

# マイクロバブル養液の間欠的灌水による 農作物バイオマス成長量評価

木原 久美子\* 吉田 修二\*\*

## Biomass Evaluation of Agricultural Plants Grown with Intermittent Microbubble Aided Water Irrigation Kumiko Kihara\*, Syuji Yoshida\*\*

Growing agricultural plants with liquid fertilizer is called hydroponic culture. The hydroponic system is widely used because cultivation conditions can be controlled much easier than soil cultivation. For example, oxygen concentration control is difficult with soil cultivation, but it can be easily controlled with the hydroponic system. Here we generated microbubble in the liquid fertilizer and maintained saturated oxygen concentration over few months and we then evaluated its effect on the plant growth measured as biomass amount. The microbubble was provided by commercially available home use microbubble generator. We focused on 4 crops (tomato, broccoli, cress, rush) that are cultivating around Kumamoto-prefecture, especially Kumamoto is known as the top share producer of rush, producing over 90% of the national production volume. There was no noticeable difference in the biomass amount between those plants cultured hydroponically with microbubble-aided and non-microbubble-aided water. However, it has turned out that there is a tendency to prompt growth in plants grown by soil cultivation with irrigation of microbubble-aided water. In addition, in the case of rush there was a significant difference in the stalk and root growth between the cultivation with microbubble-aided and non-microbubble-aided water.

キーワード：マイクロバブル，トマト，ブロッコリ，クレソン，イグサ

Keywords : Microbubble, Tomato, Broccoli, Cress, Rush

### 1. 背景と目的

微細気泡はバブルサイズに応じてマイクロバブル (MB) やナノバブル (NB) などに分類され、総称としてファインバブルとも呼ばれている<sup>(1),(2)</sup>。ファインバブルはその物理化学的特性によって生物活性に影響を与えたりする事から、農水産業や環境<sup>(3),(4),(5)</sup>、医学や健康<sup>(6),(7),(8)</sup>などの多義に渡る分野で活用されている。

ファインバブルの発生方法には、1. 気体を激流中に吹き込んで引きちぎり細かい泡にする方法、2. 気体を多く溶解できるように加圧した状態からキャビテーションによって泡を発生する方法、3. 超音波で気泡を分裂させる方法、4. 電気分解による方法など多数開発されており<sup>(1)</sup>、高価で複雑な装置が開発されてきたが、近年では大規模な装置を用い

ずに価格を抑えた製品が販売され家庭でも手軽に利用出来るようになってきている。例えば、美容や衛生に対応出来る風呂用 MB 発生装置などはそのひとつの例で、ペットショップや家庭で利用されている。しかし、MB による生物への効果はまだ未解明な部分も多く、効果のレベルの検証や効果を生み出す機構の解明が求められている。

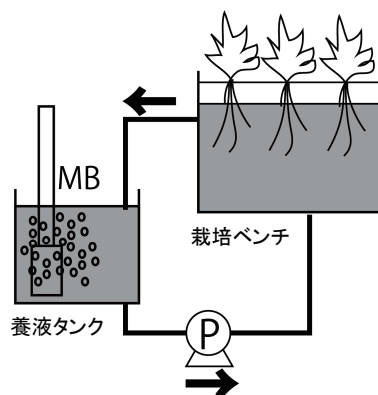


図1 水耕栽培システム概略図。湛液型水耕とし、養液タンクにてマイクロバブル (MB) を生成し、ポンプ (P) で栽培ベンチに養液を送った。栽培ベンチの養液は一定量を超過すると排出され、養液タンクに戻る。養液の成分濃度を維持するために、定期的に養液の一部を新しい物と入れ替えた。

\* 生物化学システム工学科  
〒866-8501 熊本県八代市平山新町 2627  
Dept. of Biological and Chemical Systems Engineering,  
2627 Hirayama-Shinmachi, Yatsushiro-shi, Kumamoto, Japan  
866-8501

\*\* 技術・教育支援センター  
〒866-8501 熊本県八代市平山新町 2627  
Center for Technology and Education Support,  
2627 Hirayama-Shinmachi, Yatsushiro-shi, Kumamoto, Japan  
866-8501

本研究では MB の利用のうち、農作物の栽培への応用に焦点をあてた。機構がシンプルで安価な市販の家庭用 MB 発生装置によって生成される MB を含有する養液を用いた農作物の栽培を行い、植物バイオマスの量を測定する事により、植物の成長への MB の影響を検証した。市販の家庭用 MB 発生装置でも農作物の成長を促進する効果があれば、家庭菜園などの小規模な農作物栽培現場において、特定の農作物や特定の時期に、大規模な設備や投資を必要とせず MB の効果を利用できる可能性が生まれる。

## 2. 方法

### 2.1 マイクロバブル発生装置の概要

MB 発生装置は、光マイクロバブル B1 (ナノプラネット製) を用いた。この装置は、家庭用浴用商品として開発・製造され、浴槽内に入れてポンプで水を循環させながら、超高速螺旋回式によって 10~数 10  $\mu\text{m}$  サイズのバブルを安定的に発生させるものである (ナノプラネット社 WEB ページ <http://www.nanoplanet.jp/>)。

### 2.2 水耕栽培装置の概要

一般的な養液栽培システムである湛液型水耕を行った。30 L の養液タンクと深さ約 20 cm で 50 L の栽培ベンチを接続し、ポンプにより両者の間を養液が循環することで植物の根に液肥を供給する仕組みである。養液タンクでは必要に応じて MB を生成し、溶存酸素が多く MB を含む養液を栽培ベンチに供給するシステムを構築した (図 1)。

MB 含有養液の間欠的灌水は次のように行った。MB 発生装置は 1 時間に 4 回稼働させ (2 分間 ON-13 分間 OFF の 15 分で 1 サイクル)、この間に生成した MB 含有養液を 2 分間ポンプで栽培ベンチに送り (10 L/min)、植物に与えた。

### 2.3 農作物の栽培システムのセットアップ

農作物は熊本県で栽培されている、クレソン、ブロッコリ、トマト、イグサ、モロヘイヤ、バジルの 6 種類の栽培を行い、このうちモロヘイヤとバジル以外の 4 種類についてバイオマス量の計測を行った。栽培は屋外に設置されたガラス温室で行った。温室は窓の開閉による十分な外気の通気が可能で、屋外と同じ気温・湿度が保たれた状況であり、周囲に日光を遮る物は無く日中は十分自然光があたる。栽培期間中の気温や日射量は人工的な調整を行わず自然条件のままとした。株の定植は、発泡スチロール性の水耕栽培用パネル (45 cm $\times$ 60 cm, 20 孔/枚, 孔径 $\phi$ 25 mm) の孔に 1 株ずつ行った。

