

蔬菜栽培における紅色非硫黄細菌の利用に関する研究

**Study on the purple non-sulfur bacteria utilization in
vegetable cultivation**

近藤謙介

2005

鳥取大学大学院連合農学研究科

配属：鳥取大学

目 次

第 1 章	緒論	1
第 2 章	紅色非硫黄細菌 (<i>Rhodobacter sphaeroides</i>) およびその培養液がイネ幼植物の生育と無機成分含量に及ぼす影響	8
	緒言	8
	材料および方法	9
	結果	18
	考察	28
	摘要	33
第 3 章	紅色非硫黄細菌 (<i>Rhodobacter sphaeroides</i>) 施用が蔬菜の生育と品質に及ぼす影響	35
	緒言	35
第 1 節	紅色非硫黄細菌 (<i>Rhodobacter sphaeroides</i>) の施用がハウレンソウとコマツナの生育と品質に及ぼす影響	36
	材料および方法	36
	結果	39
	考察	48
	摘要	51
第 2 節	紅色非硫黄細菌 (<i>Rhodobacter sphaeroides</i>) の施用がメロンとトマトの生育と品質に及ぼす影響	53
	材料および方法	53
	実験 1. メロンの生育と果実品質に及ぼす影響	53
	実験 2. トマトの果実品質に及ぼす影響	56
	結果	58
	実験 1. メロンの生育と果実品質に及ぼす影響	58
	実験 2. トマトの果実品質に及ぼす影響	66
	考察	71
	実験 1. メロンの生育と果実品質に及ぼす影響	71
	実験 2. トマトの果実品質に及ぼす影響	73

	摘要	74
第 4 章	紅色非硫黄細菌 (<i>Rhodobacter sphaeroides</i>) 施用が土壤微生物相に及ぼす影響	77
	緒言	77
	材料および方法	78
	実験 1. 蔬菜栽培土壤の微生物相に及ぼす影響	78
	実験 2. 3 作期連続施用が土壤微生物相に及ぼす影響	81
	実験 3. 施用回数の違いが土壤微生物相に及ぼす影響	82
	結果	83
	実験 1. 蔬菜栽培土壤の微生物相に及ぼす影響	83
	実験 2. 3 作期連続施用が土壤微生物相に及ぼす影響	87
	実験 3. 施用回数の違いが土壤微生物相に及ぼす影響	90
	考察	93
	実験 1. 蔬菜栽培土壤の微生物相に及ぼす影響	93
	実験 2. 3 作期連続施用が土壤微生物相に及ぼす影響	94
	実験 3. 施用回数の違いが土壤微生物相に及ぼす影響	96
	摘要	97
第 5 章	異なる光質条件下で栽培したコマツナの生育と品質に及ぼす紅色非硫黄細菌 (<i>Rhodobacter sphaeroides</i>) 施用の影響	100
	緒言	100
	材料および方法	101
	結果	105
	考察	110
	摘要	116
第 6 章	紅色非硫黄細菌 (<i>Rhodobacter sphaeroides</i>) 処理廃糖蜜液がホウレンソウの生育と品質に及ぼす影響	118
	緒言	118
	材料および方法	119
	結果	124
	考察	129

摘要	134
総合考察	135
総括	144
Summary	153
引用文献	160
謝辞	174

第 1 章 緒 論

紅色非硫黄細菌 (Purple non-sulfur bacteria) は, グラム陰性菌で光エネルギーを利用し, 生育することができる光栄養細菌 (Phototrophic bacteria) の一種である (van Niel, 1944; Sasaki ら, 1985). 光栄養細菌は紅色を呈し, 硫黄の代謝が光合成反応に関与している紅色硫黄細菌 (Purple sulfur bacteria, *Thiorhodaceae* もしくは *Chromatiaceae*), 緑色を呈し, 硫黄の代謝が光合成反応に関与している緑色硫黄細菌 (Green sulfur bacteria, *Chlorobacteriaceae* もしくは *Chlorobiaceae*), 紅色を呈し, 硫黄の代謝が光合成反応に関与していない紅色非硫黄細菌 (Purple non-sulfur bacteria, *Athiorhodaceae* もしくは *Rhodospirillaceae*) の 3 科に大きく分けられる (Pfennig-Trüper, 1971; 小林, 1975a; 星野, 1978). また, Trüper (1976) が *Chloroflexus* 属を, Imhoff (1984) が *Ectothiorhodospira* 属をそれぞれ科に独立させることを提案するなどし, 現在, 光栄養細菌は滑走糸状緑色硫黄細菌 (*Chloroflexaceae*), 海洋性紅色硫黄細菌 (*Ectothiorhodospiraceae*) およびグラム陽性緑色硫黄細菌

菌 (*Heliobacteriaceae*) を含めて 6 科に分類されている (北村, 1986; Imhoff・Madigan, 2004). また, 16S rRNA をベースとした系統分類もなされており, 旧来の形態分類とは大きく異なることがわかっている (Garrity ら, 2001).

光栄養細菌が行う光合成は高等植物, 藻類とは異なり光化学系 II が存在せず, 水を電子供与体 (還元力) として利用することができない. このため, この細菌が光合成により生育する場合は, 電子供与体として水の代わりに水素ガス, 硫化水素, チオ硫酸塩, 低級脂肪酸などの低分子の有機物を利用する. そして, どの物質を電子供与体として利用するかは種類, 生育条件により異なる (北村, 1978; 大島ら, 1988).

紅色非硫黄細菌は主に有機酸, 低級脂肪酸, アルコールを好んで利用し (山中, 1985), *Rhodospirillum*, *Rhodobacter*, *Rhodomicrobium*, *Rhodopseudomonas*, *Rhodocyclus* など 21 属に分けられる (Imhoff・Madigan, 2004). *Rhodobacter* 属の代表的なものとしては, *Rba. capsulatus*, *Rba. sphaerodes* がある.

紅色非硫黄細菌は水田, 河川, 湖沼, 海水, 下水処理

場などの水界嫌気層に普遍的に分布し（小林ら，1966b；奥田・小林，1966；Pfennig，1967；Siefertら，1978；Hiraishi・Kitamura，1984a），自然界の炭素，窒素，硫黄などの物質循環に重要な役割を演じている（小林，1975a；1978）。また，この細菌は窒素固定（Kamen・Gest，1949；Madiganら，1984），脱窒（佐藤，1978；Sasakiら，1988），炭酸固定（北村，1978），水素ガスの放出（Gest・Kamen，1949；小林ら，1966a；Zürner・Bachofen，1979；高橋，1981；Jeeら，1987）を行うことが報告されている。さらに，汚水の浄化能力（小林ら，1966a；小林，1975b；Hiraishi・Kitamura，1984b；Noparatnarapornら，1986；Noparatnarapornら，1987）を持つことから，これを利用した有機廃液処理の方法（小林ら，1970；Kobayashiら，1971；小林，1972；Kobayashi・Tchan，1973；福金原，1978；黒沢，1978），植物の生長促進効果を持つ5-アミノレブリン酸（ALA）生産への利用法（Sasakiら，1987；上山ら，2000）が確立され，現在，利用されている。また，特徴的な菌体成分としてバクテリオクロロフィル，カロテノイド，ユビキノン，ビタミンB群等を持つ（金森，1978；平山，1978；北村，1986）。さらに，タンパク

含量が高く消化率も高い（金森，1978）ことから，水産餌料，畜産飼料としての利用が検討されている（Kobayashi・Tchan，1973；田中，1977）。

一方，農業関係の研究ではその分布特性から，イネに及ぼす影響が中心に検討されている（Okudaら，1957；Okudaら，1959；Kobayashiら，1967a；Kobayashi・Haque，1971；小林，1995；Elbadryら，1999a；1999b；Elbadry・Elbanna，1999）。しかし，畑作では有機質肥料のモデル実験としての利用（小林ら，1974），マッシュルームの生育促進（Han，1999）等，いくつかの報告があるがほとんど検討されていない。

近年，蔬菜の生産現場では，社会的な環境保全意識の高揚にともない，農地においても環境に負荷を与えない施肥技術が求められている。そして，その技術としては（1）化学肥料投入量の削減，（2）施肥成分の利用効率を高めるための被覆肥料の施用，（3）地力維持をも考慮した有機質肥料の施用等があげられる（松本ら，1999）。一方，近年，消費者が蔬菜に求める品質には変化がみられ，色，つや，形などの外観的品質以外に，栄養価，安全性などの成分品質が重要になってきている。したがって，

これらの観点から野菜生産農家および消費者の間では有機農産物に対する関心が高まっており、有機物施用効果の研究がさまざまな視点から行われている(西尾, 1984; 樋口, 1996; 藤原, 2001; 中野, 2002)。その中の一つとして、有機物施用による野菜の品質向上の検討があり、ホウレンソウ(吉川ら, 1988; 松本ら, 1999)、ホウレンソウ・コマツナ(建部ら, 1995)、トマト(小林ら, 1974; 吉田ら, 1984a; 吉田ら, 1984b; 馬西ら, 1996; 中野ら, 2001)、トマト・ブロッコリー・チンゲンサイ(吉田, 1996)、トマト・キャベツ・ビート(Meier-Ploegerら, 1989)、メロン(斉藤・高橋, 2000a; 2000b; 村山ら, 2002)、メロン・キャベツ(吉田ら, 2002)、ニンジン・セロリ(Leclercら, 1991)、ダイコン(村山ら, 2001)などで行われている。しかし、藤原(2001)や中野(2002)が指摘しているように一定の結論は得られていない(第1-1表)。

本論文は、紅色非硫黄細菌を利用した高品質な野菜栽培技術の確立を目的に1998年から2004年にかけて、著者が行った研究の一連の成果を取りまとめたものである。以下、第2章ではイネを用いて環境要因を制御しやすい水耕栽培を行い、*Rba. sphaeroides* およびその培養液が

第1-1表 有機と無機農産物における、ビタミンC、β-カロテン、硝酸、シュウ酸、糖度、クエン酸濃度の比較²

品質関連成分	有機農産物の方が優れている	両者に差はない	無機農産物の方が優れている
ビタミンC	<p>トマト (吉田ら, 1984)</p> <p>トマト・ニンジン・メロン (斉藤, 1985)</p> <p>キュウリ (高知県農技セ, 1990)</p> <p>セロリ (Leclerc, 1991)</p> <p>ホウレンソウ・キャベツ・カブ・ネギ (綾町, 1995)</p> <p>トマト (大分県農技セ, 1994)</p> <p>ピーマン (熊本ら共同研究, 1994)</p> <p>ブロッコリー (吉田, 1996)</p>	<p>ニンジン (Guerillot-vientら, 1961)</p> <p>ニンジン (Nilsson, 1979)</p> <p>ホウレンソウ (吉川ら, 1988)</p> <p>ブロッコリー・ニンジン・ダイコン (鯨, 1994)</p> <p>ホウレンソウ (角田, 1995)</p> <p>ホウレンソウ (吉田, 1996)</p> <p>ホウレンソウ (松本ら, 1999)</p> <p>キャベツ (吉田ら, 2000)</p> <p>トマト (中野ら, 2001)</p>	<p>トマト (浅野ら, 1980)</p> <p>トマト (中野ら, 2001)</p>
β-カロテン	<p>ニンジン (Knorr, 1979)</p> <p>ニンジン・メロン (斉藤, 1985)</p> <p>ニンジン (Leclerc, 1991)</p> <p>ホウレンソウ・カブ・キャベツ (綾町, 1995)</p> <p>ブロッコリー (吉田, 1996)</p>	<p>ニンジン (Guerillot-vientら, 1961)</p> <p>ニンジン (Nilsson, 1979)</p>	<p>ニンジン (Schuphan, 1974)</p> <p>ネギ (綾町, 1995)</p>
硝酸	<p>ニンジン (Justes, 1971)</p> <p>ニンジン (Larionら, 1971)</p> <p>ニンジン (Rauterら, 1982)</p> <p>セロリ (Leclerc, 1991)</p> <p>ホウレンソウ (松本ら, 1999)</p>	<p>ニンジン (Guerillot-vientら, 1961)</p> <p>ニンジン (Leclerc, 1991)</p> <p>ホウレンソウ (角田, 1995)</p> <p>ホウレンソウ (吉田, 1996)</p>	
シュウ酸	<p>ホウレンソウ (吉川ら, 1988)</p>	<p>ホウレンソウ (松本ら, 1999)</p>	
糖度	<p>トマト (Meier-ploeger, 1989)</p> <p>トマト (大分県農技セ, 1994)</p> <p>トマト (馬西ら, 1996)</p>	<p>トマト (中野ら, 2001)</p> <p>メロン (斉藤・高橋, 2000a)</p> <p>メロン (斉藤・高橋, 2000b)</p> <p>メロン・キャベツ (吉田ら, 2000)</p>	<p>トマト (中野ら, 2001)</p> <p>メロン (中野ら, 未発表)</p>
クエン酸	<p>トマト (Meier-ploeger, 1989)</p> <p>トマト (吉田ら, 1996)</p> <p>トマト (中野ら, 未発表)</p>		<p>メロン (斉藤・高橋, 2000a)</p>

²中野 (2002) を参考にして、一部改変

イネ幼植物の生育と無機成分含量に及ぼす影響について報告する。次に、第3章では一般的な葉野菜であるホウレンソウとコマツナおよび果菜であるメロンとトマトを用い、紅色非硫黄細菌の施用が生育と品質に及ぼす影響を検討した結果について報告する。続いて、第4章では土壌への紅色非硫黄細菌の施用が、土壌微生物相に及ぼす影響について、第5章では紅色非硫黄細菌施用効果に対する光質の影響について、それぞれ検討した結果を報告する。最後に、第6章では蔬菜栽培における紅色非硫黄細菌施用の実用性を考慮して行った、紅色非硫黄細菌処理をした廃糖蜜液がホウレンソウの生育と品質に及ぼす影響を検討した結果を述べる。

第 2 章 紅色非硫黄細菌 (*Rhodobacter sphaeroides*) およびその培養液がイネ幼植物の生育と 無機成分含量に及ぼす影響

緒 言

紅色非硫黄細菌は湛水状態の所に広く分布する微生物であり (小林, 1975), これまでの農業関係の研究では, その分布特性からイネに及ぼす影響が中心に検討されている (Okuda ら, 1957; 1959; Kobayashi ら, 1967a; Kobayashi・Haque, 1971; 小林, 1995; Elbadry ら, 1999a; 1999b; Elbadry・Elbanna, 1999). 紅色非硫黄細菌は *Rhodospirillum*, *Rhodobacter*, *Rhodomicrobium*, *Rhodopseudomonas*, *Rhodocyclus* など 21 属に分けられるが (Imhoff・Madigan, 2004), その中で *Rhodobacter* 属は N 固定能に優れていることが報告されている (Madigan ら, 1984). したがって, イネにおける紅色非硫黄細菌の施用実験は *Rhodobacter* 属で検討されることが多く, そのほとんどが最も高い N 固定能を持つ *Rba. capsulatus* である.

一方、同じ *Rhodobacter* 属である *Rba. sphaeroides* は、排水処理（小林ら、1970；小林、1972；Kobayashi・Tchan、1973；福金原、1978；黒沢、1978）、水素の生産（高橋、1981；Jeeら、1987）、植物の生長促進効果を持つ 5-アミノレブリン酸（ALA）の生産（Sasakiら、1987；上山ら、2000）などに利用されている。しかし、*Rba. sphaeroides* の蔬菜栽培への利用についてはほとんど研究されていない。

そこで、蔬菜栽培における紅色非硫黄細菌利用の研究を行うために、本実験ではまず、イネを用いて環境要因を制御しやすい水耕栽培を行い、*Rba. sphaeroides* およびその培養液がイネ幼植物の生育と無機成分含量に及ぼす影響を検討した。

材料および方法

紅色非硫黄細菌（*Rhodobacter sphaeroides*）‘NR3’は、光合成細菌用培地（小林、1992）を一部改変した培地で培養した（第 2-1 表）。すなわち、MYC 培地で前培養（pH：7.0，温度：30℃，光条件：40～50 $\mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$ ，期間：

第2-1表 培地組成

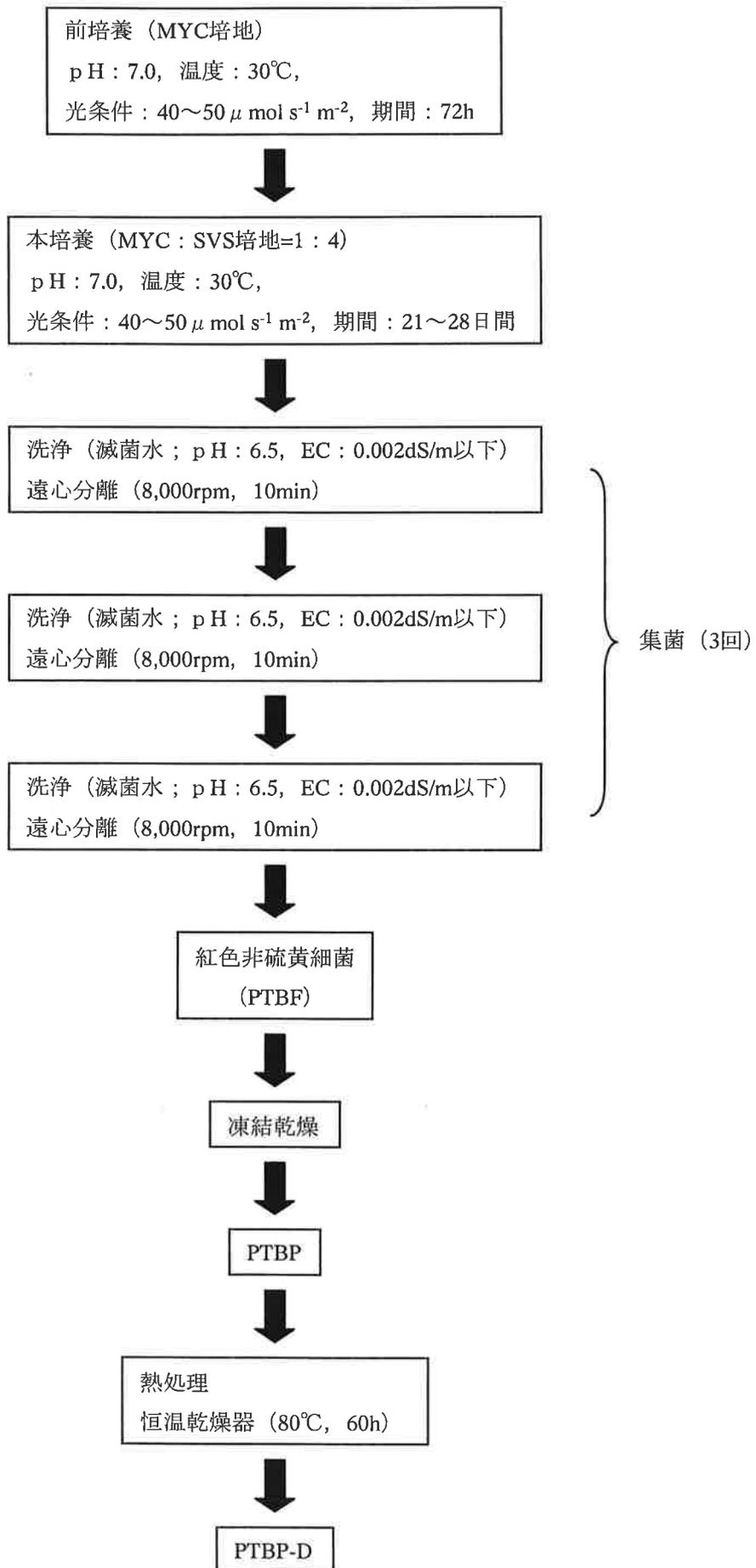
培地	pH	試薬	
MYC	6.8	DL-リンゴ酸ナトリウム	1.0g
		酵母エキス, 粉末	3.0g
		カサミノ酸	2.0g/1000ml
SVS	7.2	(NH ₄) ₂ SO ₄	2.00g
		こはく酸ナトリウム	10.80g
		ビタミン類溶液	2.00ml
		無機塩類溶液	200ml/1000ml
ビタミン類溶液 ^z		チアミン塩酸塩	0.50g
		ニコチン酸	0.30g
		p-アミノ安息香酸	0.30g
		ビオチン	0.10g
		ビタミンB ₁₂	0.05g/1000ml
無機塩類溶液		MgCl ₂ ·4H ₂ O	2.00g
		NaCl	2.00g
		CaCl ₂ ·2H ₂ O	0.45g
		SL-8	10ml/1000ml
SL-8 ^y		FeCl ₂ ·4H ₂ O	1.50g
		EDTA-Na	5.20g
		ZnCl ₂	0.07g
		MnCl ₂ ·4H ₂ O	0.10g
		H ₂ BO ₄	0.062g
		CoCl ₂ ·6H ₂ O	0.19g
		CuCl ₂ ·2H ₂ O	0.017g
		NiCl ₂ ·6H ₂ O	0.024g
Na ₂ MoO ₄ ·2H ₂ O	0.034g/1000ml		

^zHiraishi・Kitamura (1984b) を参照した

^yBiebl・Pfennig(1978)を参照した

72h) 後, SVS 培地と混合 (MYC : SVS = 1 : 4) し, 嫌気明条件下で液体培養 (pH: 7.0) した. 培養後, 滅菌水 (pH: 6.5, EC: 0.002dS/m 以下) を用い, 3回洗浄しつつ遠心分離 (8,000rpm, 10min) で集菌した. さらに, 集菌した紅色非硫黄細菌を凍結乾燥 (FD-1, (株) 東京理化工機) し, 乾燥菌体 (以下, PTBP とする) を得た (第 2-1 図).

PTBP の C と N は CN コーダー (MT-700, (株) ヤナコ分析工業) で, その他の主要な無機成分は硫酸 - 過酸化水素分解法 (水野・南, 1980) を一部改変した前処理を行い, P_2O_5 はバナドモリブデン酸法 (伊藤・木村, 1990) で, K, Mg, Ca は原子吸光光度計 (170-30 型, (株) 日立製作所) でそれぞれ測定し, その結果を第 2-2 表に示した. なお, 前処理は PTBP 0.5g を精秤しケルダール分解フラスコ (100ml) へ入れ, 蒸留水 1ml, 硫酸 4ml および過酸化水素 4ml を加えよく攪拌し, ガスバーナーで加熱処理 (15min) をした. 次に, 室温になるまで放冷し, 過酸化水素 2ml を加え再び加熱処理 (15min) を行い, 分解液が無色透明になるまで繰り返した. 分解液が無色透明になった後, さらに 20min 加熱処理を続け, 放冷後に蒸留水で 50ml に定容した.



