

養液栽培における植物生長促進根圏細菌の利用

青木 俊介, 遠田 昌人

Application of Plant Growth Promoting Rhizobacteria to Hydroponics

Shunsuke Aoki and Atsuhito Enda

Hydroponics at plant factories have issues such as costs of cultivation and plant disease. While plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) present encourage beneficial effects on plant growth, suppress disease-causing microbes and accelerate nutrient availability and assimilation. Thus, it was supposed that application of PGPR to hydroponics could improve the issues on hydroponics.

Some of PGPR strains selected and isolated from commercialized product promoted growth of honewort, i.e. mitsuba (*Cryptotaenia canadensis* subsp. *japonica*). Then, PGPR-inoculated honewort was analyzed in taste, content of mineral salts and flavor.

The taste of honewort inoculated PGPR was similar to honewort cultivated on soil at taste sensing system analysis. The content of magnesium and sodium increased in samples of which saltiness increased at taste sensing system analysis. The concentration of β -myrcene as one of flavor on honewort increased with PGPR inoculation.

Consequently, it was suggested that PGPR might change taste of vegetables and the content of mineral salts and flavor component.

Key words: plant factory, vegetables, hydroponics, plant growth promoting rhizobacteria, plant disease, taste, flavor, mineral salts

植物工場による作物生産は、従来の農業とは異なり、栽培環境としての農地を必要としないため、参入がしやすく、産業としても多方面からの注目を集めている。また、生産物の安全・安心や高付加価値化を提供する栽培システムを構築できる可能性があり、今後の発展が期待できる分野と考えられている。

一般に植物工場は太陽光利用型と人工光利用型植物工場とに大別されるが、ともに養液栽培が主に用いられている。養液栽培は、土耕栽培と比較して栽培期間が短く安定して周年生産が可能であるが、栽培設備の初期投資や電力費など生産コストが高いほか、養液に侵入した植物病原菌の蔓延による病害発生リスクが高い、収穫物の食味・香味が弱い等の課題があり、潜在的な食中毒リスクも懸念される。

一方、土耕栽培では、低環境負荷技術の一つとして植物生長促進根圏細菌 (Plant Growth Promoting Rhizobacteria; PGPR) を用いた生長促進作用および植物病原菌に対する拮抗作用を中心とした病害防除技術が研究されているが、在来微生物の影響により効果が安定しにくいとされる。

在来微生物が少ない植物工場の養液栽培では、接種した PGPR が栽培対象の根圏に定着しやすいことが推測され、これにより安定した生長促進効果および病害防除効果が期待された。また、土耕栽培品の食味・香味には土壌の根圏微生物が要因の一つであると考えられ、根圏微生物の一つ

でもある PGPR 接種により食味・香味が増強されるのではないかと考えた。

市場品の殆どが水耕栽培であるミツバを実験植物として、種々の植物で PGPR として報告のある菌株や市販微生物防除剤に含まれる菌株のなかから、生長促進効果を示すものを選定し、それらを用いた試験栽培品の機器分析結果から、食味・香味などが変化しうる可能性が示唆されたので報告する。

実験方法

1. 材料および試験装置

1-1 ミツバ種子

関西白茎糸ミツバの種子 (タキイ種苗) を、減圧下で塩化ベンザルコニウム 1.0% (w/v) 溶液中で 5 分間攪拌後、pH6.0 の次亜塩素酸 Na (有効塩素濃度 1.0% (w/v)) 溶液中で 5 分間攪拌して種子滅菌し、4°C で保存中のものを用いた。

1-2 植物栽培用の密閉容器

インキティッシュ (バイオメディカルサイエンス) を用いた。天井部分に直径 5 mm の孔を開け、そこに通気シールとしてミリシール (日本ミリポア) を貼った (図 1)。



図1 インキティッシュおよびミリシール (赤枠内)

1-3 供試菌株

種々の植物で生長促進効果が報告されている PGPR の

菌株を菌株保存機関より入手した。また、微生物が粉末剤に固定された市販微生物殺菌剤より、菌株を以下のように分離した。粉末1gを9mlのリン酸緩衝生理食塩水(Phosphate Buffered Saline: PBS, 栄研化学)に懸濁し、この段階希釈液をトリプチケースソイ寒天培地(Trypticase Soy Agar: TSA, BBL)に塗抹し、30℃で2日培養した。生育したコロニーを釣菌し、菌株保存機関より入手した菌株と併せて、普通寒天培地(栄研化学)の斜面培地およびマイクロバンク(Pro-Lab Diagnostics)を用い、それぞれ4℃および-80℃で保存した。おのおの供試菌株について表1に示した。