栽培で肥料を用いる場合には、農業協同組合の養液栽培用肥料である、液肥 A (くみあい苦土ほう素マンガ入り複合液肥, 片倉チッカリン)、液肥 B (くみあい複合液肥 B, 片倉チッカリン) を 16:19 で混合し、適宜希釈して用いた。

農作物の栽培は次の条件を組み合わせて行い比較した。

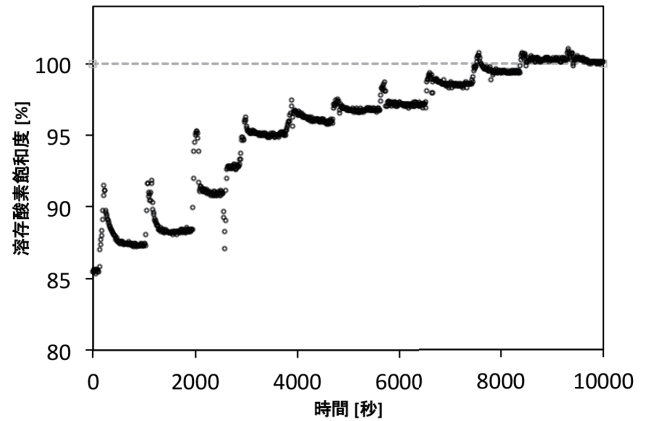


図 2 間欠的に MB を発生させた 30L の水道水中の溶存酸素飽和度。MB 発生を 2 分 ON・13 分 OFF の繰返しで行うと、3 時間以内に溶存酸素が飽和した。

栽培条件は、それぞれ Microbubble, Hydroponics, Soil, Water に由来するアルファベットを用いた以下の括弧内の略号を定め、以降はこれを用いて表記する。MB を含む養液による水耕栽培 (MB+H)、MB を含まない養液による水耕栽培 (MB-H)、灌水時に MB を含む養液を与えたコンテナでの土壌栽培 (MB+S)、灌水時に MB を含まない養液を与えたコンテナでの土壌栽培 (MB-S)、MB も液肥も入れない養液、すなわち水だけによる水耕栽培 (W) である。

クレソン苗は熊本県八代市の球磨川から伸びるせせらぎ水道に自生している株から株分けして用意し、次の栽培条件に各々 20 株ずつ定植した。栽培は、MB-H、MB+H、W の 3 条件を用意した。肥料は液肥 A と液肥 B の混合液を 500 倍希釈になるようにして使用した。栽培は 2017 年 4 月 26 日~ 5 月 23 日まで行った。

ブロッコリ苗は熊本県八代市の露地栽培で定植すると同時期に同じ苗を、MB-H、MB+H、MB-S、W に定植した。MB-S では 3 株ずつ 2 つのコンテナに、それ以外の栽培条件では 5 株ずつ定植した。肥料は液肥 A と液肥 B の混合液を、定植から 0~7 日目と 49~67 日目の間は 500 倍希釈、それ以外は 1000 倍希釈となるようにして使用した。MB-H、MB+H、W では養液または水を 1 週間毎に 20 L ずつ新しいものと入れ替えた。MB-S では 1 週間毎に 10 L ずつ灌水した。栽培は 2017 年 2 月 9 日~4 月 17 日まで行った。

トマトは初夏~夏は栽培に適するが、本研究環境のガラス温室は直射日光を全面に受け気温地温共に栽培上限を超えやすく、病気が発生するなど栽培が安定しない状況にあった。そこで、栽培時期を夏以降の気温が下がる時期にずらした。トマト苗は、熊本県八代市の農家がハウス栽培で定植しているものと同じ苗 (はちべえトマト) を入手し、2 株ずつ 9 つのコンテナの土壌に苗を定植して 2 次苗を準備した。2 次苗のうち 6 株は、MB+H に 3 株、MB-H に 3 株に定植した。残りの 6 コンテナ 12 株はコンテナごと 2 群に

分け、MB+Sとして3コンテナ6株、MB-Sとして3コンテナ6株にそれぞれの実験区に応じた灌水を行った。トマト苗は1次苗の段階で、1苗ごとに2本立ちとした。1次苗定植開始から35日後に1段目の受粉、48日目に2段目の受粉、62日目に3段で芯を止め、115日目前後に果実の収穫を行った。肥料は液肥Aと液肥Bの混合液を500倍希釈になるように使用した。MB±Hでは、定植から2週間ごとに養液タンクの養液を20Lずつ新しいものと入れ替えた。MB±Sでは1週間毎に6Lずつの灌水を行った。栽培は2016年9月30日～2017年2月9日まで行った。

イグサは品種「ひのはるか」を用い、苗は株から芽と3本の茎を含むように苗割りをを行い、茎は20cm長に先刈りをした。栽培は、MB-H、MB+H、Wの3条件を用意し、全ての栽培条件において16株ずつ定植した。肥料は液肥Aと液肥Bの混合液を500倍希釈になるように使用し、養液タンクの養液または水は1週間毎に20Lずつ新しいものと入れ替えた。栽培は2017年4月26日～8月8日まで行った。

#### 2.4 栽培環境の計測

栽培時の環境は、ガラス温室近くに設置されている気象庁福岡管区気象台管内熊本地方気象台の管理下にあるアメダス八代観測所（観測所番号86336、八代市平山新町、北緯32度28.4分、東経130度36.4分）における計測結果（<http://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/index.php>）を参照した。ここでの日照時間は、気象庁定義により、直射日光が地表を照射した時間として、直達日射量が0.12 kW/m<sup>2</sup>以上の時間を計測している。

#### 2.5 農作物バイオマス成長量の測定

栽培し計測に用いた農作物4種類は、植物の成長をバイオマス量として計測するために次のような処理を行った。

クレソンは苗の定植から27日目に水耕栽培プラントから植物体を取り外した。根茎に付着している藻やゴミを水で丁寧に洗い流し、屋外の日陰にて植物体を広げて並べて半月ほど乾燥させた後、70℃で24時間以上インキュベートして残存水分を十分に取り除いた。栽培条件毎に、20株の根・茎・葉を含む植物体全体の乾燥重量を計測した。

