

[学部間共同研究報告]

# ファインバブル施与時における培地有無の違いが イチゴの果実収量と果実品質に及ぼす影響

森 直哉<sup>1)</sup> 浅田真一<sup>2)</sup> 関 洋子<sup>3)</sup> 関川清広<sup>4)</sup> 渡邊博之<sup>5)</sup>

## Effects of Fine Bubble Application with or without Culture Media on Strawberry Fruit Yield and Quality

Naoya Mori, Shinichi Asada, Hiroko Seki, Seikoh Sekikawa, Hiroyuki Watanabe

Tamagawa University Research Institute, Machida-shi, Tokyo, 194-8610 Japan.  
*Tamagawa University Research Review*, 28, 71-78 (2022)

### Abstract

There are still few reports on the effects of ultrafine bubbles (UFB) on crops, and the reactions vary depending on the plant species, so much knowledge is needed. In this study, we compared the effects of UFB on crop cultivation with and without culture media, and evaluated their effects on strawberry fruit berry formation and fruit quality.

In addition to rockwool medium, a reusable plastic medium (hydrophilic resin medium) was used as the culture medium. Strawberry seedlings were transplanted into a deep flow hydroponic apparatus containing a hydroponic solution and infused with three types of gas bubbles: 1) control, normal aeration with air (Air), 2) UFB generated with compressed air (Air-UFB), and 3) UFB generated with pure compressed oxygen (O<sub>2</sub>-UFB). In the no-culture test, the fruit yield after 180 day of treatment was approximately 480 g/plant in the Air group, 460 g/plant in the Air-UFB group, and 370 g/plant in the O<sub>2</sub>-UFB group, which was significantly lower than that in the other treatment groups. In contrast, in the rockwool and hydrophilic resin medium tests, the yields were 470 and 500 g/plant, respectively, and no reduction in yield due to fine bubble application, unlike in the no-medium tests.

These results indicate that the application of UFB in strawberry cultivation under no-culture conditions may reduce fruit yield. Furthermore, the results showed that the application of UFB in the presence of culture medium is not particularly useful in increasing fruit yield, although it can prevent the loss-of-yield associated with UFB application.

**Keywords** : fruit yield and quality, strawberry, ultrafine bubble

## 1. はじめに

ファインバブルと言われる微細気泡を液中に発生させ

て利用する技術は、日本発の革新的技術である。ファインバブルの厳密な定義はないが、気泡の直径が数 $\mu\text{m}$ ～100 $\mu\text{m}$ 程度のものをマイクロバブル、1 $\mu\text{m}$ 以下をウル

- 
- 1) 玉川大学学術研究所
  - 2) 玉川大学農学部生産農学科
  - 3) 東京工科大学応用生物学部
  - 4) 玉川大学農学部環境農学科
  - 5) 玉川大学農学部先端食農学科

トラファインバブル (UFB) と分けられている。ファインバブルは、水中での気泡保持、自己加圧、帯電性、圧壊という4つの特徴を有しているが、マイクロバブルは発生後から気泡収縮が生じ、気泡が緩やかに上昇しながら消滅していくのに対し、UFBは、ブラウン運動しながら長時間水中に保持されるという特徴を有している (Ohnari, 2007)。

UFBは、その特徴や効果から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つとして注目されている。サンチュの水耕栽培にファインバブルを利用することで、発芽3日後の根長が対照に比べ約3倍になったとの報告がある (Mori et al., 2013)。また、ホウレンソウを用いた実験ではファインバブルを施与することで発芽促進や貧栄養条件下における生育が促進したとの報告もある (Minagawa et al., 2016)。これらの研究結果は、ファインバブルが植物の成長促進に寄与することを示し、栽培期間の短縮や収益性向上が課題として掲げられる植物工場などにおいても有用な技術となる可能性を示唆している。

一方で、これまでに水耕栽培におけるファインバブル施与での影響を評価した研究の多くは葉菜類で行われてきており、果菜類に与える影響について調査した研究報告は限られている (Ahmed et al., 2018)。本研究では、今後植物工場での栽培が期待されている種子繁殖性四季成りイチゴを用いて、UFBをイチゴに施与した場合の影響について基礎的な栽培検討を行った。主に開花後から果実収穫期までの栽培期間において、UFB施与がイチゴの果実収量と果実品質に与える影響を明らかにすることを目的とし、研究を行った。また、イチゴは根の酸素要求性が高い作物であり、培地構成要素の粒子サイズが小さいと培地内が過湿状態となり、酸素不足となる危険性があることが知られている (Heiskannen, 1995)。そこで本研究では、広く活用されているロックウール培地に加え、近年注目されている再利用可能なプラスチック培地 (親水性樹脂培地) を用い、イチゴのUFB施与栽培における、親水性樹脂培地の利用可能性について、合わせて考察した。