表1 供試菌株

目的	菌種	菌株番号	BSL	備考
生長促進	<i>Azospirillum brasilense</i>	ATCC 29710	1	インドール酢酸 (IAA) 産生株 小麦で生長促進効果 ¹⁾
	<i>A. brasilense</i>	NBRC 102289 ^T	1	基準株
	<i>Paenibacillus polymyxa</i>	NBRC 15309 ^T	1	基準株, IAA 産生株 ²⁾
拮抗作用	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	NBRC 14160 ^T	1	pyoverdine(siderophore)産生株 ³⁾
	<i>P. fluorescens</i>	NBRC 15833	1	thioquinolobactin(siderophore) pyoverdine 産生株 ⁴⁾
	<i>P. fluorescens</i>	G7090	1	微生物殺菌剤ベジキーパー (セントラル硝子) から分離
	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	BAM1	1	微生物殺菌剤ボトキラー
	<i>B. amyloliquefaciens</i>	BAM2	1	(出光興産) から分離
	<i>B. amyloliquefaciens</i>	BAM3	1	

1-4 市販ミツバ

市場に流通している主なミツバである水耕栽培品の糸ミツバ(大阪府産, 熊本県産)と、高級品として少量流通している土耕栽培品の根ミツバおよび切ミツバ(千葉県産)を用いた。

1-5 植物栽培液

標準濃度の園芸試験処方⁵⁾の養液を用いた(表2)。

表2 園芸試験処方

化合物	mg / L
MgSO ₄ ·7H ₂ O	492
Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	944
KNO ₃	808
NH ₄ H ₂ PO ₄	152
NaFeEDTA	24
H ₃ BO ₄	3
MnSO ₄ ·4~6H ₂ O	2
ZnSO ₄ ·7H ₂ O	0.22
CuSO ₄ ·5H ₂ O	0.05
Na ₂ MoO ₄	0.02

1N HClでpH6.0に調整

2. 実験方法

2-1 接種菌液の調製

表1の各菌株について、普通寒天培地の斜面培地上の集落から1白金耳を釣菌し、500 µlのリン酸緩衝生理食塩水(Phosphate Buffered Saline; PBS, 栄研化学)に懸濁した。懸濁液100 µlを7 mlのトリプトケースソイブロス(Trypticase Soy Broth; TSB, BBL)に接種し、30°C, 140 rpm, 16時間振盪培養した。培養後の菌液1 mlを4°C, 9000 rpm, 15分間遠心して集菌し、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 ミツバ幼植物における生長促進評価試験

表2の園芸試験処方寒天培地(寒天濃度0.7% (w/v))を固化したシャーレにミツバ滅菌種子を18粒ずつ播種した後、上記の菌液を種子あたり 10^6 CFUの菌数となるよう10 µlずつ滴下して接種した。対照区はPBS 10 µlを滴下した。無菌環境下で自然乾燥させた後、シャーレを垂直に立て、照度50~1,000 lxの自然光照射下で、ミツバの発芽適温20°Cで10日間培養した後、幼植物長(茎長+根長)を測定した。試験は3反復で行った。

2-3 密閉容器内でのミツバ栽培における生長促進評価試験

表2に示した園芸試験処方の養液100 ml, パーミキュライト30 gを充填した栽培容器を121°Cで15分間、オートクレーブ滅菌した。その後、パーミキュライトの表面にミツバ滅菌種子を9粒播種し、上記の菌液を種子あたり 10^6 CFUの菌数となるよう10 µlずつ滴下して接種した。対照区はPBS 10 µlを滴下した。無菌環境下で自然乾燥させた後、照度15,000 lx(16時間照射/日)20°C, 湿度80%に設定した人工気象器内で40日間栽培した。栽培後のミツバの地上部および地下部の長さ、重量を測定した。試験は3反復で行った。