ブロッコリは苗の定植から60日目前後に可食部とされる花蕾を刈り取って生重量を測定した後、67日目に水耕栽培ベンチ及び土壌栽培コンテナから植物体を取り外した。根茎に付着している藻や土壌を水で丁寧に洗い流してから、屋外の日陰にて植物体を広げて並べて1ヶ月半ほど乾燥させ、その後屋内の日陰にて1ヶ月ほど乾燥させた。ここで、根と主茎以外の部位を取り除いてから70℃で5時間程度インキュベートして残存水分を十分に取り除いた。各株の根部を同位置で切り取り、根の乾燥重量を計測した。

トマトは苗の定植から115日目前後に可食部である果実を収穫して個数を測定した後、定植から132日目に水耕栽培

プラント及び土壌栽培コンテナから植物体を取り外した。根茎に付着している藻や土壌を水で丁寧に洗い流してから、屋外の日陰にて植物体を広げて並べて2ヶ月半ほど乾燥させ、その後屋内の日陰にて1ヶ月ほど乾燥させた。さらに根と主茎以外の部位を取り除き、70℃で5時間程度インキュベートして残存水分を十分に取り除いた各株の根と茎を同位置で切り離し、根と茎の乾燥重量を計測した。

イグサは苗の定植から104日目に水耕栽培プラントから植物体を取り外し、根茎に付着している藻や汚れを水で丁

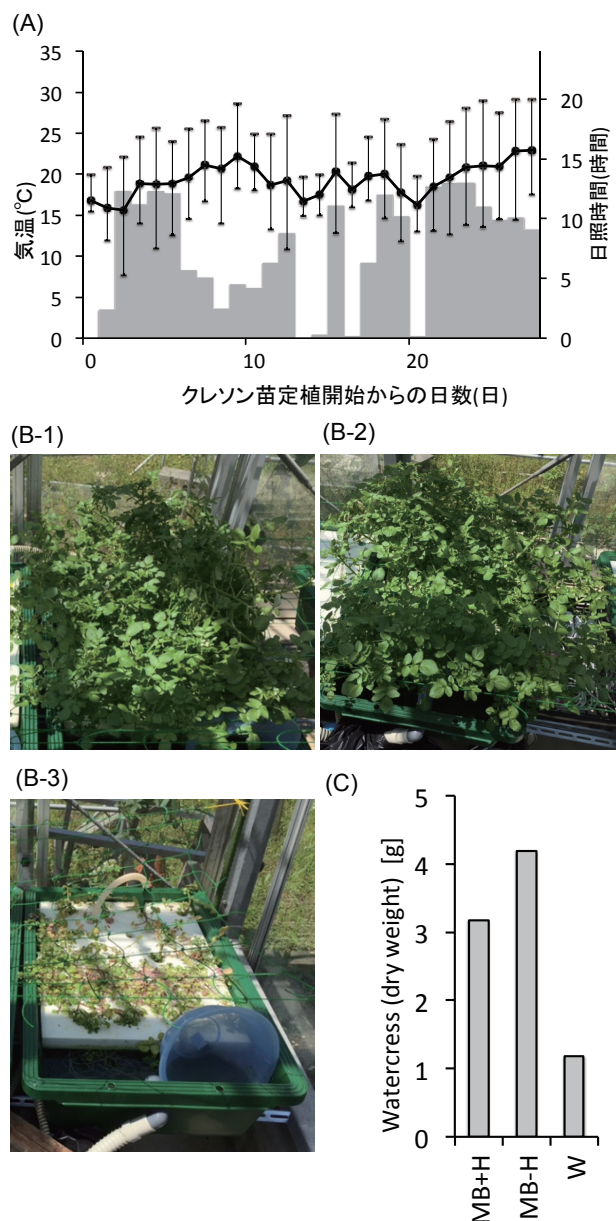


図3 クレソンの栽培環境と生育状況。(A) 定植後からの日数と1日の平均気温。上側バーはその日の最高気温、下側バーはその日の最低気温。棒グラフは日照時間。定植後19日目における、栽培条件MB+H(B-1)、MB-H(B-2)、W(B-3)の生育状況。(C) 根から葉茎を含む植物体全体の乾燥重量の20株の平均値。栽培条件を示す略号は本文中に記した。



寧に洗い流した。茎の生え際から 5 cm の高さで切った茎を地上部のバイオマス量として、根の生え際から 5 cm の深さで切った根を地下部のバイオマス量として解析に用いた。栽培条件ごとに、16 株からランダムに選んだ 8 株について、茎や根の長さ別に本数を計測した。その後、各条件の 16 株全てから得られた茎と根を、室内の日陰にて 1 ヶ月ほど乾燥させてから、70 °C で 5 時間程度インキュベートして残存水分を十分に取り除き、茎と根の乾燥重量を計測した。

### 3. 結果と考察

#### 3.1 マイクロバブルによる溶液中の溶存酸素量の状態評価

MB 発生装置を 30 L の水道水中で稼働したとき (2 分間 ON-13 分間 OFF の 15 分で 1 サイクル) の溶存酸素量を、溶存酸素計 (LAQUAact D-75, HORIBA) を用いて計測した。測定時の水温における飽和溶存酸素量に対する溶存酸素量の割合を飽和溶存酸素度として求めた (図 2)。飽和溶存酸素度は、MB の生成を始めると上昇し、生成をやめると下降するが、これを繰り返すうちに時間と共に飽和溶存酸素度は上昇し、3 時間程度で溶存酸素は飽和に至り、以降はこの状態が保たれた。本研究では、溶存酸素が飽和した状態の養液を用いて植物の栽培を行った。

#### 3.2 栽培条件

栽培期間における、クレソン (図 3. A)、ブロッコリ (図 4. A)、トマト (図 5. A)、イグサ (図 6. A) の気温と日射時間に関する環境条件をそれぞれの図に示した。

