

トマト根系へのウルトラファインバブル施与が引き起こす現象とそれらの相関

Sequential events caused by ultrafine bubbles on *Solanum lycopersicum* roots

山本 純之 (近畿大)・西川 仁 (JNC (株))・櫻井 伸樹 (JNC (株))・前田 重雄 (IDEC (株))・

西原 一寛 (IDEC (株))・林 孝洋 (近畿大)

YAMAMOTO Atsushi, NISHIKAWA Hitoshi, SAKURAI Nobuki, MAEDA Shigeo, NISHIHARA Ikkan and HAYASHI Takahiro

Abstract This study revealed UFB-triggered phenomena in tomato young plants. First, UFB activated cell respiration in the root tip. This was thought to be enhanced the root elongation and also increase cytokinin synthesis, secondly. Cytokinin concentration in the whole root indeed increased only in the UFB section. Cytokinin was a typical plant hormone which enhanced the shoot growth. Finally, increased cytokinin could enhance shoot growth and the phenomenon was observed among the investigated young plants. Improved ion uptake in the harvest stage of tomatoes might suggest that activated cell respiration continue to improved ion uptake in the harvest stage.

Keywords: Ultrafine bubble, ultrafineGaLF, Tomato, Growth promotion, Root

1. 緒言

ウルトラファインバブル (UFB) は近年様々な分野への応用が試みられているが、農業分野への応用もその1つである[1~3]。これまでの研究ではレタスについて生長促進効果が報告されており[4]、植物工場においては農産物の栽培期間短縮およびそれによる収益率の向上が期待される。本研究では太陽光利用型植物工場の主力生産物であるトマト(*Solanum lycopersicum*)に着目し、UFBをトマトに施与した場合の影響について検討した。また、観察された結果に基づき、UFB施与が植物の生長を促進するしくみについて考察した。

UFB施与が植物に作用する直接的な影響については現状では十分に解明されていない。植物にUFBを施与する場合には、一般に肥料とともに根部へと施与する。したがって、施与されたUFBはまず根に直接的な影響を与え、その影響が地上の植物体の生長促進へと繋がると思われる。UFBは圧壊時に活性酸素を生成することが知られている[5]。活性酸素が種子の発芽を促進するという報告[6]は活性酸素が植物の生理活性を高めている実例であり、活性酸素が植物体の生長を促進する起因となっている可能性は高い。一方、地上部の生長が促進されるためには、地上部の生長促進を引き起こす植物ホルモンの合成量が増加されることや、植物体を形成するための物質が根から地上に活発に輸送されることなどが必要と予想される。本研究では、UFB施与が植物体に与える影響を上述のように予想し、生理活性として根端の呼吸活性、根で形成される生長促進作用を持つ植物ホルモンであるサイトカイニンの合成量、根から地上部へのイオン輸送量の3点について特に注目した。

2. 材料および方法

2.1 トマトにおける生長促進作用

トマト‘ホーム桃太郎 EX’ (タキイ種苗 (株)) を用い、トマトの幼苗における生長促進作用の検討をおこなった。トマトはパーミキュライトに播種し、播種後 28 日間栽培した。播種後 14 日目に空気中を生成した脱塩水を用いて液肥を作成した UFB 区と未処理の脱塩水を用いた対照区を設定し、それぞれ液肥 (JNC トマト栽培用液肥, EC =

1.5 mS/cm) を施与した。UFB は ultrafineGaLF FZIN-02 で飽和濃度まで発生させたものを 1 日間静置した後で使用した。栽培は近畿大学農学部の人工光型植物工場 (明期: 18 h / 23°C, 暗期 6 h / 18°C, 光源: 植物育成用蛍光灯 NEC ビオルックス A / 162 $\mu\text{mol}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$, CO₂: 700 ppm) で実施した。栽培終了後、本葉の展開数 (プラスチッククロンインデックス)、地上部と根部の新鮮重、草丈、根長、主茎最下部の茎径を測定した。栽培は 2 回行い評価した。