2-4 ミツバ部位別の付着菌数計測

2-3の各試験区について、栽培40日目における、パーミキュライト、根部および地上部各1 gあたりの付着菌数を計測した。パーミキュライトは根部付近から0.1 gを採取してPBSに懸濁し、根部および地上部については各々0.1 gを採取してペッスルで破碎処理した後にPBSに懸濁した。各懸濁液をTSAに塗抹して30°Cで2日間培養し、生育したコロニー数を計数した。

2-5 分析用のミツバ試料の栽培

栽培方法は2-3と同様とし、栽培条件は照度12,000 lx, 20°C, 湿度60%で栽培1回目は1日あたりの照射時間を16時間とし、2回目は12時間で行った。栽培期間は、栽培1回目では40日間、2回目では40日間から最長78日間まで栽培した。栽培した試料は、食味測定、無機塩測定および揮発性成分の分析用試料として用いた。

2-6 味覚認識装置を用いたミツバの食味測定

2-5において、栽培1回目および2回目で栽培したミツバを収穫し、地下部を切除して地上部を水道水で十分に水洗し、滅菌水でリンスした。地上部新鮮重の9倍量の滅菌水を加え、ホモジナイズカップを用い氷冷しながら7,000 rpm, 2分間破碎した後、ナイロンメッシュでろ過した。ろ液を滅菌水で最終的に25倍になるよう希釈して試料液とした。菌株非接種の対照区を基準(測定結果の図の原点)として、味覚認識装置SA402B(インテリジェントセンサーテクノロジー)を用い、先味の「旨味」、「塩味」、「酸味」、「苦味雑味」および「渋味刺激」を、後味の「旨味コク」、「苦味」および「渋味」を測定項目として測定した。

2-7 ICP発光分析装置を用いたミツバの無機塩測定

2-5において、栽培2回目で48日間栽培したミツバを収穫し、地下部は切除して地上部を水道水で十分に水洗し、滅菌水でリンスした。その後、地上部に濃硝酸を5 ml加え、110°C, 30分加熱し、有機物を分解した。更に、過酸化水素水を5 ml添加し、110°C, 30分加熱した。放冷後、超純水で50 mlにメスアップし、内部標準としてイットリウムを終濃度2 ppmとなるように添加したものを試料液とし、ICP発光分析装置ICPE-9000(島津製作所)で無機塩を測定した。

2-8 GC-MSを用いたミツバの揮発性成分分析

市販ミツバの地上部を約1.5 cm幅に細断したものを試料として、自動ガス濃縮装置Entech 7100A(Entech Instruments Inc.)で200 mlのヘッドスペースガスを濃縮しAgilent 6890/5973GCMSシステム(Agilent Technologies)で分析した。同時にスニッフィングを行い、評価対象とする香気成分を選定した。

また、2-5と同条件で54日間栽培したミツバを収穫し、地下部は切除して地上部を水道水で十分に水洗し、滅菌水でリンスした。その後、地上部を約1.5 cm幅に細断し、ジエチルエーテルを20 ml, シクロヘキサナール(内部標準)を50 µg添加して16時間静置、抽出した。ジエチルエーテル画分をゲデルナ・ダニッシュ濃縮法でおよそ200 µlに濃縮し、JMS-T100GC V GCMSシステム(JEOL)で抽出成分を分析した。

結果および考察

1. ミツバ幼植物における生長促進評価試験

PGPRとして報告のある菌種の菌株を滅菌したミツバ種子に接種して培養し、ミツバ幼植物に対する生長促進効果を評価した。3反復の試験の結果を図2に示したが、*B. amyloliquefaciens* BAM1~BAM3接種区では幼植物長が対照区よりも長くなる傾向が見られた。特にBAM2では31%, 有意水準5%で増加した。本菌株は植物病原菌に対する生物防除剤として販売されているボトキラーの構成菌で、野菜類に対する生長促進効果については言及されて