クレソンは 18 °C 前後での生育が最適とされるが、本栽培期間内の平均気温は 19 °C で、最適な気温において栽培を行った。ブロッコリは 18 °C 前後での生育が最適とされ、花蕾の形成も同温度にて起こる。本栽培期間内の平均気温は 9.3 °C で、最適温度より低い冬春撒きと同時期の栽培で、期間を通じて日中平均気温が徐々に上昇する条件にて栽培を行った。トマトは一般に 25 °C 前後での生育が最適とされる。本研究では、初夏から夏にかけて、ガラス温室内がそれよりも高温となることでトマトの生育に障害を起こしたことから、晩夏以降のやや低めの気温で栽培を行った。イグサは茎の伸長は平均気温が約 17~25 °C の範囲で促進され<sup>9)</sup>、梅雨時期頃に茎の伸長が急激に進む。本研究での栽培期間は茎の伸長に最適な気温であったといえる (図 6. A)。すなわち、露地栽培で先刈り後から最も茎が伸長する時期を経て夏に収穫するものと同時期の気候における水耕栽培でのイグサの成長を観測したことになる。

#### 3.3 農作物の成長観察とバイオマス成長量解析

クレソン (図 3. B-1, B-2, B-3)、ブロッコリ (図 4. B-1, B-2)、トマト (図 5. B-1, B-2)、イグサ (図 6. B-1, B-2, B-3, B-4, C) の各栽培状況を写真で示した。W 以外の栽培条件、すなわち液肥を与えた栄養十分な栽培条件であれば、どの農作物も本研究の栽培条件において繁茂し、栽培

システムが農作物の成長に適した状態にあることが確認された。液肥が添加されない栽培条件 W の場合には農作物の成長は著しく抑制された。クレソンでは、植物体全体のバイオマス乾燥重量をみると、W は MB-H の 4 分の 1 程度と重量が少なかった (図 3. C)。ブロッコリでも、W は MB±H や MB-S のいずれと比べても明らかに植物体全体のサ

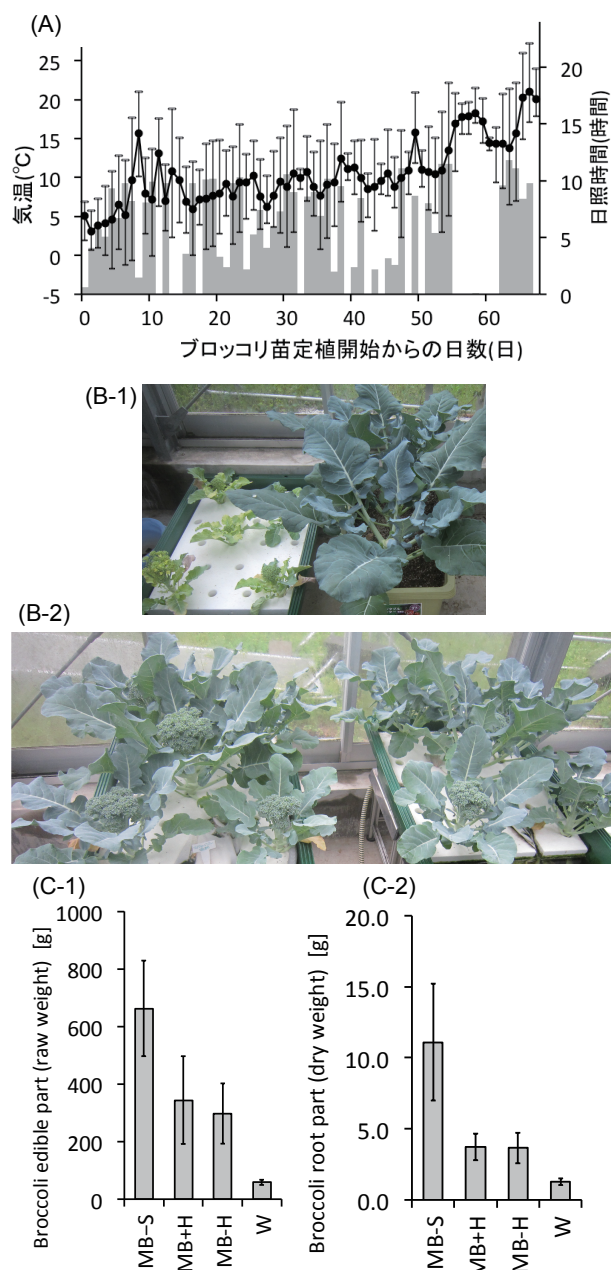


図 4 ブロッコリの栽培環境と生育状況. (A) 定植後からの日数と 1 日の平均気温. 上側バーはその日の最高気温, 下側バーはその日の最低気温. 棒グラフは日照時間. 定植後 67 日目の生育状況; (B-1) の左; W, (B-1) の右; MB-S, (B-2) の左; MB+H, (B-2) の右; MB-H. 可食部の生重量 (C-1) と、根の乾燥重量 (C-2). MB+S は 6 株, それ以外は 5 株について平均値とエラーバーは標準偏差を記した. 栽培条件を示す略号は本文中に記した.



イズが小さかった (図 4. C-1, C-2). イグサでは, W は地上部の茎の伸長は長くとも 30 cm, 茎の本数は 10 本前後に抑制されたものの, 地下部の根の伸長は著しく, ほとんどの株が 80 cm もの長さに根を成長させた (図 6. B-4). イグサは茎数の増加に伴い根の本数も増加する. 栽培条件 W では貧栄養状況の中で茎の本数が増やせない, すなわち根の本数を増やせない状況にあり, そのような中で地下部の表面積を増やし, 必要な栄養を獲得しようとする植物の応答のひとつではないかと考えられる.

養液中の MB の有無によって, 農作物の成長に外観上では著しい差異は見られなかったものの, バイオマス成長量の差異を定量的に比較するため, クレソン (図 3. C), ブロッコリ (図 4. C-1, C-2), トマト (図 5. C-1, C-2, C-3), イグサ (図 7) の成長量に関する計測結果を図示した.

クレソンでは MB+H よりも MB-H の方が, 植物体全体のバイオマス重量がやや多い定性的な結果が得られ, MB 含有養液が成長を阻害している可能性もある (図 3. C). ブロ

ッコリでは, MB+H と MB-H におけるバイオマス重量は, ほぼ同じである (図 4. C-1, C-2). トマトでも両者間のバイオマス重量に差異はみられなかったが (図 5. C-2, C-3), MB+H よりも MB-H の方が, 可食部の果実の個数が多いという定性的な傾向があった (図 5. C-1). この結果は, 養液中の溶存酸素濃度が過飽和状態の時にトマトの生長を促進するという報告<sup>(10)</sup>とは異なるが, この報告では酸素ガスを用いた溶存酸素の飽和を行っており曝気の方法が異なる他に, 養液中に MB が存在しない点が本研究とは異なっている. トマトの水耕栽培において, 養液中の MB の物理的存在が成長に影響を与えている可能性も有る.

