

## 植物生長促進根圏細菌を用いた葉菜類の水耕栽培試験

山本 彩起子, 青木 俊介, 遠田 昌人

### Hydroponics of Leaf Vegetables using Plant Growth Promoting Rhizobacteria

Sakiko Yamamoto, Shunsuke Aoki and Atsuhito Enda

Potential disadvantages of hydroponic systems for commercial plant production include high cultivation costs and losses due to diseases caused by phytopathogenic bacteria. During soil cultivation, plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) may be used to enhance plant growth, suppress disease-causing microbes, and accelerate nutrient availability and assimilation. Thus, the application of PGPR in hydroponic systems may alleviate some of the problems associated with hydroponics. We isolated Some PGPR strains from the rhizosphere of commercially produced mitsuba (*Cryptotaenia canadensis* subsp. *japonica*) so far. Additionally, the growth-promoting effects of these PGPR on mitsuba roots evaluated. In this study, we cultivated PGPR-inoculated lettuce (cultivar 'Frill Ice'), rucola, spinach, watercress, coriander, and sweet basil in a hydroponic system. The PGPR inoculation promoted plant growth and increased  $\beta$ -carotene and vitamin C contents as well as oxygen radical absorbance capacity (ORAC) values. Moreover, our data suggest that the effects of PGPR differ depending on the PGPR strain and inoculated plant cultivar.

**Key words:** plant factory, hydroponics, PGPR, growth-promoting effect, lettuce, rucola, spinach, watercress, coriander, sweet basil,  $\beta$ -carotene, vitamin C, ORAC

各種光源などの栽培設備や植物工場用の品種の開発をはじめとした栽培技術の改善および国からの支援によって、植物工場は3回目のブームが到来したとされている。露地栽培と比較して栽培環境を自由に制御できるため、土壌や気候の影響を受けない周年生産が可能のほか、短期間での生育や栄養価の増強などの利点がある。しかしながら、設備費や電力費など生産コストが高く、赤字経営の植物工場も少なくない。また、植物工場において一般的な養液栽培では、養液に侵入した植物病原菌による病害の発生リスクが高いといった懸念もある。

一方、栽培技術の一つとして植物生長促進根圏細菌 (PGPR: Plant Growth Promoting Rhizobacteria)<sup>1)</sup> を用いた生長促進および植物病原菌に対する生物防除が土耕栽培で行われている。しかしながら、土耕栽培では土壌中の在来微生物の影響によって、PGPRの効果が安定しにくいとされる。そこで、養液栽培では在来微生物が少なくPGPRの効果が得やすいという着想に基づき、養液栽培でのPGPRの利用を検討している。これまでに、PGPRの作用機作の一つとして提唱されているエチレン代謝<sup>2)</sup> に関する指標である1-アミノシクロプロパン-1-カルボン酸 (ACC) の資化性<sup>3)</sup> を利用し、土耕栽培したミツバの根圏からPGPR候補菌株を分離し、菌種、生育pHおよびミツバ幼根に対する生長促進効果などの諸特性を調査した後、ミツバおよびサニーレタスの湛液型非循環式水耕において高い生長促進効果を示した菌株を選抜した<sup>4)</sup>。

本報では、植物工場における課題解決の手段として、PGPRを用いた栽培技術を検討するため、湛液型非循環式水耕栽培設備での栽培試験を実施した。PGPRを接種したミツバおよびサニーレタス以外の葉菜類を栽培し、PGPRが葉菜類の生長および栄養成分含量に与える影響を調査したので報告する。

### 実験方法

#### 1. 材料および試験装置

##### 1-1 PGPR菌液

土耕栽培したミツバの根圏から分離したPGPR菌株をトリプチケースソイ寒天培地 (Trypticase Soy Agar: TSA, BBL<sup>TM</sup>) 平板に塗抹し、30℃で2日間培養後、コロニーの成育を確認し、4℃で保存した。使用菌株について表1に示した。

表1 栽培試験に用いた菌株

菌株	菌種
#74	<i>Pantoea agglomerans</i>
#78	<i>Pseudomonas fluorescens</i>
#111	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>
#167	<i>B. amyloliquefaciens</i>