いないが、今回の試験でミツバに対する生長促進効果があることが明らかになった。
一方で、コムギの種子に接種して栽培すると葉重量が対

照より 50% 増加したとの報告がある *A. brasilense* ATCC 29710¹⁾ では、ミツバに対する生長促進効果が認められなかった。

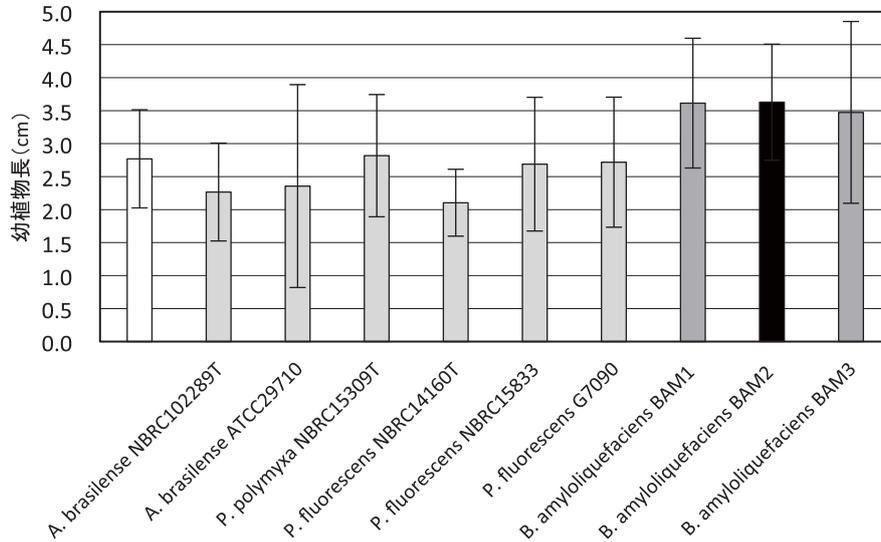


図2 ミツバ幼植物に対する伸長促進効果 (幼植物長)

2. 密閉容器内でのミツバ栽培における生長促進評価試験

ミツバ滅菌種子1粒あたりに各菌株を 10^6 CFU接種し、密閉容器内で40日間栽培したところ、菌株を接種した全ての試験区で根部長さおよび重量が増加する傾向が認められた(図3-図5)。BAM2菌株を接種した試験区では、地上部長が37%、有意水準5%で増加し(図4)、重量が56%、有意水準10%で増加した(図5)。*P. polymyxa*

