤマザクラや、植栽されているサクラの衰退が目立つようになったことから栽培果樹の病害とみるよりは森林衰退と見た方が自然である。森林衰退についてはこれまで地球規模で世界中で観察され、多くの報告がなされてきた。わが国では1960年代末に制定された公害対策基本法や大気汚染防止法によって、二酸化硫黄の濃度は劇的に低下し、今日では1970年代からおおよそ1桁減少している。二酸化硫黄の濃度の減少によって、植物の可視障害は減少したが、もう一つの公害物質、二酸化窒素の濃度は減少せず、地域によってはむしろ増加傾向にある。同様に増加傾向にあるオキシダントは工場などから排出される1次汚染物質の窒素酸化物と炭化水素などが大気中で光を受けて光化学反応を起こし、2次的に発生する酸化性の物質で、主成分はオゾンである。梅生育障害対策研究会の調査(梅生育障害対策研究会, 2000.)でも田辺市のオキシダント濃度の年平均値は0.036~0.046ppmと和歌山県内の監視局の年平均値(0.021~0.039ppm)に比べ比較的高濃度であったという。オゾンの曝露実験で葉面に可視障害の見られない状態で、個体当りの乾重特に根の乾重が著しく低下した(Izuta et. al., 1996)。さらに、オキシダントと同様に窒素酸化物を起源とする硝酸や亜硝酸、過酸化水素などの2次物質が朝露や霧などの水滴中で凝縮され光を受け、ヒドロキシルラジカルが発生することが明らかになった(新垣ほか, 1998, 1999)。ヒドロキシルラジカルは活性酸素種の中でも極めて反応性が高く強力な酸化作用をもつラジカルであるため、オゾンと同様に樹木に対する影響が考えられる。ヒドロキシルラジカル生成物質を含む溶液をアカマツに曝露する実験から、ヒドロキシルラジカルの生成が植物の光合成や気孔コンダクタンスに大きな影響を与えることが明らかになった(Arakaki et. al., 2000; Kobayashi et. al., 2000)。一方、中根ら(2003a)は2000年と2001年、田辺市のウメの生育障害が多発している地域において採取された、大気由来する葉上沈着物から平均でそれぞれ $4.68\mu\text{mol}\cdot\text{h}^{-1}$ と $4.00\mu\text{mol}\cdot\text{h}^{-1}$ のヒドロキシルラジカルの生成を検出してい

る。さらに、ウメの葉面へヒドロキシルラジカルの生成物質を含む溶液を散布する実験において、最大光合成速度と気孔コンダクタンスが処理区間で、曝露溶液の濃度に応じた有意な低下傾向を認めている。しかし、地上部では可視障害ならびに処理区間の生長の差異は認められていない。いくつかの植物では、酸性雨やオゾン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（根系への光合成産物の分配量が少なくなる）(Irving, 1985)。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 (Vogt et al., 1993) と云われているように地上部に可視障害が認められる以前に地下部では根系の生長に影響が出始めているものと思われる。この現象について平野 (1998) は根系は樹木が最初に干渉 (ストレス) を受ける器官であり、とくに根系の成長は環境ストレスに対する感受性指標として注目されつつあるという。

これらの知見から、梅の生育障害においても、ヒドロキシルラジカルが関与する可能性があること。根系の観察によって地上部の観察より早く、高感度にヒドロキシルラジカルの影響が検出できるのではないかと考え、ヒドロキシルラジカル生成溶液をウメの葉に散布し、実証を試みた。実証に当たって、2つの仮説を設けた。