## 1-2 種子

フリルレタス (雪印種苗株式会社), ルッコラ, ホウレンソウ, クレソン, パクチー, スイートバジル (いずれもタキイ種苗株式会社) を用いた。

## 1-3 湛液型非循環式水耕栽培装置

水耕栽培キット '水畑' (株式会社ゼンポー) を温度制御が可能な屋内に設置した。光源は蛍光灯 '高周波点灯専用形蛍光ランプ メロウライン FHF32EX-N-H' (東芝ライテック株式会社) を用いた。

## 1-4 水耕液

OTA ハウス 1 号および OTA ハウス 2 号 (OTA アグリオ株式会社) を用いた。

## 2. 実験方法

### 2-1 接種菌液の調製

各菌株について, TSA 培地の斜面培地上から 1 白金耳を釣菌し, 500  $\mu$ l のりん酸緩衝生理食塩水 (Phosphate Buffered Saline : PBS, 3 M<sup>TM</sup>) に懸濁した。懸濁液 100  $\mu$ l を 7 ml のトリプトケースノイブロス (Trypticase Soy Broth : TSB, BBL<sup>TM</sup>) に接種し, 140 rpm, 16 時間, 30°C で振盪培養した。培養後の菌液 1 ml を 13000 rpm, 5 分間, 4°C で遠心分離して集菌し, 1 ml の PBS で遠心洗浄し, 1 ml の PBS に再懸濁して接種菌液とした。

### 2-2 葉菜類の育苗

栽培に用いたフリルレタス, ルッコラ, ホウレンソウ, クレソン, パクチーおよびスイートバジルは, 水で湿潤させた水耕栽培用スポンジに播種し, 暗所で発芽させた。発芽を確認次第, 蛍光灯 '高周波点灯専用形蛍光ランプ メロウライン FHF32EX-N-H' を用いて緑化させ, OAT ハウス 1 号および OAT ハウス 2 号を重量比 2 : 3 の割合で混合した水耕液 500 ml と接種菌液 1 ml を添加した。光照射は明期が 20°C で 16 時間, 暗期が 15°C で 8 時間とした。PGPR を接種しない対照区には PBS を 1 ml 添加した。菌液接種後は 7 日間育苗し定植に用いた。

### 2-3 生長促進効果評価試験

試料としてフリルレタス, ルッコラ, ホウレンソウ, クレソン, パクチーおよびスイートバジルに PGPR を接種し, 栽培試験に用いた。温度制御可能な室内に 10 L 容の非循環式湛液型の水耕栽培装置 ('水畑') を設置し, OAT ハウス 1 号および OAT ハウス 2 号の A 処方 (pH 6.0, 電気伝導度 (EC : Electric Conductivity) 1.5 ms / cm) の水耕液 10 L で満たした。光源は育苗時と同様に蛍光灯下にて明期が 20°C で 16 時間, 暗期が 15°C で 8 時間とした。水耕液が減少した場合は, A 処方の水耕液を適宜調製して添加し, 収穫後の新鮮重から生長促進効果を評価した。

## 2-4 栄養成分含量評価試験

### 2-4.1 ルッコラの栽培

PGPR が成分含量に与える影響を検討するため, 成分含量測定試験のためルッコラを栽培した。接種菌株は生長促進効果評価試験において, 高い生長促進効果が確認された #78 および #167 菌株を用いた。栽培方法は生長促進効果評価試験と同条件とし, 定植後栽培日数 21, 27 および 32 日で収穫した。

### 2-4.2 凍結乾燥試料調製

ルッコラを試料とし, -80°C で凍結した後, 凍結乾燥機 FDU-2100 (東京理科器械株式会社) で凍結乾燥処理を行った。その後, ミルサー (岩谷産業株式会社) にて 10 秒間  $\times$  3 回 (インターバル 10 秒間) で破碎処理し凍結乾燥粉末を調製した。凍結乾燥粉末を成分含量測定に用いた。