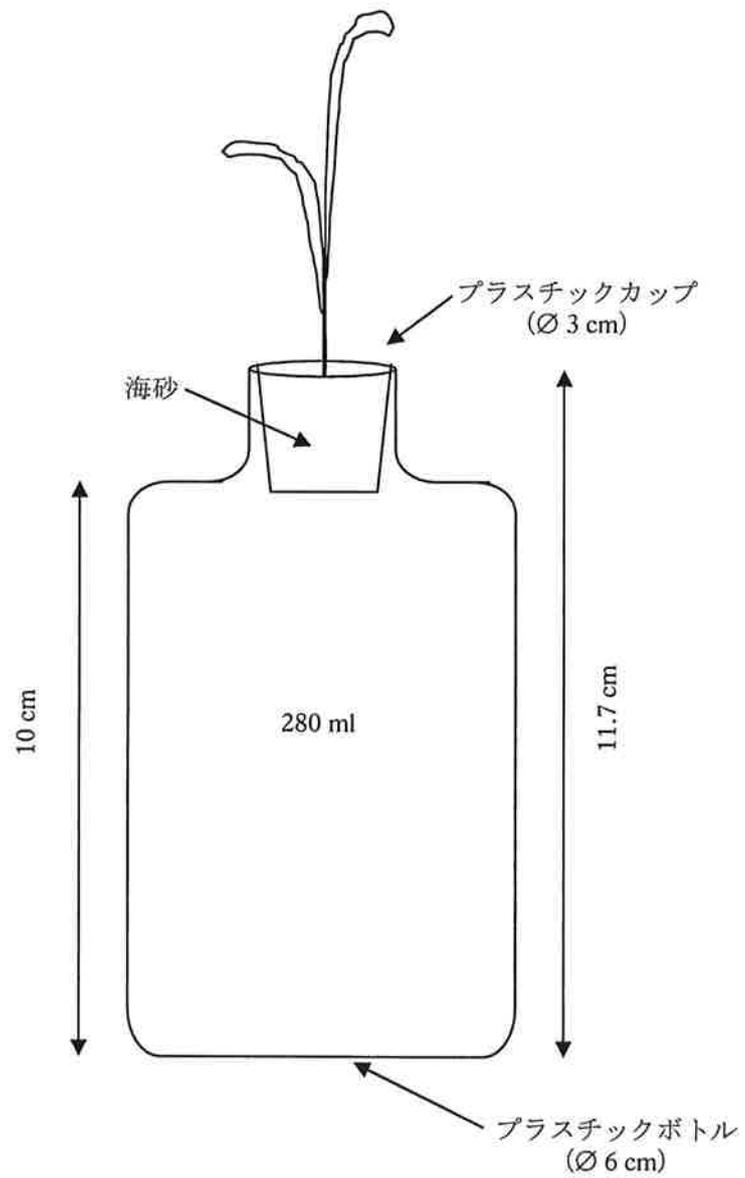
第2-1図 紅色非硫黄細菌の培養方法および施用した紅色非硫黄細菌体の作成方法

第2-2表 PTBPの成分

N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	C	C/N
(mg/g dry cell)	(mg/g dry cell)	(mg/g dry cell)	(mg/g dry cell)	(mg/g dry cell)	(mg/g dry cell)	
101.5	28.8	36.6	6.5	4.2	424.3	4.2

イネ (*Oryza sativa* L.) は '日本晴' を供試した。種
籾は比重 1.13 の食塩水溶液で比重選した後，5%次亜塩
素酸ナトリウムで 1min 滅菌処理し，滅菌水で洗浄した。
催芽は滅菌処理した種籾を滅菌水に浸漬し，30℃で 24h
行った。播種はプラスチックボトル (280ml) を用いた
栽培装置に，ハト胸状態に達した種籾を 1つのプラステ
ックボトル (280ml) に 3粒播きとし，水耕栽培した (第
2-2 図)。栽培は温度を 25℃一定，日長を 12h とし，光条
件が $30 \sim 40 \mu \text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$ の人工気象器 (LH-200-RD, (株)
日本医化器械製作所) 内で行った。なお，蒸散および蒸
発により減少した水耕液は，適時滅菌水を用い補充した。

紅色非硫黄細菌は生きている紅色非硫黄細菌 (以下，
PTBF とする)，PTBP, PTBP を熱処理 (80℃, 60h) した
もの (以下，PTBP-D とする) を，水耕液は滅菌水およ
び滅菌水で調整した木村氏 B 液，木村氏 B 液と N 濃度を
合わせるために 20 倍に希釈した紅色非硫黄細菌用液体
培地をそれぞれ用い，1 回目は 9 処理区，2 回目は 1 回目
の 9 処理区に滅菌水区で PTBP 区と PTBP-D 区を加えた
11 処理区を設け (第 2-3 表)，各処理区 3 反復とした。
なお，木村氏 B 液の組成は (N: 23.0 mg/l, P₂O₅: 13.0 mg/l,



第2-2図 栽培装置

第2-3表 処理区

水耕液 ^z	処理	作成方法
滅菌水	無施用区	蒸留水をオートクレーブ（121℃，20min）で滅菌処理したもの
	PTBF	紅色非硫黄細菌を混合したもの
	PTBP	凍結乾燥した紅色非硫黄細菌を混合したもの（2回目のみ）
	PTBP-D	熱処理（80℃，60h）したPTBPを混合したもの（2回目のみ）
木村氏B液	無施用区	木村氏B液のみ
	PTBF	紅色非硫黄細菌を混合したもの
	PTBP	凍結乾燥した紅色非硫黄細菌を混合したもの
	PTBP-D	熱処理（80℃，60h）したPTBPを混合したもの
液体培地 ^y	無施用区	20倍に希釈した液体培地 ^x
	+ PTBF	紅色非硫黄細菌培養後に20倍に希釈したもの
	- PTBF	+ PTBFを0.2μフィルターでろ過し，紅色非硫黄細菌を除いたもの

^z全処理区の水耕液は滅菌水を用いた

^y紅色非硫黄細菌用の液体培地を用いた

^x液体培地と木村氏B液のN濃度を合わせた

K_2O : 17.2 mg/l, CaO : 20.5 mg/l, MgO : 22.1 mg/l, Fe_2O_3 : 2 mg/l) であった。実験期間は 1 回目では 35 日間とし、2 回目は 63 日間とした。また、各処理区の紅色非硫黄細菌体施用量は OD 値(光学濁度; 660nm, OD=1 を 2.83 dry cell g/l と換算)により、液体培地・+PTBF 区の菌体量である 0.28g dry cell/l になるよう調整した。

生育調査として 7 日毎に葉齢と草丈を測定し、栽培終了後には地上部および地下部の新鮮重と乾物重、最大根長も測定した。なお、乾物重は恒温乾燥器 (MOV-212F (U), (株) 三洋電機) を用い、80℃で 72h 以上乾燥させたものを測定した。さらに、地上部および地下部の乾物を用い、各プラスチックボトル 3 個体を混合したものを 1 サンプルとし、各処理区 3 ポットずつ無機成分含量 (N, P_2O_5 , K, Ca, Mg) を測定した。

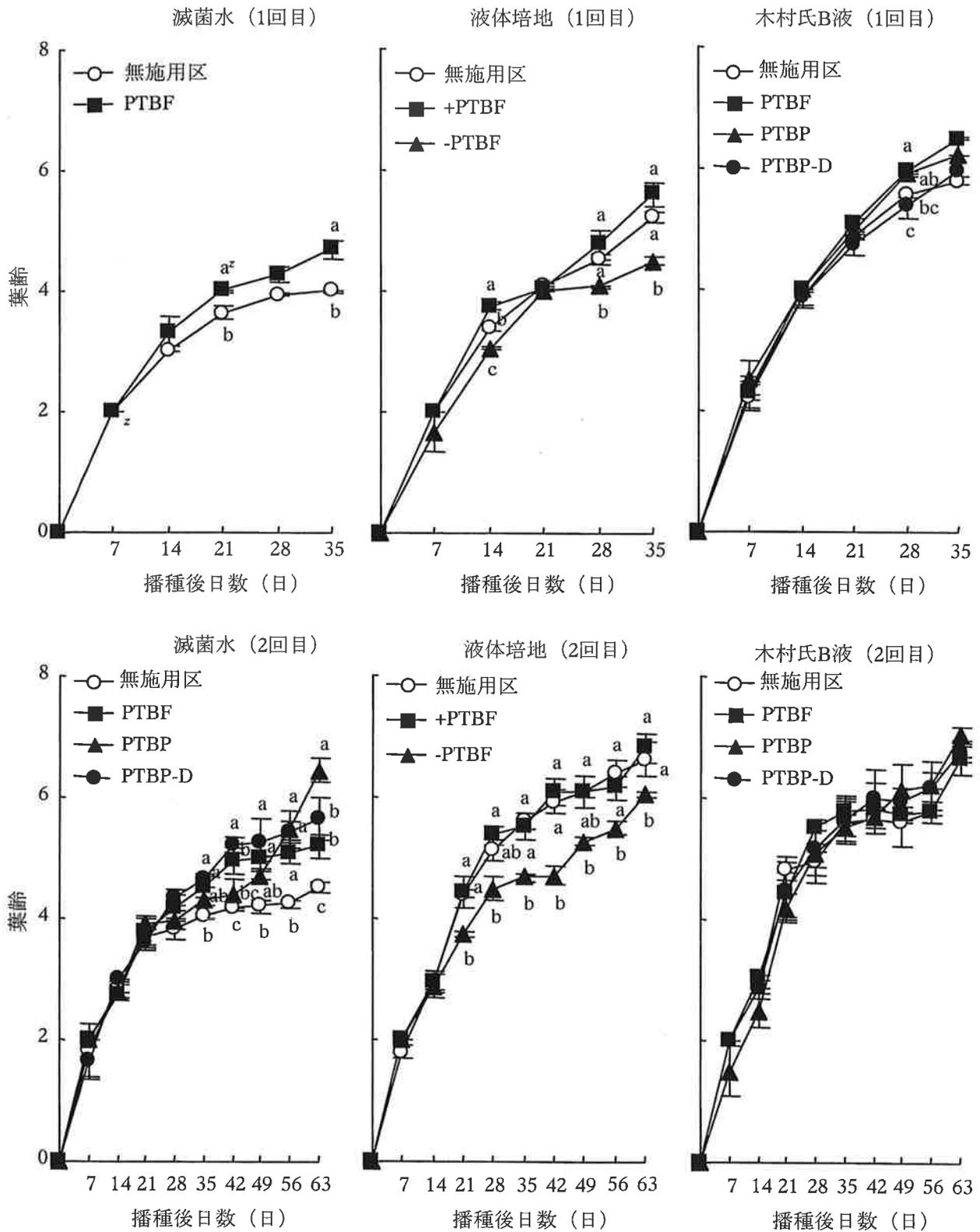
前処理は硫酸 - 過酸化水素分解法 (水野・南, 1980) を一部改変し行った。すなわち、乾物重を測定した後、蒸留水 2ml と硫酸 2ml を加えよく攪拌し、加熱処理 (240℃, 1h) をした。次に室温になるまで放冷し、過酸化水素 0.4ml を加え加熱処理 (240℃, 15min) を行い、分解液が無色透明になるまで繰り返した。分解液が無色

透明になった後，さらに 1h 加熱処理を続け，放冷後に蒸留水で 50ml に定容した．

前処理後，N はインドフェノール法（都築，1994）で， P_2O_5 はバナドモリブデン酸法（伊藤・木村，1990）で，K，Ca，Mg は原子吸光光度計（170-30 型，（株）日立製作所）でそれぞれ測定した．

結 果

第 2-3 図にイネの葉齢に及ぼす紅色非硫黄細菌施用の影響を示した．展葉速度は木村氏 B 液区が最も早く，ついで液体培地区，滅菌水区という順だった．滅菌水区では 1 回目で播種後 21 日目から，2 回目では 35 日目から処理区間に差が表れ始めた．1 回目で PTBF 区が，2 回目では PTBF 区，PTBP 区および PTBP-D 区がそれぞれ無施用区より有意に進んだ．また，2 回目の PTBF，PTBP および PTBP-D の紅色非硫黄細菌施用区間では，播種後 63 日目で PTBP 区の展開葉数が PTBF 区と PTBP-D 区より有意に多くなり，PTBF 区と PTBP-D 区との間には差は認められなかった．液体培地区では 1 回目で播種後 14 日目に



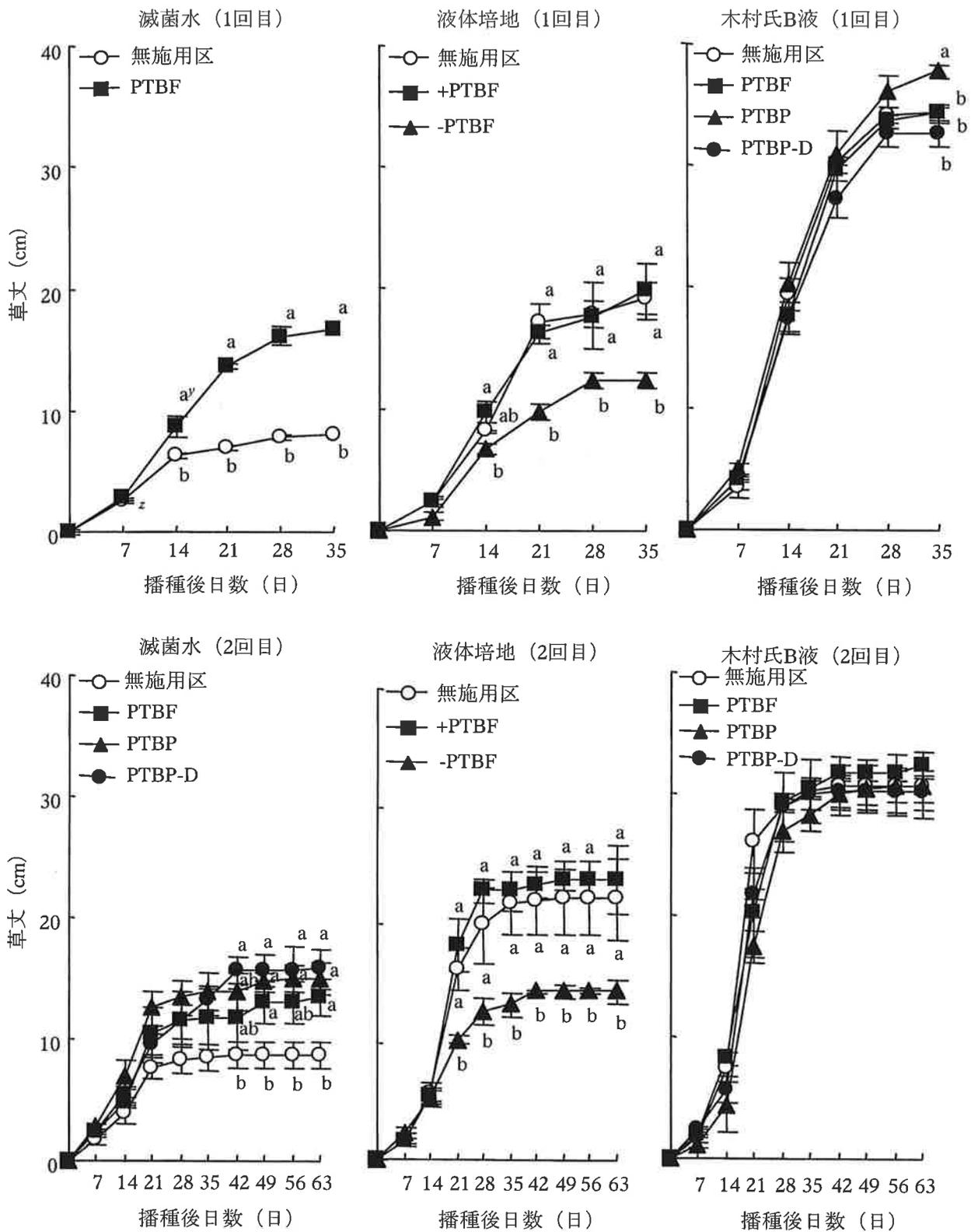
第2-3図 イネの葉齢に及ぼす紅色非硫黄細菌施用の影響

*縦棒は標準誤差を示す (n=3)

†異なるアルファベット間には各水耕液の処理区間に5%水準で有意差あり (LSD)

は処理区間の差が認められ+PTBF区が最も多かったが、21日目では全く差がみられず28日目から再び差が認められた。2回目では播種後21日目から処理区間に差が表れ始めた。1回目、2回目ともに栽培終了時では、-PTBF区の展開葉数が無施用区と+PTBF区より有意に少なかった。しかし、無施用区と+PTBF区との間には差は認められなかった。木村氏B液区の展開葉数は1回目の播種後28日目にPTBF区が他の処理区に比べ有意に進んだが、他の調査日では差は認められなかった。

第2-4図にイネの草丈に及ぼす紅色非硫黄細菌施用の影響を示した。草丈の伸長は木村氏B液区が最も早く、ついで液体培地区、滅菌水区という順であった。滅菌水区では1回目で播種後21日目以降、2回目では28日目以降にPTBF区、PTBP区およびPTBP-D区で高く推移した。なお、2回目のPTBF、PTBPおよびPTBP-Dの紅色非硫黄細菌施用区間には有意差が認められなかった。液体培地区の草丈の伸長でも1回目は播種後14日目から、2回目では21日目から処理区間に差が表れ始め、-PTBF区が無施用区と+PTBF区より有意に低くなり、無施用区と+PTBF区との間には差は認められなかった。木村氏B



第2-4図 イネの草丈に及ぼす紅色非硫黄細菌施用の影響

縦棒は標準誤差を示す (n=3)

異なるアルファベット間には各水耕液の処理区間に5%水準で有意差あり (LSD)

液区では1回目の播種後35日目にPTBP区が他の処理区に比べ有意に大きくなったが、それ以外で差は認められなかった。

第2-4表に栽培終了時におけるイネの生育に及ぼす紅色非硫黄細菌施用の影響を示した。生育が優れていたのは木村氏B液区で、ついで液体培地区、滅菌水区という順であった。滅菌水区では1回目でPTBF区が無施用区に対して地上部新鮮重および乾物重と最大根長が有意に大きかったが、2回目には最大根長を除き影響が認められなかった。2回目ではPTBP-D区が最も生育が優れ、全ての測定項目が無施用区よりも有意に大きかった。また、PTBP-D区は最大根長以外の測定項目でPTBF区より有意に大きかったが、PTBP区とは差が認められなかった。一方、PTBP区は地上部新鮮重および乾物重と最大根長が、PTBF区では最大根長が、それぞれ無施用区より有意に大きかった。

液体培地区では1,2回目とも-PTBF区の地上部新鮮重、地下部新鮮重、最大根長ともに無施用区より小さかった。また、+PTBF区は最大根長が1回目で無施用区より長かったが2回目では差が認められず、さらに、その他全て

第2-4表 栽培終了時におけるイネの生育に及ぼす紅色非硫黄細菌施用の影響

水耕液	実験回数	処理	地上部		地下部		最大根長 (cm)	
			新鮮重 (g)	乾物重 (g)	新鮮重 (g)	乾物重 (g)		
滅菌水	1回目	無施用区	0.028 b ²	0.010 b	0.028 a	0.006 a	6.4 b	
		PTBF	0.062 a	0.014 a	0.021 a	0.008 a	11.2 a	
	2回目	無施用区	0.044 b	0.011 c	0.016 b	0.009 bc	6.7 b	
		PTBF	0.052 b	0.017 bc	0.011 b	0.007 c	11.3 a	
		PTBP	0.082 a	0.024 ab	0.021 ab	0.011 ab	12.2 a	
		PTBP-D	0.079 a	0.030 a	0.028 a	0.012 a	12.8 a	
	液体培地	1回目	無施用区	0.130 a	0.022 a	0.095 a	0.011 a	6.4 b
			+PTBF	0.160 a	0.027 a	0.098 a	0.015 a	8.4 a
-PTBF			0.060 b	0.016 a	0.041 b	0.006 a	2.2 c	
2回目		無施用区	0.170 a	0.052 a	0.153 a	0.032 a	12.3 a	
		+PTBF	0.168 a	0.042 ab	0.155 a	0.037 a	9.4 a	
		-PTBF	0.058 b	0.015 b	0.043 b	0.009 b	2.8 b	
木村氏B液	1回目	無施用区	0.398 b	0.113 a	0.185 b	0.043 a	9.7 b	
		PTBF	0.403 b	0.101 ab	0.211 ab	0.037 a	9.9 b	
		PTBP	0.502 a	0.109 a	0.232 a	0.046 a	12.2 a	
		PTBP-D	0.411 b	0.087 b	0.203 ab	0.038 a	9.8 b	
	2回目	無施用区	0.308 a	0.097 a	0.226 a	0.086 a	12.5 a	
		PTBF	0.301 a	0.073 c	0.218 a	0.085 a	12.5 a	
		PTBP	0.454 a	0.090 ab	0.266 a	0.085 a	14.3 a	
		PTBP-D	0.298 a	0.085 b	0.283 a	0.094 a	13.6 a	

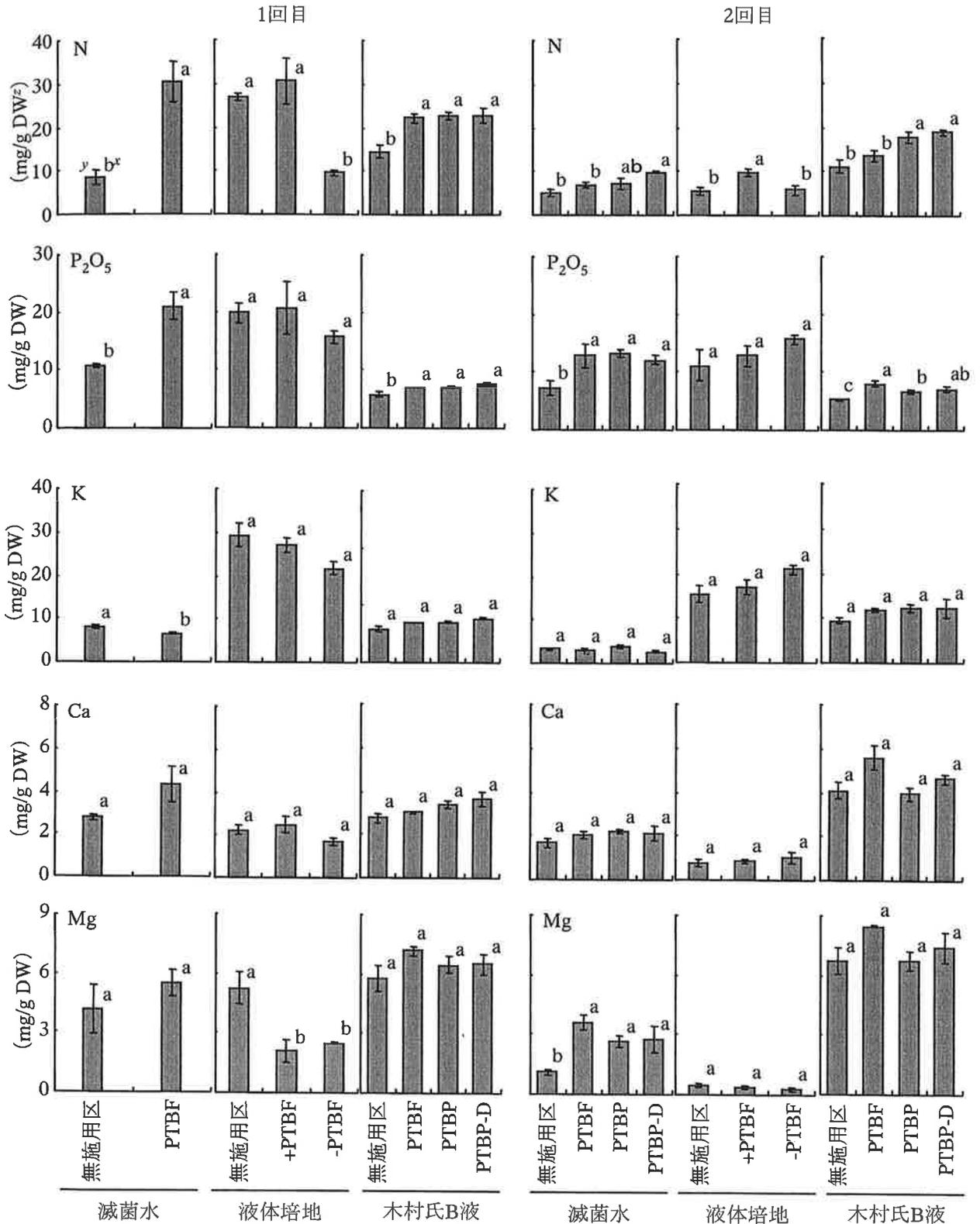
²異なるアルファベット間には各水耕液の実験回数の処理区間に5%水準で有意差あり (LSD)

の測定項目においても無施用区と差は認められなかった。

木村氏 B 液区では 1 回目で PTBP 区が最も生育が優れ、地上部新鮮重、地下部新鮮重および最大根長が無施用区に比べ有意に大きかったが、2 回目ではその影響は認められなかった。また、PTBF 区と PTBP-D 区は 1 回目で PTBP-D 区が、2 回目では PTBF 区と PTBP-D 区が、それぞれ地上部乾物重で無施用区より小さくなったが、その他の測定項目では差は認められなかった。

第 2-5 図に栽培終了時におけるイネの地上部無機成分含量に及ぼす紅色非硫黄細菌の影響を示した。滅菌水区では 1 回目で PTBF 区が無施用区に比べ、N 含量が 260%、 P_2O_5 含量が 94%それぞれ有意に増加した。また、K 含量は無施用区に比べ有意に減少した。2 回目では紅色非硫黄細菌を施用した区が無施用区に比べ有意に P_2O_5 と Mg 含量が増加した。特に、Mg 含量は無施用区に比べ PTBF 区が 227%、PTBP 区が 145%、PTBP-D 区が 155%増加した。しかし、紅色非硫黄細菌施用区間におけるこれらの無機成分含量に差は認められなかった。さらに、N 含量では PTBP-D 区が無施用区に比べ有意に増加した。

液体培地区では 1 回目で -PTBF 区が無施用区に比べ N



第2-5図 栽培終了時におけるイネの地上部無機成分含量に及ぼす紅色非硫黄細菌施用の影響

²DW：乾物重

^y縦棒は標準誤差を示す (n=3)

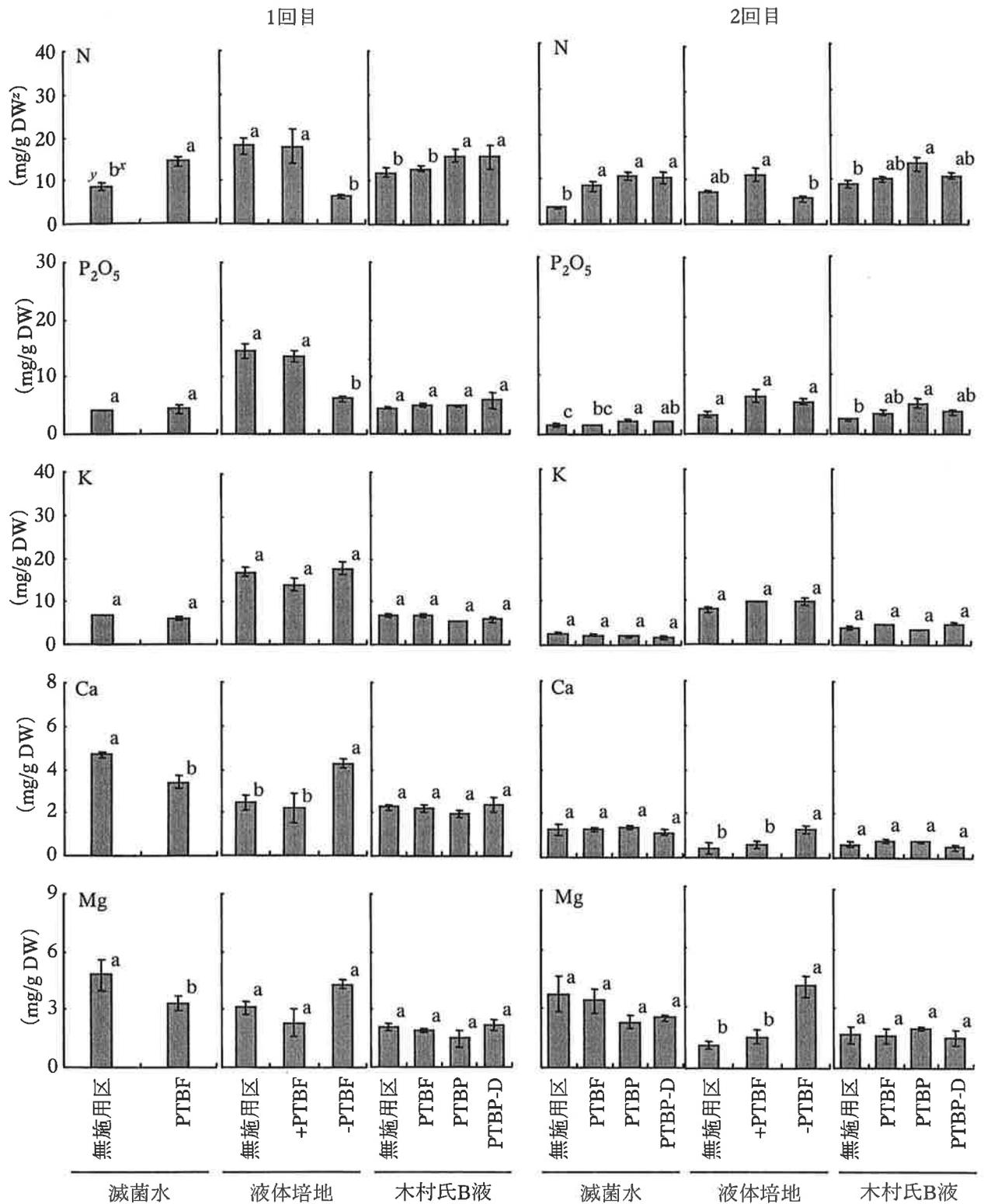
^{*}異なるアルファベット間には各水耕液の処理区間に5%水準で有意差あり (LSD)