NBRC 15309も根部長が30%、有意水準5%で増加したが(図4)、3反復の試験で安定して生長促進効果を示したのはBAM2のみであった。

以上の結果より、幼植物および栽培過程においても安定した生長促進効果が認められたBAM2を以後の試験の陽性対照として用いることとした。



対照区



B. amyloliquefaciens BAM2 接種区

図3 40日栽培後のミツバ

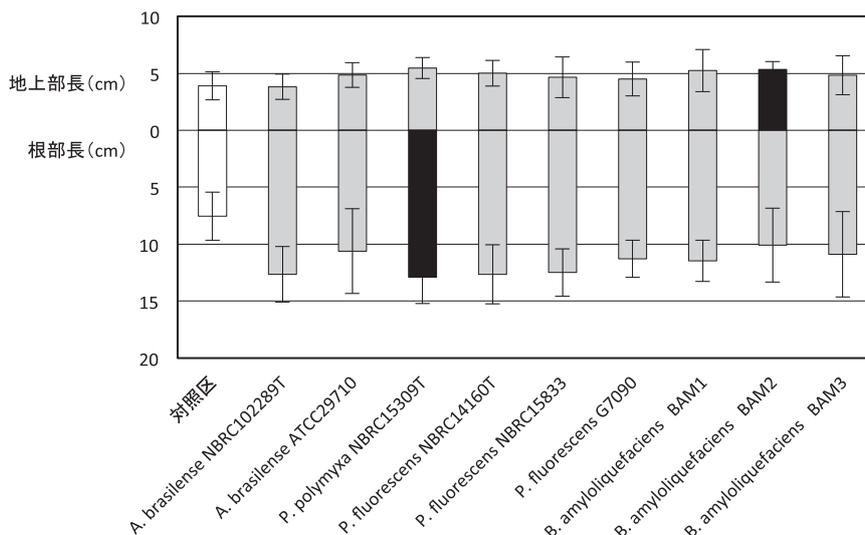


図4 ミツバ地上部長および根部長における接種の生長促進効果

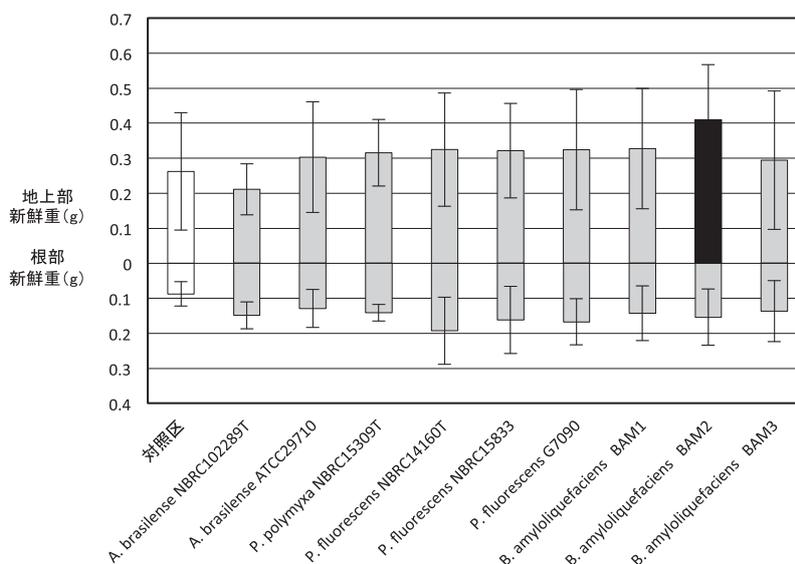


図5 ミツバ地上部新鮮重および根部新鮮重における接種の生長促進効果

3. ミツバ部位別の付着菌数計測

ミツバ滅菌種子1粒あたりに各菌株を 10^6 CFU接種し、40日間栽培した後、根部付近のパーミキュライト、根部および地上部1gあたりの付着生菌数を計測した(図6)。対照区ではいずれの部位でも生菌が認められず、無菌状態を維持していた。接種区では、各部位1gあたり 10^5 – $10^{2.5}$ CFUの付着生菌数であった。ミツバの栽培に用いた園芸試験処方(表2)には炭素源は含まれていないため、ミツバから浸出した有機化合物を炭素源として利用して生育したと思われる。また、生長促進効果を認めたBAM2接種区と比較して菌数が同程度であった*A. brasilense* ATCC 29710や、多かった*P. fluorescens* NBRC 15833接種

区では生育促進効果が認められず、生長促進を示すのはBAM2など特定の菌株であることが示された。また、いずれの試験区でも地上部の菌数は市販の水耕栽培品と同等であり、雑菌が存在しない条件でも過度には増殖しなかった。BAM2の場合においては、ミツバ1株の地上部の平均重量は0.41g、根部の平均重量は0.15gであったため、1株あたりの菌数は計算上 10^4 CFU/0.56gとなる。種子に接種した 10^6 CFUの菌のうちいくらかはパーミキュライト全体に拡散したと思われるが、接種してから40日後も一定の菌数を認め、密閉容器内の栽培ではミツバ植物体に定着することが認められた。