### 2-4.3 $\beta$ -カロテン含量測定

凍結乾燥粉末 0.5 g を 50 ml 容のテフロンチューブに秤量し, 酸化防止剤として 0.1% (w / v) の BHT (2,6-Di-tert-butyl-4-methylphenol) を加えたアセトンを 30 ml 添加し, 室温にて 120 rpm, 3 時間振盪抽出した。4°C にて 10,000 rpm, 10 分間遠心分離し, 上清を回収した。残さに抽出溶媒 10 ml を加えて攪拌・遠心して上清を回収する操作を 2 回繰り返す。上清を回収し 50 ml に定容して  $\beta$ -カロテン測定用試料液を調製した。抽出操作は 2 反復で行った。HPLC 装置は LC-20ADXR システム (株式会社島津製作所), カラムは YMC Carotenoid C30 (粒子径 5  $\mu$ m, サイズ 250 mm  $\times$  内径 4.6 mm, 株式会社ワイエムシー) を用いた。カラム温度は 35°C とし, 移動相は A 液 (酢酸 : メチル tert-ブチルエーテル : 水 : 酢酸アンモニウム = 81 : 15 : 4 : 0.1) および B 液 (酢酸 : メチル tert-ブチルエーテル : 酢酸アンモニウム = 10 : 90 : 0.1) を用い, 流速は毎分 1 ml とした。B 液比率を開始時 : 0%, 10 分 - 14.99 分 : 100%, 15 分 - 20 分 : 0% とするグラジエント条件で測定した。各試料を HPLC 分析し,  $\beta$ -カロテン標準物質で作成した検量線から試料中の  $\beta$ -カロテン含量を算出した。

### 2-4.4 総ポリフェノール含量測定

凍結乾燥粉末 0.5 g を 50 ml 容のテフロンチューブに秤量し, 30 ml の抽出溶媒 (水 : アセトン : メタノール = 1 : 1 : 1) を添加し, 室温にて 120 rpm, 16 時間振盪抽出した。その後, 4°C にて 10,000 rpm, 10 分間遠心分離し, 上清を回収した。残さに抽出溶媒 10 ml を加えて攪拌・遠心して上清を回収する操作を 2 回繰り返す。回収した上清を 50 ml に定容して総ポリフェノール含量試料液を調製した。抽出操作は 2 反復で行った。総ポリフェノール含量は Folin-Ciocalteu 法で測定した。96 穴透明丸底マイクロプレート (NUNCTM) の各ウェルに, 10 倍希釈した試料液を 90  $\mu$ l 入れ, 同量の 0.1 N Folin-Ciocalteu 試薬 (MP Biomedicals<sup>TM</sup>) を添加し, 3 分間室温放置した後, 試料液と同量の 10% 炭酸ナトリウム水溶液を加え, 室温・暗所

で1時間静置後に700 nmの吸光度を測定した。検量線を用い、乾物1 g当たりの没食子酸当量 (GAE; Gallic Acid Equivalent, mg / gDW) に換算した。測定は4反復で行った。

#### 2-4.5 ビタミンC含量測定

凍結乾燥粉末0.5 gを50 ml容のテフロンチューブに秤量し、30 mlの5%メタリン酸水溶液を添加し、室温にて120 rpm, 16時間振盪抽出した。その後、4℃にて10,000 rpm, 10分間遠心分離し、上清を回収した。残さに抽出溶媒10 mlを加えて攪拌・遠心して上清を回収する操作を2回繰り返し、回収した上清を50 mlに定容してビタミンC含量試料液を調製した。抽出操作は2反復で行った。ビタミンC含量はビタミンC定量キット (コスモ・バイオ株式会社) を使用し、ジニトロフェニルヒドラジン法で測定した。10倍希釈した試料液400  $\mu$ lに試薬(1) (酸化剤) を24  $\mu$ l加え、室温にて3分間放置した後、試薬(2) (5%メタリン酸 / 2% SnCl<sub>2</sub>) を140  $\mu$ l添加した。96穴透明丸底マイクロプレート (NUNCTM) の各ウェルに、調製した試料液を80  $\mu$ l入れ、検体および検量線溶液に試薬(3) (ジニトロフェニルヒドラジン溶液) を20  $\mu$ l添加し、37℃, 3時間放置した。85%硫酸を全てのウェルに100  $\mu$ l添加して沈殿を溶解させた後、検体盲検に試薬(3) を20  $\mu$ l添加し、室温で20分放置後530 nmの吸光度を測定した。検量線はビタミンC標準物質を用い、乾物1 g当たりのビタミンC含量 (mg / gDW) を算出した。測定は3反復で行った。