と Mg 含量が有意に減少し、Mg 含量は +PTBF 区でも減少した。2 回目では +PTBF 区の N 含量が無施用区と -PTBF 区に比べ有意に増加したが、それ以外の無機成分含量には差は認められなかった。

木村氏 B 液区では 1 回目で各紅色非硫黄細菌処理区は無施用区比べ N, P_2O_5 含量が有意に増加した。2 回目では PTBP 区と PTBP-D 区が N と P_2O_5 含量を有意に増加し、 P_2O_5 含量では PTBF 区も有意に増加した。K, Ca, Mg 含量には 1 回目と 2 回目の全ての処理区間において差は認められなかった。

第 2-6 図に栽培終了時におけるイネの地下部無機成分含量に及ぼす紅色非硫黄細菌の影響を示した。滅菌水区では 1 回目で PTBF 区が無施用区に比べ N 含量が有意に増加した。また、Ca, Mg 含量は無施用区に比べ有意に減少した。2 回目では紅色非硫黄細菌を施用した区が無施用区に比べ N 含量が有意に増加した。また、PTBP 区と PTBP-D 区では P_2O_5 含量も無施用区に比べ有意に増加した。

液体培地区では 1 回目で -PTBF 区が無施用区に比べ Ca 含量が有意に増加した。また、N, P_2O_5 含量は有意に減



第2-6図 栽培終了時におけるイネの地下部無機成分含量に及ぼす紅色非硫黄細菌施用の影響
 *DW: 乾物重
 *縦棒は標準誤差を示す (n=3)
 *異なるアルファベット間には各水耕液の処理区間に5%水準で有意差あり (LSD)

少しした。一方，+PTBF区は無施用区といずれの無機成分含量とも差が認められなかった。2回目では-PTBF区が無施用区に比べCa，Mg含量が有意に増加した。また，N含量は無施用区と差が無かったが，+PTBF区に比べ有意に減少した。一方，+PTBF区は無施用区といずれの無機成分含量とも差が認められなかった。

木村氏B液区では1回目でPTBP区とPTBP-D区が無施用区に比べN含量が有意に増加した。一方，PTBP区とPTBP-D区の間には差は認められなかった。2回目ではPTBP区が無施用区に比べN， P_2O_5 含量が有意に増加した。K，Ca，Mg含量には1回目と2回目の全ての処理区間において差は認められなかった。

考 察

草丈と葉齢に処理区間の差がみられ始めたのは播種後14日目以降であった。これはElbadry・Elbanna(1999)がイネを水耕栽培した実験で指摘しているように，初期生育が種子中の養分により主に行われ，その後，処理の影響が表れた始めたことによると考えられる。また，生

育速度は全ての処理区で播種後 42 日目までは早く、その後緩やかになった。これは、イネが播種後 42 日目までに各処理区に含まれる肥料成分をほぼ吸収したことを示していると考えられる。なお、生育が優れていたのは木村氏 B 液区で、ついで液体培地区、滅菌水区という順であった。

Elbadry・Elbanna (1999) は 4 品種のイネを供試し無肥料条件で水耕栽培を行い、紅色非硫黄細菌の一種である *Rba. capsulatus* を施用することにより、すべてのイネ品種において生育が促進されたことを報告している。本実験における滅菌水区でも無施用区に比べ、PTBF 区、PTBP 区および PTBP-D 区の生育が促進された。これは、本実験で供試した *Rba. sphaeroides* においても、同様にイネの生育を促進することを示している。また、Elbadry・Elbanna (1999) は *Rba. capsulatus* の施用により、水耕栽培したイネの N 含量が増加したことも報告している。そして、この N は *Rba. capsulatus* が窒素固定により菌体中に取り込んだ N (Madigan ら, 1984) がイネに供給されたことによると推察している。さらに、Maudinas ら (1981) は N^{15} でラベルした *Rba. capsulatus*

を用い，菌体中の N がイネに吸収されたことを示している．本実験においても紅色非硫黄細菌施用により無機成分含量が無施用区に比べ地上部で N， P_2O_5 ，Mg 含量が，地下部では N， P_2O_5 含量がそれぞれ同等もしくは増加した．よって，この N 含量の増加は同様に紅色非硫黄細菌の菌体 N 成分がイネに吸収されたと考えられる．一方，紅色非硫黄細菌施用区間では PTBF 区に比べ，PTBP 区と PTBP-D 区で生育がより促進された．したがって，生きている紅色非硫黄細菌を施用するよりも，凍結乾燥した菌体を施用することでより生育が促進されると考えられる．また，PTBP-D 区の生育は PTBP 区と差がみられなかったことから，生育促進に利用された菌体成分は熱処理（ $80^{\circ}C$ ，60h）で分解されないことが推察される．

液体培地区では無施用区と +PTBF 区が，-PTBF 区よりも生育が優れていた．また，-PTBF 区の無機成分含量は無施用区と +PTBF 区比べ，地上部で N，Mg 含量が，地下部で N， P_2O_5 含量がそれぞれ少なかった．-PTBF 区は紅色非硫黄細菌培養後に紅色非硫黄細菌を除いたものであり（第 2-3 表），これらの結果は液体培地中のイネにおいて吸収可能な肥料成分が，紅色非硫黄細菌により消費さ

れたことを示している。一方，無施用区と+PTBF区を比べると，1回目の最大根長で+PTBF区が大きくなった以外，差は認められなかった（第2-3図，第2-4図，第2-4表）。さらに，無機成分含量においても両区において差はみられなかった（第2-5図，第2-6図）。よって，+PTBF区では液体培地で培養された紅色非硫黄細菌およびその分泌物がイネの生育に利用されたことが考えられる。

一方，木村氏B液区ではPTBF区，PTBP区およびPTBP-D区は無施用区に比べ，2回目の地上部乾物重がPTBF区とPTBP-D区で小さくなった以外は，生育が同等もしくは優れていた。また，無機成分含量は紅色非硫黄細菌処理により無施用区に比べ，地上部および地下部ともにN， P_2O_5 含量が同等もしくは増加した。Elbadryら（1999b）はN施用量を4段階とし，*Rba. capsulatus*をイネに施用した場合，N施用量の増加とともに*Rba. capsulatus*施用の効果が減少したことを報告している。よって，本実験で認められた滅菌水区に対するイネ用水耕液である木村氏B液区での紅色非硫黄細菌施用効果の減少は，同様な結果であると考えられる。

また，紅色非硫黄細菌は5-アミノレブリン酸（ALA）

(Sasaki ら, 1987; 上山ら, 2000), アミノ酸, 核酸, ビタミン類などを分泌することが知られている (Katayama ら, 1967; 小林, 1995). 低濃度の ALA は植物の生育を促進するという報告がある (堀田ら, 1997; 2000; Hotta ら, 1997a; 1997b; Bingshan ら, 1998; 堀田・渡辺, 1999; 西原ら, 2000). また, Kobayashi・Haque (1971) は紅色非硫黄細菌が分泌するアミノ酸および核酸の一つであるプロリンおよびウラシルは, イネの生殖生長を促進することを報告している. しかし, 滅菌水区, 木村氏 B 液区における PTBP 区と PTBP-D 区の生育は PTBF 区に比べ同等もしくは優れること, 液体培地区における無施用区の生育は +PTBF 区と最大根長を除き差がみられないことから, 本実験におけるこれらの分泌物の効果は大きくないと推察される.

以上より, 紅色非硫黄細菌の 1 種である *Rba. sphaeroides* の施用はイネの生長を促進し, N および P_2O_5 含量を増加することが示された. さらに, 凍結乾燥した紅色非硫黄細菌の施用は, 生きている紅色非硫黄細菌の施用と同等, もしくはそれ以上の効果を及ぼすことが明らかとなった.

摘 要

イネを水耕栽培し、紅色非硫黄細菌およびその培養液がイネ幼植物の生育と無機成分含量に及ぼす影響を検討した。紅色非硫黄細菌は生きている紅色非硫黄細菌、凍結乾燥した紅色非硫黄細菌、さらに凍結乾燥した菌体を熱処理したもの、水耕液は滅菌水、紅色非硫黄細菌の培養液、木村氏 B 液をそれぞれ用い、計 11 処理区で実験を行った（第 2-3 表）。生育が優れていたのは木村氏 B 液区でついで液体培地区、滅菌水区という順であった。紅色非硫黄細菌施用効果は滅菌水区で顕著であり、イネ幼植物の生育を促進した。また、無機成分では N、 P_2O_5 含量を増加させた。一方、滅菌水区、木村氏 B 液区における PTBP 区と PTBP-D 区の生育は PTBF 区に比べ同等もしくは優れ、液体培地区における無施用区では +PTBF 区と最大根長を除き差がなかった。よって、紅色非硫黄細菌の分泌物による効果は大きくないと推察された。以上より、紅色非硫黄細菌の 1 種である *Rba. sphaeroides* の施用はイネの生長を促進し、N および P_2O_5 含量を増加す

ることが示された。さらに、凍結乾燥した紅色非硫黄細菌の施用は、生きている紅色非硫黄細菌の施用と同等、もしくはそれ以上の効果を及ぼすことが明らかとなった。

第 3 章 紅色非硫黄細菌 (*Rhodobacter sphaeroides*) 施用が蔬菜の生育と品質に及ぼす影響

緒 言

第 2 章において紅色非硫黄細菌の 1 種である *Rba. sphaeroides* の施用はイネの生長を促進し、N および P_2O_5 含量を増加させることが明らかとなった。しかし、畑作における紅色非硫黄細菌の施用は、有機質肥料のモデル実験としての利用（小林ら，1974）、マッシュルームの生育促進（Han，1999）等いくつかの報告があるが、ほとんど検討されていない。

一方、近年、消費者の有機農産物に対する関心が高まっており、有機物施用効果の研究がさまざまな視点から行われている（西尾，1984；樋口，1996；中野，2002）。

そこで、本研究では一般的な葉野菜であるホウレンソウとコマツナおよび果菜であるメロンとトマトを用い、紅色非硫黄細菌の施用が生育と品質に及ぼす影響を検討した。

第 1 節 紅色非硫黄細菌 (*Rhodobacter sphaeroides*)
の施用がホウレンソウとコマツナの生育
と品質に及ぼす影響

材料および方法

紅色非硫黄細菌 (*Rhodobacter sphaeroides*) は ‘NR3’
を用い、第 2 章と同様に PTBP を供試した。

供試作物はホウレンソウ‘バージニア’とコマツナ‘さ
おり小松菜’を用いた。播種は 1/5000a のワグネルポッ
トに 4 粒ずつ 3 ヶ所/ポットとし、出芽後に 3 株/ポット
となるように間引きを行った。栽培は空調ガラスハウス
内（温度：20℃±3，自然光）で、ホウレンソウは 2000
年 11 月 4 日～2001 年 1 月 13 日の 70 日間、コマツナは
2000 年 11 月 13 日～2001 年 2 月 1 日の 80 日間行った。
供試土壌はホウレンソウで鳥取大学乾燥地研究センター
の砂丘砂および砂丘砂をオートクレーブで滅菌処理
（121℃，20min）したものを、コマツナでは砂丘砂
のみとした。

無施用区は元肥としてホウレンソウは N：P₂O₅：K₂O：

CaO : MgO = 20 : 20 : 20 : 20 : 5kg/10a, コマツナでは N :
P₂O₅ : K₂O : CaO : MgO = 15 : 15 : 15 : 18 : 5kg/10a とな
るように, (NH₄)₂SO₄, KH₂PO₄, KCl, Ca(NO₃)₂ · 4H₂O,
MgSO₄ · 7H₂O を用い施用した. 追肥はコマツナのみ, 50%
Hoagland 液 (N: 105.0mg/l, P₂O₅: 35.5mg/l, K₂O: 141.0mg/l,
CaO : 140.0mg/l, MgO : 44.0mg/l, Fe₂O₃ : 4.3mg/l, B :
0.25mg/l, Mn: 0.25mg/l, Cu: 0.010mg/l, Mo: 0.010mg/l,
Zn : 0.025mg/l) を生育の様子を見ながら適時施用した.

処理区は元肥の N 量の 10%, 20%, 40% を含む PTBP を
施用した PTBP10%区, PTBP20%区, PTBP40%区の 3 区を
設け, 各処理区 5 反復とした. 各処理区における PTBP
の施用量はハウレンソウで (PTBP10%区 : 0.4g/ポット,
PTBP20%区 : 0.8g/ポット, PTBP40%区 : 1.6g/ポット),
コマツナでは (PTBP10%区 : 0.28g/ポット, PTBP20%区 :
0.56g/ポット, PTBP40%区 : 1.12g/ポット) だった.

栽培終了時に草丈, 地上部新鮮重および乾物重 (80℃,
72h 乾燥) を測定した. さらに, ハウレンソウは自動面
積計 (AAC-410, (株) 林電工) で葉面積を, コマツナで
は地下部新鮮重および乾物重 (80℃, 72h 乾燥) も測定
した. また, 品質として -30℃ で保存した植物体地上部を

乳鉢でホモジナイズしたもの各 1g を試料とし、全糖、アスコルビン酸、クロロフィルおよびカロテノイドの含量を測定した。さらに、コマツナはグルコース、スクロース、フルクトースの含量も測定した。

全糖の測定では試料 1g を蒸留水 10ml とともに再度磨砕、温湯に浸漬（80℃，15min）後、遠心分離（3,300rpm，15min）し上澄みを得た。さらに、残渣へ再び蒸留水 5ml を加え、温湯に浸漬（80℃，15min）後、遠心分離（3,300rpm，15min）し上澄みを得た。二つの上澄みを加えたものを用い、アンスロン法（茶珍，1981）で行った。

アスコルビン酸の測定では試料 1g を 5%メタリン酸 10ml とともに再度磨砕、遠心分離（3,300rpm，15min）で得た上澄みを用い、ヒドラジン法（Shigeoka ら，1979）で行った。

クロロフィルとカロテノイドの測定では試料 1g を 80%アセトン 10ml とともに再度磨砕、遠心分離（3,300rpm，15min）し上澄みを得た。さらに、残渣へ再び 80%アセトン 5ml を加え、遠心分離（3,300rpm，15min）し上澄みを得た。二つの上澄みを加えたものを用い、480, 645, 663nm の各吸光度を分光光度計（100-10 形，（株）島津製作所）

で測定した。クロロフィルは Arnon 法 (Arnon, 1949), カロテノイドは Kirk・Allen の計算式 (Kirk・Allen, 1965) により算出した。

グルコース, スクロースおよびフルクトースの測定では全糖の測定で得た抽出液を $0.20\ \mu\text{m}$ のメンブランフィルター (マイレックス-LG, MILLIPORE) でろ過したものを、高速液体クロマトグラフィー (HPLC; LC-10ADVP, (株) 島津製作所) で分析した。分析条件は、検出器: L-7490 型 (RI 検出器), (株) 日立製作所, カラム: Shodex SUGAR SC1011 ($8\times 300\text{mm}$), (株) 昭和電工, ガードカラム: Shodex SUGAR SC-LG ($6\times 50\text{mm}$), (株) 昭和電工, カラム温度: 80°C , 移動相: H_2O , 流速: $1.0\text{ml}/\text{min}$ とした。

結 果

第 3-1-1 表と第 3-1-2 表それぞれにホウレンソウとコマツナの生育に及ぼす PTBP 施用の影響を示した。PTBP 施用はホウレンソウにおいて生育を促進する傾向がみられた。最も生育が優れたのは未滅菌・PTBP40%区で、草

第3-1-1表 ホウレンソウの生育に及ぼすPTBP施用の影響

供試土壌	処理	草丈 (cm)	地上部新鮮重 (g)	地上部乾物重 (g)	葉面積 (cm ²)
未滅菌	無施用区	14.7 b ²	4.7 ab	0.61 ab	103.0 b
	PTBP10%	13.8 b	3.3 b	0.42 b	98.6 b
	PTBP20%	16.1 ab	4.7 ab	0.59 ab	113.7 b
	PTBP40%	18.5 a	7.9 a	0.97 a	162.8 a
滅菌	無施用区	14.1 b	5.2 a	0.74 a	119.3 a
	PTBP10%	15.3 b	6.3 a	0.91 a	135.1 a
	PTBP20%	14.8 b	5.8 a	0.74 a	126.5 a
	PTBP40%	17.9 a	6.8 a	0.93 a	153.8 a
供試土壌		NS ²	NS	NS	NS
処理		**	*	NS	*
供試土壌×処理		NS	NS	NS	NS

²異なるアルファベット間には各供試土壌の処理区間に5%水準で有意差あり (LSD)

¹NS, *, **: 分散分析により, 有意差なし, 5%, 1%水準で有意差あり

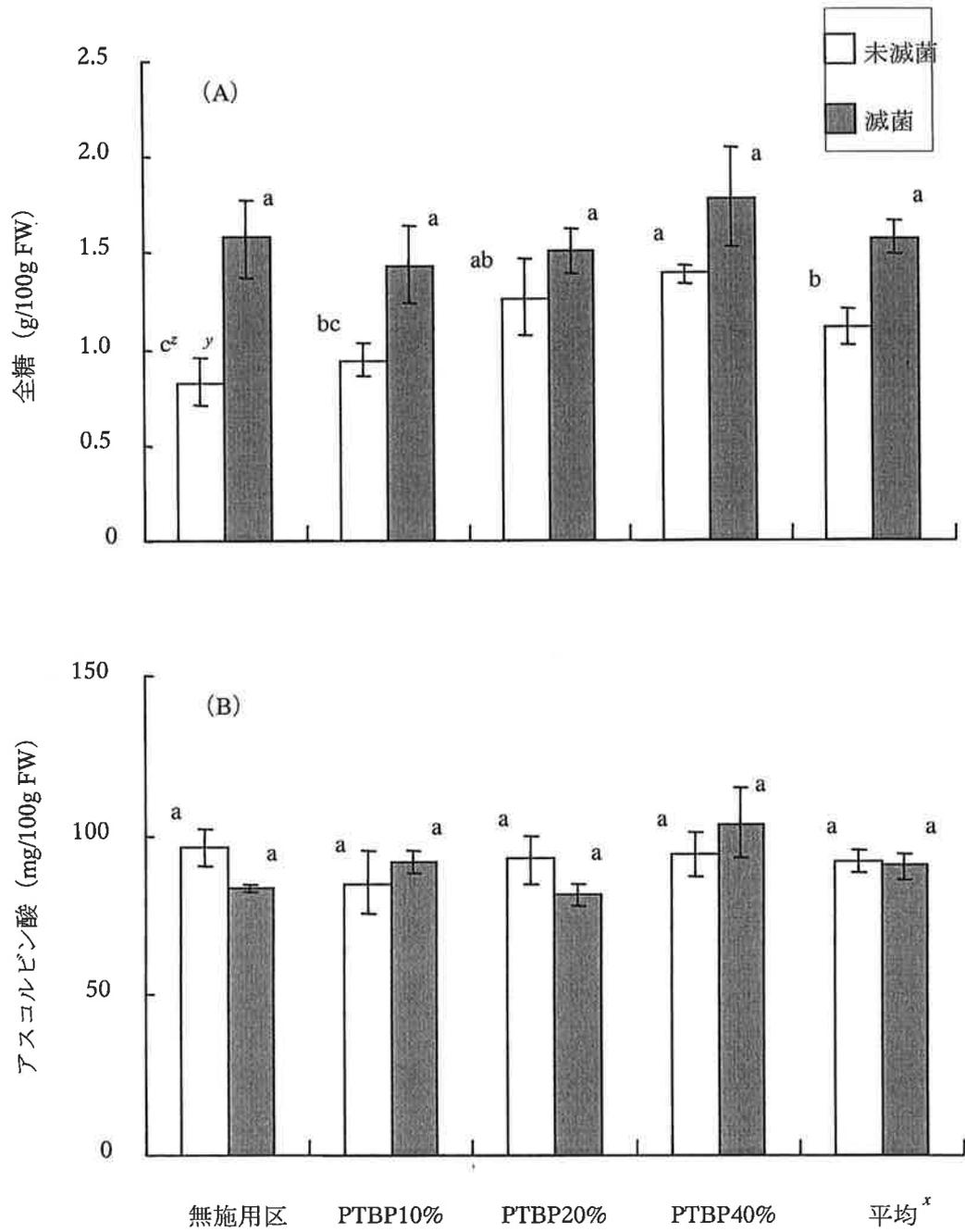
第3-1-2表 コマツナの生育に及ぼすPTBP施用の影響

処理	草丈 (cm)	地上部新鮮重 (g)	地上部乾物重 (g)	地下部新鮮重 (g)	地下部乾物重 (g)
無施用区	18.7 a [*]	20.0 a	1.73 a	1.04 b	0.16 b
PTBP10%	17.8 a	21.4 a	2.12 a	1.33 b	0.25 b
PTBP20%	18.3 a	19.8 a	1.92 a	1.41 b	0.27 b
PTBP40%	17.6 a	18.3 a	1.80 a	2.45 a	0.36 a

*異なるアルファベット間には5%水準で有意差あり (LSD)

丈と葉面積を無施用区に対して 26%, 58%有意に増加した。また, PTBP 施用効果に対して土壌の滅菌処理の有無は影響しなかった。一方, PTBP 施用はコマツナにおいて地下部の生育を促進する傾向がみられた。最も地下部の生育が優れたのは PTBP40%区で, 地下部新鮮重と乾物重は無施用区に対して 136%, 125%有意に増加した。しかし, 草丈, 地上部新鮮重と乾物重には影響しなかった。

第 3-1-1 図と第 3-1-2 図それぞれにハウレンソウとコマツナの全糖とアスコルビン酸の含量に及ぼす PTBP 施用の影響を示した。さらに, コマツナではグルコース, スクロース, フルクトースの含量も示した。PTBP 施用は未滅菌区では全糖含量をハウレンソウで無施用区の 0.83g/100g FW に対し, PTBP20%区で 1.27g/100g FW, PTBP40%区で 1.39g/100g FW と有意に増加させた。さらに, 未滅菌土壌を用いたコマツナでも PTBP 施用は無施用区の 1.15g/100g FW に対して, PTBP20%区で 1.89g/100g FW, PTBP40%区で 2.04g/100g FW と全糖含量を有意に増加させた。しかし, ハウレンソウの滅菌区では PTBP 施用による全糖含量の増加は認められなかった。また, 未滅菌区の平均全糖含量は滅菌区の平均より有意に多かつ

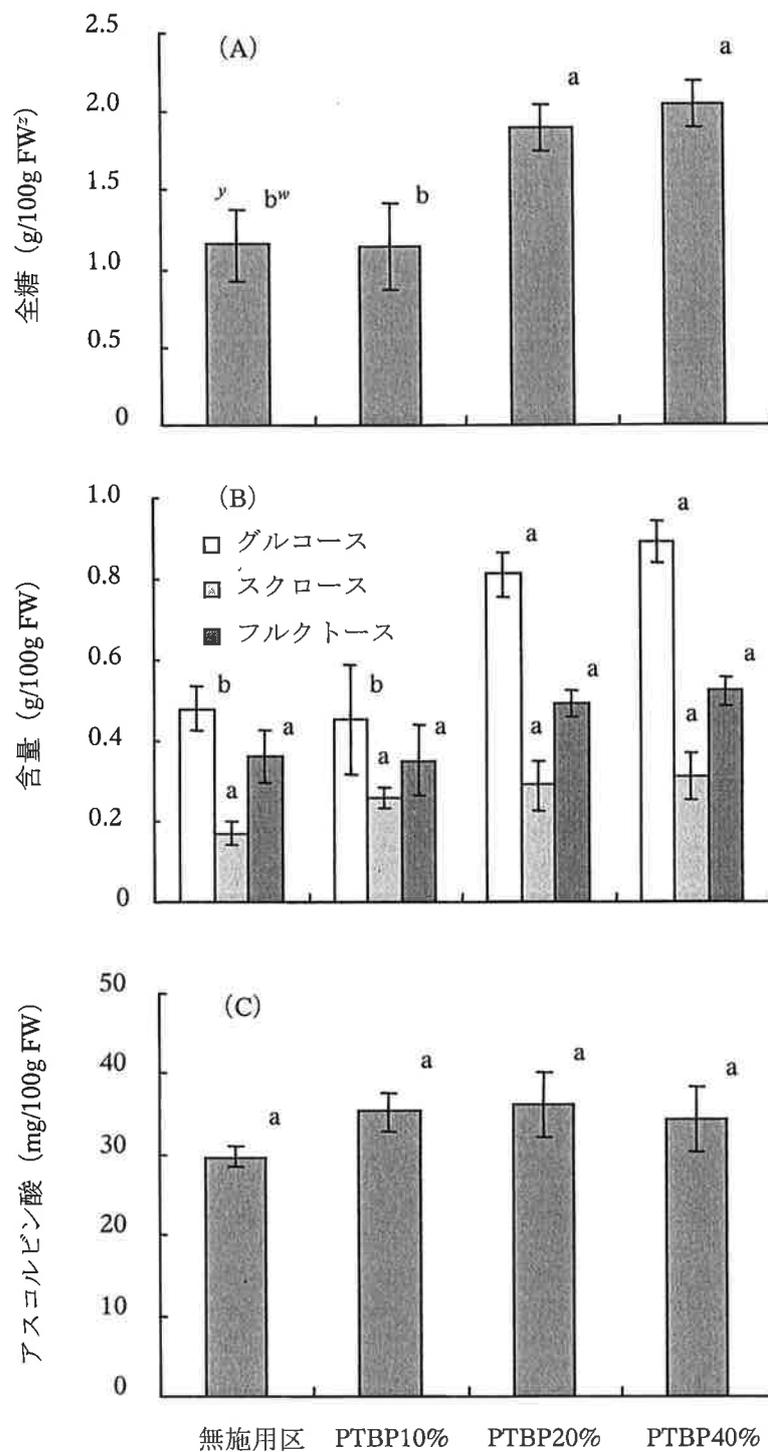


第3-1-1図 ホウレンソウの (A) 全糖および (B) アスコルビン酸の含量に及ぼす PTBP施用の影響

異なるアルファベット間には各供試土壌の処理区間に5%水準で有意差あり (LSD)