## 2. 材料および方法

### 2.1. 植物材料および1次育苗, 2次育苗, 開花誘導処理

植物材料には種子繁殖性四季成りイチゴ (*Fragaria* ×

*ananassa* Duch. 'Yotsuboshi' (三好アグリテック (株)) を使用した。水道水を十分に吸水させたウレタンキューブ (長さ23mm × 幅23mm × 厚さ27mm) に1粒ずつ播種し保水用ペーパーで被覆後、白色蛍光灯下 (FHF32EX-N-H. 岩崎電気 (株)) で21日間静置し発芽処理を行った。この時、光強度を光合成有効光量子束密度 (PPFD) で  $150\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  の恒明条件に、室温を  $24^\circ\text{C}$  に設定した。PPFDの測定は光量子メーター (LI-190SA, LI-COR社) を用いて測定した。

子葉が展開した植物体をウレタンキューブごと、白色蛍光灯を光源とした、循環式の湛液水耕装置 (育苗装置) に移植し、一次育苗を28日間行った。育苗装置は  $640\text{mm} \times 414\text{mm} \times 92\text{mm}$  のプラスチックコンテナ (PM-76. 積水化学工業 (株)) に給水口と排水口が備えられており、200個の穴 (縦10穴 × 横20穴) が空いた発泡スチロール板を設置したものである。株が並び合わないように一列あたり5株の苗を植え付け、合計100株の苗を植えた。白色蛍光灯を光源とし、光強度をPPFD  $100\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 、光周期を12時間明期および12時間暗期に設定した。また室温を明期が  $24^\circ\text{C}$  になるよう空調を設定した。栽培液にはOATハウスA処方 (OATアグリオ (株)、以下OAT A処方とする) を用い、電気伝導率 (EC)  $1.0 \text{ dS m}^{-1}$  およびpH6.5となるよう2日毎に調整した。コンテナ内の栽培液量は、常時8Lになるよう給水口から供給されるように設定した。

一次育苗後に本葉第3葉が展開したイチゴ苗を、ロックウールまたは親水性樹脂培地 (Sophiterra® (株式会社クラレ)) を充填した220mL育苗用プラスチックポットに移植した。これらのポットを、玉川大学の植物工場研究施設 (Future Sci Tech Lab.) 内に設置されているNFT水耕栽培装置に配置した (図1)。NFT水耕装置は横並び6連の樋により構成され、上流から下流側に傾斜が設けられ、樋内の水耕液量を水深2-3mm程度に制御した。上記のプラスチックポットを約10cmの間隔で配置し、ポット底面に空いた吸水口より養液を底面吸水させ、二次育苗を35日間行った。光強度、光周期、室温の設定は、一次育苗と同じである。水耕液のECとpHの調整は一次育苗と同じであるが、水耕液の供給は底面吸水である。

二次育苗によりクラウン直径が8mm以上になった段階で光周期を恒明条件とし、OAT A処方のpHは6.5として、ECを  $0.2 \text{ dS m}^{-1}$  の貧栄養条件に変更し、7日間の開花誘導処理を行った。