栽培条件 MB±S と MB±H の比較では, 植物体の種類や部位によって成長差が出現した. ブロッコリの MB-S は MB±H 条件と比べて, 可食部のバイオマス生重量も根の乾燥重量も明らかに高く (図 4. C-1, C-2), ブロッコリの成長に本研究条件による水耕栽培は不適であると考えられた. トマトでは, 根の乾燥重量は MB±H の方が MB±S よ

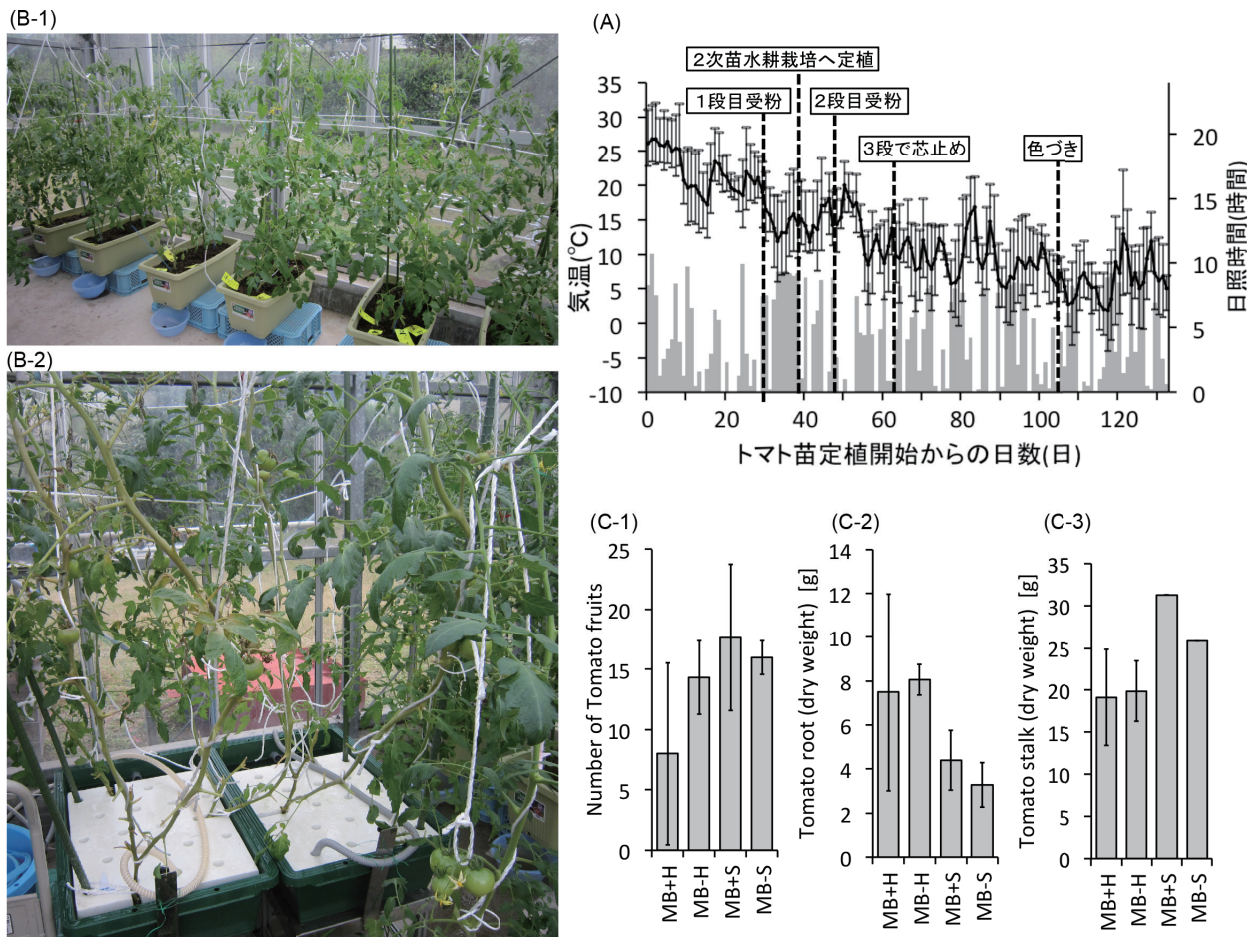


図 5 トマトの栽培環境と生育状況. (A) 1次苗定植後からの日数と1日の平均気温(実線). 上側バーはその日の最高気温, 下側バーはその日の最低気温. 棒グラフは日照時間. (B-1) 1次苗定植後 38 日目の MB±S における生育状況. (B-2) 2次苗を MB±H へ定植後 22 日目 (1次苗定植後 62 日目) の生育状況. (C-1) 可食部果実の個数, (C-2) 根の乾燥重量, (C-2) 主茎の乾燥重量. W 系列は 3 株, C 系列は 6 株について, 平均値を記した. エラーバーは描けるものについて標準偏差を記した. 栽培条件を示す略号は本文中に記した.

りも高く、土壌よりも水耕栽培で根が発達していた (図 5. C-2). ところが、トマトの可食部である果実の個数や茎の乾燥重量はその逆で、MB±S よりも MB±H で高い (図 5. C-1, C-3). 微細気泡を含有する液体を土壌に与えると、窒素性物質の土壌浸透効率を上昇させる効果を生む事が示唆されている<sup>(11)</sup>. 本研究でも同様の効果によって、トマトのバイオマス成長量が増大した可能性が考えられる.

イグサは工芸作物で畳表の原料として使われるため、植物体の茎の長さ、太さ、充実度、先枯れ具合、色味などは品質を定める重要な項目である. 水耕栽培のイグサは露地栽培のイグサと同様の色味をもち、先枯れは 1 cm 以内であった. イグサの根は全て白くやわらかいものばかりで、黒褐色で木質化した根はほとんど存在せず、健全な状態が維持されていた. イグサの根には太根と細根があるが、水耕栽培で太根が根の総本数の 9 割以上を占めるという報告のとおり<sup>(12)</sup>, 本研究でも太根が細根より圧倒的に本数が多かったため、両者を区別せずに根の総本数を計測した.