図中の縦棒は標準誤差を示す (n=3)

^x供試土壌毎の平均



第3-1-2図 コマツナの (A) 全糖, (B) グルコース, スクロース, フルクトース, (C) アスコルビン酸の含量に及ぼすPTBP施用の影響

²FW: 新鮮重

ノ図中の縦棒は標準誤差を示す

**異なるアルファベット間には5%水準で有意差あり (LSD)

た。一方、PTBP 施用はコマツナのグルコース、スクロース、フルクトースの含量を増加させる傾向を示した。特に、グルコース含量は PTBP20%区と PTBP40%区で無施用区に比べ有意に高かった。アスコルビン酸含量への PTBP 施用効果は、ハウレンソウとコマツナのいずれの処理区においても認められなかった。

第 3-1-3 表と第 3-1-4 表それぞれにハウレンソウとコマツナのクロロフィルおよびカロテノイドの含量に及ぼす PTBP 施用の影響を示した。PTBP 施用はハウレンソウでクロロフィル a と b の含量の比 (a/b) を PTBP20%区と PTBP40%区で有意に増加させた。さらに、コマツナにおいてもクロロフィル a、クロロフィル a+b および a/b を有意に増加させ、PTBP40%区で最も効果が認められた。また、ハウレンソウの滅菌区でも PTBP 施用はクロロフィル a、クロロフィル b およびクロロフィル a+b を有意に増加させた。一方、カロテノイド含量でも PTBP 施用による増加傾向がみられ、ハウレンソウは PTBP20%区、コマツナでは PTBP10%区でそれぞれ無施用区に対して有意に増加した。しかし、ハウレンソウの滅菌区では差は認められなかった。

第3-1-3表 ホウレンソウのクロロフィルおよびカロテノイドの含量に及ぼすPTBP施用の影響

供試土壌	処理	クロロフィルa (mg/g FW ^z)	クロロフィルb (mg/g FW)	クロロフィルa+b (mg/g FW)	a/b	カロテノイド (mg/100g FW)
未滅菌	無施用区	0.39 a ^y	0.19 a	0.58 a	2.11 b	2.49 b
	PTBP10%	0.27 a	0.12 a	0.39 a	2.23 ab	3.27 b
	PTBP20%	0.34 a	0.13 a	0.47 a	2.56 a	5.93 a
	PTBP40%	0.41 a	0.16 a	0.58 a	2.49 a	4.43 ab
滅菌	無施用区	0.32 c	0.14 b	0.45 c	2.31 a	2.30 a
	PTBP10%	0.50 a	0.21 a	0.72 a	2.38 a	2.73 a
	PTBP20%	0.47 ab	0.20 a	0.67 ab	2.39 a	2.91 a
	PTBP40%	0.41 b	0.18 a	0.59 b	2.23 a	2.79 a
供試土壌	NS ^x	*	*	NS	**	
処理	NS	NS	NS	*	**	
供試土壌×処理	*	**	*	*	NS	

^zFW：新鮮重

^y異なるアルファベット間には各供試土壌の処理区間に5%水準で有意差あり (LSD)

^xNS, *, **: 分散分析により, 有意差なし, 5%, 1%水準で有意差あり

第3-1-4表 コマツナのクロロフィルおよびカロテノイドの含量に及ぼすPTBP施用の影響

処理	クロロフィルa (mg/g FW ²)	クロロフィルb (mg/g FW)	クロロフィルa+b (mg/g FW)	a/b	カロテノイド (mg/100g FW)
無施用区	0.38 c ²	0.22 a	0.60 b	1.73 c	1.96 b
PTBP10%	0.49 b	0.25 a	0.74 a	1.97 bc	2.37 a
PTBP20%	0.57 a	0.24 a	0.81 a	2.49 a	2.09 b
PTBP40%	0.54 ab	0.24 a	0.78 a	2.27 ab	2.04 b

²FW：新鮮重

²異なるアルファベット間には5%水準で有意差あり (LSD)

考 察

PTBP 施用は元肥 N 量の 40% を PTBP で施用することにより、ホウレンソウで草丈と葉面積を増加したが（第 3-1-1 表）、コマツナでは地上部の生育に影響が認められず、地下部新鮮重と乾物重を増加した（第 3-1-2 表）。これは作物の生育に及ぼす PTBP 施用の影響が、作物により異なることを示唆している。なお、通常栽培に比べホウレンソウとコマツナの生育が劣ったのは、PTBP 施用の影響を検討するために施肥量を控えて栽培したためである。

全糖含量はホウレンソウ、コマツナともに未滅菌区の PTBP20% 区と PTBP40% 区で、無施用区に比べ有意に増加した（第 3-1-1 図 A、第 3-1-2 図 A）。小林ら（1974）はカキに光合成細菌を施用し、糖度が増加したことを報告しており、本実験の結果も同様だった。また、PTBP 施用はコマツナの主要な糖成分であるグルコース、スクロース、フルクトース中（建部ら、1995）、グルコース含量を無施用区に比べ顕著に増加させた（第 3-1-2 図 B）。した

がって、PTBP 施用によるコマツナの全糖含量の増加は、グルコース含量の増加によるものと考えられる。糖含量はハウレンソウ（目黒ら，1986），コマツナ（小沢，1996）の食味において重要な要因であり，本実験で PTBP 施用によりハウレンソウとコマツナの全糖含量が増加したことから，PTBP はこれら葉野菜の食味向上に有効な資材であると考えられる。一方，小林（1978）は光合成細菌体をトマトに施用し，トマト果実中のアスコルビン酸含量が増加したことを報告している。しかし，本実験において PTBP 施用がハウレンソウとコマツナのアスコルビン酸含量に及ぼす影響は認められなかった（第 3-1-1 図 B，第 3-1-2 図 C）。

ハウレンソウのクロロフィル含量に及ぼす PTBP 施用の影響は，未滅菌区で a/b が有意に高かった（第 3-1-3 表）。これは，クロロフィル b 含量は変化せず，クロロフィル a 含量のみが増加したためで，コマツナにおいても同じ傾向がみられた。さらに，コマツナでは a/b に加えクロロフィル a+b も，PTBP 施用により無施用区に比べ有意に増加した（第 3-1-4 表）。これは，PTBP 施用によりクロロフィル a 含量が有意に増加したためで，クロロフ

イル含量に及ぼす PTBP 施用効果はコマツナでより顕著であると考えられる。

一方、PTBP 施用はホウレンソウとコマツナのカロテノイド含量を無施用区に比べ有意に増加させた（第 3-1-3 表，第 3-1-4 表）。小林ら（1974）はカキ，ミカン，トマトに光合成細菌体を施用し，これら果実中のカロテノイド含量が増加したことを報告しており，本実験の結果も同様だった。小林ら（1974）はこのカロテノイド含量の増加を，光合成細菌体中のカロテノイドが土壌微生物により分解を受け，直接，間接に植物体中の色素合成系にとり込まれたと推察した。光合成細菌の一種である紅色非硫黄細菌も菌体中にカロテノイドを持つことが知られている（平山，1978）。しかし，ホウレンソウにおける滅菌区では PTBP 施用によるカロテノイド含量の増加はみられなかった。さらに，PTBP 施用による全糖含量の増加もみられず，クロロフィル b 含量は増加し，未滅菌区とは異なる傾向を示した。これらの結果はホウレンソウによる PTBP 成分の吸収および利用過程において，土壌微生物が関与したことを示している。

以上より，PTBP 施用は供試作物および供試土壌の違い

によりその作用が異なることが示された。したがって、効果的な PTBP 施用方法を確立するためには、PTBP 施用が作物により生育および品質と土壌微生物に及ぼす影響を検討する必要がある。

摘 要

一般的な葉野菜であるホウレンソウとコマツナを供試し、紅色非硫黄細菌の施用が生育と品質に及ぼす影響を検討した。紅色非硫黄細菌は液体培養した後、凍結乾燥したもの（PTBP）を用いた。PTBP 施用は、ホウレンソウの地上部とコマツナの地下部の生育を促進させ、作物間で PTBP 施用の影響が異なった。品質では全糖とカロテノイドの含量をともに増加させた。さらに、ホウレンソウはクロロフィル a と b 含量の比（a/b）を、コマツナでは a/b に加え、クロロフィル a および a+b 含量も増加させ、コマツナに対する効果がより顕著だった。一方、ホウレンソウでは土壌の滅菌処理の影響も検討した。滅菌区の PTBP 施用では全糖、カロテノイドの含量で、処理区間の差は認められなかった。さらに、クロロフィル

a+b 含量は増加したが a/b では差はみられず，これはクロロフィル a 含量とクロロフィル b 含量がともに増加したためだった．よって，滅菌区では未滅菌区と異なる傾向がみられ，PTBP 施用効果と土壤微生物の間に相互作用があることが示唆された．

第 2 節 紅色非硫黄細菌 (*Rhodobacter sphaeroides*) の施用がメロンとトマトの生育と品質に 及ぼす影響

材料および方法

紅色非硫黄細菌 (*Rhodobacter sphaeroides*) は ‘NR3’
を用い、第 2 章と同様に PTBP を供試した。

実験 1. メロンの生育と果実品質に及ぼす影響

供試作物はメロン ‘モナミレッド’ を用いた。種子は
流水中に 24h 浸漬後、催芽処理 (30℃, 24h) し、鳥取大
学乾燥地研究センターの砂丘砂を充填した直径 9cm 黒ビ
ニルポットに 1 粒ずつ播種した。定植は 9 号の素焼鉢に
1 株ずつとし、自根親蔓 1 本仕立て 1 果どりで栽培した。
ビニルハウス内で 1 回目は 2001 年 7 月 25 日播種、36 日
間育苗後 8 月 30 日に定植し、交配 55 日目となる 11 月
13～19 日に収穫、2 回目は 2003 年 5 月 19 日播種、35 日
間育苗後 6 月 23 日に定植し、交配 50 日目となる 9 月 10
～15 日に適宜収穫した。実験土壌は鳥取大学乾燥地研究
センターの砂丘砂および砂丘砂をオートクレーブで滅菌

処理（121℃，20min）したものを扱い，9号の素焼鉢に8kgずつ充填した。

施肥は大塚ハウス1号および2号（（株）大塚化学）を扱い，2001年の栽培ではN:P₂O₅:K₂O:CaO:MgO = 210:80:270:230:40ppmの液肥，2003年にはN:P₂O₅:K₂O:CaO:MgO = 260:120:405:230:60ppm（A処方1単位）の液肥で，それぞれ適時行った。

処理区はPTBP2.5gを施用したPTBP区，PTBP1.25gを施用した1/2PTBP区およびPTBPを施用しない無施用区の計3区を設け，2001年は各処理区3反復とし，2003年には各処理区5反復とした。なお，無施用区は2001年にはPTBP2.5gに含まれるN量を(NH₄)₂SO₄で施用し，2003年には第2-2表に示す無機成分をそれぞれの含量に従って，(NH₄)₂SO₄，KH₂PO₄，KCl，Ca(NO₃)₂・4H₂O，MgSO₄・7H₂Oで施用した。1/2PTBP区ではPTBPに加え，無施用区の1/2の無機成分を施用した。

栽培終了時に草丈，新鮮重および乾物重（葉，茎，地上部，地下部），葉面積を測定した。乾物重は乾燥処理（80℃，72h）後，葉面積は自動面積計（AAC-410，（株）林電工）で，それぞれ測定した。果実調査は縦径，横径，

縦/横，新鮮重，着果節位を測定した．さらに，果実を放射状に切った切片から果肉部分を取り，ガーゼで絞り果汁を得，糖度，有機酸，スクロース，グルコース，フルクトースの含量を測定した．また，各部位（葉，茎，果実，地下部）の無機成分含量も測定した．

糖度は手持屈折計（N1-E，（株）アタゴ）で，有機酸含量は果汁を蒸留水で10倍に希釈し，0.1N NaOHで中和滴定後，滴定量をクエン酸含量に換算（0.1N NaOH 1mlをクエン酸 6.4mgに換算）（元村，1990）して表示した．

スクロース，グルコース，フルクトースは果汁を超純水で50倍に希釈し，0.20 μ mのメンブレンフィルター（マイレックス-LG，MILLIPORE）でろ過した後，高速液体クロマトグラフィー（HPLC；LC-10ADV_P，（株）島津製作所）で分析した．分析条件は，検出器：L-7490型（RI検出器），（株）日立製作所，カラム：Shodex SUGAR SC1011（8×300mm），（株）昭和電工，ガードカラム：Shodex SUGAR SC-LG（6×50mm），（株）昭和電工，カラム温度：80℃，移動相：H₂O，流速：1.0ml/minとした．

各部位の無成分含量は前処理を硫酸-過酸化水素分解法（水野・南，1980；大山ら，1991）を一部改変し行っ

た。すなわち，葉，茎，地下部の乾物は粉碎機（UDY Cyclone sample mill, UDY Corp.）で粉碎したものを，果実は果汁を凍結乾燥したものをそれぞれ 200mg, 100mg を精秤し，蒸留水 2ml とサリチル硫酸 2ml を加えよく攪拌した後，熱処理（240℃，1h）をした。次に室温になるまで放冷し，過酸化水素 0.4ml を加え加熱処理（240℃，15min）を行い，分解液が無色透明になるまで繰り返した。分解液が無色透明になった後，さらに 1h 加熱処理を続け，放冷後に蒸留水で 50ml に定容した。前処理後，N はインドフェノール法（都築，1994）で，P₂O₅ はバナドモリブデン酸法（伊藤・木村，1990）で，K, Ca, Mg は原子吸光光度計（170-30 型，（株）日立製作所）でそれぞれ測定した。

実験 2. トマトの果実品質に及ぼす影響

供試作物はトマト‘ルネッサンス’を用いた。2002 年 7 月 4 日に播種し，生長した苗を 8 月 26 日に鳥取大学農学部附属農場の畑土壌 15kg を充填した 1/2000a のワグネルポットに定植した。栽培はビニルハウス内で行い，完熟状態となった果実を順次収穫し，全個体の第 2 花房の収穫が終了した 12/4 までの 100 日間行った。なお，各花

房 2 果となるよう摘果した。

施肥は Hoagland 液 (N : P₂O₅ : K₂O : CaO : MgO : Fe₂O₃ : B : Mn : Cu : Mo : Zn = 210.0 : 71.0 : 282.0 : 280.0 : 88.0 : 8.6 : 0.5 : 0.5 : 0.02 : 0.02 : 0.05mg/l) (Hoagland・Arnon, 1938) 400ml/ポットを 5 日毎に施用することにより行った。

処理区は PTBP を 1 回で施用した区と 10 回に分割して施用した区それぞれに, PTBP2.5g を施用した PTBP 区, PTBP1.25g を施用した 1/2PTBP 区および PTBP を施用しない無施用区の計 6 処理区を設けた。反復は各処理区 5 反復とした。なお, 無施用区は PTBP2.5g に含まれる N 量を, 1/2PTBP 区では PTBP1.25g に含まれる N 量を, それぞれ (NH₄)₂SO₄ で施用した。

果実品質は各処理区 1 ポットにつき第 1, 第 2 花房それぞれ 2 果ずつの計 4 果を用いた。収穫した果実は果重を測定後, 放射状に切った切片をガーゼで絞り果汁を得, 糖度, 有機酸およびアスコルビン酸の含量を測定した。また, 有機酸については高速液体クロマトグラフィー (HPLC) でリン酸, クエン酸, リンゴ酸も測定した。

糖度および有機酸含量は第 1 節と同じ方法で測定した。

アスコルビン酸含量は果汁 1g を 5%メタリン酸 10ml とともに磨砕，遠心分離（3,300rpm, 15min）で得た上澄みを用い，ヒドラジン法（Shigeokaら，1979）で行った．リン酸，クエン酸，リンゴ酸は果汁を超純水で 10 倍に希釈し，0.20 μ m のメンブレンフィルター（マイレックス-LG, MILLIPORE）でろ過した後，HPLC（LC-10ADVP,（株）島津製作所）で分析した．分析条件は，検出器：CDD-6A（電気伝導度検出器），（株）島津製作所，カラム：Shim-pack SCR-101H（7.9×300mm），（株）（島津製作所），ガードカラム：Shim-pack SCR-H（4×50mm），（株）（島津製作所），カラム温度：40℃，移動相：5mM p-トルエンスルホン酸水溶液，反応相：5mM p-トルエンスルホン酸および 100 μ M EDTA を含む 20mM Bis-tris 水溶液，流速：0.8ml/min とした．

結 果

実験 1. メロンの生育と果実品質に及ぼす影響

第 3-2-1 表，第 3-2-2 表それぞれに 2001 年，2003 年におけるメロンの生育に及ぼす PTBP 施用の影響を示した．

第3-2-1表 2001年におけるメロンの生育に及ぼすPTBP施用の影響

供試土壌	PTBP施用	新鮮重					乾物重				
		草丈 (cm)	葉 (g)	茎 (g)	地上部 (g)	地下部 (g)	葉 (g)	茎 (g)	地上部 (g)	地下部 (g)	葉面積 (cm ²)
未滅菌	無施用区	165.6 a ^z	160.6 a	130.5 a	291.0 a	46.0 a	26.4 a	10.7 a	37.2 a	6.8 a	3957.0 a
	1/2 PTBP	165.4 a	222.3 a	168.5 a	390.8 a	82.9 a	31.9 a	14.4 a	46.3 a	14.9 a	5151.7 a
	PTBP	162.6 a	198.8 a	151.5 a	350.4 a	63.2 a	34.2 a	13.9 a	48.1 a	9.8 a	4800.3 a
滅菌	無施用区	171.5 a	214.1 a	154.2 a	368.2 a	56.5 a	34.2 a	13.0 a	47.2 a	8.6 a	5293.7 a
	1/2 PTBP	166.9 a	231.9 a	178.1 a	410.0 a	76.2 a	34.9 a	14.2 a	49.1 a	14.0 a	5418.0 a
	PTBP	163.1 a	235.5 a	154.4 a	389.9 a	44.6 a	34.3 a	11.9 a	46.2 a	5.2 a	5287.3 a
供試土壌		NS ^y	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
PTBP施用		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
供試土壌×PTBP施用		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

^z異なるアルファベット間には5%水準で有意差あり (LSD)

^yNS : 分散分析により有意差なし

第3-2-2表 2003年におけるメロンの生育に及ぼすPTBP施用の影響

供試土壌	PTBP施用	新鮮重					乾物重				
		草丈 (cm)	葉 (g)	茎 (g)	地上部 (g)	地下部 (g)	葉 (g)	茎 (g)	地上部 (g)	地下部 (g)	葉面積 (cm ²)
未滅菌	無施用区	192.4 a ^z	499.3 a	401.4 a	900.7 a	203.6 a	71.4 a	32.3 a	103.7 a	40.1 a	12277.6 a
	1/2 PTBP	184.9 a	462.5 a	368.8 a	831.4 a	193.8 a	65.0 a	29.4 a	94.4 a	35.8 a	9781.3 d
	PTBP	191.8 a	498.3 a	411.1 a	909.4 a	179.7 a	68.7 a	32.4 a	101.1 a	33.7 a	10281.2 cd
滅菌	無施用区	193.6 a	512.2 a	398.5 a	910.7 a	244.2 a	70.9 a	34.3 a	105.2 a	42.6 a	11623.6 ab
	1/2 PTBP	192.2 a	518.0 a	399.8 a	917.7 a	222.4 a	69.8 a	33.3 a	103.1 a	40.0 a	11356.1 abc
	PTBP	191.9 a	496.9 a	396.3 a	893.3 a	172.0 a	69.7 a	31.4 a	101.1 a	34.1 a	10564.1 bcd
供試土壌		NS ^y	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	**
PTBP施用		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
供試土壌×PTBP施用		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	*

^z異なるアルファベット間には5%水準で有意差あり (LSD)

^yNS, *, **: 分散分析により, 有意差なし, 5%, 1%水準で有意差あり

2003年の葉面積を除くすべての調査項目で、2001年、2003年ともにPTBP施用の効果が認められなかった。2003年の未滅菌区における1/2PTBP区とPTBP区の葉面積はそれぞれ9781.3cm²と10281.2cm²で、無施用区の12277.6cm²に比べ有意に減少した。

第3-2-3表、第3-2-4表それぞれに2001年、2003年におけるメロン果実の品質に及ぼすPTBP施用の影響を示した。2001年の果径で未滅菌区・1/2PTBP区の縦/横が1.04となり、無施用区の0.97に比べ有意に増加した。一方、2001年、2003年ともに、その他すべての調査項目でPTBP施用による処理区間の差は認められなかった。

第3-2-1図に2001年と2003年におけるメロン果実のスクロース、グルコース、フルクトース含量に及ぼすPTBP施用の影響を示した。2001年のスクロース、グルコース、フルクトースの含量はそれぞれ42.3～61.0mg/g FW、14.8～20.3mg/g FW、19.6～25.0mg/g FWの範囲、2003年にはそれぞれ87.8～98.8mg/g FW、11.9～16.7mg/g FW、11.2～13.4mg/g FWの範囲となり変異がみられたが、処理区間に有意差は認められなかった。

第3-2-2図に2001年におけるメロンの無機成分含量に

第3-2-3表 2001年におけるメロン果実の品質に及ぼすPTBP施用の影響

供試土壌	PTBP施用	縦径 (cm)	横径 (cm)	縦/横	新鮮重 (g)	糖度 (Brix : %)	有機酸 (mg/ml)	着果節位
未滅菌	無施用区	11.4 a ^z	11.8 a	0.97 b	871.0 a	13.8 a	5.1 a	14.7
	1/2 PTBP	13.0 a	12.5 a	1.04 a	1131.3 a	16.5 a	4.6 a	14.3
	PTBP	12.0 a	12.3 a	0.97 b	1009.5 a	14.7 a	4.8 a	14.3
滅菌	無施用区	12.0 a	12.0 a	1.00 ab	1009.5 a	13.9 a	4.8 a	14.3
	1/2 PTBP	12.9 a	13.2 a	0.98 b	1174.8 a	15.5 a	4.3 a	14.7
	PTBP	12.3 a	12.3 a	1.00 ab	1006.1 a	14.4 a	4.8 a	14.0
供試土壌		NS ^y	NS	NS	NS	NS	NS	-
PTBP施用		*	NS	NS	NS	NS	NS	-
供試土壌×PTBP施用		NS	NS	**	NS	NS	NS	-

^z異なるアルファベット間には5%水準で有意差あり (LSD)

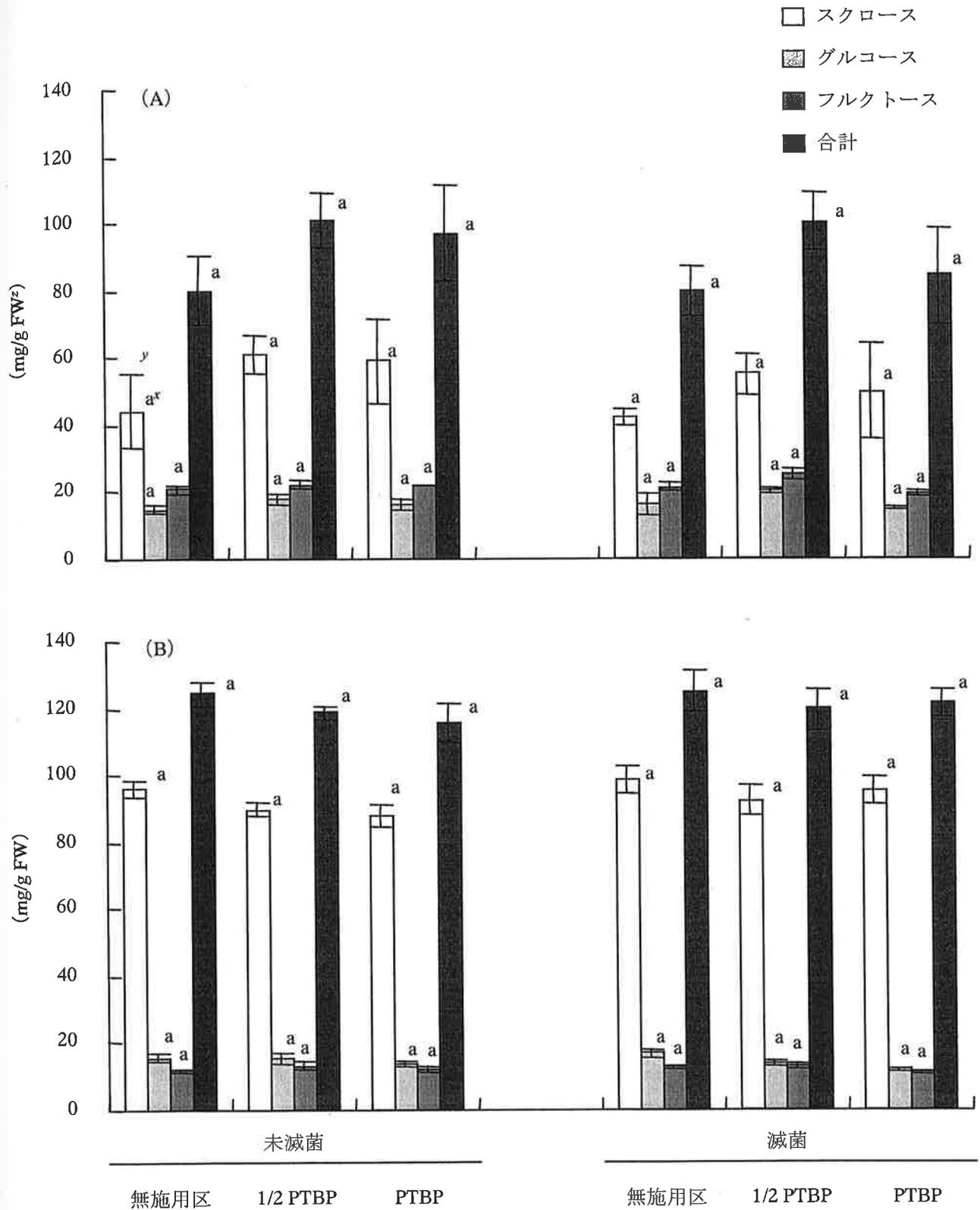
^yNS, *, **: 分散分析により有意差なし, 5%, 1%水準で有意差あり