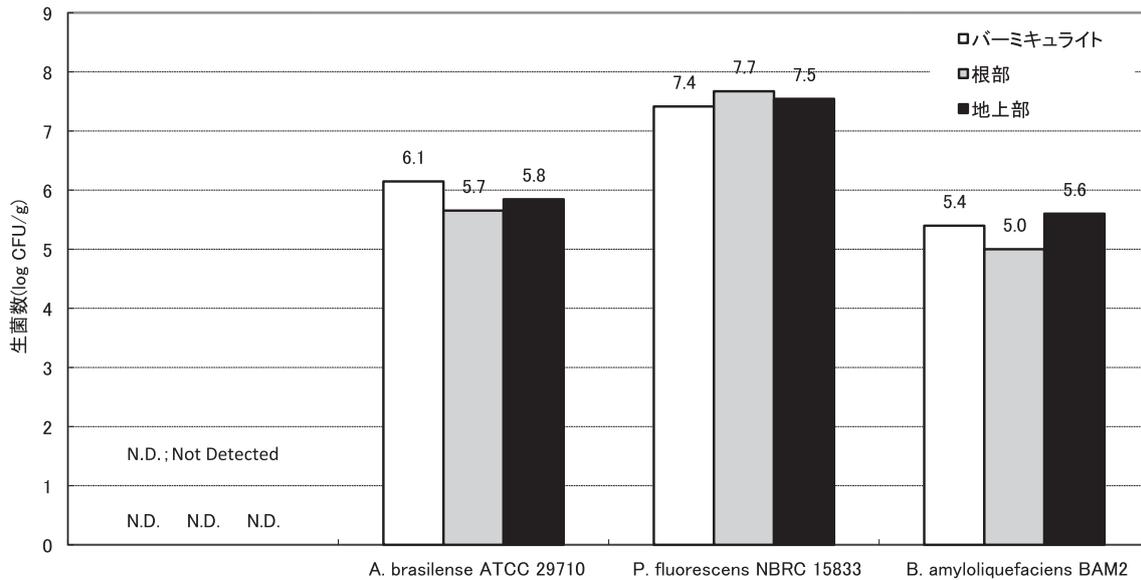


図6 40日栽培後ミツバの根部付近パーミキュライト、根部および地上部の付着生菌数

4. 味覚認識装置を用いたミツバの食味測定

表3および表4にPGPRを接種して40日間栽培したミツバの味覚認識装置での食味測定値を示した。

栽培1回目(表3)ではBAM2および*A. brasilense* ATCC 29710で塩味が顕著に増加した。

照明の照射時間を16時間から12時間へ4時間短くした栽培2回目(表4)では、生長促進効果が栽培1回目より低下し、BAM2でのみ生長促進が認められた。また、いずれの試験区でも塩味および苦味雑味が顕著に低下した。塩味は基本的に無機塩に対する電位応答であり、ミツバの

生長低下に伴う無機塩含量の減少と関連していると思われる。苦味雑味は苦味物質に対する電位応答であるが、苦味物質はアルカロイド類など多岐に渡るため、現時点では関与する物質は不明である。また、照射時間低下に伴ってミツバの光合成量が低下し、根圏から排出され、PGPRの栄養源となる各種有機物の量が減少していたと考えられるが、BAM2は生長促進効果を発揮できており、栽培環境に左右されにくい優れたPGPRといえる。

以上より、PGPR接種栽培によって食味が変化する可能性が示唆された。

表3 生長促進効果および食味測定結果
栽培1回目(対照区を基準として値は0)

試料	生長促進 (新鮮重 相対比)	食味測定結果							
		酸味	苦味 雑味	渋味 刺激	旨味	塩味	苦味	渋味	旨味 コク
<i>A. brasilense</i> (ATCC 29710)	1.15	0.52	-0.25	-0.43	-0.13	1.59	-0.07	0.07	-0.21
<i>B. amyloliquefaciens</i> (BAM2)	1.56	-0.17	-0.32	-0.55	0.14	2.40	-0.12	0.03	-0.02
<i>P. polymyxa</i> (NBRC 15309 ^T)	1.20	1.30	0.02	-0.10	-0.19	-0.33	0.10	0.05	-0.36
<i>P. fluorescens</i> (NBRC 15833)	1.23	0.14	-0.01	-0.30	-0.16	1.46	0.03	0.07	-0.04

表4 生長促進効果および食味測定結果
栽培2回目(対照区を基準として値は0)

試料	生長促進 (新鮮重 相対比)	酸味	苦味 雑味	渋味 刺激	旨味	塩味	苦味	渋味	旨味 コク
<i>A. brasilense</i> (ATCC 29710)	0.80	0.07	-1.58	-0.13	-0.08	-0.63	-0.91	0.03	0.02
<i>B. amyloliquefaciens</i> (BAM2)	1.39	-0.07	-1.59	-0.19	-0.11	0.51	-0.81	0.03	0.03
<i>P. polymyxa</i> (NBRC 15309T)	0.86	-0.37	-1.73	-0.19	0.09	0.58	-0.88	0.02	0.10
<i>P. fluorescens</i> (NBRC 15833)	1.02	0.46	-1.83	-0.32	-0.18	0.41	-0.95	0.03	0.03

次に、PGPRを接種して水耕栽培で増強したいミツバの食味を設定するため、市販ミツバと、土耕栽培での糸ミツバと同程度の期間(78日間)栽培した対照区およびBAM2接種区の食味を測定、比較した。基準は菌株非接種の対照区とした。

その結果、対照区および市販水耕糸ミツバ2種類は、塩味以外では差が認められず、比較的近い食味であった(表5)。高級品とされる根ミツバでは渋味刺激が高い一方で塩味が低く、同じく高級品である切ミツバでは苦味雑味が高い一方で渋味刺激および塩味が低かった。BAM2接種区では酸味、苦味雑味および渋味刺激が増加し、塩味は低