茎や根の先端の位置を計測し、ヒストグラムにして示した. 茎や根の生え際から 5 cm 以上の長さの物について解析を行った. MB±H のどちらの環境においても茎や根の長さ分布は良く似ており、茎は 60~80 cm 長のもので、根は 10~20 cm 長のもので最も多く観測された. また、総茎数は全 16 株中ランダムな 8 株について、MB+H の茎平均 207 本・根平均 200 本、MB-H の茎平均 200 本・根平均 186 本であり、栽培条件による明瞭な差異は出現しなかった. MB±H のどちらの環境においても定植時の 1 芽 3 茎から約 100 日で 65 倍以上に本数が増加したことになる. 梅雨時期にハウス内において岡山 3 号を用いた川砂耕で 7 芽 7 茎 20 cm 先刈り株を定植し約 80 日で 10 倍以上の本数である 80 茎まで増加した例<sup>(12)</sup>と比較しても十分な成長がみられた.

MB±H のどちらの栽培条件の場合も、1 芽 3 茎で定植した株が、104 日間の栽培で、最長茎が 80 cm を越え、茎数は平均 200 本を越えるほどに成長した (図 7. A-1, A-2). 各階級の中央値を代表値とし、茎や根の総茎長と総根長を求めた. 栽培終了時のひと株当たりの平均総茎長は MB+H で 10083 cm, MB-H で 10519 cm と、どちらも 10000 cm を越えた. 定植時には全ての株を 1 芽 3 茎 20 cm に先刈りしたので、ひと株当たりの総茎長は 60 cm と計算できる事から、MB±H のどちらの環境でも、定植時から約 100 日で 160 倍以上に総茎長が伸びた事になる. 1 日当たりに換算すると、株の総茎長は 100 cm/株・day ほど伸長したことになる.

また、植物の成長には根の状態が重要である. イグサの根の総本数と茎の総本数を比較すると、MB±H の両環境でも両者は正の相関関係にあり、ひと株当たりの茎と根の本数は近似直線から 10:9 の割合で、栽培条件による差はない (図 7. B). 総根長と総茎長を比較すると両者は正の相関

関係にあり、MB±H のどちらの環境でも、根の総長が大きければ茎の総長も大きくなった (図 7. C). 茎や根の総長平均を総数平均で割った平均長は、MB+H で茎平均約 50

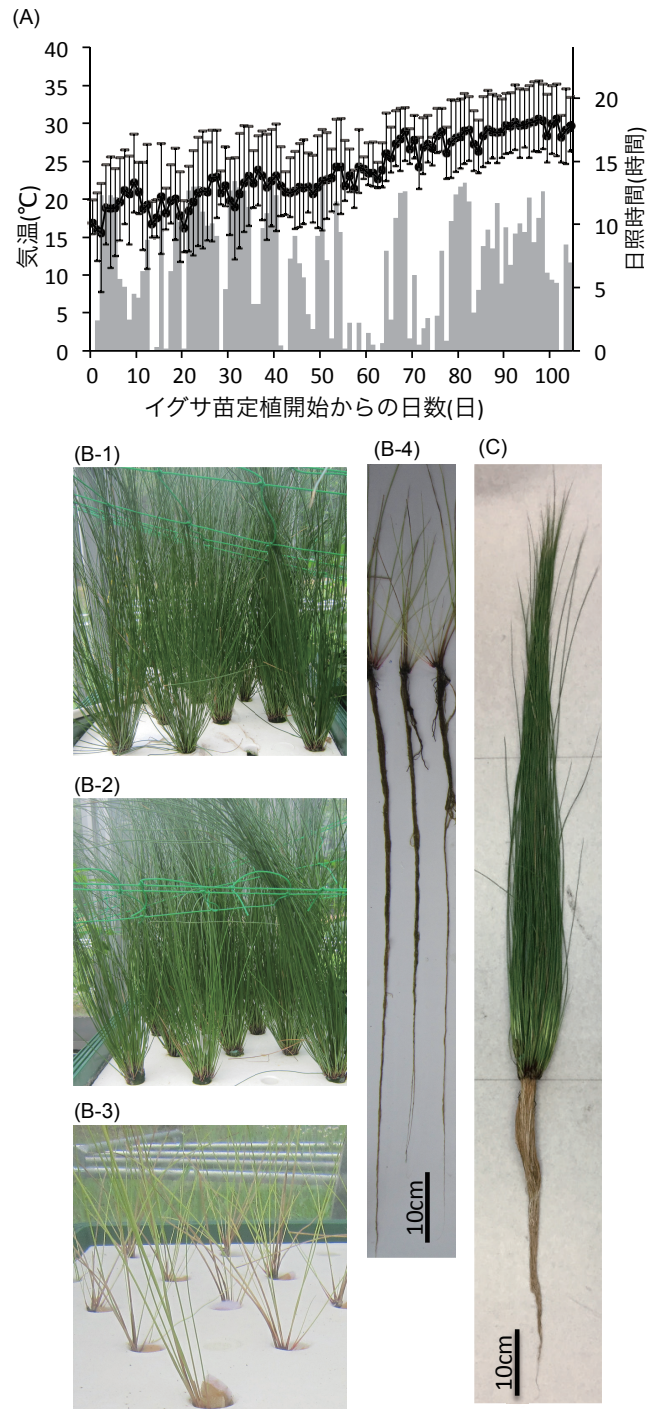


図 6 イグサの栽培環境と生育状況. 苗定植後からの日数と 1 日の平均気温 (A). 上側バーはその日の最高気温, 下側バーはその日の最低気温, 棒グラフは日照時間. 苗の定植後 83 日目の栽培条件 MB-H (B-1), MB+H (B-2), W (B-3) における生育状況と, W におけるイグサの全体像 (B-4). 苗定植後 104 日の MB+H におけるイグサの全体像 (C). 栽培条件を示す略号は本文中に記した.



cm・根平均約 20 cm, MB-H で茎平均約 53 cm・根平均約 25 cm であり, 栽培条件による大きな差はみられなかった. ワグネルポットを用いた岡山 3 号の水耕栽培の例では, 地上茎 1 本あたりの根は 2.5 本程度で長さは約 20 cm と報告されており<sup>(12)</sup>, 肥料濃度が薄くなるほど根の本数が増加し長さが長くなる傾向が報告されている<sup>(12)</sup>. 本研究ではそれよりも根が長く本数は半分以下となったが, MB±H において継続的にポンプによる間欠的な流水が生じていることや, 栽培ベンチはワグネルポットよりも根が伸長可能な空間が十分あった事が原因のひとつではないかと推察する.