第3-2-4表 2003年におけるメロン果実の品質に及ぼすPTBP施用の影響

供試土壌	PTBP施用	縦径 (cm)	横径 (cm)	縦/横	新鮮重 (g)	糖度 (Brix : %)	有機酸 (mg/ml)	着果節位
未滅菌	無施用区	13.9 a ^z	14.5 a	0.95 a	1523.0 a	16.1 a	3.7 a	14.8
	1/2 PTBP	14.2 a	14.3 a	0.99 a	1641.7 a	15.6 a	3.4 a	14.2
	PTBP	14.0 a	14.4 a	0.98 a	1677.9 a	15.3 a	3.5 a	15.4
滅菌	無施用区	14.4 a	14.5 a	1.00 a	1519.7 a	16.3 a	3.1 a	14.6
	1/2 PTBP	13.9 a	13.9 a	1.01 a	1513.3 a	15.4 a	3.5 a	15.2
	PTBP	14.0 a	13.9 a	1.01 a	1442.8 a	15.3 a	3.8 a	14.4
供試土壌		NS ^y	NS	NS	NS	NS	NS	-
PTBP施用		NS	NS	NS	NS	NS	NS	-
供試土壌×PTBP施用		NS	NS	NS	NS	NS	NS	-

^z異なるアルファベット間には5%水準で有意差あり (LSD)

^yNS : 分散分析により有意差なし

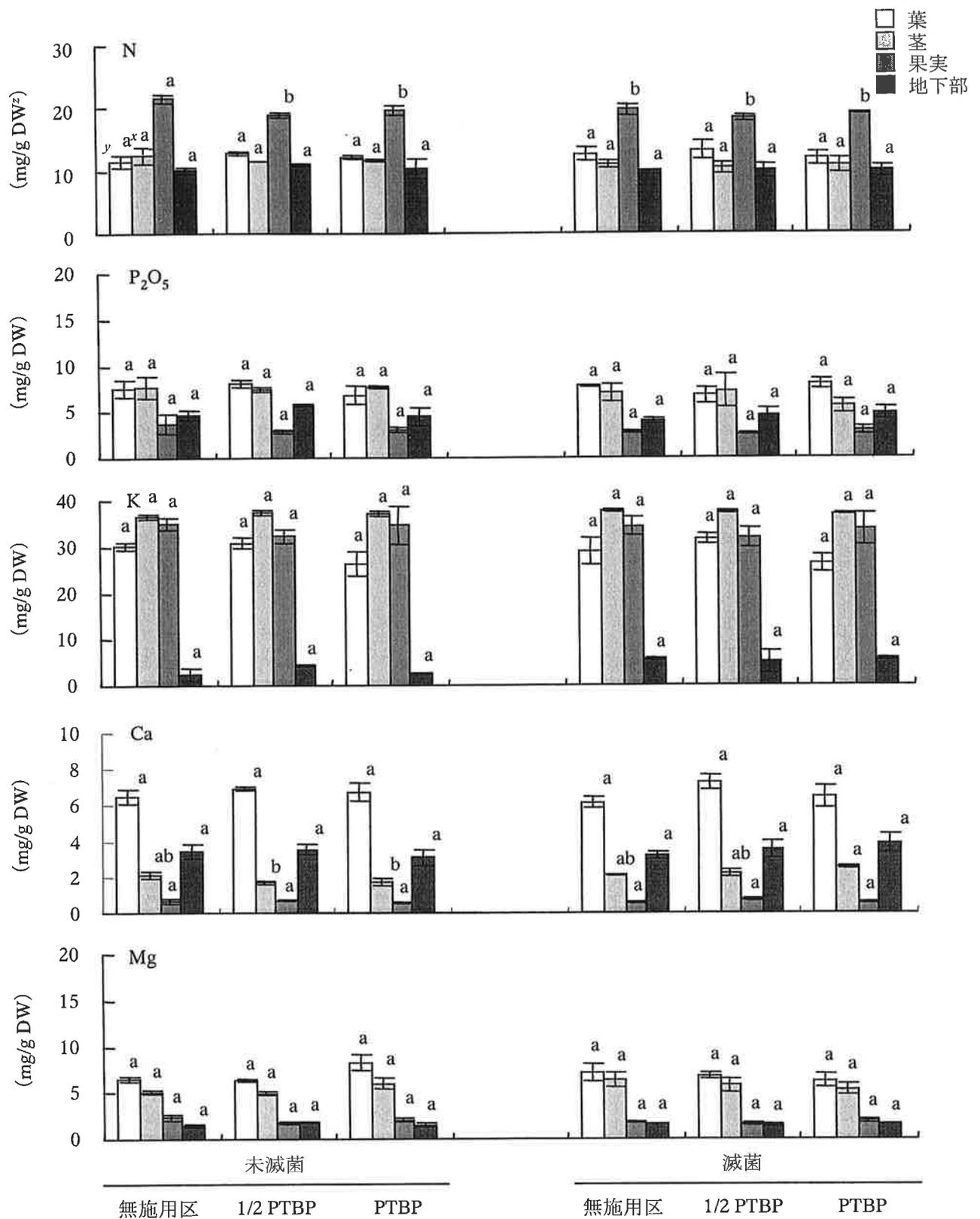


第3-2-1図 (A) 2001年, (B) 2003年におけるメロン果実のスクロース, グルコース, フルクトース含量に及ぼすPTBP施用の影響

²FW: 新鮮重

³縦棒は標準誤差を示す (A; n=3, B; n=5)

^{*}異なるアルファベット間には5%水準で有意差あり (LSD)



第3-2-2図 2001年におけるメロンの無機成分含量に及ぼすPTBP施用の影響

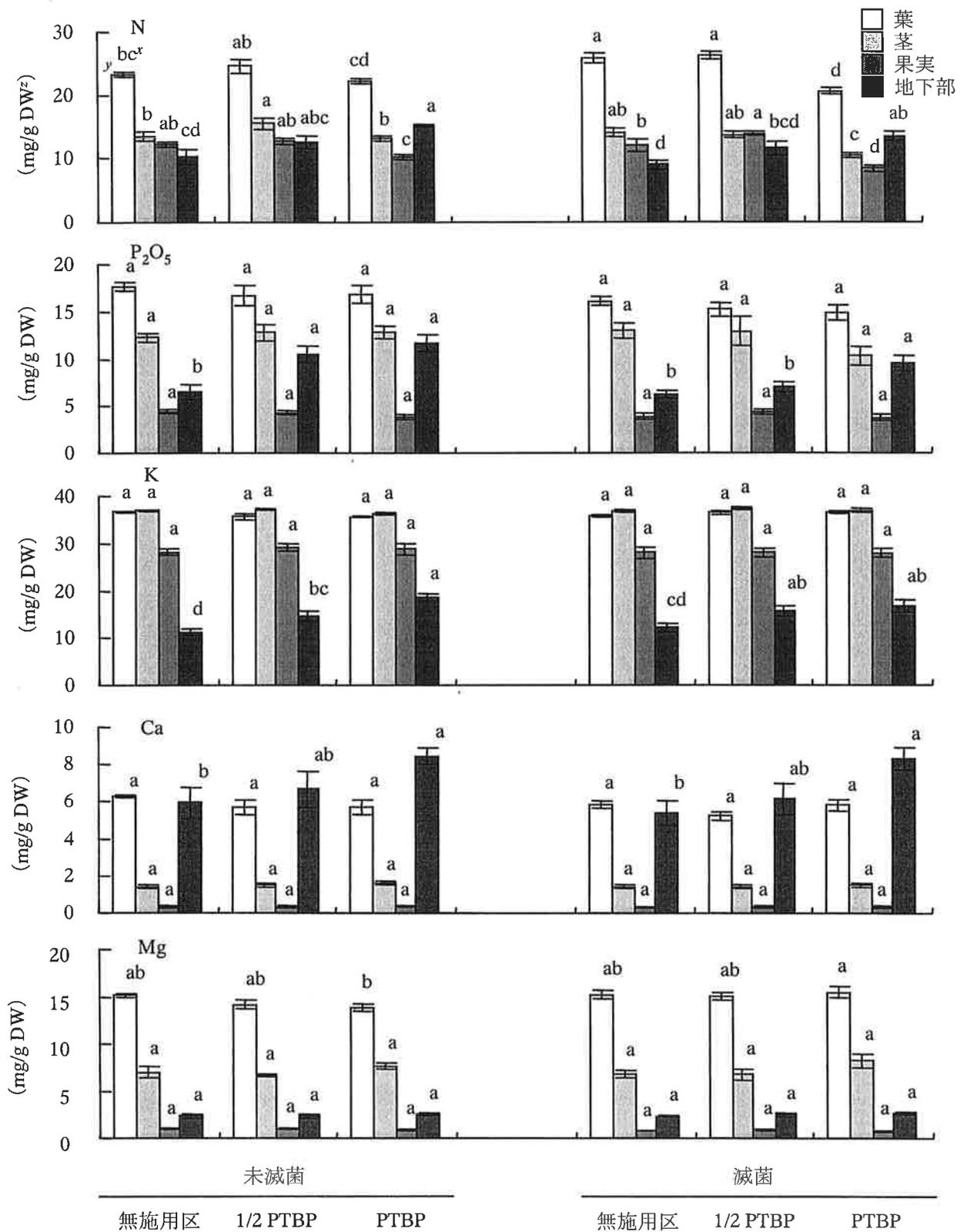
²DW：乾物重

¹縦棒は標準誤差を示す (n=3)

*異なるアルファベット間には5%水準で有意差あり (LSD)

及ぼす PTBP 施用の影響を示した。果実の N 含量は未滅菌の 1/2PTBP 区と PTBP 区がそれぞれ 18.9mg/g DW と 19.6mg/g DW で無施用区の 21.6mg/g DW に比べ、有意に少なくなった。しかし、滅菌区では処理区間に差は認められなかった。また、果実におけるその他の無機成分含量にも、各処理区間に差が無かった。さらに、葉、茎、地下部それぞれの各無機成分含量にも、処理区間の差は認められなかった。

第 3-2-3 図に 2003 年におけるメロンの無機成分含量に及ぼす PTBP 施用の影響を示した。葉の N 含量は滅菌・PTBP 区が 20.6mg/g DW で、無施用区の 25.9mg/g DW に比べ有意に少なくなった。茎の N 含量は未滅菌・1/2PTBP 区が 15.5mg/g DW で、無施用区の 13.5mg/g DW に比べ有意に増加した。また、滅菌・PTBP 区が 10.5mg/g DW で、無施用区の 14.1mg/g DW に比べ有意に減少した。果実の N 含量は未滅菌・PTBP 区が 10.2mg/g DW で、無施用区の 12.3mg/g DW に比べ有意に減少した。また、滅菌・1/2PTBP 区は 13.9mg/g DW で無施用区の 12.0mg/g DW に比べ有意に増加し、逆に PTBP 区では 8.4mg/g DW と有意に減少した。一方、地上部におけるその他の無機成分含



第3-2-3図 2003年におけるメロンの無機成分含量に及ぼすPTBP施用の影響

^aDW: 乾物重

^y縦棒は標準誤差を示す (n=5)

^x異なるアルファベット間には5%水準で有意差あり (LSD)

量には処理区間の差はみられなかった。地下部の N 含量は未滅菌，滅菌の PTBP 区がそれぞれ 15.2, 13.5 mg/g DW で，無施用区の 10.3, 9.0 mg/g DW に比べ有意に増加した。P₂O₅ 含量は未滅菌区の 1/2PTBP 区と PTBP 区がそれぞれ 10.5, 11.7 mg/g DW と無施用区の 6.5 mg/g DW に比べ有意に増加した。また，滅菌区でも PTBP 区が 9.5 mg/g DW で，無施用区の 6.2 mg/g DW に比べ有意に増加した。K 含量は未滅菌区の 1/2PTBP 区と PTBP 区がそれぞれ 14.6, 18.5 mg/g DW で，無施用区の 11.2 mg/g DW に比べ有意に増加した。また，滅菌区でも 1/2PTBP 区と PTBP 区がそれぞれ 15.6, 16.6 mg/g DW で，無施用区の 12.1 mg/g DW に比べ有意に増加した。Ca 含量は未滅菌区の 1/2PTBP 区と PTBP 区がそれぞれ 6.7, 8.4 mg/g DW で，無施用区の 5.9 mg/g DW に比べ有意に増加した。また，滅菌区でも 1/2PTBP 区と PTBP 区がそれぞれ 6.1, 8.3 mg/g DW で，無施用区の 5.4 mg/g DW に比べ有意に増加した。一方，Mg 含量は PTBP 施用による影響がいずれの処理区間においても認められなかった。

実験 2. トマトの果実品質に及ぼす影響

第 3-2-5 表にトマト果実の品質に及ぼす PTBP 施用の

第3-2-5表 トマト果実の品質に及ぼすPTBP施用の影響

施用回数	PTBP施用	果重 (g)	糖度 (Brix : %)	有機酸 (%)
1回施用	無施用区	102.7 a ^z	8.3 a	0.73 a
	1/2 PTBP	112.4 a	7.8 a	0.62 a
	PTBP	110.7 a	8.0 a	0.66 a
10回施用	無施用区	99.2 a	8.6 a	0.76 a
	1/2 PTBP	108.1 a	8.3 a	0.64 a
	PTBP	97.8 a	8.2 a	0.66 a
施用回数		NS ^y	NS	NS
PTBP施用		NS	NS	NS
施用回数×PTBP施用		NS	NS	NS

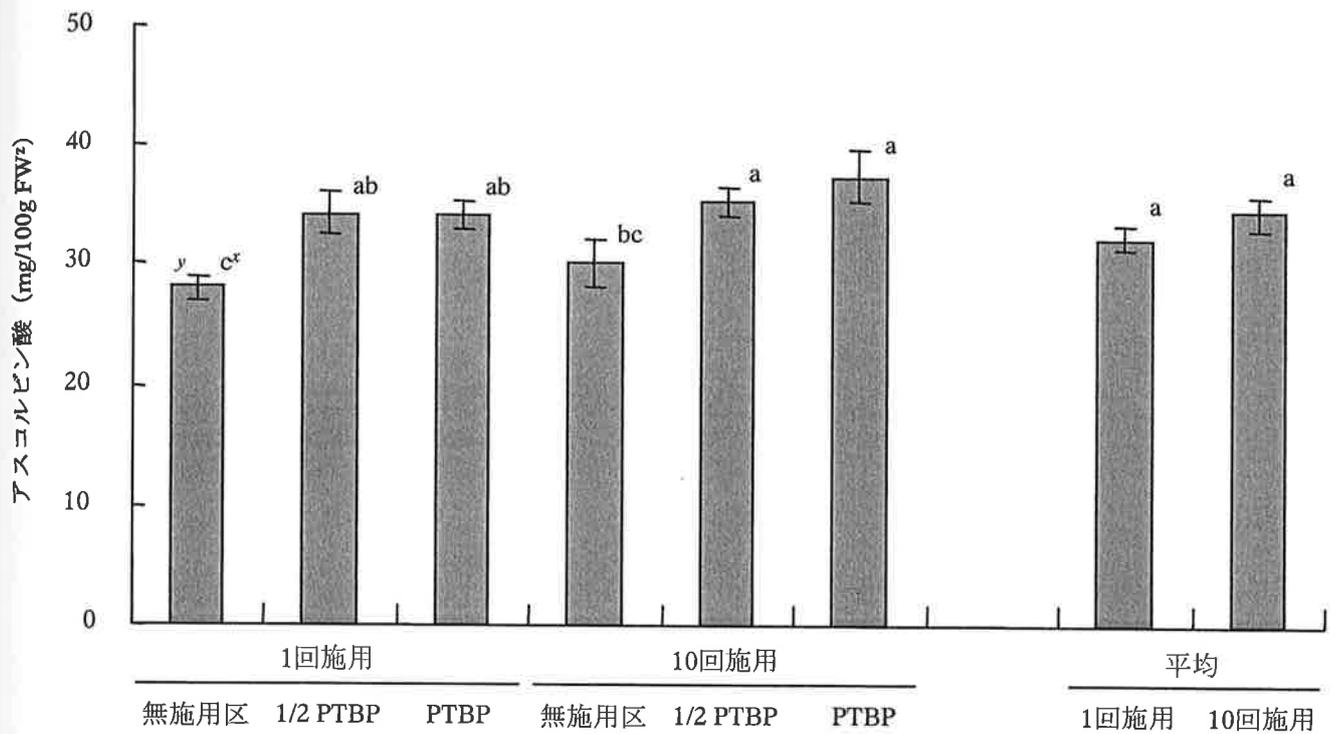
^z異なるアルファベット間には5%水準で有意差あり (LSD)

^yNS : 分散分析により有意差なし

影響を示した。1回施用区は果重が102.7～112.4g、糖度が7.8～8.6% (Brix)、有機酸含量が0.62～0.73%、10回施用区では果重が97.8～108.1g、糖度が8.2～8.6% (Brix)、有機酸含量が0.64～0.76%の範囲で、すべての処理区間においてPTBP施用による影響は認められなかった。また、1回施用と10回施用の間にも差はみられなかった。

第3-2-4図にトマト果実のアスコルビン酸含量に及ぼすPTBP施用の影響を示した。1回施用区は無施用区の28.1mg/100g FWに比べ1/2PTBP区、PTBP区がそれぞれ34.3、34.2mg/100g FWと有意に増加した。10回施用区でも無施用区の30.3mg/100g FWに比べ1/2PTBP区、PTBP区がそれぞれ35.4、37.4mg/100g FWと有意に増加した。一方、1回施用と10回施用の平均には差は認められなかった。

第3-2-5図にトマト果実のリン酸、クエン酸、リンゴ酸の含量に及ぼすPTBP施用の影響を示した。リン酸含量は10回施用区で無施用区の0.60mg/mlに比べ、PTBP区が0.91mg/mlと有意に増加した。しかし、1回施用区では差はみられなかった。また、1回施用区と10回施用区の平均にも差は認められなかった。クエン酸含量は

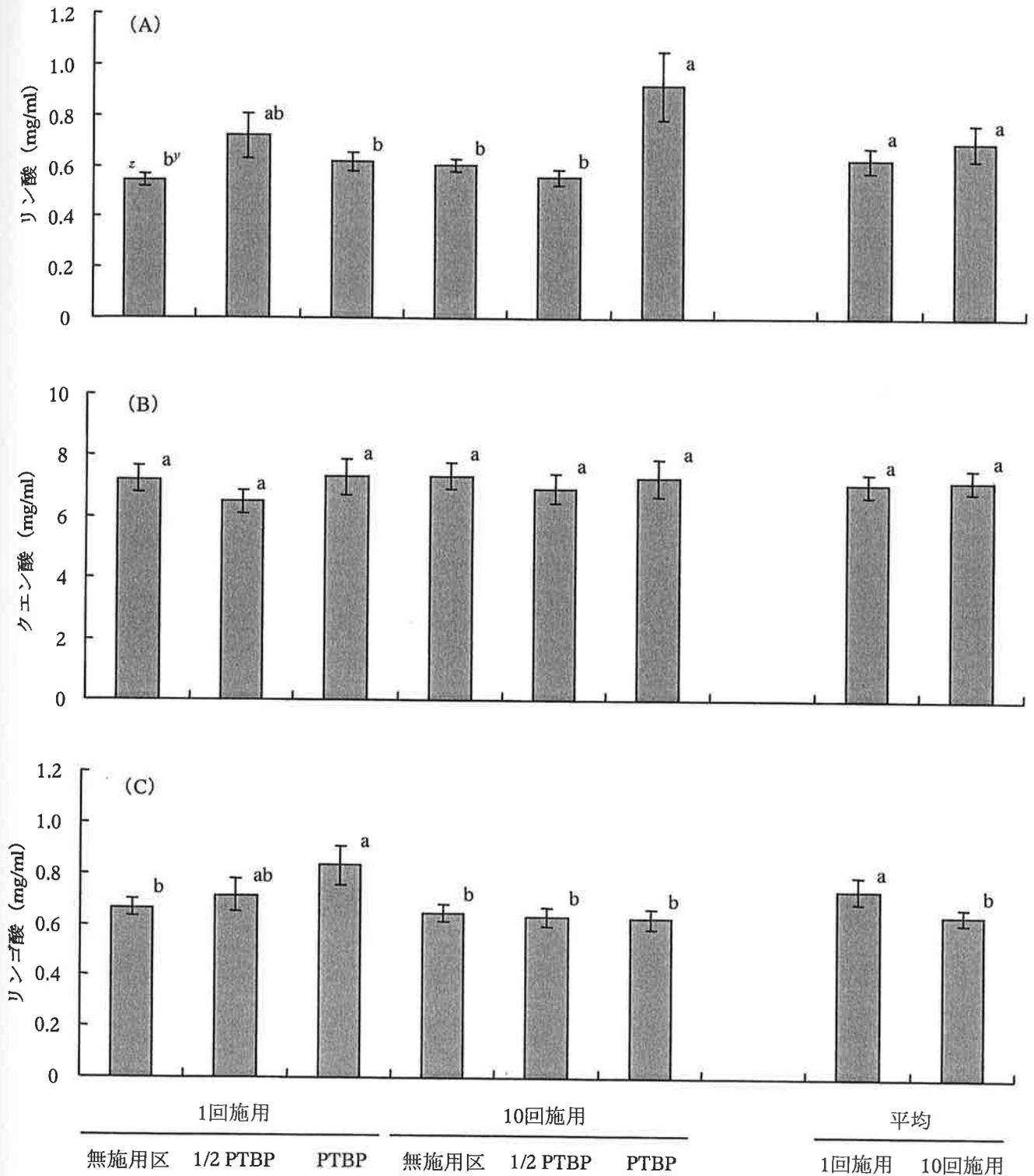


第3-2-4図 トマト果実のアスコルビン酸含量に及ぼすPTBP施用の影響

FW：新鮮重

縦棒は標準誤差を示す (n=5)

異なるアルファベット間には5%水準で有意差あり (LSD)



第3-2-5図 トマト果実の (A) リン酸, (B) クエン酸, (C) リンゴ酸の含量に及ぼすPTBP施用の影響
 *縦棒は標準誤差を示す (n=5)
 *異なるアルファベット間には5%水準で有意差あり (LSD)

6.48～7.33mg/ml の範囲で，すべての処理区間に差はみられなかった．リンゴ酸含量では 1 回施用区で無施用区の 0.66mg/ml に比べ，PTBP 区が 0.83mg/ml と有意に増加した．一方，10 回施用区では処理区間に差は認められなかった．また，1 回施用区と 10 回施用区の平均はそれぞれ 0.74mg/ml と 0.64mg/ml で，1 回施用区が有意に多くなった．

考 察

実験 1. メロンの生育と果実品質に及ぼす影響

メロンの生育と果実品質に及ぼす PTBP 施用の影響は，2003 年における未滅菌区の葉面積の減少，2001 年における未滅菌区・1/2PTBP 区の縦/横の増加を除き，いずれの処理区においても認められなかった．これは第 2 章の実験での結果と同様に，施肥量が多いために PTBP 施用効果が認められなかったと考えられる．一方，2001 年の未滅菌区は PTBP 施用により生育が促進される傾向がみられたが，2003 年の未滅菌区では PTBP 施用により生育が抑制されるという反対の傾向もみられた．さらに，PTBP

施用は糖度を2001年で増加させる傾向を示したが、2003年ではこの傾向はみられなかった。小林ら(1974)は光合成細菌を5月～9月にかけてミカンに施用し、果色とカロテノイド含量は8、9月施用が、糖含量では5、6、7月施用がそれぞれ有効であったことを報告している。本実験は2001年には8/30～11/19に行われ、栽培中期から後期にかけて気温が低い時期であったのに対し、2003年では生育期間が6/23～9/15と気温が高い時期だった。本実験における作期と糖度の関係は小林ら(1974)の報告と同様であり、作期の違いがPTBP施用効果に関係していることが考えられる。なお、2003年におけるメロンの生育と果実品質が2001年より優れていたのは、作期が2001年に比べ高温期であり、さらに施肥量が2001年に比べ多かったことが原因と考えられる。

無機成分では2001年と2003年ともに果実において未滅菌区でPTBP施用によりN含量の減少が認められ、2003年では滅菌・PTBP区でも減少した。また、地下部ではいずれの供試土壌においてもN、 P_2O_5 、K、Caの含量を増加させた。これは、PTBP施用はメロンの無機成分の吸収および移動に影響することを示している。さらに、PTBP

施用は 2003 年の滅菌区でのみ N 含量を葉と茎においても減少させた。これは、メロンにおいても第 1 節と同様に PTBP 施用効果に土壌微生物が関係していることを示している。

実験 2. トマトの果実品質に及ぼす影響

小林 (1978) は光合成細菌体をトマトに施用し、トマト果実中のアスコルビン酸含量が増加したことを報告している。本実験においても PTBP 施用はトマトのアスコルビン酸含量を増加させた (第 3-2-4 図)。アスコルビン酸はトマトの栄養成分の 1 つであり (吉田ら, 1984b), PTBP 施用はトマトの品質向上に有効であると考えられる。さらに、近藤ら (2003) は供試土壌として砂丘砂を用い、PTBP 施用と PTBP 施用方法の違いがトマトの果実品質に及ぼす影響を検討し、1 回施用で糖度が上昇し、10 回施用では果重とアスコルビン酸含量が増加したとし、施用方法の違いにより PTBP 施用の効果が異なることを報告している。しかし、本実験では 1 回施用、10 回施用ともにアスコルビン酸含量の増加がみられ、施用方法の違いによる差は認められなかった。一方、果重、糖度、有機酸含量に PTBP 施用および施用方法の違いによ

る影響はみられなかった（第3-2-5表）。また，トマト果実のリン酸，クエン酸，リンゴ酸の含量に及ぼすPTBP施用の影響は，近藤ら（2003）が1回施用区でクエン酸含量が，10回施用区でクエン酸とリンゴ酸含量がそれぞれ増加したことを報告している。しかし，本実験では1回施用区でリンゴ酸含量が，10回施用区ではリン酸含量がそれぞれ増加し（第3-2-5図），異なる傾向を示した。これらの原因として，近藤ら（2003）はPTBP施用の影響をより明瞭とするために供試土壤に砂丘砂を用い，少ない施肥量で栽培を行ったのに対し，本実験では畑土壤を用い，施肥量を増やしたことが考えられる。