2.2 UFB 施与の影響

トマト‘フルティカ’ (タキイ種苗 (株)) を用い、生長促進作用の評価と同条件で栽培をおこなった。播種後 28 日において TTC 染色法[7]により根端の呼吸活性の評価をおこなった。

サイトカイニンの合成量の評価には‘フルティカ’を用いた。試料は播種から 28 日間上述の実験と同様に栽培した後、根を洗浄して水耕栽培システムに定植し、更に 7 日間栽培した。栽培終了後、乳鉢で粉碎した根から 80 %エタノールを用いて抽出液を得、ダイズカルステスト[7, 8]を行い、サイトカイニンの合成量を比較した。

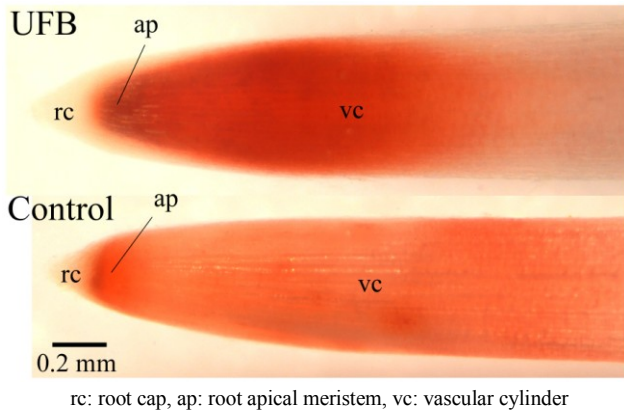
イオン輸送量についての検討は‘フルティカ’の栽培および測定を JNC (株) 水保研究所で実施した。栽培は UFB 施与区と対照区を設定し、JNC のトマト栽培マニュアルに従って JNC 水保研究所の太陽光利用型植物工場にて定植後 134 日おこなった。栽培終了後地上部を切除し、主茎からの道管漏出液を採取して各イオン濃度の測定をおこなった。NO₃⁻, NH₄⁺, PO₄³⁻, K⁺はイオンクロマトグラフ ICS-1600(ダイオネクス製)、Ca²⁺, Mg⁺は ICP 発光分析装置 iCAP600 (サーモフィッシャー製)を用いて測定した。

3. 結果および考察

Table 1 に 2 回実施した栽培での UFB 区と対照区における播種後 28 日の幼苗の計測結果を示す。トマトにおいてもこれまで報告のあったレタスと同様、生長促進作用が確認できた。UFB 区は対照区と比較し、有意に根長が長く、地上部が重くなるという特徴があった。一方、本葉数や草丈、茎径、根重は UFB 区で大きくなる傾向が見られるに留まった。したがって、トマトに UFB を施与した場合には、

Table 1 Effects of the UFB application on young tomato plants

		Leaf number	Length (cm)		Diameter of the lowest stem (mm)	Weight (g)			Shoot / root ratio of length	Sample number
			Shoot	Root		Whole	Shoot	Root		
1st culture	UFB	6.3	11.1	25.1	3.5	4.86	3.70	1.16	2.28	5
	Control	5.9	11.1	14.5	3.2	3.66	2.76	0.90	1.29	9
	p-value of t-test	0.092	0.933	0.0003	0.067	0.008	0.011	0.006	0.002	
2nd culture	UFB	6.5	11.6	20.2	3.4	4.70	3.48	1.22	1.75	8
	Control	6.0	10.7	12.4	3.1	3.82	2.67	1.15	1.17	8
	p-value of t-test	0.041	0.008	0.0003	0.015	0.005	0.004	0.288	0.005	