下し、酸味以外は根ミツバと切ミツバの特徴を合わせた食味となった(図7)。

一般に、水耕栽培では土耕栽培と比較して、野菜類、特にミツバ・ネギ等の食味・香味が薄くなることが経験的に知られているが、水耕糸ミツバでは土耕栽培品に特徴的な苦味雑味および渋味刺激が少ないため食味が薄くなっていると考えている。これらを付与できれば食味に優れた水耕糸ミツバの栽培が可能になると思われる。他の野菜類ではこれらの食味は好ましいものではないと思われるが、ハーブの一種であるミツバでは特徴的な食味と思われ、以後の栽培試験における評価項目とした。

表5 市販ミツバおよび栽培ミツバの食味測定結果

試料	酸味	苦味 雑味	渋味 刺激	旨味	塩味	苦味	渋味	旨味 コク
糸ミツバ(1)	-0.83	-0.36	-0.26	0.57	2.85	-0.14	0.00	-0.15
糸ミツバ(2)	0.69	-0.26	-0.23	-0.01	1.42	0.15	0.02	-0.22
根ミツバ	0.53	-0.01	0.97	0.29	-6.42	0.04	0.09	-0.16
切ミツバ	-0.87	1.02	-2.24	1.23	-22.70	0.20	-0.19	-0.35
<i>B. amyloliquefaciens</i> (BAM2)	1.80	1.10	1.80	-0.47	-8.54	0.07	0.01	-0.24

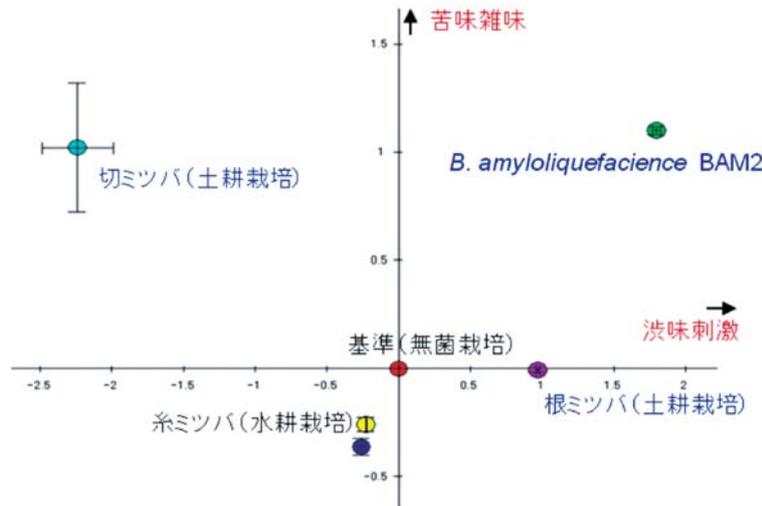


図7 市販ミツバおよび栽培ミツバの食味測定結果 (渋味雑味および渋味刺激)

5. ICP 発光分析装置を用いたミツバの無機塩測定

密閉容器内で48日間栽培した対照区およびBAM2接種区の地上部(それぞれ0.54 g, 0.33 g)を試料として, 含まれる無機塩を分析した. その結果, 各無機塩の含量は食品成分表⁶⁾の値と比較して大きな差は見られなかったが, BAM2接種区では対照区と比較してMgおよびNaが

各々16%および233%増加し, Pが54%減少していた(表6). BAM2の40日間栽培品では味覚認識装置での測定で塩味が増加しており(表4), これにMgおよびNaの増加が関与していると思われる. また, PGPR菌株は, 直接的または間接的にこれらの吸収を促進したと推測された.

表6 各無機塩含量の分析結果 (mg/ミツバ1g)

試料	Ca	Fe	K	Mg	Mn	Na	P
対照区	0.613	0.009	6.806	0.259	0.006	0.003	0.613
<i>B. amyloliquefaciens</i> (BAM2)	0.556	0.010	6.833	0.300	0.006	0.010	0.283
糸ミツバ 葉・生 ⁶⁾	0.470	0.009	5.000	0.210	0.004	0.003	0.470

6. GC-MSを用いたミツバの揮発性成分分析

市販ミツバの揮発成分をヘッドスペースガス濃縮法でGC-MS分析するとともにスニフイングを行った. いずれのミツバにおいても, 匂いを感じた物質として α -pinene, β -pinene, β -myrceneなどを検出し(データ省略), おおのミツバの香味成分と思われた.