さらに, 根や茎の総重量を比較すると両者は正の相関関係にあり, MB±H の両環境で, 根の総重量が大きければ茎の総重量も大きくなった (図 7. D). これらの情報だけからは, 根や茎の長さや充実度の関係を見出すことが出来ない. 充実度は根や茎の太さや内部組織の詰まり具合を総合的に反映する値である重量として観測出来る. そこで, 茎や根における総重量を総長で割って単位長さ当たりの重量とした値を MB±H で比較した. その結果, 茎と根の単位長さ当たりの乾燥重量は, MB+H の方が MB-H よりも重

く (図 7. E), 2 群間の単位長さ当たりの重量の差について, t 検定 (有意水準  $p < 0.05$  で判定) により統計的に調べたところ, 茎についても根についても両群間で有意な差があると認められた. イグサの水耕栽培において MB を与える事は, 茎や根の充実度を増加させることから, 品質の良いイグサの生育に MB を利用できる可能性が示唆された.

イグサは露地栽培が主流だが, もともと湿性植物であるから, 水耕栽培に適した植物種のようにも考えられる. ただし, 湿性植物の中でもイグサは, 根からの酸素の漏出を防ぐ ROL バリア (radial oxygen loss, ROL) を恒常的に形成し<sup>(13)</sup>, 過湿状態に適応している植物であるため, 水中への MB の供給による飽和酸素状態の継続が, イグサの成長に影響を与えない可能性も考えられた. しかし本研究にて, MB の供給がイグサの茎や根の重量を増加させる傾向があることや, 湿潤な状態に適応した湿性植物にも MB は影響を与えることを定量的に示した. イグサは茎長 160 cm 程度まで栽培してから商品に加工するが, ここではその半分長での成長量解析を行った. さらに長期間の水耕栽培を行い植物の状態を表す複数の項目を定量的に計測できれば, MB の有

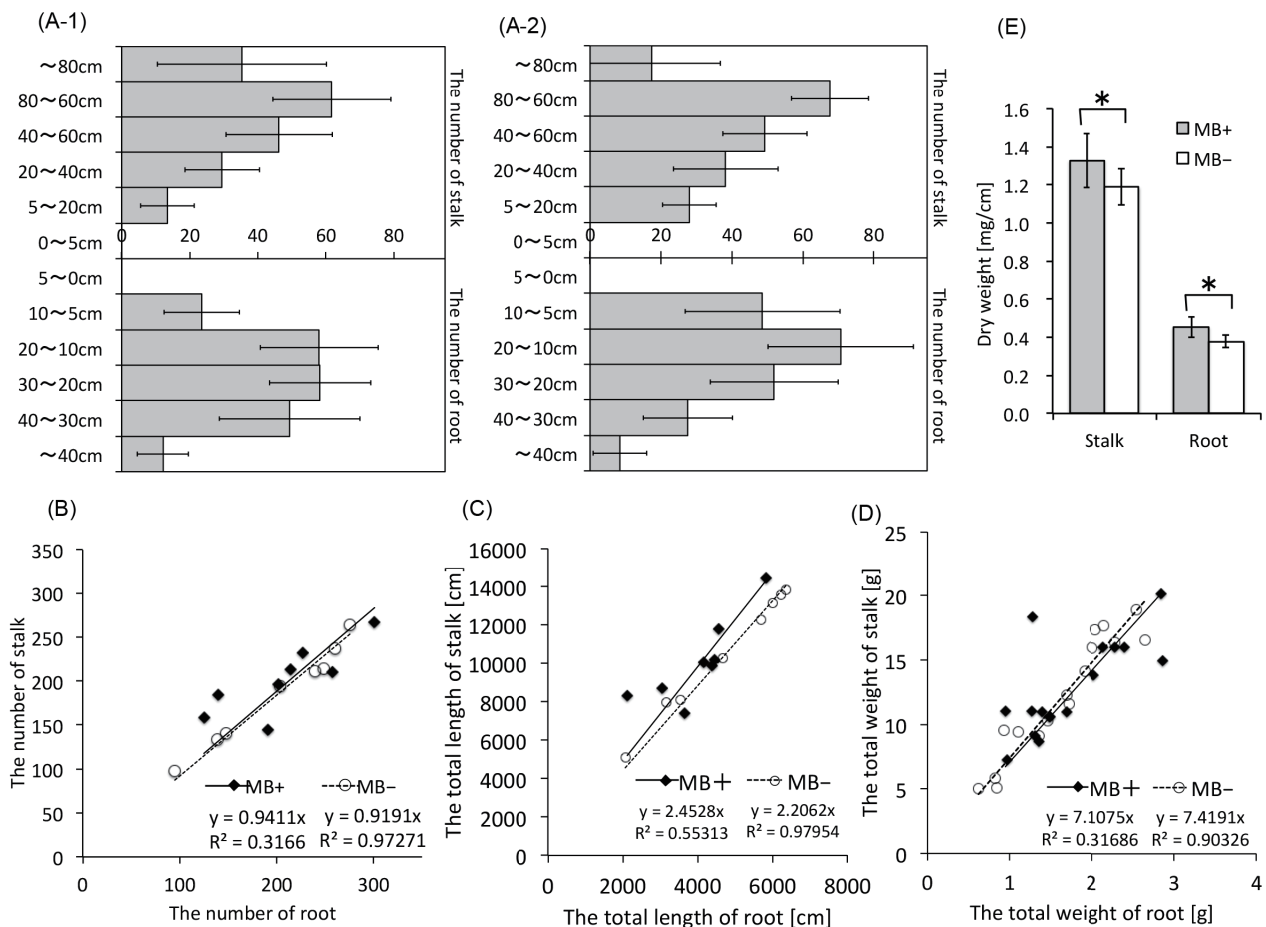


図7 イグサの水耕栽培における地上部 (5 cm 以上の茎) と地下部 (5 cm 以上の根) のバイオマス成長量の比較. (A-1) MB-H、及び、(A-2) MB+H における、茎と根の長さ分布. (B) 総茎数と総根数のプロットにおける MB の有無による比較. (C) 総茎長と総根長のプロットにおける MB の有無による比較. (D) 総茎乾重量と総根乾重量のプロットにおける MB の有無による比較. (E) 単位長さ当たりの茎と根の重量比較. \*:  $p < 0.05$  で有意. 栽培条件を示す略号は本文中に記した.