#### 2-4.6 ORAC値測定

抗酸化能の指標としてORAC (Oxygen Radical Absorbance Capacity) 値分析を行った。試料は総ポリフェノール含量試料液を用いた。96穴黒色平底マイクロプレート (NUNCTM) の各ウェルに、10倍希釈した試料液を25  $\mu$ l入れ、100  $\mu$ Mフルオレセイン溶液150  $\mu$ lを添加し、37℃で30分間放置した後、ラジカル発生剤 (AAPH:2,2-azo-bis

(2-aminopropane) dihydrochloride) を装置内で添加させ蛍光値を測定した。検量線を用い、乾物1 g当たりのトロロックス当量 ( $\mu$ mol / gDW) に換算した。測定は4反復で行った。

#### 2-4.7 無機物含量測定

凍結乾燥粉末0.5 gに濃硝酸5 mlを加え、110℃で30分間加熱し、さらに過酸化水素5 mlを加えて再び110℃で30分間加熱分解を行った。加熱後は粗熱が取れるまで放冷し、MilliQ水で50 mlに定容して無機物含量試料液とした。検量線液は、Na, K, Ca, Mg, Al, P, S, Bを含むNaグループおよびFe, Mn, Zn, Cu, Sr, Siを含むFeグループを用いた。検量線液濃度はNaグループが0.1, 1, 10, 50 ppm, Feグループが0.01, 0.1, 1, 10 ppmに調整した。内部標準として、1000 ppmYを0.6%硝酸で10倍希釈し、試料および検量線液に0.3 mlずつ添加した。装置はICP発光分光分析装置ICPE-9000 (株式会社島津製作所) を用い、ガス供給は純度99.95%以上のArガスを使用した。測定条件を高周波パワー1.20 kW, プラズマガス10.0 L / min, 補助ガス0.6 L / min, キャリアガス0.7 L / min, 露光時間15秒間として検量線液および試料を各3回測定し、その平均値を解析に用いた。解析はICPE-9000分析ソフトウェアICPE solutionで行い、試料中の無機物含量を算出した。

### 3. 結果および考察

#### 3-1 生長促進効果評価試験

##### 3-1.1 フリルレタス

PGPRを接種したフリルレタスの生長促進効果を評価した。定植後の栽培日数が28日および30日において収穫し、新鮮重を測定した。栽培28日にて、PGPR非接種の対照区で新鮮重が80g以上となり、収穫適期と考えられた。また、#74菌株で1.3倍、#111菌株で1.2倍に新鮮重が増加し、PGPRによる生長促進効果が見られた (表2)。

表2 PGPR (#74 および #111) を接種したフリルレタスの新鮮重における生長促進効果

菌株	新鮮重 (g)		相対比*	
	28日	39日	28日	39日
対照	83.9 $\pm$ 7.5	167.7 $\pm$ 5.6	—	—
#74	111.7 $\pm$ 4.2	236.9 $\pm$ 6.4	1.3	1.4
#111	103.4 $\pm$ 9.2	170.9 $\pm$ 8.9	1.2	1.0

\* : 各収穫日の対照区に対する相対比

### 3-1.2 ルッコラ

PGPR を接種したルッコラの生長促進効果を評価した。定植後の栽培日数が 18, 23, 28 および 30 日において収穫し、新鮮重を測定した。栽培 28 日において、#74 菌株で 1.5 倍、#78 菌株で 1.6 倍および #167 菌株で 1.4 倍に増加し、生長促進効果が見られた (表 3)。栽培日数 28 日では対照区の新鮮重が 12g 前後であるのに対し、生長促進効果が見られた #74 および #78 菌株では一株あたり 20g 程度に生長し、収穫時期が早まる事が示された。栽培 28 日以外では PGPR による新鮮重の増加効果は小さく、生育段階によって生長促進効果に差がある事が示唆された。また、PGPR 菌株によって生長促進効果の発現時期が異なった。#78 菌株では栽培中・後期に生長が著しいのに対し、