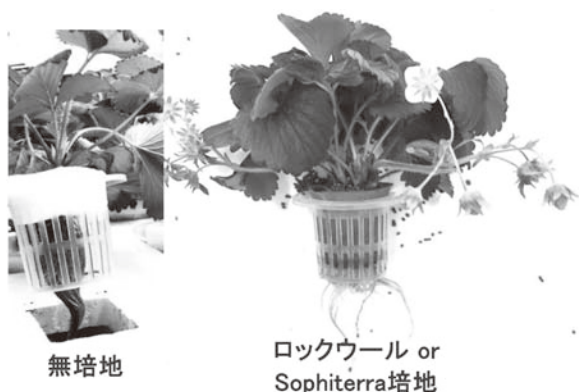


図1 無培地条件の根域環境条件とロックウールおよび親水性樹脂培地 (Sophiterra®) の根域環境の様子

## 2.2. UFB 施与および果実収量調査

二次育苗後に、苗をUFB施与を行う栽培装置へ定植した(図2)。本研究におけるUFBの生成には、超微細孔式を用いた株式会社安斎管鉄製実験ユニットを使用した(図3A)。生成空気としては圧縮空気と圧縮酸素の2種類を用い、空気供給圧力は0.15MPa、空気細断に用いるポンプ水圧は $10 \text{ L min}^{-1}$ に固定した(図3B)。圧縮空気で作成したUFBを施与した処理区をAir-UFBとし、圧縮酸素で作成したUFBを施与した処理区を $\text{O}_2$ -UFBとした。本試験で用いたUFB生成ユニットの性能は、NANOSIGHT (LM10, NANOSIGHT Co., Ltd.) を使用



図2 UFB施与栽培装置及びイチゴ栽培の様子

し超純水中に生成される気泡サイズと気泡数を測定することで評価した(図4)。

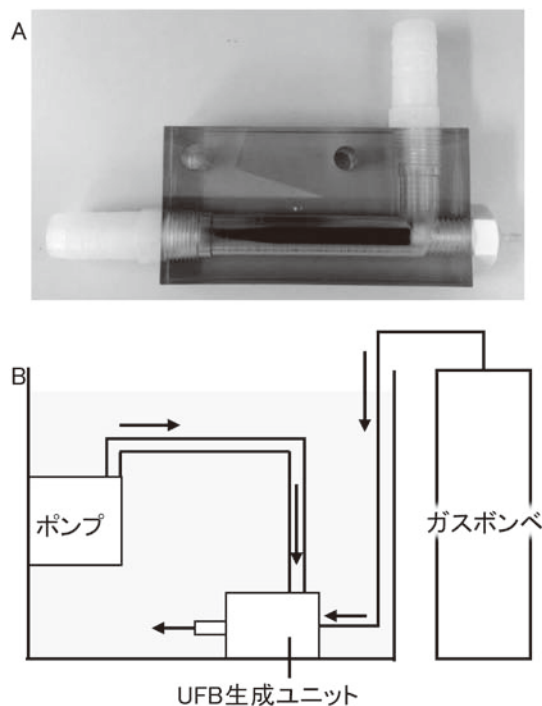


図3 UFB生成ユニット (A) およびUFB水生成装置の模式図 (B)

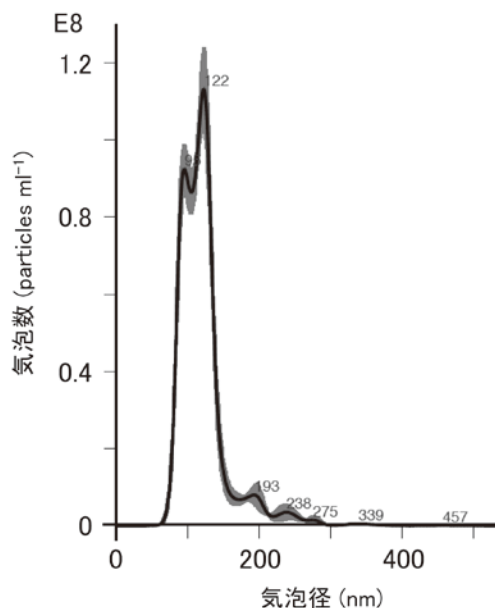


図4 安斎管鉄UFB生成ユニットを用いて圧縮空気で作成された超純水中に生成された気泡サイズと気泡数。長村和彦, 2018: ウルトラファインバブルがレタスの成長に及ぼす生理作用の研究, 玉川大学大学院農学研究科修士論文より引用

一方、エアポンプ (W-1000, 日本動物薬品 (株)) を用いて環境空気を曝気した水耕液を対照区 (Air 区) とした。本試験において UFB 生成およびエアレーションは装置下にある循環用タンク内で行った。溶存酸素 (DO) の測定には、デジタル溶存酸素濃度測定器 (DO-5509, (株) マザーツール) を用いた。光強度, 光周期, 室温の設定は, 一次育苗と同じである。