無による効果の差異がより明瞭に出現する可能性がある。

本研究では間欠的な MB 液肥水の灌水条件で農作物を栽培し、主に植物体の成長量を個数や長さや重量から解析を行った。しかし、植物の成長を理解するには、これらのマクロな物理量だけでは抽出できない植物体内部の含有成分種や量といった生化学的なプロファイルや、植物の耐病性や、人が農作物を食べたときに感じる味の情報なども解析すべき項目として存在する。水耕栽培では野菜の味が変わったり<sup>(14)</sup>、土耕と水耕では含有成分が異なったりする<sup>(15)</sup>という問題が存在する。その一方で、例えばホウレンソウでは MB 養液中でカリウムが効率良く吸収されたり種子の発芽率が向上したりする事や<sup>(16)</sup>、味や含有成分を向上できる可能性<sup>(17)</sup>が知られている。本研究におけるモロヘイヤの MB ±H における食味官能試験でも、露地栽培と比較して味が薄いという評価結果が得られており (木原ら, 未発表)、今後は MB を用いて栽培した作物の成分分析などによる生化学的な解析を行う事で、より付加価値の高い農作物の栽培方法へその知見をフィードバックすることも必要だと考えられる。さらに、養液中の溶存酸素が飽和していることだけでなく、バブルそのものが存在し、その物理的効果が植物の成長に何らかの影響を与える可能性も考えられることから、バブルサイズを変更したり、間欠的な灌水のタイミングを変えたりする事で、植物の成長により強い影響を与える条件が見つかる可能性がある。

#### 4. まとめ

本研究では、市販の家庭用 MB 発生装置による MB 養液を間欠的に供給したコンテナ土壌栽培や湛液型水耕栽培システムで 6 種の農作物の生育を行い、このうち 4 種 (クレソン, ブロッコリ, トマト, イグサ) についてバイオマス成長量の解析を定量的に行った。MB 添加による水耕栽培で 4 種全ての農作物に著しい成長促進が起こったわけではなかった。ただし、土壌栽培トマトに対し MB 養液を灌水すると実や主茎のバイオマス量が増大し、イグサでは MB 養液水耕栽培で根や茎の充実度が高まること示された。

農作物の品質はバイオマス量だけで評価されるものではなく、見た目や味といった重要な評価項目がある。MB の有無による差がバイオマス成長量としては見えにくい農作物に対し、植物の含有成分の種類や量などの内部状態を生化学的に解析し人が感じる味としての評価を加味するとともに、MB による栽培システムの衛生環境の維持や農作物の耐病性向上への効果の検証も今後の課題である。

#### 謝辞

本研究は、くまもと県南フードバレー推進協議会による「2016 年度研究等初期活動支援事業研究助成」を受けて行

った。イグサ苗は熊本県農業研究センターい業研究所 (現・アグリシステム総合研究所) から分譲を受けた。研究の一部は、「い草水耕栽培・早期生育技術開発プロジェクト」の協力を受けた。研究遂行期間中に熊本地震に遭遇し家屋は大規模半壊となったが、多くの方々のご支援に感謝する。

(平成 29 年 9 月 25 日受付)

(平成 29 年 12 月 6 日受理)

#### 参考文献

- 寺坂宏一:「ファインバブル最前線 ファインバブル技術のトレンドと課題」, 科学工学, Vol.78, No.9 pp.580-584 (2014).
- 芹澤昭示:「マイクロ/ナノバブルの基礎」, 日本マリンエンジニアリング学会誌, Vol.46, No. 6, pp.56-61 (2011).
- 氷室昭三:「ファインバブルの生物学的応用」, 科学工学, Vol.30, No.1 pp.10-18 (2016).
- 森きよみ, 平林大騎, 岡田武仁:「屋内水耕栽培による根菜の生育に及ぼす気泡とマイクロジェットの影響」, 実験力学, Vol.13, No.4, pp.366-371 (2013).
- F. Kobayashi *et al.*: “Disinfection using ozone microbubbles to inactivate *Fusarium oxysporum* f. sp. *melonis* and *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum*”, Crop Protection, Vol.30, No.11, pp.1514-1518 (2011).
- C.D. Ohl *et al.*: “Sonoporation from Jetting Cavitation Bubbles”, Biophysical Journal, Vol.91, No.11, pp.4285-4295 (2006).
- 立花克郎:「マイクロバブルの治療応用」, 生体医工学, Vol.43, No.2, pp.211-215 (2005).
- 河原ゆう子, 美和千尋:「入浴中のマイクロバブル性状が温熱効果と入浴後のイメージに及ぼす影響」, 人間と生活環境, Vol.19, No.2, pp.137-144 (2012).
- 合志善隆:「いぐさの生態と栽培について」, 特産種苗, Vol.21, pp.34-40 (2015).
- 田中剛毅, 山下洋平, 中林和重:「溶存酸素濃度の過飽和状態が養液栽培トマトの生育および養分吸収におよぼす影響」, 植物工場学会誌, Vol.13, No.1, pp.21-28 (2001).
- 古沢浩ら:「微細気泡含有液体の散布による植物培地中への窒素性物質の効率的到達」, 四万十・流域圏学会誌, Vol.9, No.1, pp.11-18 (2009).
- 土屋幹夫ら:「水耕および砂耕条件下におけるイグサ (*Juncus decipiens* Nakai) の根の発生と伸長」日本作物学会中国支部研究集録, (36), pp.11-17. (1995).
- E. J. W. Visser *et al.*: “Changes in growth, porosity, and radial oxygen loss from adventitious roots of selected mono- and dicotyledonous wetland species with contrasting types of aerenchyma”, Plant, Cell and Environment, Vol.23, pp.1237-1245 (2000).
- 阿部一博:「養液栽培の技術と生産物の品質について」, 調理化学, Vol.19, No.2, pp.92-99 (1986)
- 清田マキら:「土耕および水耕におけるホウレンソウの成分および生食の食味の差異」, 日本栄養・食糧学会誌, Vol.49, No.2, pp.107-112 (1996).
- 南川久人ら:「マイクロバブルがホウレンソウの発芽および生育に与える影響」, 実験力学, Vol.16, No.1, pp.77-83 (2016).
- 網本邦広ら:「化学育種を目的とする野菜の成分分析 (第 1 報) レタス成分の品種間比較」, 実験力学, Vol.16, No.1, pp.77-83 (2016).