#167 菌株では栽培中期に大きく生長し、PGPR 菌株間で生長促進の作用機作が異なると考えられた。

### 3-1.3 ホウレンソウ

予備試験において、ホウレンソウはルッコラと比較して栽培中・後期になると株間が狭くなり、生長が鈍化する現象が見られた。そこで株間を広げて、PGPR を接種したホウレンソウの栽培試験を再度実施した。定植後栽培日数が 23, 29 および 32 日に収穫し、いずれの収穫においても PGPR による生長促進効果が見られた。#74 菌株では、栽培 29 日で 1.5 倍、#167 菌株では栽培期間を通じて 1.2-1.4 倍の生長促進効果が得られた (表 4)。

表 3 PGPR (#74, #78, #111 および #167) を接種したルッコラの新鮮重における生長促進効果

菌株	新鮮重 (g)				相対比*			
	18 日	23 日	28 日	30 日	18 日	23 日	28 日	30 日
対照	4.2±2.6	12.3±9.9	12.4±8.1	23.3±13.0	—	—	—	—
#74	4.2±3.1	10.8±6.3	18.7±11.8	23.3±16.2	1.0	0.9	1.5	1.0
#78	2.9±1.0	12.1±7.5	19.6±10.0	31.7±16.0	0.7	1.0	1.6	1.4
#111	4.1±2.5	12.5±7.8	13.3±6.5	23.0±11.6	1.0	1.0	1.1	1.0
#167	2.1±0.6	10.3±6.9	16.9±13.4	25.8±19.4	0.5	0.8	1.4	1.1

\* : 各収穫日における対照区新鮮重を 1 としたときの相対値

表 4 PGPR (#74, #78, #111 および #167) を接種したホウレンソウの新鮮重における生長促進効果

菌株	新鮮重 (g)			相対比*		
	23 日	29 日	32 日	23 日	29 日	32 日
対照	32.2±7.0	47.5±26.3	121.2±53.6	—	—	—
#74	35.5±22.7	69.4±30.4	102.5±65.4	1.1	1.5	0.8
#78	40.1±17.2	43.4±15.5	124.0±40.4	1.2	0.9	1.0
#111	28.3±12.9	53.5±33.9	85.7±29.7	0.9	1.1	0.7
#167	38.9±16.0	56.6±18.0	167.2±77.7	1.2	1.2	1.4

\* : 各収穫日における対照区新鮮重を 1 としたときの相対値

### 3-1.4 クレソン

PGPR を接種したクレソンの生長促進効果を評価した。定植後の栽培日数を 14, 21 および 28 日として収穫し、新鮮重を測定した。栽培期間を通じて全ての PGPR 接種区において 1.1-1.6 倍の生長促進効果が見られ、#74 菌株で 1.4 倍 (栽培 21 日)、#78 菌株で 1.6 倍 (栽培 14 および 28 日)、#111 菌株で 1.6 倍 (栽培 14 日) および #167 菌株 1.3 倍 (栽培 21 日) に新鮮重が増加した (表 5)。

ルッコラやホウレンソウでは栽培後期には生長促進効果が弱まる傾向があったが、クレソンは一部抽だいする個体が見られる栽培段階に至っても生長促進効果が確認された。また、ルッコラと同様に PGPR 菌株によって生長促進効果の発現時期が異なる事が示された。

### 3-1.5 パクチー

PGPR を接種したパクチーの生長促進効果を評価した。定植後栽培日数を 20, 24, 26 および 28 日とし、新鮮重を測定した。栽培 20 日では、#167 以外の PGPR 接種区で 1.3-1.4 倍に新鮮重が増加し、栽培 24 日でも同様に、#167 以外の菌株で生長促進効果が見られた (表 6)。栽培 26 および 28 日では #78 および #111 菌株で僅かに新鮮重が増加した。