仮説1：ヒドロキシルラジカルの曝露によって根系の生長が阻害される。

仮説2：根系の生長阻害は地上部に可視障害が認められるより以前に発生する。

この2つの仮説を実証するために、ウメの木に現地測定されたヒドロキシルラジカル発生量の1/3倍、1倍、3倍の量を発生するヒドロキシルラジカル発生溶液を散布する処理区と対照区を設け、着葉期の間2シーズンに亘り散布した。地下部の観察の方法は生育の結果を示す現存量を測定する静的な方法「掘上げ法」と生育中の総生産を測定するための動的な方法「Minirhizotron法」によって行った。その結果、最初の現存量の測定では細根と細根率に対照区と3倍区間に有意な差が生じた。しかし、2度目の測定では細根については対照区と処理区間に有意な差は認められなかったが、細根率に対照区と3倍区間に有意な差が生じた。また、「Minirhizotron法」による細根の発生量は、対照区と3倍区間に有意な差が生じた。以上の事実から、ヒドロキシルラジカルの発生がウメの根系に影響を与え、仮説1の「ヒドロキシルラジカルの曝露によって根系の生長が阻害される」は実証されたものと考えられた。また、状況証拠として細根の発生のピーク時期が処理区、特に1倍区 (18 $\mu\text{mol l}^{-1}$ 区)、3倍区 (54 $\mu\text{mol l}^{-1}$ 区) は対照区やハウス外区に比べ約2ヶ月遅くなっていること、細根発生の深度が深いほうに偏るなどの根の動態の違いが見られた。第3章において、地上部での生長量や相対成長率に対照区と処理区間に有意差が発生しなかったこと、第4章においても同様に地上部での生長量や相対成長率に対照区と処理区間に有意差が発生しなかったこと、さらに可視障害が見られなかったにもかかわらず、細根、根系細根率、個体細根率に対照区と3倍区で有意な差が生じたことから、仮説2の「根系の生長阻害は地上部に可視障害が認められるより以前に発生する。」は実証されたと考えられた。このような地上部では短期間 (1年~2年) の曝露では可視障害がみられず、微弱な生育障害因子が複合し、長年曝露が継続することで生育障害の発症に至ると考えている。年輪成長を解析した結果で大気汚染の影響が年輪に発現するまで数年を必要とするとの報告もある (太田, 1978, Bauchet et al., 1987, Eco, 2004)。また、中根らの研究でも葉上降下物と1/3倍区のヒドロキシルラジカル発生液を3年間曝露した実験で、この曝露環境が5~6年継続されたら地上部現存量は対照区の半分になると推定している (中根ら, 2003)。

おわりにウメの生育障害は森林衰退が自然環境からのストレス (干渉) が問題であるのに比べ、ウメでは自然環境からのストレス (干渉) に加え、栽培という人工のストレスが加わる点で問題を更に複雑化している。そこで問題、原因の構造について、素因、誘因、寄与因 (McLaughlin 1985,)

Chappelka et al., 1995) に分類し時系列的に、あるいは地域的にそれらの因子がどのように挙動したか、分析し、特定し、具体的に発生例にあてはめ、対応することが必要と考える。

大気環境の二酸化硫黄は低下しつづけている。しかし、二酸化窒素は横ばいかところによってはやや上昇気味である。オゾンやヒドロキシルラジカルなどのオキシダントは低下していない。これまで地下に隠されてきた根系の動態をより詳細に知ることが、大気汚染がもたらす微弱な植物の衰弱の兆候を捉え得る新たな手法になるものと考えている。

引用文献

- Arakaki T., Miyake T., Chiwa M., Hirakawa T., Shibata M. & Sakugawa H. (2000) Aqueous-phase photochemical formation of OH radical and nitrogen oxides. Proceedings of the international Symposium on Oxidants/ Acidic Species and Forest Decline in East Asia,
- Bauch J., Gottsche-Kuhm H. & Schroder W. (1987) Wood formation in spruce affected by pollution. IAWA Bulletin 8(4): 307-335
- Chappelka A. H. & Freer-Smith P. H. (1995) Predisposition of trees by air pollutions to low temperatures and moisture stress. *Environ pollutant* 87: 105-117
- エコ. プジャディ・婁崇美・中根周歩 (2004) ウメの生育障害と年輪幅及びその重金属濃度の推移. 保全生態学研究2004, 9 : 13-23
- 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.
- Izuta T., Yamada A., Miwa M., Aoki M. & Totsuka T. (1996) Effect of low pH and excess aion growth, water content and nutrient status of Jpanese cedar seedlings. *Environmental Sciences* 4: 113-125.
- 環境庁 (2000) 平成14年版 環境白書. 大蔵省, 東京都.
- Kobayasi T., Hirakawa T., Nakatani N., Miyake T., Suzuki M., Chiwa M., Yuhara T., Arakaki T., Tsuboi N., Kume A., Nakane K., & Sakugawa H. (2000) Gas exchange and chloropfylyl fluorscence of Japanese red pine (*Pinus densflora Sieb.et Zucc.*). needle exposed to OH⁻generating solution s in open top chamber s: the simulation of dew at Mt. Gokurakuji. western Japane. In: Proceeding of the International Symposium on Oxidants/Acidic species and Forest decline in East Asia. pp.255-258. Japan Science and Technology Corporation. Higashi-Hiroshima
- Environmental Pollution.*
- McLaughlin S. B. (1985) Effect of air pollution on forest. A critical review. *J. Air Pollut. Contr. Assoc.* 35: 512-534
- 中根周歩・尹朝熙・田上公一郎・玉井浩司・Eko Pujadi, 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, 224pp. 紀南農業共同組合, 田辺市
- 太田貞明 (1978) ソフトX線解析による樹木年輪構造解析 (第1報) 大気汚染下で生育した樹木の年輪構造. 木材学会24(7) : 429-434
- 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.
- Vogt K. A., Publicver D. A., Bloomfield J., Perez J. M., Vogt D. J & Silver W. L. (1993) Blowground

response in forest as indicators of environment change. *Environmental and Experimental Botany*
33: 189-205