花芽形成開始後は 2 日毎に株観察を行い, 筆を用いて開花した花の人工受粉作業を行った。頂花房は 12 花, 一次および二次腋花房では 10 花とし, 残りは開花時点で摘花し, 以後は放任とした。果実収量調査は 1 処理区 12 株, 2 反復とし, 定植後 180 日後まで行った。表面が 8 割以上赤色化した果実を順次収穫し, 果実数と果実重 (生重) を調査した。果実重のほかに, 果実の糖酸度, 総アスコルビン酸, およびアントシアニン含有量を分析し, 果実品質を評価した。果実品質評価には, 一次および二次腋花房に形成された果実のうち 1 果あたり 6g 以上かつ 20g 以下のものを選び, 縦断した果実の一方を生のまま糖酸度分析に, もう一方を  $-35^{\circ}\text{C}$  で保存した後, アスコルビン酸およびアントシアニン含有量の分析に, それぞれ使用した。ただし, 糖酸度に関しては処理区間で差異が認められなかったため, 方法および結果は未記載である。また, 圧縮酸素の影響を明らかにするため, 葉中の  $\text{H}_2\text{O}_2$  を分析した。これらの分析方法を以下に示す。

### 2.3. 総アスコルビン酸の分析

Roe and Kuether (1943) の変法で分析を行った。凍結保存した果実を液体窒素を用いて乳鉢で凍結粉碎し, 粉碎した凍結試料 1g を秤り取った。凍結試料に, 9.0mL の 5% メタリン酸を添加し暗所  $4^{\circ}\text{C}$  で 20 時間抽出後,  $3,000 \times \text{g}$  で 15 分間遠心分離を行い, 上清を検液とした。検液  $500\mu\text{L}$  にインドフェノール  $50\mu\text{L}$ , 1% 塩化スズ (II)  $500\mu\text{L}$ , 2% ヒドラジン  $250\mu\text{L}$  を加えた後,  $50^{\circ}\text{C}$  で 1.5 時間加温した。氷冷しながら 85% 硫酸  $1.25\text{mL}$  を加え, 30 分室温で静置した後, ボルテックスで攪拌し分光光度計 (UV-1800) を用いて  $540\text{nm}$  の吸光度を測定した。標準試料には L(+)-Ascorbic Acid を用いた。

### 2.4. アントシアニンの分析

上記の粉碎した凍結試料から 1g を秤り取った。凍結

試料に 1% 塩酸-メタノール混合液を 9.0mL 加え, 暗所  $4^{\circ}\text{C}$  で 20 時間抽出後,  $3,000 \times \text{g}$  で 15 分間遠心分離を行い, 上清を分光光度計 (UV-1800) を用いて  $530\text{nm}$  の吸光度を測定した。標準試料には pelargonidin 3-glucoside を用いた。

### 2.5. 過酸化水素 ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) の分析

$\text{H}_2\text{O}_2$  の定量は, Queval ら (2008) の方法に準じた。葉を液体窒素凍結下で磨砕し  $100\text{mg}$  を秤量した。粉碎試料を褐色試験管に移し  $2\text{mL}$  の  $0.2\text{M}$  塩酸を加えボルテックスで攪拌し,  $3,000 \times \text{g}$  で 15 分間,  $4^{\circ}\text{C}$  で遠心分離を行った。上清  $500\mu\text{L}$  をとり,  $400\mu\text{L}$  の  $50\text{mM}$  リン酸二水素ナトリウム水溶液を加え,  $0.2\text{M}$  水酸化ナトリウムで  $\text{pH}5.0$  に調整し, 純水で  $5\text{mL}$  にメスアップした。 $500\mu\text{L}$  を分取し, APX を  $2\mu\text{mol min}^{-1} \text{ml}^{-1}$  となるよう加え,  $25^{\circ}\text{C}$  で 5 分間インキュベートした。APX 処理後の試料を 2 つに分け, 一方に CAT を  $25\mu\text{mol min}^{-1} \text{ml}^{-1}$  となるよう加え, 他方には同量の蒸留水を加え,  $25^{\circ}\text{C}$  で 5 分間インキュベートした。試料液 ((+)CAT または (-)CAT)  $100\mu\text{L}$ , FOX 指示薬 ( $0.5\text{mM}$  硫酸アンモニウム第一鉄,  $0.2\text{mM}$  キシレノールオレンジ,  $0.2\text{mM}$  ソルビトール, 2% (v/v) エタノール,  $50\text{mM}$  硫酸)  $500\mu\text{L}$ , 純水  $400\mu\text{L}$  を混合した。5 分以上静置し, 分光光度計 (UV-1800, (株) 島津製作所) を用いて 30 秒間隔で 3 分間,  $560\text{nm}$  の吸光度を測定した。吸光度変化率 ( $\Delta A_{560\text{nm}}/\text{min}$ ) を算出し, 検量線から濃度を求めた。試料の  $\text{H}_2\text{O}_2$  含量は (CAT 不添加) - (CAT 添加) の値から求めた。検量線は, 各濃度の  $\text{H}_2\text{O}_2$  標準液  $100\mu\text{L}$  に FOX 指示薬  $500\mu\text{L}$ , 純水  $400\mu\text{L}$  を加え, 作成した。