パクチーでは、栽培 20 日が最も生長促進効果が得られ、栽培が長期化すると PGPR の生長促進効果は弱まると推察された。

表5 PGPR (#74, #78, #111 および #167) を接種したクレソンの新鮮重における生長促進効果

菌株	新鮮重(g)			相対比*		
	14日	21日	28日	14日	21日	28日
対照	4.2	24.7	60.8±7.1	—	—	—
#74	5.2	35.5	75.5±20.7	1.2	1.4	1.2
#78	6.6	29.5	99.2±30.6	1.6	1.2	1.6
#111	6.6	27.8	85.7±27.0	1.6	1.1	1.4
#167	4.1	31.4	69.6±16.4	1.0	1.3	1.1

\* : 各収穫日における対照区新鮮重を1としたときの相対値

表6 PGPR (#74, #78, #111 および #167) を接種したパクチーの新鮮重における生長促進効果

菌株	新鮮重(g)				相対比*			
	20日	24日	26日	28日	20日	24日	26日	28日
対照	3.5±0.7	8.7±2.7	11.1±1.4	18.8±3.8	—	—	—	—
#74	4.7±0.8	9.2±3.3	10.7±0.7	15.0±2.5	1.3	1.1	1.0	0.8
#78	4.6±1.4	9.1±2.7	14.2±3.2	20.0±4.2	1.3	1.1	1.3	1.1
#111	5.0±2.1	11.3±4.6	12.0±7.3	19.2±7.1	1.4	1.3	1.1	1.0
#167	3.4±0.8	7.4±1.9	8.6±3.0	19.4±3.3	1.0	0.9	0.8	1.0

\* : 各収穫日における対照区新鮮重を1としたときの相対値

### 3-1.6 スイートバジル

PGPR を接種したスイートバジルの生長促進効果を評価した。定植後栽培日数を 25, 28 および 32 日とし、新鮮重を測定した。栽培 25 日では PGPR による生長促進効果は見られなかった。栽培 28 日では #78 菌株で 1.3 倍、#167 菌株で 1.5 倍に新鮮重が増加し、栽培 32 日でも同様に新鮮重が #78 菌株で 1.5 倍、#167 菌株で 1.4 倍に増加した(表 7)。#78 および #167 菌株以外でも、栽培 28 日および 32 日で 1.1-1.2 倍に増加した。収穫に十分な草丈があり生長促進効果も見られたことから、定植後栽培日数 28 日以降での収穫が最適と考えられた。

### 3-1.7 まとめ

葉菜類への PGPR による生長促進効果を評価するため、

PGPR4 菌株を接種したフリルレタス、ルッコラ、ホウレンソウ、クレソン、パクチーおよびスイートバジルの栽培試験を実施した。いずれの栽培試験でも生長促進効果が見られた。それぞれ最大で、フリルレタスでは 1.4 倍(#78 菌株, 栽培 28 日)、ルッコラでは 1.6 倍(#78 菌株, 栽培 28 日)、ホウレンソウでは 1.5 倍(#74 菌株, 栽培 29 日)、クレソンでは 1.6 倍(#78 および #111 菌株, 栽培 14 日)、パクチーでは 1.4 倍(#111 菌株, 栽培 20 日)、スイートバジルでは 1.5 倍(#167 菌株, 栽培 28 日および #78 菌株, 栽培 32 日)に新鮮重が増加した。また、同一の植物においても、生長段階や接種菌株によって効果が異なり、菌株によって作用機作が異なると推察されたため、栽培条件などを検討し、効果の精査が必要である。

表7 PGPR (#74, #78, #111 および #167) を接種したスイートバジルの新鮮重における生長促進効果

菌株	新鮮重(g)			相対比*		
	25日	28日	32日	25日	28日	32日
対照	3.8±0.6	4.9±0.8	7.0±1.0	—	—	—
#74	3.0±0.7	6.1±1.5	7.5±1.1	0.8	1.2	1.1
#78	3.8±1.0	6.2±1.2	10.3±2.2	1.0	1.3	1.5
#111	3.6±0.9	5.3±1.0	7.4±1.7	1.0	1.1	1.1
#167	3.3±0.8	7.5±1.9	9.7±2.3	0.9	1.5	1.4