以上より，PTBP施用はメロンの糖度およびトマトのアスコルビン酸含量増加に有効だった。さらに，その効果は作型，施用方法により異なり，低温期ではPTBP施用によるメロンの糖度上昇が期待される。

摘 要

一般的な果菜であるメロンとトマトを供試して紅色非硫黄細菌の施用が生育と品質に及ぼす影響を検討した。

紅色非硫黄細菌は第2章と同様にPTBPを供試した。

メロンでは2001年と2003年の2回栽培を行った。PTBP施用は生育と品質に対し、2001年と2003年では異なる影響を示した。すなわち、2001年はPTBP施用により生育が促進され糖度が増加する傾向がみられたが、2003年では生育が抑制され糖度の増加は認められなかった。これは栽培期間が2001年は8/30～11/19と比較的低温期で、2003年では6/23～9/15と高温期であったことが関係していると考えられた。また、PTBP施用は無機成分含量で2001年、2003年ともに果実のN含量を減少させ、地下部ではN、 P_2O_5 、K、Caの含量を増加させた。よって、PTBP施用はメロンの無機成分の吸収および移動に影響することが示された。さらに、PTBP施用は2003年の滅菌区でのみN含量を葉と茎において減少させ、第1節と同様にPTBP施用効果に土壤微生物の影響が考えられた。

トマトではPTBP施用を1回もしくは10回に分割して行い、施用方法の違いも検討した。PTBP施用はアスコルビン酸含量を増加させた。しかし、施用方法の違いによる差は認められなかった。さらに、果重、糖度、有機酸含量にはPTBP施用および施用方法の違いによる影響は

みられなかった。一方、1回施用区でリンゴ酸含量が、10回施用区ではリン酸含量がそれぞれ増加し、異なる傾向を示した。

以上より、PTBP施用はメロンの糖度およびトマトのアスコルビン酸含量増加に有効だった。さらに、その効果は作型、施用方法により異なり、低温期の作期ではメロンの糖度上昇が期待される。

第 4 章 紅色非硫黄細菌 (*Rhodobacter sphaeroides*)

施用が土壤微生物相に及ぼす影響

緒 言

有機物施用が栽培作物，土壤に与える効果は（１）土壤の物理性に及ぼす物理的效果，（２）腐植物質などによる化学的效果，（３）肥料的効果，（４）有機物そのものが持つ有機物質や微生物が分泌する有機物質による生理的效果，（５）有用微生物が増加することによる微生物的效果が考えられる（野口，1992a）．さらに，これらの効果は必ず何らかの形で土壤微生物が関与する（野口，1992a；坂本・大羽，1995；坂本ら，1996）．第 3 章ではハウレンソウとメロンを供試した実験で PTBP 施用効果が未滅菌区と滅菌区で異なり，PTBP 施用効果に土壤微生物が関係していることを示した．したがって，土壤へ PTBP を施用した場合における，土壤微生物相の変化を調査することは重要であると考えられる．

そこで，本実験では実験 1 として蔬菜栽培土壤の微生物相に及ぼす影響，実験 2 として 3 作期連続施用が土壤

微生物相に及ぼす影響，実験3として施用回数の違いが
土壌微生物相に及ぼす影響をそれぞれ検討した。

材料および方法

紅色非硫黄細菌 (*Rhodobacter sphaeroides*) は 'NR3'
とし，第2章で供試した PTBP を用いた。

実験1. 蔬菜栽培土壌の微生物相に及ぼす影響

供試作物は葉菜としてホウレンソウ 'バージニア'
(2000年) とコマツナ 'さおり小松菜' (2000年) を，
根菜としてニンジン 'ベータリッチ' (2000年) とハツ
カダイコン 'レッドチャイム' (2000年) を，果菜とし
てトマト '強力米寿2号' (2000年) とメロン 'モナミ
レッド' (2001年，2003年) を用いた。栽培期間および
施肥量はそれぞれ第4-1表に示した条件で行い，ホウレ
ンソウ，コマツナ，ニンジン，ハツカダイコンおよびト
マトは N を $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ と $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ， P_2O_5 を KH_2PO_4 ，
 K_2O を KCl ， CaO を $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ， MgO を $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
を用いて施用した。メロンでは N を $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ で施用し，
さらに大塚ハウス1号および2号((株)大塚化学)を用

第4-1表 供試作物の施肥量および栽培期間

供試作物	施肥量 (N:P ₂ O ₅ :K ₂ O:CaO:MgO) (kg/10a)	栽培期間
ホウレンソウ	20:20:20:20:5	2000/11/4 ~ 1/13
	20:20:20:20:5	2001/3/6 ~ 5/5
	20:20:20:20:5	2001/7/23 ~ 10/1
コマツナ	15:15:15:18:5	2000/11/13 ~ 2/1
	15:15:15:18:5	2001/7/10 ~ 9/3
	15:15:15:18:5	2001/10/5 ~ 12/3
ニンジン	10:3:20:10:1.5 + 液肥 ^z	2000/11/25 ~ 7/2
ハツカダイコン	10:10:10:20:5 + 液肥 ^z	2000/12/30 ~ 3/9
トマト	25:8:45:20:5 + 液肥 ^z	2000/10/26 ~ 6/18
	0.25gN/ポット + 液肥 ^z	2001/11/6 ~ 5/22
	0.25gN/ポット + 液肥 ^z	2002/8/26 ~ 12/4
メロン	0.25g N/ポット + 液肥 ^y	2001/8/30 ~ 11/13-19
	0.25:0.03:0.07:0.01:0.006g/ポット + 液肥 ^x	2003/6/23 ~ 9/10-15

^z追肥としてHoagland液を適時施用

^y大塚ハウス1号+大塚ハウス2号, 500培希釈液を適時施用

^x大塚ハウス1号+大塚ハウス2号, A処方1単位を適時施用

い，2001年は $N : P_2O_5 : K_2O : CaO : MgO = 210 : 80 : 270 : 230 : 40$ ppm の液肥，2003年には $N : P_2O_5 : K_2O : CaO : MgO = 260 : 120 : 405 : 230 : 60$ ppm (A 処方 1 単位) の液肥で，それぞれ適時施用した．ホウレンソウとコマツナは 1 穴あたり 4 粒播きで 3 ヶ所/ポット，ニンジンとハツカダイコンは 1 穴あたり 3 粒播きで 4 ヶ所/ポットとし，適時間引きを行い最終的にそれぞれ 3 株/ポット，4 株/ポットとした．メロンとトマトは直径 9cm 黒ビニルポットへ播種し育苗後，メロンは 9 号素焼鉢，トマトは 1/2000a ワグネルポットに定植した．栽培はホウレンソウとコマツナは空調ガラスハウス内（温度： $20 \pm 3^\circ C$ ，自然光）で，ニンジン，ハツカダイコン，トマトはガラスハウス内で，メロンはビニルハウス内でそれぞれ行った．

処理区は PTBP を施用しない無施用区とホウレンソウ，コマツナ，ニンジン，ハツカダイコンで元肥の N 量の 20% と 40% を含む PTBP を施用した PTBP20% 区，PTBP40% 区の 2 区を，トマトでは元肥の N 量の 10% と 20% を含む PTBP を施用した PTBP10% 区，PTBP20% 区の 2 区を，メロンでは PTBP1.25g と 2.5g を施用した 1/2PTBP 区と PTBP 区の 2 区を，供試土壌の未滅菌区と滅菌区でそれぞれ

れ設けた計 6 処理区ずつとした。なお、PTBP 施用量はホウレンソウ (PTBP20%区 : 0.8g/ポット, PTBP40%区 : 1.6g/ポット), コマツナ (PTBP20%区 : 0.56g/ポット, PTBP40%区 : 1.12g/ポット), ニンジン (PTBP20%区 : 0.4g/ポット, PTBP40%区 : 0.8g/ポット), ハツカダイコン (PTBP20%区 : 0.4g/ポット, PTBP40%区 : 0.8g/ポット), トマト (PTBP10%区 : 1.25g/ポット, PTBP20%区 : 2.5g/ポット) であった。

栽培終了時に、ホウレンソウ、コマツナ、ニンジン、ハツカダイコンはポット内の土壌をよく混合したもの、トマトとメロンでは直径 2cm、地表から深さ 10cm までの土壌を 4ヶ所/ポット採取し、よく混合したものを 15g をそれぞれ用い、土壌微生物数の測定を希釈平板法(加藤, 1992; 宮下, 1992; 新田, 1992)で行った。糸状菌はローズベンガル寒天培地、放線菌と細菌はアルブミン寒天培地で培養し、計数した。

実験 2. 3 作期連続施用が土壌微生物相に及ぼす影響

実験 1 を行ったホウレンソウとコマツナ栽培土壌を用い、さらにそれぞれ 2 回連続して PTBP を施用し、計 3 回 (ホウレンソウ : 2000/11/4 ~ 1/13, 2001/3/6 ~ 5/5,

2001/7/23～10/1, コマツナ : 2000/11/13～2/1, 2001/7/10
～9/3, 2001/10/5～12/3) 栽培を行った (第4-1表)。栽
培, 処理区および土壌微生物数の測定方法は, 実験1に
準じて行った。なお, 各栽培終了時に土壌中に含まれる
地下部植物体は, 可能な限り手で除いた。

実験3. 施用回数の違いが土壌微生物相に及ぼす影響

供試作物は2000年(実験1)と2001年はトマト‘強
力米寿2号’を, 2002年はトマト‘ルネッサンス’を用
いた。供試土壌は2000年と2001年は鳥取大学乾燥地研
究センターの砂丘砂および砂丘砂をオートクレーブで滅
菌処理(121℃, 20min)した滅菌砂を, 2002年では鳥取
大学農学部附属農場の畑土壌を用いた。施肥は2001年と
2002年では Hoagland 液 (N : P₂O₅ : K₂O : CaO : MgO :
Fe₂O₃ : B : Mn : Cu : Mo : Zn = 210.0 : 71.0 : 282.0 : 280.0 :
88.0 : 8.6 : 0.5 : 0.5 : 0.02 : 0.02 : 0.05mg/l) (Hoagland・
Arnon, 1938) 400ml/ポットを5日毎に施用することによ
り行った。なお, 各栽培期間は 2000/10/26～6/18,
2001/11/6～5/22, 2002/8/26～12/4であった(第4-1表)。

処理区は2001年と2002年では実験1と同量のPTBP
(PTBP10%区 : 1.25g, PTBP20%区 : 2.5g) を10日毎に

10回に分けて施用した分割施用区を設けた。また、無施用区は PTBP2.5g に含まれる N 量を、PTBP10%区では PTBP1.25g に含まれる N 量を、それぞれ $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ で同様に分割して施用した。さらに、2002年では各処理を分割せず行う区もそれぞれ設けた。

それぞれの栽培終了時に実験1に準じて、土壌微生物数の測定を希釈平板法（加藤，1992；宮下，1992；新田，1992）で行った。

結 果

実験1. 蔬菜栽培土壌の微生物相に及ぼす影響

第4-2表，第4-3表，第4-4表にそれぞれ PTBP を施用したホウレンソウとコマツナ，ニンジンとハツカダイコン，トマトとメロン栽培土壌における糸状菌，放線菌，細菌数を示した。PTBP 施用は無施用区に比べ，未滅菌区のホウレンソウ，ニンジン，ハツカダイコン，トマトにおいて糸状菌数を有意に増加させ，その効果はハツカダイコンを除き，PTBP40%区でより顕著だった。また，PTBP 施用はニンジンとトマトでは滅菌区においても糸状菌数を有意に増加させた。一方，コマツナ，メロン（2001年，

第4-2表 PTBPを施用したハウレンソウとコマツナ栽培土壌における糸状菌，放線菌，細菌数

供試作物	供試土壌	処理	糸状菌数	放線菌数	細菌数	
			($\times 10^2$ /g 乾土)	($\times 10^3$ /g 乾土)	($\times 10^3$ /g 乾土)	
ハウレンソウ	未滅菌	無施用区	3.0 b ^z	0.8 b	2.6 a	
		PTBP20%	10.0 a	3.0 a	0.7 a	
		PTBP40%	12.3 a	1.1 b	1.5 a	
	滅菌	無施用区	3.0 b	0.1 b	0.1 a	
		PTBP20%	7.4 ab	1.3 ab	0.2 a	
		PTBP40%	7.0 ab	3.1 a	0.9 a	
	供試土壌			NS ^y	NS	*
	処理			**	*	NS
	供試土壌 × 処理			NS	*	NS
コマツナ	未滅菌	無施用区	3.1 ab	1.4 c	2.1 a	
		PTBP20%	3.2 a	2.6 b	2.7 a	
		PTBP40%	2.6 ab	2.6 b	2.0 a	
	滅菌	無施用区	0.3 c	1.2 c	0.9 a	
		PTBP20%	1.2 bc	3.1 ab	1.6 a	
		PTBP40%	1.6 abc	3.8 a	0.6 a	
	供試土壌			**	NS	*
	処理			NS	**	NS
	供試土壌 × 処理			NS	NS	NS

^z異なるアルファベット間には各供試作物の処理区間に5%水準で有意差あり (LSD)

^yNS, *, **: 分散分析により, 有意差なし, 5%, 1%水準で有意差あり

第4-3表 PTBPを施用したニンジンとハツカダイコン栽培土壌における糸状菌，放線菌，細菌数

供試作物	供試土壌	処理	糸状菌数 ($\times 10^2$ /g 乾土)	放線菌数 ($\times 10^3$ /g 乾土)	細菌数 ($\times 10^3$ /g 乾土)
ニンジン	未滅菌	無施用区	3.2 b ²	3.7 a	5.0 a
		PTBP20%	4.8 ab	3.5 a	4.8 a
		PTBP40%	5.3 a	4.1 a	3.9 a
	滅菌	無施用区	3.5 b	3.4 a	5.2 a
		PTBP20%	3.3 b	3.1 a	4.1 a
		PTBP40%	5.4 a	3.3 a	3.5 a
		供試土壌	NS ¹⁾	NS	NS
		処理	*	NS	NS
		供試土壌 × 処理	NS	NS	NS
	ハツカダイコン	未滅菌	無施用区	0.5 c	1.5 b
PTBP20%			2.2 a	3.5 a	2.3 bc
PTBP40%			1.1 b	3.9 a	2.7 abc
滅菌		無施用区	0.1 c	1.3 b	4.1 ab
		PTBP20%	0.1 c	3.2 a	1.4 c
		PTBP40%	0.2 c	4.1 a	2.0 c
		供試土壌	**	NS	NS
		処理	**	**	**
		供試土壌 × 処理	**	NS	NS

²異なるアルファベット間には各供試作物の処理区間に5%水準で有意差あり (LSD)

¹⁾NS, *, **: 分散分析により, 有意差なし, 5%, 1%水準で有意差あり

第4.4表 PTBPを施用したトマトとメロン栽培土壌における糸状菌，放線菌，細菌数

供試作物	供試土壌	処理	糸状菌数	放線菌数	細菌数	
			($\times 10^2$ /g 乾土)	($\times 10^3$ /g 乾土)	($\times 10^3$ /g 乾土)	
トマト	未滅菌	無施用区	2.7 c ^z	1.3 b	7.5 a	
		PTBP10%	4.6 abc	1.4 b	7.8 a	
		PTBP20%	7.0 a	2.8 a	8.3 a	
		滅菌	無施用区	3.2 bc	1.5 b	7.7 a
			PTBP10%	5.4 ab	2.0 ab	7.5 a
			PTBP20%	6.1 a	2.0 ab	7.4 a
	供試土壌			NS ^y	NS	NS
	処理			**	*	NS
	供試土壌 × 処理			NS	NS	NS
	メロン (2001年)	未滅菌	無施用区	14.8 a	3.3 b	2.3 a
1/2PTBP			11.6 a	6.6 a	3.4 a	
PTBP			17.4 a	3.9 a	2.1 a	
滅菌			無施用区	15.9 a	2.9 b	2.6 a
			1/2PTBP	16.2 a	3.5 b	2.3 a
			PTBP	11.7 a	2.6 b	2.3 a
供試土壌			NS	**	NS	
処理			NS	*	NS	
供試土壌 × 処理			NS	NS	NS	
メロン (2003年)		未滅菌	無施用区	2.0 a	2.4 bc	1.6 a
	1/2PTBP		4.3 a	2.8 b	0.9 a	
	PTBP		1.4 a	2.9 b	1.2 a	
	滅菌		無施用区	1.7 a	1.7 c	1.7 a
			1/2PTBP	2.7 a	2.6 bc	2.2 a
			PTBP	4.7 a	4.0 a	1.0 a
	供試土壌			NS	NS	NS
	処理			NS	**	NS
	供試土壌 × 処理			NS	*	NS

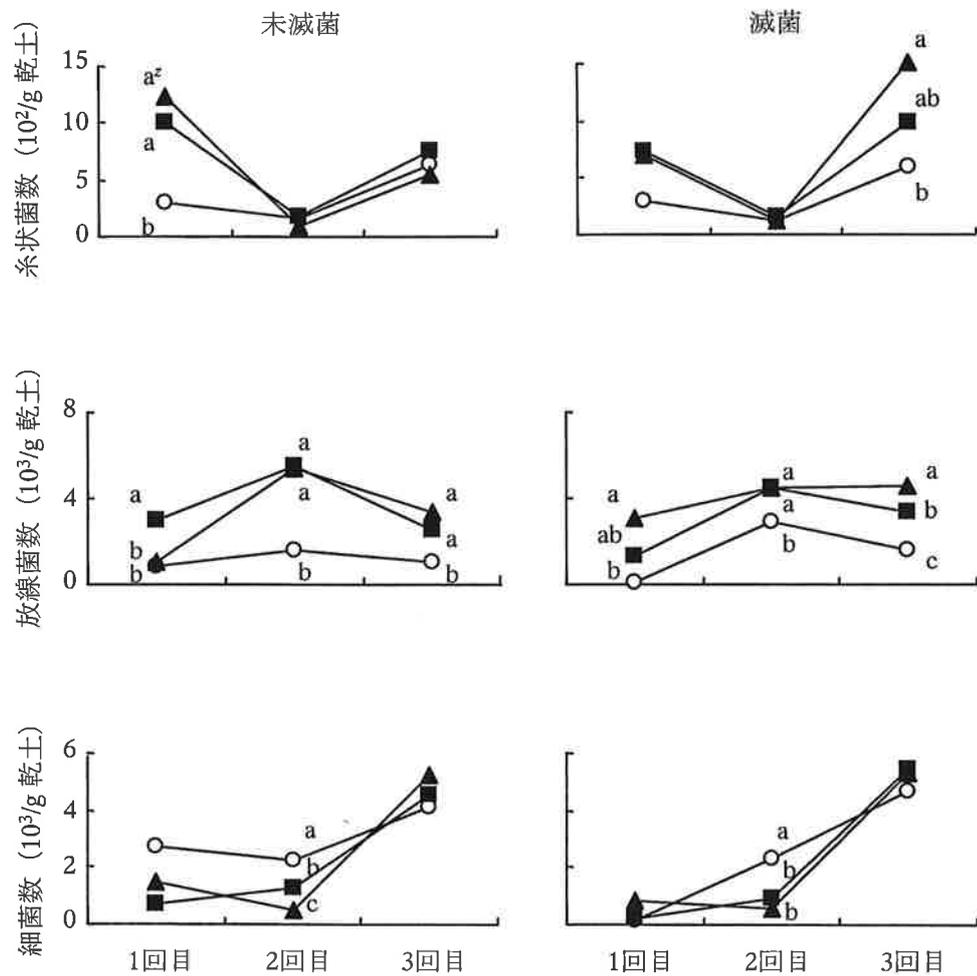
^z異なるアルファベット間には各供試作物の処理区間に5%水準で有意差あり (LSD)

^yNS, *, **: 分散分析により, 有意差なし, 5%, 1%水準で有意差あり

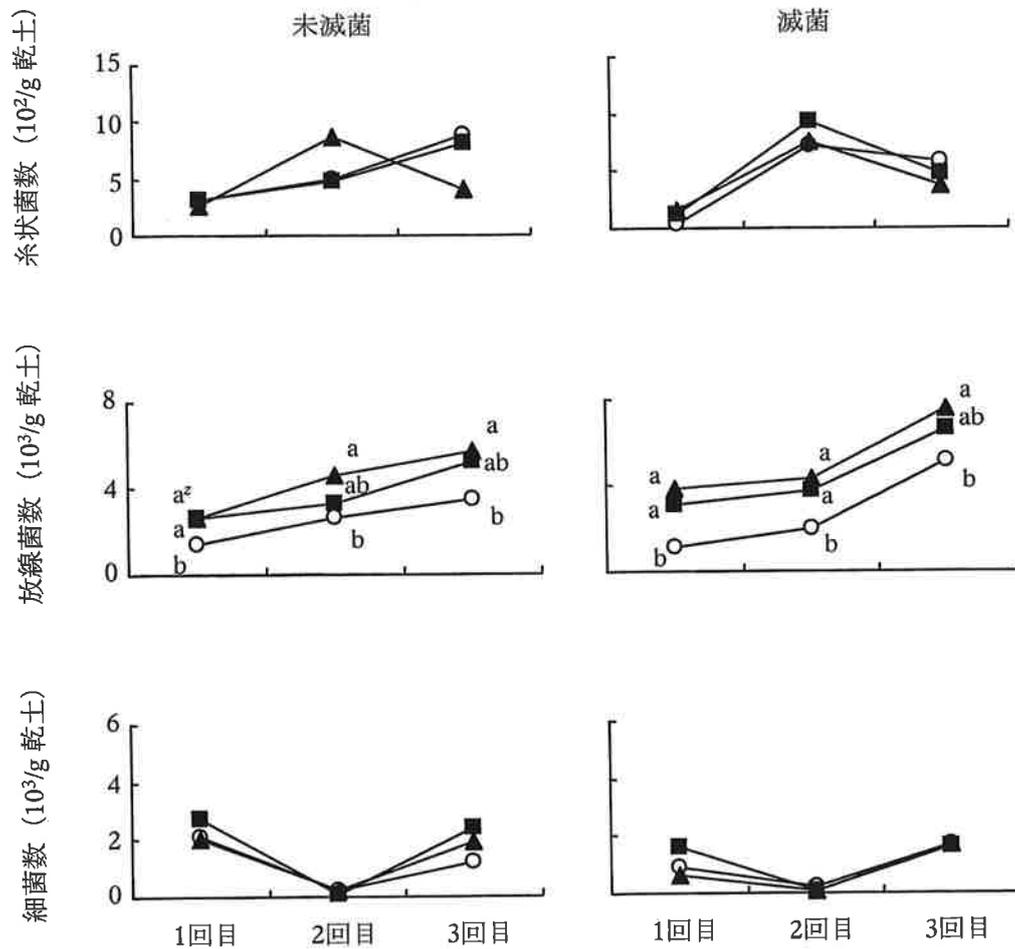
2003年)ではPTBP施用による糸状菌数への影響はみられなかった。さらに、PTBP施用は未滅菌区のホウレンソウ、コマツナ、ハツカダイコン、トマト、メロン(2001年)において放線菌数を有意に増加させた。また、PTBP施用はホウレンソウ、コマツナ、ハツカダイコンでは滅菌区においても、メロン(2003年)では滅菌区のみで、放線菌を有意に増加させた。一方、ニンジンではPTBP施用による放線菌数への影響はみられなかった。細菌数はハツカダイコンでのみ、未滅菌区と滅菌区でPTBP施用により有意に減少した。

実験 2. 3作期連続施用が土壌微生物相に及ぼす影響

第4-1図と第4-2図にそれぞれPTBPを3作期連続施用したホウレンソウとコマツナ栽培土壌における微生物数の推移を示した。糸状菌数はホウレンソウの未滅菌区において1回目でPTBP20%区とPTBP40%区が有意に増加したが、2回目以降では処理区間の差が無くなった。また、滅菌区では1回目、2回目と処理区間に差は無かったが、3回目でPTBP40%区が有意に増加した。一方、コマツナではPTBP連続施用による差はみられなかった。放線菌数はホウレンソウの未滅菌区、滅菌区ともに1回



第4-1図 PTBPを3作期連続施用したハウレンソウ栽培土壌における微生物数の推移
 ○：無施用区，■：PTBP10%区，▲：PTBP20%区
^z異なるアルファベット間には各供試土壌における実験回数時の
 処理区間に5%水準で有意差あり (LSD)