### 2.6. 統計解析

本実験で得られたデータは, 統計解析ソフト JMP ver. 14.0.0 (SAS Institut, Japan (株)) を用いて, Tukey-Kramer 法による多重比較を行なった。多重比較の有意水準は 5% とした。

## 3. 結果および考察

### 3.1. 無培地条件下での UFB 施与が果実形成に与える影響

UFB 施与 180 日後における株あたり果実収量の結果



表1 UFB 施与がイチゴの果実収量に及ぼす影響

根域環境	曝気条件	果実収量 (g/株)	果実数 (個/株)	1果平均重 (g/個)
無培地	Air	481.6 ± 21.7 a	45 ± 3 a	11.0 ± 0.3 a
	Air-UFB	457.0 ± 17.0 ab	45 ± 3 a	10.5 ± 0.4 a
	O <sub>2</sub> -UFB	361.2 ± 23.4 b	46 ± 3 a	8.1 ± 0.4 b
ロックウール培地	Air	469.8 ± 12.9 a	47 ± 3 a	10.2 ± 0.5 ab
	Air-UFB	506.9 ± 15.0 a	49 ± 2 a	10.7 ± 0.5 a
	O <sub>2</sub> -UFB	498.2 ± 26.0 a	49 ± 3 a	10.5 ± 0.5 a
親水性樹脂培地 Sophiterra®	Air	483.5 ± 22.6 a	45 ± 2 a	10.8 ± 0.4 a
	Air-UFB	472.1 ± 28.7 a	47 ± 3 a	10.2 ± 0.5 ab
	O <sub>2</sub> -UFB	501.1 ± 21.7 a	48 ± 3 a	10.7 ± 0.6 a

平均 ± 標準誤差を示す。同一列の異なるアルファベットはTukey-Kramerの多重検定で5%水準の有意差があることを示す (n=12)。

を表1に示した。無培地条件においてはAir区の株あたり収量平均が481.6gであったのに対し、O<sub>2</sub>-UFB区の株あたり収量平均は361.2gと有意に低くなった。また、株あたり果実数と1果平均重を確認したところ、株あたり果実数には処理区間で差が認められず、1果平均重がO<sub>2</sub>-UFB区で有意に低くなった。以上の結果は、O<sub>2</sub>-UFB施与が果実形成数ではなく、果実肥大に影響を与えることを示した。

UFBの生成時にはO<sub>2</sub><sup>-</sup>やOH<sup>-</sup>などの活性酸素が生成されることが知られている (Liu, et al., 2016)。果実の成長には多くの光合成産物が必要であり、ソースである葉の成長と果実への転流が重要となる。外因性の活性酸素を植物に与えた例として、著者らは1.0mM H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>含有水耕液において栽培したリーフレタスでは総出葉数および総葉面積の減少に伴い総乾物重量が低下することを確認した (Mori and Watanabe, 2017)。また、本試験でも用いたイチゴ‘よつぼし’においても1.0mM H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>含有水耕液で栽培を行うと葉面積の低下および果実収量の低下を促したことを報告した (森ら, 2020)。ストレスが果実の形成および成熟に及ぼす知見として、ストレス環境下では開花から完熟までの日数が短くなることにより光合成産物の分配蓄積量が低下してしまうことが既往研究から示されており (Ledesma et al., 2008)、本試験におけるO<sub>2</sub>-UFB施与に伴うイチゴの果実肥大抑制もO<sub>2</sub>-UFBにより誘引されたストレス応答が影響していると推察された。