\* : 各収穫日における対照区新鮮重を1としたときの相対値

### 3-2 栄養成分含量評価試験

#### 3-2.1 $\beta$ -カロテン

ルッコラの凍結乾燥粉末 0.5 g から、 $\beta$ -カロテンを抽出し含量を計測した。PGPR 非接種の対照区と比較して、栽培 27 日において #78 菌株で 1.1 倍、#167 菌株で 1.2 倍に  $\beta$ -カロテン含量が増加した (図 1)。栽培 27 日では、対照区で一株あたりの新鮮重が 20 g 前後と収穫に十分であり、それ以降は新鮮重の増加はほぼ見られなかったことから、本栽培設備における栽培期間として適していると考えられた。 $\beta$ -カロテンなどの栄養成分は新鮮重の増加に伴い減少するとされる<sup>5)</sup>。本栽培試験においても同様に、新鮮重の小さい栽培初期では  $\beta$ -カロテン含量が高く、新鮮重の増加に伴い減少傾向を示したが、PGPR 接種区では減少量が小さいため相対的に含量が増加したと推察された。

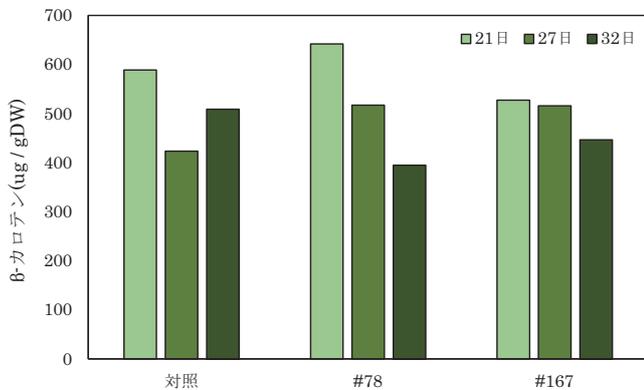


図 1 PGPR (#74 および #167 菌株) を接種したルッコラにおける  $\beta$ -カロテン含量

#### 3-2.2 総ポリフェノール

ルッコラの凍結乾燥粉末 0.5 g から、総ポリフェノールを抽出し含量を計測した。生長促進効果の有無に関わらず、総ポリフェノール含量は増加せず、栽培期間を通じて総ポリフェノール含量に大きな変化は見られなかった (図 2)。総ポリフェノールでは、 $\beta$ -カロテンで見られた新鮮重の増加による成分含量の減少および PGPR による含量増強の影響は小さいと推察された。

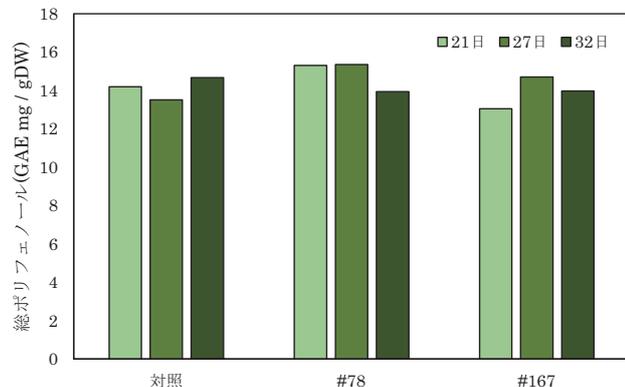


図 2 PGPR (#74 および #167 菌株) を接種したルッコラにおける総ポリフェノール含量

#### 3-2.3 ビタミン C

ルッコラの凍結乾燥粉末 0.5 g から、ビタミン C を抽出し含量を計測した。栽培 27 日において、#78 菌株では 1.4 倍、#167 菌株では 1.3 倍のビタミン C 含量の増加が見られた (図 3)。

$\beta$ -カロテン含量と同様に新鮮重の増加に伴って、ビタミン C 含量も減少する事が示唆された。また、新鮮重が短期間で急激に増加した栽培 27 日では、ビタミン C 含量が前後の栽培期間と比較して低下するが、PGPR 接種によってビタミン C 含量の減少が抑制され、相対的に増加したと推察された。