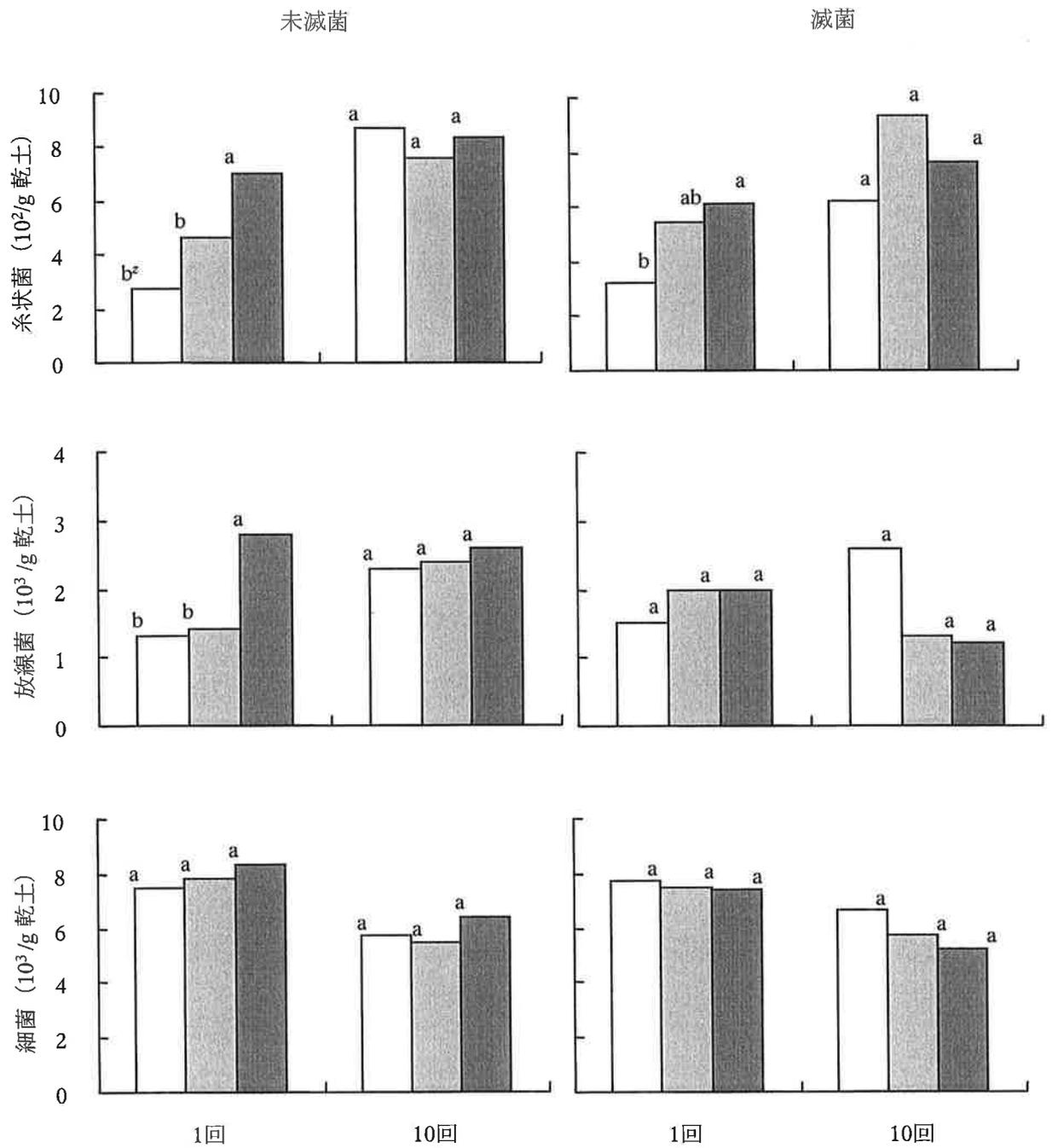


第4-2図 PTBPを3作期連続施用したコマツナ栽培土壌における微生物数の推移
 ○：無施用区，■：PTBP20%区，▲：PTBP20%区
 異なるアルファベット間には各供試土壌における実験回数時の
 処理区間に5%水準で有意差あり (LSD)

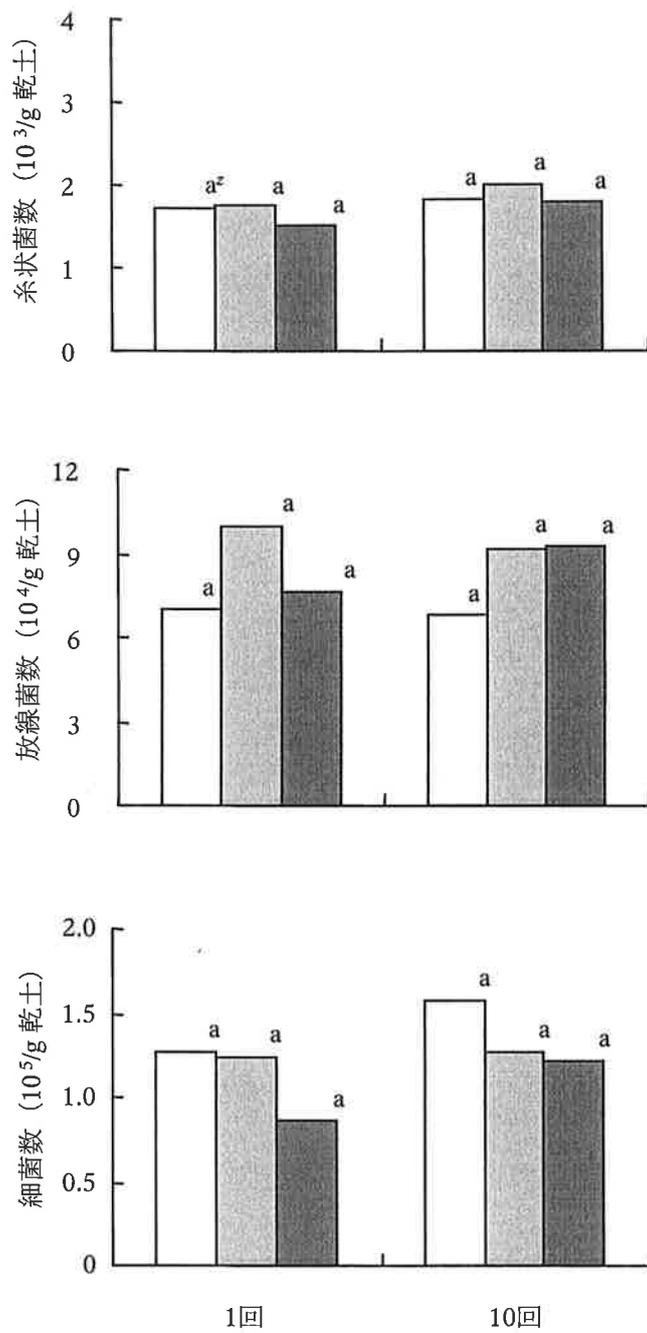
目で PTBP40%区が，2回目以降では PTBP20%区と PTBP40%区が無施用区に比べ有意に増加した．コマツナでは未滅菌区において1回目で PTBP20%区と PTBP40%区が，2回目以降では PTBP40%区が無施用区に比べ有意に増加した．また，滅菌区においては1回目と2回目で PTBP20%区と PTBP40%区が，3回目では PTBP40%区が有意に増加した．細菌数はハウレンソウにおいて2回目で未滅菌区の PTBP20%区と PTBP40%区，滅菌区の PTBP40%区が無施用区に比べ有意に減少したが，それ以外では処理区間に差はみられなかった．さらに，コマツナにおいてはすべての処理区間で差は認められなかった．

実験 3. 施用回数の違いが土壤微生物相に及ぼす影響

第 4-3 図と第 4-4 図にそれぞれ PTBP を 1 回および 10 回施用したトマト栽培砂地土壤とトマト栽培土壤における糸状菌，放線菌，細菌数を示した．トマト栽培砂地土壤における糸状菌数はトマト栽培砂地土壤の未滅菌区，滅菌区ともに 1 回施用・PTBP20%区が無施用区に比べ有意に増加したが，10 回施用区では処理区間に差はみられなかった．放線菌数はトマト栽培砂地土壤の未滅菌区において 1 回施用・PTBP20%区が無施用区に比べ有意に増



第4-3図 PTBPを1回および10回施用したトマト栽培砂地土壌における糸状菌，放線菌，細菌数
□：無施用区，▨：PTBP10%区，■：PTBP20%区
*異なるアルファベット間には各供試土壌における各施用方法の処理区間に5%水準で有意差あり (LSD)



第4-4図 PTBPを1回および10回施用したトマト栽培土壌における糸状菌，放線菌，細菌数
□：無施用区，▨：PTBP10%区，■：PTBP20%区
^a異なるアルファベット間には5%水準で有意差あり (LSD)

加したが，それ以外のすべての処理区間で差はみられなかった．細菌数はすべての処理区間で差は認められなかった．一方，トマト栽培土壌における糸状菌，放線菌，細菌数に PTBP 施用による影響は，いずれの処理区でも認められなかった．

考 察

実験 1. 蔬菜栽培土壌の微生物相に及ぼす影響

小林（1978）はトマトにおいて光合成細菌を施用すると砂耕および土耕とも放線菌/糸状菌の比が増大し，放線菌数が増加することを報告している．本実験において PTBP 施用により無施用区に比べ，コマツナとメロン栽培土壌では放線菌数の増加が認められ，同じ結果となった．*Rba. capsulatus* の菌体アミノ酸はアラニンとロイシンの含量を多く含み（Kobayashi ら，1967b），さらに，金森（1978）は *Rba. sphaeroides* ‘S 株’ がアラニン，グリシン，アスパラギン酸およびグルタミン酸の含量を多く含むことを報告している．よって，本実験における PTBP 施用による放線菌の増加は，PTBP に含まれるアラニンと

グリシンによることが考えられる。しかし、ホウレンソウ、ハツカダイコン、トマト栽培土壌では、放線菌数のみではなく糸状菌数も増加し、異なる傾向を示した。また、ニンジン栽培土壌では糸状菌数が、ハツカダイコン栽培土壌では細菌数がそれぞれ増加した。野口（1992b）は構成アミノ酸としてアラニン、グリシン、ロイシン、イソロイシンなどの中性脂肪族アミノ酸を多く含む有機質肥料は放線菌と細菌を増加させ、アスパラギン酸とグルタミン酸の酸性アミノ酸が多いものは糸状菌を増加させる傾向があることを報告している。よって、本実験における PTBP 施用による糸状菌数の増加は、PTBP に含まれるアスパラギン酸とグルタミン酸によることが考えられる。

以上より、PTBP 施用は土壌微生物中で糸状菌数と放線菌数を増加させることが明らかとなった。そして、糸状菌および放線菌の増加は PTBP のアミノ酸組成が影響すると考えられた。さらに、それら土壌微生物の増加は栽培作物により異なることが明らかとなった。

実験 2. 3 作期続施用が土壌微生物相に及ぼす影響

未滅菌区と滅菌区で PTBP を 3 作期連続施用するとホ

ウレンソウ，コマツナともに放線菌数が無施用区に比べ常に多く推移した（第4-1図，第4-2図）。この結果は，実験1で認められたPTBP施用による放線菌数の増加効果は，PTBP施用を連続的に行うと維持されることを示している。小林（1978）は光合成細菌体には土壤中の放線菌が好んで基質として利用できる成分を含むことを報告している。よって，PTBPの連続施用は放線菌数を増やす基質を作物の栽培土壌へ供給していると考えることができ，PTBPは放線菌数を増加させる有効な資材であることを示している。中尾ら（1996）はクロレラ熱水抽出物を土壌へ添加すると，放線菌数が増加することを報告している。そして，増加した放線菌には植物の生育促進をする生育調節物質を生成するものを多数含み，クロレラ熱抽出物の添加によるダイコン幼植物の生育促進に間接的に寄与したと推論している。さらに，クロレラ熱抽出物の添加は土壌病原菌に拮抗能を持つ放線菌も増加させ，土壌の静菌力を高めたとも推論している。よって，本実験におけるPTBP施用による放線菌数の増加も，第3章で認められたPTBP施用によるハウレンソウとコマツナの生育促進に間接的に寄与し，さらに，土壌の静菌力の

増加にも関係していることが考えられる。

一方，糸状菌数の推移は PTBP 施用によりホウレンソウで未滅菌区・1 回目および滅菌区・3 回目に差がみられたが，コマツナでは処理区間に差は認められず（第 4-1 図，第 4-2 図），供試作物により異なることが明らかとなった。

なお，細菌数はホウレンソウの 2 回目 PTBP 施用で減少した以外では差が認められず，PTBP 施用が細菌数に及ぼす影響は大きくないと考えられる。

以上より，PTBP の 3 作期連続施用は放線菌数を増加することが明らかとなった。また，糸状菌数の推移は供試作物の違いにより異なること，細菌数に及ぼす影響は大きくないことが示された。

実験 3. 施用回数の違いが土壌微生物相に及ぼす影響

砂地土壌における糸状菌数および放線菌数は未滅菌区，滅菌区ともに PTBP・1 回施用区が無施用区に比べ増加したが，10 回施用区では差がみられなかった（第 4-3 図）。この結果は，PTBP 施用は施用方法の違いにより，糸状菌数および放線菌数に及ぼす影響が異なり，1 回施用が糸状菌数および放線菌数を増加させるために有効であるこ

とを示している。10回施用区においてPTBP施用の影響が認められなかったのは、PTBPの1回の施用量がPTBP20%区、PTBP40%区でそれぞれ0.125, 0.25gであり、施用量が少ないことが原因の一つであると考えられる。また、畑土壌においてPTBP施用による糸状菌数、放線菌数、細菌数に及ぼす影響は、いずれの処理区においても認められなかった。一般に、畑土壌中の微生物数は砂地土壌に比べ多く、微生物的緩衝力が高いと考えられる。よって、畑土壌においてPTBP施用を行い土壌微生物相の多様化を行うには、より多量のPTBPを施用する必要があると考えられる。

以上より、PTBP施用は施用方法の違いにより、糸状菌数および放線菌数に及ぼす影響が異なることが示された。また、この違いは1回に施用するPTBPの量に関係していることが考えられた。さらに、畑土壌ではPTBP施用による影響はみられず、これは、畑土壌の微生物的緩衝力が高いことが関係していると考えられた。

摘 要

PTBP 施用が土壤微生物相に及ぼす影響を、以下の 3 つの実験を行い検討した。

実験 1 ではホウレンソウ、コマツナ、ニンジン、ハツカダイコン、トマト、メロンを供試し、蔬菜栽培土壤の微生物相に及ぼす影響を検討した。その結果、PTBP 施用により土壤微生物中で糸状菌数と放線菌数が増加することが明らかとなった。そして、糸状菌および放線菌の増加には PTBP のアミノ酸組成が影響していると考えられた。さらに、その増加は栽培作物により異なることが明らかとなった。

実験 2 ではホウレンソウとコマツナを供試し、3 作期連続施用が土壤微生物相に及ぼす影響を検討した。その結果、PTBP の 3 作期連続施用は 2 つの供試作物栽培土壤において放線菌数を増加することが明らかとなった。また、糸状菌数の推移は PTBP 施用によりホウレンソウで差がみられたが、コマツナでは差が認められず、供試作物の違いにより異なることも示された。

実験 3 では栽培期間の長いトマトを供試し、砂地および畑土壤において 1 回もしくは 10 回に分割施用し、施用回数の違いが土壤微生物に及ぼす影響を検討した。その

結果，1回施用区で糸状菌数および放線菌数を増加させたが，10回施用区では影響は認められなかった．これは，1回に施用するPTBPの量が関係しているのかもしれない．さらに，畑土壌ではPTBP施用による影響はみられなかった．これは，畑土壌は砂地土壌に比べ土壌微生物数が多く，微生物的緩衝力が高いことが関係していると考えられた．

以上より，PTBPを施用すると糸状菌数と放線菌数が増加すること，放線菌数の増加はPTBPを連続施用することにより維持されること，施用方法は分割するよりも1回にある程度の量を施用することで糸状菌数と放線菌数を増加させることが明らかとなった．また，PTBP施用は放線菌数を増加させることから，生育促進，土壌病害の抑制に有効な資材であると考えられた．

第 5 章 異なる光質条件下で栽培したコマツナの
生育と品質に及ぼす紅色非硫黄細菌
(*Rhodobacter sphaeroi*eds) 施用の影響

緒 言

植物の重要な生育環境要因の一つである光質が植物の生育に様々な影響を及ぼすことが知られている (Schopfer, 1966; Bienger・Schopfer, 1970; Warrington・Mitchell, 1976; Shigeoka ら, 1979; 福田ら, 1990; 1991; 1992; 渡部・門屋, 1991; 福田・池田, 1993; 遠山ら, 2001). 太陽光でも光質は青色域の割合が夏季に最大で冬季に最小となり, 赤色域の割合がその逆となる季節変化をすること (遠山ら, 2001). また, 青色域の割合が薄明時に大きく日の出とともに減少後, 日中ほぼ一定レベルで薄暮時に増加し, 赤色域の割合がその逆となる日変化をすることが知られている (石井・山崎, 2002). 作物栽培の人工光源は, 陽光ランプ, 高圧ナトリウムランプ, メタルハライドランプ, 蛍光灯等が用いられてきた. 近年, 発光ダイオード (以下, LED) の研究開発が進み,

強光度の各種 LED が比較的安価に入手可能となり，作物栽培に利用されている．また，LED の光は単色光で植物と光質の関係の検討を行う光源として適しており，盛んに用いられている（岡本・柳，1994；渡辺ら，1995；Yanagiら，1996；田中ら，1997；Duongら，2000；杉田ら，2002）．柳ら（1996）はレタス苗において LED の青色 20%-赤色 80%混合で最も個体乾物重が増加したと報告している．しかし，農作物に及ぼす紅色非硫黄細菌施用効果に対する環境要因の影響について検討されていない．

そこで，本研究では光源として LED を用い，コマツナの生育と品質に及ぼす紅色非硫黄細菌施用効果に対する光質の影響を検討した．

材料および方法

紅色非硫黄細菌（*Rhodobacter sphaeroides*）は‘NR3’とし，第2章で供試した PTBP を用いた．

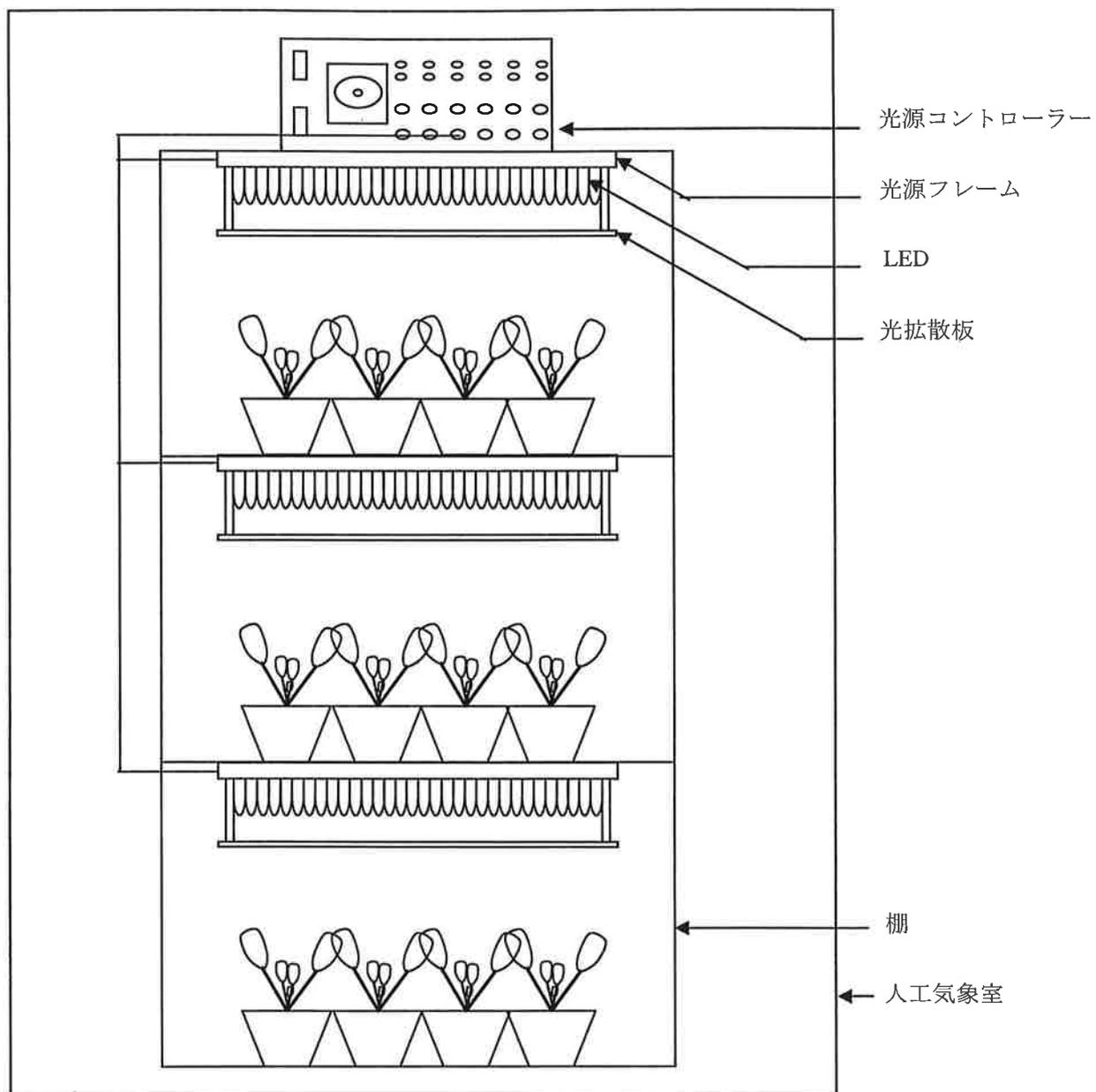
LED は研究用 LED 光源システム（青色：MIL-B18；ピーク波長 470nm，赤色：MIL-R18；ピーク波長 660nm，（株）三洋電機バイオメディカ製）を用いた．光源フレーム

(MIL-U200; フレームサイズ: 幅 170×奥行 263×高さ 78mm, (株)三洋電機バイオメディカ製)の光源部には 360個のLEDを配置した(第5-1図)。

光質条件は, 青色ダイオードのみの青色 100%区 (PPFD: $30\sim 35\ \mu\text{mol s}^{-1}\text{m}^{-2}$), 赤色ダイオードのみの赤色 100%区 (PPFD: $35\sim 40\ \mu\text{mol s}^{-1}\text{m}^{-2}$), および青色ダイオード 72個と赤色ダイオード 288個を組み合わせた青色 20%-赤色 80%区 (PPFD: $30\sim 35\ \mu\text{mol s}^{-1}\text{m}^{-2}$)の3区とした。

PTBP施用はPTBP(0.1g/l)をかん水時に10% Hoagland液(Hoagland・Arnon, 1938)と同時に毎日混合施用することにより行った。10% Hoagland液の組成は(N: 21.0mg/l, P_2O_5 : 7.1mg/l, K_2O : 28.2mg/l, CaO : 28.0mg/l, MgO : 8.8mg/l, Fe_2O_3 : 0.86mg/l, B: 0.05mg/l, Mn: 0.05mg/l, Cu : 0.002mg/l, Mo : 0.002mg/l, Zn : 0.005mg/l)であった。対照区は10% Hoagland液のみとした。実験土壌は鳥取大学乾燥地研究センターの砂丘砂を用い, 直径9cm黒ビニルポットに充填した。

コマツナ‘さおり小松菜’を3粒ずつ3ヶ所/ポット播種し, 出芽後に3株/ポットとなるように間引きし, ビニ



第5-1図 研究用LED光源システムを用いた試験区の概略図

ルハウス内で育苗した。本葉3枚目展開時に温度を20℃一定に制御した人工気象室（KP-10, (株)小澤製作所）へ移し, LED処理（日長: 14h）およびPTBP施用を21日間行った。実験は計4回行い, 栽培終了時に各処理区2ポット6個体について, 生育調査（草丈, 地上部・地下部新鮮重および乾物重, 葉面積, 葉枚数）を行った。ただし, 地上部乾物重と葉面積の調査は1回のみとした。また, 品質として全糖, アスコルビン酸, 硝酸, クロロフィルおよびカロテノイドの含量を1回目, 2回目, 3回目の栽培終了時の地上部サンプルをそれぞれ-30℃で凍結保存したものをを用いて各処理区6個体について測定した。

全糖と硝酸の測定は各個体の地上部を乳鉢でホモジナイズしたものを1gを試料として行った。試料は80%エタノール10mlとともに再度磨砕, 80℃の温湯に浸漬（15min）後, 遠心分離（3,300rpm, 15min）し上澄みを得た。さらに残渣へ再び80%エタノール5mlを加え80℃の温湯に浸漬（15min）後, 遠心分離（3,300rpm, 15min）し, 得た上澄みは最初の上澄みと混合濃縮した。全糖はアンスロン法（茶珍, 1986）, 硝酸はカタルド法（Cataldoら, 1975）

で測定した。

アスコルビン酸の測定は各個体の地上部を乳鉢でホモジナイズしたもの 1g を試料として行った。試料は 5% メタリン酸 10ml とともに再度磨砕し、遠心分離 (3,300rpm, 15min) で得た上澄みを用い、ヒドラジン法 (Shigeoka ら, 1979) で測定した。

クロロフィルとカロテノイドの測定は各個体の本葉のみを乳鉢でホモジナイズしたもの 0.5g を試料として行った。試料は 80% アセトン 10ml とともに再度磨砕、遠心分離 (3,300rpm, 15min) し上澄みを得た。さらに残渣へ再び 80% アセトン 5ml を加え遠心分離 (3,300rpm, 15min) し上澄みを得た。二つの上澄みを加えたものを用い、480, 645, 663nm の各吸光度を分光光度計 (100-10 形, (株) 島津製作所製) で測定し、クロロフィルは Arnon 法 (Arnon, 1949), カロテノイドは Kirk・Allen の計算式 (Kirk・Allen, 1965) により算出した。

結 果

第 5-1 表に異なる光質条件下で栽培したコマツナの生

第5-1表 異なる光質条件下で栽培したコマツナの生育に及ぼすPTBP施用の影響

処理		草丈 (cm)	新鮮重		乾物重		葉面積 (cm ²)	葉枚数
PTBP施用	光質		地上部 (g)	地下部 (g)	地上部 (g)	地下部 (g)		
無施用区	青色100%	13.6 a ²	1.45 a	0.18 b	0.057 a	0.020 b	21.2 c	4.3 c
PTBP		13.2 ab	1.38 a	0.29 a	0.067 a	0.050 a	24.1 c	4.4 bc
無施用区	赤色100%	11.0 c	1.40 a	0.24 ab	0.070 a	0.049 a	28.1 bc	5.1 a
PTBP		11.6 bc	1.41 a	0.23 ab	0.060 a	0.035 a	25.4 c	5.0 a
無施用区	青色20%-赤色80%	10.1 c	1.21 a	0.29 a	0.074 a	0.037 a	33.5 ab	4.9 ab
PTBP		11.0 c	1.41 a	0.29 a	0.073 a	0.031 a	36.8 a	5.0 a
PTBP 施用		NS ¹⁾	NS	NS	NS	NS	NS	NS
光質		**	NS	NS	NS	NS	**	**
PTBP施用 × 光質		NS	NS	*	NS	*	NS	NS

¹⁾異なるアルファベット間には5%水準で有意差あり (LSD)