### 3.2. UFB 施与に伴う活性酸素および抗酸化物質含量の変化

UFB施与により果実収量に影響が生じた無培地条件下で生育したイチゴのストレス評価を行うため、2回目

の栽培試験時においてUFB施与1週間後の葉内H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>濃度を測定した (図5)。結果、Air区、Air-UFB区の葉内H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>濃度が60–70nmol g<sup>-1</sup>程度であったのに対し、O<sub>2</sub>-UFB区の葉内H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>濃度は107nmol g<sup>-1</sup>と他処理区に比べて有意に高い値を示した。

森ら (2020) は、イチゴ‘よつぼし’の白色蛍光灯下 (PPFD150μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) における葉内H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>濃度の定常濃度は50–60nmol g<sup>-1</sup>程度であるが、根域へのH<sub>2</sub>O<sub>2</sub>処理によって葉内H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>濃度が増加することを報告した。この時、H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>処理によって葉内H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>濃度が100nmol g<sup>-1</sup>を超えるとCATやAPXなどの抗酸化酵素活性が高くなるが、葉内H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>濃度を低く制御できない場合にはグルタチオンの酸化還元比 (GSH/GSSG比) が低下して、植物体内が酸化状態に傾くことが認められた (森ら, 2020)。これらのことに加えて、O<sub>2</sub>-UFB区では葉内

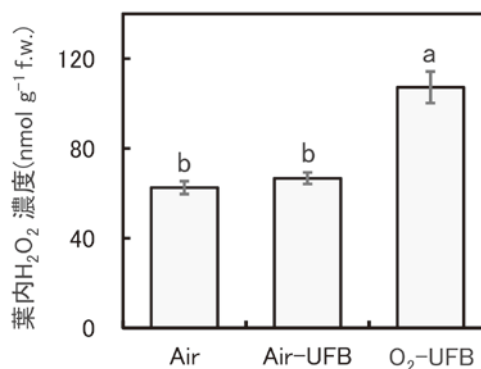


図5 UFB施肥開始7日後の無培地条件下で栽培されたイチゴ最大葉の葉内H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>濃度。図中のバーは標準誤差 (n=6) を示し、異なるアルファベットはTukey-Kramerの多重検定で5%水準の有意差があることを示す (n=12)。

$H_2O_2$  濃度が  $100\text{nmol g}^{-1}$  を超えていたことから、本研究の  $O_2$ -UFB 区におけるイチゴ ‘よつぼし’ は酸化ストレスにさらされていたと推察される。本研究の水耕試験系において、Air 区および Air-UFB 区の養液中の溶存酸素濃度は水温  $20^\circ\text{C}$  に対する飽和点付近の  $8\text{ppm}$  だったのに対し、 $O_2$ -UFB 区では  $18\text{ppm}$  と養液中の酸素濃度が高くなっていったことが認められた（データ未記載）。これにより、 $O_2$ -UFB 区では養液中で生成される活性酸素量が高くなり酸化ストレスが誘導されやすい養液環境となっていたことが示唆された。

果実の糖度および酸度は、ファインバブル施与および無培地、ロックウール培地、親水性樹脂培地の各培地間

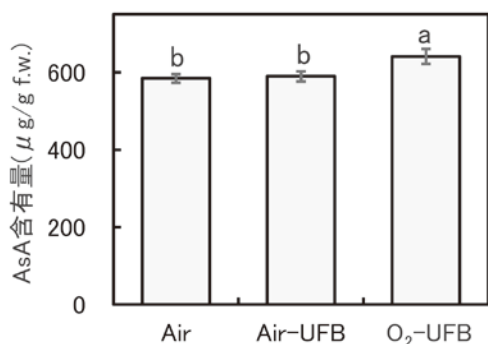


図6 無培地条件下におけるUFB施与されたイチゴ果実のAsA含有量。図中のバーは標準誤差 ( $n=12$ ) を示し、異なるアルファベットはTukey-Kramerの多重検定で5%水準の有意差があることを示す ( $n=12$ )。