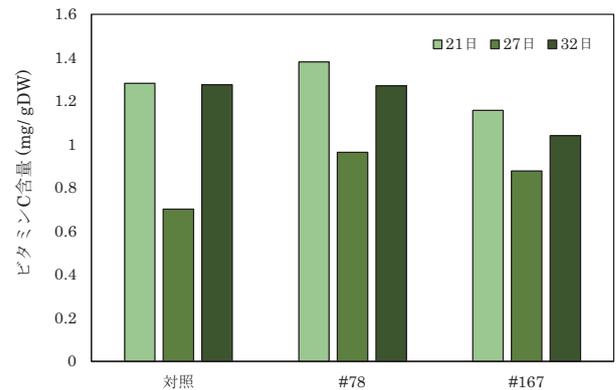


図 3 PGPR (#74 および #167 菌株) を接種したルッコラにおけるビタミン C 含量

#### 3-2.4 ORAC

総ポリフェノール含量分析用抽出液を用いて ORAC 値を測定した。栽培 27 日において、#78 菌株で 1.2 倍、#167 菌株で 1.1 倍に増加した (図 4)。ビタミン C と同様に、新鮮重が急激に増加する生育段階では ORAC 値は減少するが、PGPR 接種によって減少量が抑えられる事が示唆された。

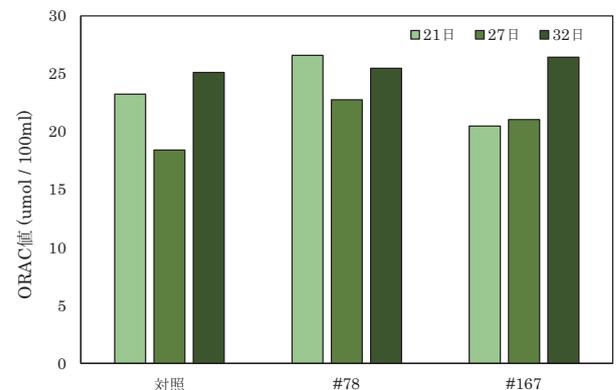


図 4 PGPR (#74 および #167 菌株) を接種したルッコラにおける ORAC 値

#### 3-2.5 無機物

ルッコラ凍結乾燥粉末 0.5 g から発光分析装置を用いて、含まれる無機物を分析した。PGPR 菌株接種による

含量の増加は見られなかった (図省略). ルッコラでは, PGPR による無機物含量への影響は小さいと推察された.

### 3-2.6 まとめ

定植後栽培日数 27 日のルッコラの栄養成分含量を分析した. PGPR 非接種の対照区と比較して  $\beta$ -カロテン含量が 1.2 倍 (#167), ビタミン C が 1.4 倍 (#78), ORAC 値が 1.2 倍 (#78) に増加した. 総ポリフェノールおよび無機物では PGPR 接種による成分含量の増加は見られなかった. PGPR 菌株および栄養成分によって効果が異なると推察された.

## 4. 参考文献

- 1) Glick, B.R : The enhancement of plant growth by free-living bacteria. *Can. J. Microbiol.* 41, 109-117 (1995).
- 2) Glick, B.R., D.M. Penrose and Li, J. : A model for the lowering of plant ethylene concentrations by plant growth promoting bacteria, *J. Theor. Biol.*, 190, 63-68 (1998).
- 3) Zafar-Ul-Hye, M., Z.A. Zahir, Z. A. and Shahzad, S. M. : Preliminary screening of rhizobacteria containing ACC-deaminase for promoting growth of lentil seedlings under axenic condition, *Pak. J. Bot.*, 39(5), 1725-1738 (2007).
- 4) 青木俊介, 遠田昌人 : 植物生長促進細菌を用いたミツバおよびサニーレタスの水耕栽培, 園芸学会平成 27 年度春季大会
- 5) 小山初枝, 篠原温, 伊東正 : 気温および光強度がハウレンソウ並びにサラダナの  $\beta$ -カロテン濃度に及ぼす影響, *園藝學會雜誌* 68(2), 414-420 (1999)