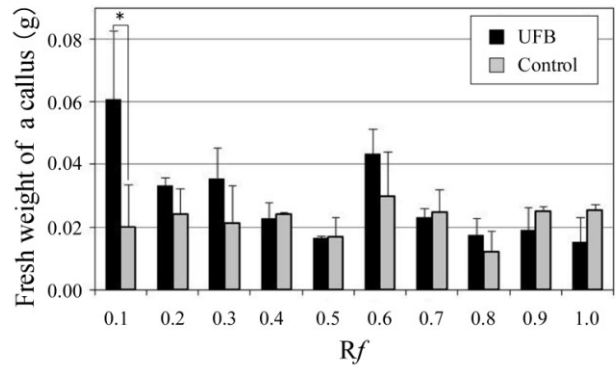
**Fig. 1** Roots dyed by TTC

根の伸長が促進され、茎が太くしっかりした植物体が形成されると考えられる。

次に、根端の TTC 染色の結果を **Fig. 1** に示す。TTC は呼吸活性が高い場合に細胞を濃く染色する。UFB 区は対照区と比較して根端分裂組織（図中の ap）が濃く染色されるとともにその後方も強く染色され、呼吸活性が高かった。根端分裂組織は細胞分裂して根を伸長させる組織であるため、この活性の上昇が根の伸長促進に繋がったと考えられる。

Fig. 2 にサイトカイニンの合成量に関するダイズカルステスの結果を示す。第 1 画分において UFB 区のだいずカルス増殖量が対照区より有意に多かった。これは UFB 区では対照区より根におけるサイトカイニン合成量が多かったことを示している。根でのサイトカイニン合成は根端でエネルギーを使用して行われるため、サイトカイニン合成量の増加は呼吸活性上昇の結果である可能性が高い。また、根で合成されたサイトカイニンは地上部に輸送され、地上部の生長を促進する。したがって、地上部の生長促進は根でのサイトカイニン合成量の増加に基因すると考えられる。

最後に漏出液のイオン濃度測定では、UFB 区で NO_3^- 、 PO_4^{3-} および Ca^{2+} 濃度が高くなった。これらのイオンはトマトの果実肥大期に必要とされる元素であり、地上部の要求に応じて根で効率よくイオンを吸収し、運搬されていることを示唆している。イオン吸収も根の先端部にある吸収帯の活性が高い場合に効率よくなされると予想されるため、UFB 施与による根端の活性上昇は幼苗期から果実の収穫期まで長期間に渡って効果を発揮すると考えられる。

**Fig. 2** Difference of cytokinin content between UFB and control sections in each fraction

* indicates $p \leq 0.05$ difference by t-test. Each error bar shows S.D.

4. 結言

UFB 施与はトマトにおいて主に根の伸長と地上部の生長を促進することが明らかになった。UFB は根端の呼吸活性を高めて根の伸長を促すと同時に、根端でのサイトカイニン合成量を増加させて植物体の地上部の生長を促進すると考えられる。また、根端の活性上昇は地上部の要求に応じた効率的なイオン吸収を実現していると考えられ、この効果は収穫期においても有効であった。

謝辞

本研究は「戦略的イノベーション創造プログラム（次世代農林水産業創造技術）」の一環として実施した。

参考文献

- [1] 柏雅一ほか, 日本混相流学会年会講演会 2012 講演論文集, pp. 180–181 (2012).
- [2] 阿波加和孝ほか, 日本混相流学会年会講演会 2012 講演論文集, pp. 182–183 (2012).
- [3] 小林秀彰ほか, 日本混相流学会年会講演会 2014 講演論文集, D132 (2014).
- [4] Ebina, K. et al., Plos One, Vol. 8, e65339 (2013).
- [5] Takahashi, M. et al., J. of Physical Chemistry B, Vol. 111, 1343–1347 (2007).
- [6] Liu, S. et al., ACS Sustainable Chemistry and Engineering, Vol. 4, 1347–1353 (2015).
- [7] 北條良夫, 石塚潤爾編, 最新作物生理実験法, 農業技術協会 (1985).
- [8] Miller, C. O., In: Modern Methods of Plant Analysis, Vol. 6, Springer Verlag, Berlin, 194–202 (1963).