これとは別に, 54日間栽培した対照区, BAM2および*P. polymyxa* NBRC 15309^Tの地上部(それぞれ0.6 g, 1.0 g, 0.8 g)を試料として, ジエチルエーテル溶剤抽出法で

抽出した全揮発成分をGC-MS分析した. 各試験区とも, 約30個のピークを検出し, ミツバの香味成分と思われた β -myrceneおよび β -pineneを同定した. また, トマトなどで昆虫忌避物質とされる β -farnesene⁷⁾を推定した. β -pineneの濃度は対照区で最も高いが, β -myrceneおよび β -farneseneの濃度はPGPR接種で高くなる傾向が見られ(表7), PGPR接種により香气成分の含量が変化する可能性が示唆された.

表7 ミツバ揮発成分の分析結果 (ppm, 平均値)

試料	β -pinene	β -myrcene	β -farnesene
対照区	28.1	9.1	161.4
<i>B. amyloliquefaciens</i> (BAM2)	13.6	10.1	184.2
<i>P. polymyxa</i> 15309 ^T	18.5	14.3	311.2

要約

植物工場の水耕栽培において、植物生長促進根圏細菌 (Plant Growth Promoting Rhizobacteria: PGPR) を用い、水耕栽培の課題である栽培コスト、病害リスクおよび食味・香味を改善する栽培法の開発を目的とする。本報では、ミツバに生長促進効果を示す PGPR を市販菌株から選定し、PGPR 接種で栽培した試験栽培品について、食味・香味および無機塩含量を機器分析で評価した。

食味については、市販の水耕栽培糸ミツバおよび土耕栽培根/切ミツバの食味を味覚認識装置で測定したところ、水耕栽培ミツバは、土耕栽培ミツバと比較して苦味雑味および渋味刺激が低かった。これらを増強できれば、食味に優れた水耕ミツバが栽培できると思われ、以後の栽培試験での評価項目とした。また、PGPR 接種栽培によって、食味が変化しうる可能性が示唆された。無機塩含量について、塩味が増加した試験区では Mg および Na の含量が増加しており、PGPR がこれらの吸収を促進したと思われた。

香味については、ヘッドスペースガス濃縮法での GC-MS 分析および匂い嗅ぎ評価で α -pinene, β -myrcene, β -pinene の香りを感じた。また、PGPR 接種により、いくつかの成分の濃度が増加する傾向が見られ、香氣成分含量が変化しうる可能性が示唆された。

文献

- 1) Bashan, Y., Significance of timing and level of inoculation with rhizosphere bacteria on wheat plants. *Soil Biol. Biochem.*, **18**, 297-301 (1986).
- 2) Phi, Quyet-Tien, Yu-Mi Park, Keyung-Jo Seoul, Choong-Min Ryu, Seung-Hwan Park, Jong-Guk Kim and Sa-Youl Ghim, Assessment of Root-Associated *Paenibacillus polymyxa* Groups on Growth Promotion and Induced Systemic Resistance in Pepper, *J. Microbiol. Biotechnol.*, **20**(12), 1605-1613 (2010).
- 3) Philson, S. B. and M. Llina's, Siderochromes from *Pseudomonas fluorescens*. I. Isolation and characterization, *J. Biol. Chem.*, **257**, 8081-8085 (1982).
- 4) Gaballa, A., Koedam, N. and Cornelis, P., A cytochrome c biogenesis gene involved in pyoverdine production in *Pseudomonas fluorescens* ATCC 17400, *Mol Microbiol.*, **21**(4), 777-85 (1996).
- 5) 養液栽培研究会：養液栽培マニュアル 21, 第 3 版 (誠文堂新光社, 東京), 154-159, (2001).
- 6) 香川芳子：五訂補強食品成分表 2010 資料編, 第 1 版 (女子栄養大学出版部, 東京), 82-83, (2009).
- 7) Ave D. A., Gregory, P., Tingey, W. M.: Aphid repellent sesquiterpenes in glandular trichomes of *Solanum berthaultii* and *S. tuberosum*, *Entomologia Experimentalis et Applicata*, **44**, 131-138, (1987).