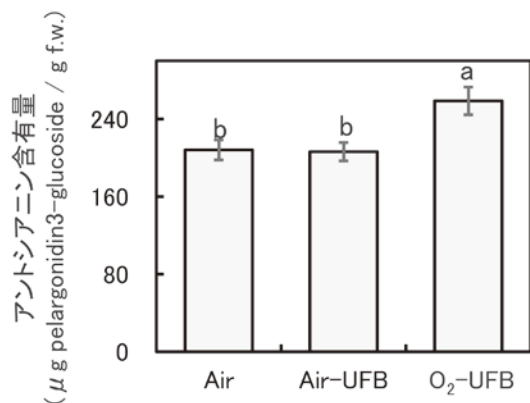


図7 無培地条件下におけるUFB施与されたイチゴ果実のアントシアニン含有量。図中のバーは標準誤差 ( $n=12$ ) を示し、異なるアルファベットはTukey-Kramerの多重検定で5%水準の有意差があることを示す ( $n=12$ )。

において差が見られなかった（データ未記載）。他方で、アスコルビン酸およびアントシアニン含有量は無培地条件における  $O_2$ -UFB 区において、Air 区、Air-UFB 区よりも有意に多かった（図6、図7）。強光や高温、高塩濃度や水分欠乏などのストレス条件下では、葉内や果実内のアスコルビン酸濃度等の抗酸化物質の合成を促進する一方で、植物個体の成長量を低下させる（Cakmak and Marshner, 1992；Hasegawa, et al., 2000；Wajima et al., 2007）。本試験においても、UFBの施与は果実のアスコルビン酸、アントシアニン含有量の増加に寄与した一方で、収量は対照区に比べて有意に低下した。以上の結果は、UFBの施与により生じる酸化ストレスは、イチゴ果実の抗酸化物質濃度を上昇させ、成長を抑制させることを示した。

### 3.3. 異なる培地でのイチゴ果実形成とUFB施与に対する影響

各培地条件で栽培されたUFB施与180日後における株あたり果実収量の結果を表1に示した。ロックウール培地および親水性樹脂のAir区で栽培したイチゴの果実収量は  $470\text{--}480\text{g}$  であり、無培地Air区の  $481.6\text{g}$  と差異は見られなかった。イチゴは根の酸素要求性が高い作物であり、ピートモスなど泥炭を主体とする粒子サイズが小さい培地などでは、培地内部が過湿となり酸素不足となる危険性があることが知られている（Heiskannen, 1995）。ロックウールと親水性樹脂の各培地は、無培地と同等のエアレーション効果があると考えられる。また、果実収量は、無培地の  $O_2$ -UFB 区を除くと、 $460\text{--}500\text{g/株}$  の範囲であり、すべての条件間に有意差は認められなかった。上記のように  $O_2$ -UFB 区では酸化ストレスの可能性があるにもかかわらず、ロックウールと親水性樹脂の各培地地下では、 $O_2$ -UFB 処理による果実収量への影響は無かったといえる。

無培地条件においてはAir区の株あたり収量平均が  $481.6\text{g}$  であったのに対し、 $O_2$ -UFB 区の株あたり収量平均は  $361.2\text{g}$  と有意に低くなった。対して、ロックウール培地区および親水性樹脂培地区においては、Air、Air-UFB、 $O_2$ -UFB の処理区間で株あたり収量に差異は見られなかった。また、アントシアニンおよびアスコルビン酸含有量についてもロックウール培地および親水性樹脂培地条件区においてはファインバブル施与による影響は、果実収量と同様に見られなかった（データ未記載）。無培地条件においてUFB施与の影響が生じたのに対し

て、ロックウールおよび親水性樹脂培地ではUFB施与に伴う収量低下が見られなかったことから、根と養液間に緩衝物が存在することで、活性酸素による酸化ストレスを回避できたと考えられた。

#### 4. 結論

イチゴ栽培におけるUFB施与においては生成に用いるガス組成により反応が異なることが認められ、圧縮酸素で生成したUFBでは果実の収量低下を招く可能性を示唆した。しかし、前述の応答は培地の有無により異なり、根系周囲にロックウールおよび親水性樹脂培地などの緩衝物があることで回避できることが示された。

水耕栽培時に養液内へ混入、増殖した藻類は栽培作物の清潔性を低下させ、養液内のイオン濃度均衡を崩す要因の一つとなる可能性があり、イチゴなど長期的に栽培を行う作物においては培養液内の藻類増殖や病原菌の発生防止および除去は重要な課題である。藻類の除藻効果や病原菌の殺菌効果に関しては、活性酸素の生成量が多い圧縮酸素の方が高い効果を保つことが考えられる。本試験で用いた親水性樹脂培地は、ロックウールやピートモスなどと異なり再利用することができ、栽培資材の廃棄コストを削減できる。本研究は、養液を殺菌するための酸素によるファインバブル添加、その酸素による酸化ストレスを軽減し再生利用できる親水性樹脂培地を組み合わせることで、イチゴの水耕栽培において持続的かつ長期的栽培を実現する可能性を示唆した。

#### 謝辞

本研究の実施にあたり、玉川大学大学院農学研究科令和3年度卒業生須藤智央氏、玉川大学農学部令和2年度卒業生今田寛昭氏、太田雄登氏、菅原健氏の研究協力を頂きましたことを報告します。また、玉川大学学術研究所大橋敬子教授、泊由紀子研究員、亙理ちひろ助手を始め学術研究所の皆様方のご支援を頂いたことに深謝いたします。

なお、本研究は令和2年度から2年間の玉川大学学術研究所共同研究助成を受けて行われました。このような研究の機会を頂いたことをここに記して謝意を表します。

#### 参考文献

Ahmed, A. K. A., Shi, X., Hua, L., Manzueta, L., Qing, W.,

- Marhaba, T., and Zhang, W., 2018: Influences of air, oxygen, nitrogen, and carbon dioxide nanobubbles on seed germination and plant growth. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66(20), 5117–5124.
- Cakmak, I. and Marshner, H., 1992: Magnesium deficiency and high light intensity enhance activities of superoxide dismutase, ascorbate peroxidase and glutathione reductase in bean leaves. *Plant physiol.*, 98, 1222–1227.
- Hasegawa, P., Bressan, R., Zhu, J. and Bohnert H., 2000: Plant cellular and molecular responses to high salinity. *Annual review of plant biol.*, 51, 463–499.
- Heiskanen, J., 1995: Water status of sphagnum peat and a peat-perlite mixture in containers subjected to irrigation regimes. *HortScience*, 30, 281–284.
- Ledesma, N. A., Nakata, M., and Sugiyama, N., 2008: Effect of high temperature stress on the reproductive growth of strawberry cvs. 'Nyoho' and 'Toyonoka'. *Scientia Horticulturae*, 116(2), 186–193.
- Liu, S., Oshita, S., Kawabata, S., Makino, Y. and Yoshimoto, T., 2016: Identification of ROS produced by nanobubbles and their positive and negative effect on vegetable seed germination. *Langmuir*, Vol.32, 11295–11302.
- Minagawa, H., Fujiwara, K., Kurimoto, R., Yasuda, T., Harada, E. and Hata, N., 2016: Effects of microbubbles on germination and growth of spinach, *Journal of JSEM*, Vol.16, No.1, 77–83.
- Mori, K., Hirabayashi, D. and Okada, T., 2013: Effect of bubbling jet on growth of root vegetables in indoor hydroponics. *Journal of JSEM*, Vol.13, No.4, 366–371.
- Mori, N. and Watanabe, H., 2017: Effects of oxidative stress on the growth of leaf lettuce upon H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> treatment. *Eco-Eng.*, 29(2), 31–38.
- Ohnari, Hirofumi., 2007: The characteristics and possibilities of micro bubble technology. *Journal of MMIJ*, Vol.123, No.3, 89–99.
- Queval, G., Hager, J., Gakière, B., and Noctor, G., 2008: Why are literature data for H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> contents so variable? A discussion of potential difficulties in the quantitative assay of leaf extracts. *Journal of Experimental Botany*, 59(2), 135–146.
- Roe J. H and Kuether C. A., 1943: The determination of ascorbic acid in whole blood and urine through the 2,4-dinitrophenylhydrazine derivative of dehydroascorbic acid. *J. Biol. Chem.*, 147(2), 399–407.
- Wajima, T., Sago, Y., Ishikawa, K., Hidaka, K., Yasutake, D., Matsuoka, T. and Matsuzoe, N., 2007: High quality tomato production by suitable application of concentrated deep seawater. In International Symposium on High Technology for Greenhouse System Management. *Greensys2007*, 801, 1437–1444.
- 長村和彦, 2018: ウルトラファインバブルがレタスの成長に及ぼす生理作用の研究. 玉川大学大学院農学研究科修士論文 (未公開).

森直哉, 巨理ちひろ, 泊由紀子, 渡邊博之, 2020: 過酸化水素処理に対するイチゴの酸化還元応答. 玉川大学学術研究所紀要, 25, 9-18.