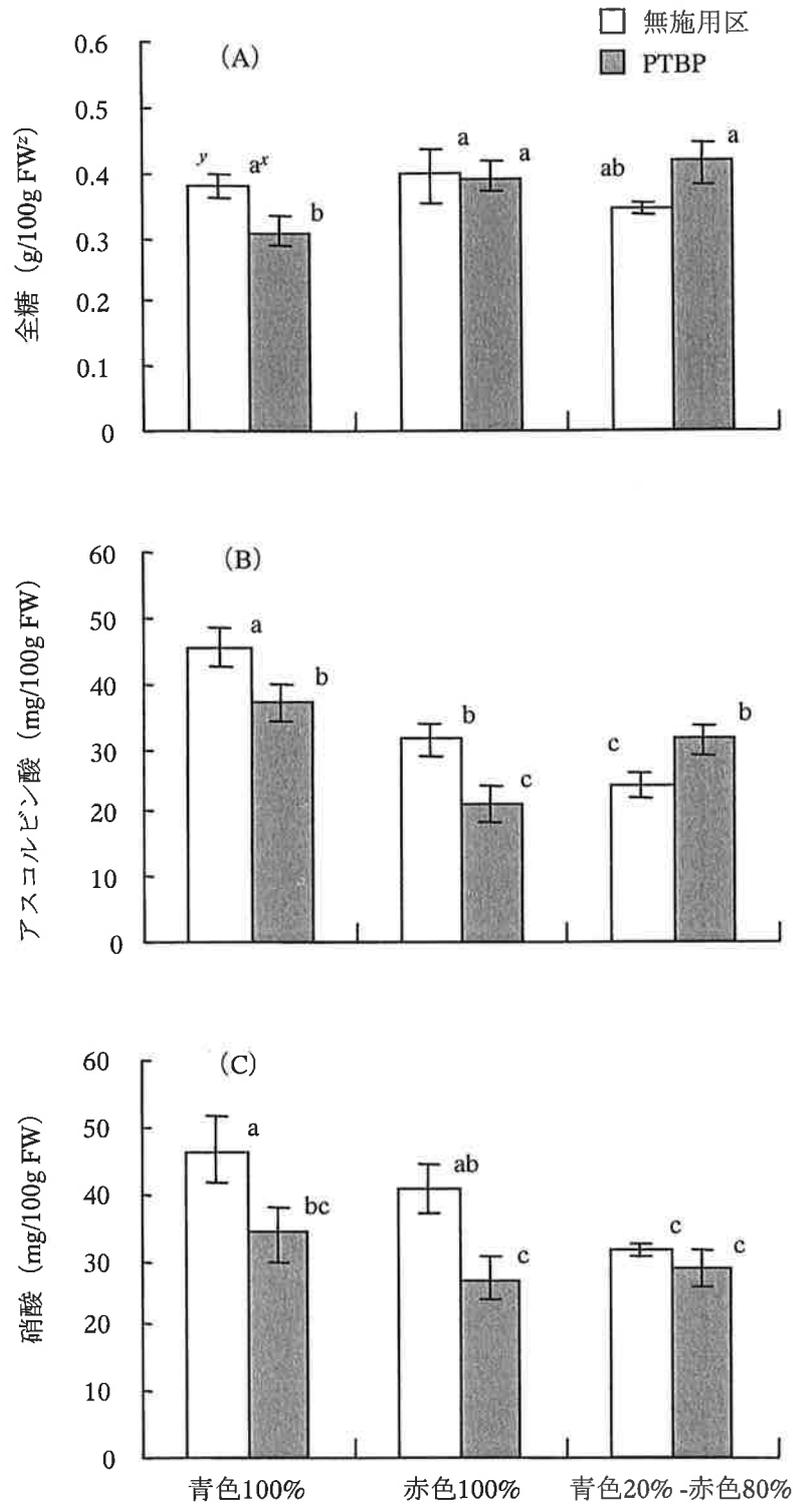
²⁾NS, *, **: 分散分析により, 有意差なし, 5%, 1%水準で有意差あり

育に及ぼす PTBP 施用の影響を示した。光質条件により生育に差が認められ、PTBP 施用に対する反応も光質条件により差異が認められた。

PTBP を施用しない場合、青色 100%区は草丈が最大となったが、葉面積、葉枚数は他の処理区より少なく徒長傾向を示し、さらに地下部の新鮮重および乾物重も最も小さかった。青色 20%-赤色 80%区では地上部乾物重、葉面積が最も大きかった。なお、赤色 100%区の生育は二つの光質条件の間であった。

一方、生育に対する PTBP 施用の影響は青色 100%区で最も顕著に認められ、草丈の減少および葉面積の増加傾向を示し、徒長が緩和される傾向にあり、特に地下部の新鮮重および乾物重が無施用区に対して有意に増加した。また、PTBP 施用による葉面積の増加傾向は生育が最も優れていた青色 20%-赤色 80%区においても認められた。これに対し、赤色 100%区では PTBP 施用の影響は認められなかった。

全糖含量では光質条件による差が認められなかったが、PTBP 施用の影響は光質条件により異なった(第 5-2 図 A)。すなわち、青色 100%区での PTBP 施用は無施用区



第5-2図 異なる光質条件下で栽培したコマツナの (A) 全糖 (B) アスコルビン酸 (C) 硝酸の含量に及ぼすPTBP施用の影響

²FW：新鮮重

^y縦棒は標準誤差を示す (n=6)

^x異なるアルファベット間には5%水準で有意差あり (LSD)

0.38g/100g FW から 0.31g/100g FW に有意に減少させた。これに対し，赤色 100%区と青色 20%-赤色 80%区では PTBP 施用の有意な影響は認められず，青色 20%-赤色 80%区では PTBP 施用は全糖含量を増加させる傾向を示した。

一方，アスコルビン酸含量は光質条件の影響を受け，PTBP 無施用では青色 100%区が 45.5mg/100g FW と最も多く，赤色 100%区が 31.0mg/100g FW，青色 20%-赤色 80%区が 23.7mg/100g FW となった（第 5-2 図 B）。PTBP 施用は，青色 100%区と赤色 100%区でアスコルビン酸含量を無施用区より有意に減少させ，逆に青色 20%-赤色 80%区で有意に増加させた。

硝酸含量も光質条件に大きな影響を受けたが，PTBP 施用はいずれの光質条件でも硝酸含量を減少させる傾向を示した（第 5-2 図 C）。PTBP 施用による硝酸含量減少作用は，無施用区に対し 33%減少した赤色 100%区で最も大きく，青色 100%区でも 27%の減少が認められた。光質条件中で最も硝酸含量が少なかった青色 20%-赤色 80%区では，PTBP 施用の影響は 8%の減少と小さかった。

クロロフィル含量はクロロフィル a および b とともに青色 100%区が赤色 100%区と青色 20%-赤色 80%区に比べて

少ない傾向にあり，その合計は他の処理区より有意に少なかった（第 5-2 表）．PTBP 施用は青色 100%区でのみクロロフィル a および b を増加させた．そのため，PTBP 施用区ではクロロフィル含量に光質条件の差異が認められなかった．また，クロロフィル a と b の比（以下， a/b ）は光質条件の影響が認められ，青色 100%区が最も大きくなった．PTBP 施用は青色 100%区および赤色 100%区で a/b を増加させ，青色 100%区は他の 2 つの光質条件で PTBP 施用した区より大きくなった．青色 20%-赤色 80%区では PTBP 施用による影響は認められなかった．カロテノイド含量も光質条件の影響が顕著に認められ，青色 100%区では他の 2 つの光質条件よりも有意に少なく，クロロフィル含量と同じ傾向を示した．PTBP 施用は無施用区で最も少なかった青色 100%区でカロテノイド含量を無施用区より有意に 49%増加させ，青色 20%-赤色 80%区でも 26%増と増加させる傾向にあった．

考 察

コマツナ栽培への LED の利用はサラダナ（高辻ら，

第5-2表 異なる光質条件下で栽培したコマツナのクロロフィルおよびカロテノイドの含量に及ぼすPTBP施用の影響

処理		クロロフィルa	クロロフィルb	クロロフィルa+b	a/b	カロテノイド
PTBP施用	光質	(mg/g FW ²)	(mg/g FW)	(mg/g FW)		(mg/100g FW)
無施用区	青色100%	0.43 b ²	0.18 c	0.61 b	2.44 abc	1.33 c
PTBP		0.69 a	0.25 b	0.94 a	2.76 a	1.98 b
無施用区	赤色100%	0.66 a	0.30 a	0.96 a	2.23 bc	2.27 ab
PTBP		0.69 a	0.27 ab	0.96 a	2.59 ab	2.24 ab
無施用区	青色20% -赤色80%	0.63 ab	0.29 a	0.92 a	2.19 bc	2.27 ab
PTBP		0.62 ab	0.30 a	0.92 a	2.08 c	2.85 a
PTBP 施用		NS ²	NS	NS	NS	*
光質		NS	**	NS	*	**
PTBP施用 × 光質		NS	**	NS	NS	NS

²FW：新鮮重

²異なるアルファベット間には5%水準で有意差あり (LSD)

*NS, *, **：分散分析により，有意差なし，5%，1%水準で有意差あり

1995 ; 森・高辻, 1999), レタス苗 (岡本・柳, 1994 ; Yanagi ら, 1996 ; 柳ら, 1996), シンビジウムのクローン苗 (田中ら, 1997), ファレノプシスのクローン苗 (Duong ら, 2000), イチゴ (柳・岡本, 1996) などと同様に, 青色, 赤色それぞれの単色光よりも青色と赤色を混合させた光質条件が適していた. さらに, 青色 LED100%区では徒長傾向が認められたことから, コマツナの生長において赤色光が必要であることが示された. また, 本実験の青色 LED 下でみられた地下部の生長抑制は, 雨木ら (2000) が *In Vitro* のエキザカム (*Exacum affine*) 実生での観察結果と一致する. しかし, 青色 100%区での PTBP 施用はコマツナの地下部の生長を促進し, 草丈の減少および葉面積の増加傾向を誘導し, 徒長傾向を抑制したことから, PTBP 施用は赤色光の作用を補償することが示唆された. 青色 LED, 赤色 LED および青色と赤色の LED を混合したものを光源とし植物を育成した場合, コマツナ, シュンギク, チンゲンサイは赤色 LED 下で正常に生育したが, サラダナ, レタス, ホウレンソウは徒長傾向を示し, 混合光質条件下ではホウレンソウを除くそれら葉菜類は正常に生育することが報告されている (渡

辺ら, 1995)。また, 柳ら (1996) は, 同一の光合成有効光量子束密度で LED を用いて青/赤色光の混合比率を変えてレタス苗を養液栽培し, 個体乾物重は光処理間で有意差が認められ, 青色光に比べて赤色光が多い場合には茎葉の伸長生長が促進されることを報告している。本研究では供試作物としてコマツナを用い, 光質条件として青色 20%-赤色 80%の混合比率のみで実験を行った。植物の生長における光質条件と PTBP 施用の関係をより明確にするためには, 様々な作物を用いて青/赤色光の異なる混合比率や青色および赤色以外の光質条件下における PTBP 施用が供試作物に与える影響を検討する必要がある。

一方, 植物の糖含量と光質条件において田中ら (1995) が植物育成用蛍光灯に比べ赤色 LED (660nm) で増加し, 赤色+遠赤色 LED (76:24) では減少し光質条件の違いによりコマツナの糖含量が異なることを報告している。しかし, 本実験におけるコマツナの全糖含量は通常栽培と比べ著しく低く, 光質条件, PTBP 施用の顕著な差は認められなかった。これは光強度の弱さと施肥量の少なさによるものと考えられた。

PTBP 施用の影響はアスコルビン酸含量で認められ、青色 100%区と赤色 100%区の両区でアスコルビン酸含量を有意に減少させたことから、PTBP は光質条件に関わりなくアスコルビン酸合成を抑制すると考えられた。なお、本実験では青色 100%区のコマツナが最も高いアスコルビン酸含量を示した。これは *Euglena gracilis* z でのデータ (Shigeoka ら, 1979) と一致するが、赤色光によるマスタード (Schopfer, 1966; Bienger・Schopfer, 1970) での結果と一致しない。すなわち、植物の生育と同様にアスコルビン酸合成も植物種により光質条件に対する反応が異なると考えられた。

硝酸含量は、福田ら (1992) がレタス '岡山サラダナ' において、内部葉の葉身の硝酸含量が赤色、青色で高く、白色、黄色で低く光質条件により変動することを報告している。本実験においても硝酸含量は青色 20%-赤色 80%区が青色 100%区および赤色 100%区より有意に低く、光質条件により硝酸含量の変動が認められた。さらに壇・今田 (2003) がコマツナの硝酸塩含量が赤色光抑制区において低下したことを報告しているが、本実験の青色 100%区の硝酸含量は他の光質条件区よりも高かった。こ

れは光質以外の光強度，栽培条件，栽培期間などの他の要因が硝酸含量に影響を及ぼすことを示唆している。

PTBP 施用は無施用区で高かった青色 100%区および赤色 100%区の硝酸含量を減少させ，無施用区で最も低かった青色 20%-赤色 80%区と同程度にした。硝酸の多量摂取は人体に有害な亜硝酸や N-ニトロソ化合物の生成をもたらすとされ（米山，1982），野菜の硝酸塩低減化の動きが活発になっており（建部ら，1995；壇・今田，2003），PTBP は葉菜類の硝酸減少に有効な資材と考えられた。

光質条件が植物のクロロフィル含量に与える影響は，サラダナにおいて青色および赤色の単色光よりも青色と赤色を組み合わせた方が高くなるという報告がある（森・高辻，1999）。本実験でも青色 20%-赤色 80%区が青色 100%区よりクロロフィルおよびカロテノイドの含量が有意に高かったが，赤色 100%区とは差が認められなかった。

PTBP 施用はクロロフィル含量を青色 100%区において有意に増加させ，赤色 100%区および青色 20%-赤色 80%区と同程度とした。また，カロテノイド含量も PTBP 無施用では青色 100%区が他の光質条件区より有意に少な

かったが，PTBP施用により増加した．また，PTBP施用によるカロテノイド含量の増加は青色20%-赤色80%区でも認められた．これは近藤ら（2001a）のハウレンソウでの結果と一致している．すなわちPTBP施用は赤色光の欠如に対する補償作用を示し，青色LED栽培下でのクロロフィルおよびカロテノイド含量を増加させたと考えられた．

以上より，赤色光が少ない条件下で栽培したコマツナに対するPTBP施用は赤色光不足を補償し地下部の生長を促進し，それに伴いクロロフィル，カロテノイドの含量を高め光合成を促進することにより，根から吸収した硝酸をタンパク合成に利用し，硝酸含量を低下するものと考えられる．今後は植物の生長と品質におけるPTBP施用と光質の関係をより明確にし，効果的なPTBP施用条件を明らかにするために，本実験とは異なる温度条件下における光質条件とPTBP施用の関係，青/赤色光の混合比率，青色および赤色以外の光質条件等の検討が必要である．

摘 要

発光ダイオード（LED）を用い，異なる光質条件下で栽培したコマツナの生育と品質に及ぼす紅色非硫黄細菌施用の影響を検討した．青色100%区における地下部の生育が著しく抑制されたが，PTBP施用により地下部の生育が回復したことから，青色100%の光質条件下で特異的にコマツナの地下部の生育を促進することが示された．PTBP施用は青色100%の光質条件下でコマツナの全糖とアスコルビン酸の含量を減少させ，クロロフィルとカロテノイドの含量を増加させたが，赤色100%の光質条件下では，アスコルビン酸と硝酸の含量を減少させた．以上より，PTBP施用効果は青色光下の生長および品質に認められ，赤色光不足を補うことができることが示唆された．

第 6 章 紅色非硫黄細菌 (*Rhodobacter sphaeroides*) 処理廃糖蜜液がホウレンソウの生育と品質に及ぼす影響

緒 言

リサイクル技術を生かした持続可能な発展が近年提唱され、その実現について現実的な議論がなされている(後藤, 1996)。その議論の中で大きな課題の一つとして上げられているのが、廃棄物の回収・再生利用技術の確立である。農業生産における廃棄物の多くは、圃場から持ち出された有機物の一部であり、循環型社会の実現を目指す動きから、様々な農業生産廃棄物の農地還元が、現在、研究されている(古江・永田, 1994; 上村ら, 1993; Vassilevら, 1998; 若澤ら, 1998)。サトウキビは南西諸島で年間160万トン生産され、各々の島で集中的に集められ製糖されているが、その工程で製糖工場から排出される廃糖蜜は島内で経済的に有効利用する方法が無く、その処理や処分に苦慮している。

一方、紅色非硫黄細菌は汚水の浄化能力を持つことか

ら、これを利用した有機廃液処理の方法が確立されている（小林ら，1970；小林，1972；Kobayashi・Tchan，1973；黒沢，1978）。

そこで本研究では，製糖工場から排出された廃糖蜜の農業への有効利用を促進することを目的とし，廃糖蜜の紅色非硫黄細菌による処理の有効性を検討するために，紅色非硫黄細菌処理廃糖蜜液が一般的な葉野菜の一つであるホウレンソウの生育と品質に及ぼす影響を調査した。

材料および方法

紅色非硫黄細菌処理廃糖蜜液がホウレンソウ種子の発芽に及ぼす影響を調査するために，紅色非硫黄細菌で処理をした廃糖蜜液（以下，PTBとする），PTBから紅色非硫黄細菌を除いた溶液（以下，NO-PTBとする），PTBの主要な無機成分のみを含む溶液（以下，INOとする）を用いて発芽試験を行った。

PTBは廃糖蜜をCOD50000ppmに蒸留水で希釈後，バイオ製剤（Micro Blend 500F，Water Treat 200，バイオロジック社）10g/lと菌体濃度OD=1の紅色非硫黄細菌（*Rba.*

sphaeroides; NR3 株) を添加し, 嫌気条件で恒温器内 (温度: 30°C, 照度: $50 \mu \text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$) で 5 日間培養したものである. NO-PTB は PTB から紅色非硫黄細菌を 0.20 μm のフィルターでろ過して除いたものである.

PTB の主要な無機成分は硫酸-過酸化水素分解法 (水野・南, 1980) で PTB を前処理後, 有機態-N と $\text{NH}_4\text{-N}$ の合計をインドフェノール青法 (都築, 1994) で, P_2O_5 をバナドモリブデン酸法 (伊藤・木村, 1990) で, K, Mg, Ca, Na を原子吸光分光光度計 (AA-6700, (株) 島津製作所) でそれぞれ測定し, さらに $\text{NO}_3\text{-N}$ は PTB を直接用いカタルド法 (Cataldo ら, 1975) で測定し, その結果を第 6-1 表に示した.

INO の調整は第 6-1 表の組成となるように N: NH_4NO_3 , P: H_3PO_4 , K: K_2SO_4 , Ca: CaCO_3 , Mg: $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, Na: NaCl をそれぞれ用いて行った.

供試液は発芽試験では, PTB, NO-PTB, INO をそれぞれ 1 (原液), 100, 1000 倍に蒸留水で希釈し, さらに対照として蒸留水を用いた. ホウレンソウの供試品種は 'バージニア' で, 直径 9 cm の滅菌したシャーレにろ紙 (No.5A, ADVANTEC) を 1 枚敷き, 50 粒の種子を置床

第6-1表 紅色非硫黄細菌処理をした廃精蜜液の成分

全-N ^z	P ₂ O ₅	K	Mg	Ca	Na	pH	EC	紅色非硫黄細菌数 ^y
(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)		(mS/cm)	(dry cell g / l)
265.0	9.7	3429.5	906.0	13.1	208.2	6.4	10.2	14.7

^z NH₄-N, NO₃-Nおよび有機態-Nの合計

^y 660nmの吸光度 (OD=1を2.83 dry cell g / lと換算) から算出

した。なお種子は、70%エタノールに30秒、さらに5%次亜塩素酸ナトリウムに3分浸漬滅菌した後、滅菌水で3回洗浄し用いた。発芽調査は25℃の自然光ガラス製恒温器内で10日間とし、各処理区5反復で行った。なお実験開始後5日目と10日目の発芽数をそれぞれ発芽勢、発芽率として百分率で示した。平均発芽日数は日々発芽した種子数を置床後の発芽までの日数に乘じ、その総和を全発芽粒数で除して算出した（村山ら、1997）。

さらに廃糖蜜液の紅色非硫黄細菌処理の有用性を検討するために、PTBと紅色非硫黄細菌無処理の廃糖蜜液すなわち廃糖蜜を蒸留水でCOD5000ppmに希釈した溶液（以下、Pre-PTBとする）がホウレンソウの生育と品質に及ぼす影響を比較した。PTBとPre-PTBはPTBで発芽に影響が認められなかった100、500、1000倍にそれぞれ希釈し、播種直後から毎日かん水として施用した。かん水量はホウレンソウの生育とともに徐々に増加させ、栽培期間中の全かん水量は4750ml/ポットであった。また、対照区として同量の蒸留水をかん水した。供試土壌は、鳥取大学乾燥地研究センター内の砂丘砂をオートクレーブで滅菌処理（121℃、15min）したものおよび未滅菌の

ものを用い，それぞれを直径 15cm の黒ビニルポットに
充填した．播種は 1999 年 9 月 19 日に行い，1 穴 5 粒播
きで 5 穴 /ポットとした．供試個体数は適時間引きを行い，
最終的に 5 株 /ポットとした．栽培は，温度：明期 25℃ /
暗期 20℃，湿度：70%，日長：12h，照度：500 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot$
 sec^{-1} に制御したグロースチャンパー（GC-A，（株）富士
電機テクノエンジニアリング）で，ハウレンソウの出荷
基準に達するまでの 55 日間行った．なお，各処理区は 3
反復で行った．施肥は，500 倍に希釈した配合肥料（ス
ーパーグリーン特号，N：P₂O₅：K₂O：MgO：MnO：B₂O₃
= 18：10：14：2：0.1：0.05；（株）大塚化学）を生育の
様子を見ながら適宜行った．栽培終了時にハウレンソウ
の草丈，地上部新鮮重，地上部乾物重，葉面積を調査し
た．また，品質として -30℃ で保存した植物体地上部を用
い，色沢に関連するクロロフィル，食味として全糖，栄
養価および機能性としてアスコルビン酸とカロテノイド
の含量をそれぞれ測定した．測定方法はクロロフィルを
Arnon 法（北條・石塚，1985）で，カロテノイドを Kirk・
Allen の計算式（Kirk・Allen，1965）でそれぞれ算出し，
全糖をアンスロン法（茶珍，1981）で，アスコルビン酸

をヒドラジン法 (Shigeoka ら, 1979) でそれぞれ比色定量して行った。

結 果

第 6-2 表に発芽試験の結果を示す。発芽率は蒸留水を用いた対照区の 68.0% に対し, PTB の無機成分を人工的に調整した INO の 1 倍区では 66.0% であり, 有意な差が認められなかったが, PTB と NO-PTB の 1 倍区ではそれぞれ 3.2%, 12.8% であり, 発芽が著しく阻害された。発芽勢は発芽阻害が認められた PTB と NO-PTB の 1 倍区でそれぞれ 1.6%, 4.0% であり, 対照区の 33.2% より有意に低かった。平均発芽日数に関しては, 処理区間で有意差は認められなかった。一方, 100 倍希釈および 1000 倍希釈区ではいずれの処理区においても発芽に関して対照区との間に有意な差が認められなかった。従ってハウレンソウの発芽に関しては, PTB, NO-PTB のいずれも 100 倍以上の希釈では影響が認められず, 紅色非硫黄細菌の影響も認められなかった。

第 6-3 表に播種後 55 日目の生育調査の結果を示す。

第6-2表 ホウレンソウの発芽に及ぼす紅色非硫黄細菌処理廃糖蜜液の影響

処理	希釈倍率	発芽率 (%)	発芽勢 (%)	平均発芽日数 (日)
PTB ^z	1000	60.0±6.8 ^w a ^v	27.2±6.9 a	7.7±0.1 a
	100	60.0±8.0 a	33.6±7.5 a	7.5±0.1 a
	1	3.2±1.6 b	1.6±1.2 b	7.9±0.6 a
NO-PTB ^y	1000	59.6±6.6 a	27.2±7.0 a	7.8±0.1 a
	100	56.4±3.9 a	29.2±6.0 a	7.8±0.1 a
	1	12.8±5.2 b	4.0±1.9 b	8.3±0.5 a
INO ^x	1000	62.0±5.3 a	26.4±7.7 a	7.8±0.1 a
	100	63.2±7.3 a	30.0±7.3 a	7.7±0.1 a
	1	66.0±5.8 a	22.0±7.4 a	7.9±0.2 a
蒸留水		68.0±7.5 a	33.2±9.6 a	7.6±0.2 a

^z 紅色非硫黄細菌処理をした廃糖蜜液

^y PTBから紅色非硫黄細菌を除いたもの

^x PTBの無機成分を調整したもの

^w 平均値±標準誤差 (n=5)

^v 異なるアルファベット間には5%水準で有意差あり (LSD)

第6-3表 ホウレンソウの生育に及ぼす廃糖蜜液施用の影響

供試土壌	処理	希釈倍率	草丈 (cm)	地上部新鮮重 (g)	地上部乾物重 (g)	葉面積 (cm ²)	
未滅菌	蒸留水		10.5±1.0 ^x c ^w	5.08±0.15 b	0.52±0.02 b	75.4± 5.5 bc	
		PTB ^z	1000	11.1±0.2 bc	5.70±0.91 b	0.59±0.11 b	77.8±10.4 bc
			500	13.2±0.6 b	7.28±0.93 ab	0.71±0.08 b	107.3±11.2 bc
		100	15.9±0.3 a	9.42±0.56 a	1.04±0.06 a	149.1± 9.3 a	
	Pre-PTB ^y	1000	12.2±0.3 bc	4.61±0.59 b	0.49±0.06 b	78.1± 9.3 bc	
		500	12.2±0.3 bc	5.65±0.62 b	0.60±0.06 b	67.8± 8.4 c	
		100	13.4±0.7 ab	7.08±0.07 ab	0.74±0.02 ab	108.1± 2.6 b	
	滅菌	蒸留水		12.6±0.3 abc	4.89±0.34 c	0.56±0.02 c	72.5± 4.3 c
			PTB	1000	13.3±0.3 abc	5.27±0.34 bc	0.62±0.04 bc
			500	13.5±0.6 ab	6.12±0.72 abc	0.67±0.08 bc	94.2±11.7 abc
		100	14.5±0.6 a	8.00±1.58 ab	0.85±0.18 ab	132.8±25.5 a	
Pre-PTB		1000	10.8±0.5 c	4.81±0.36 c	0.55±0.02 c	69.7± 0.5 c	
		500	11.3±0.4 bc	5.27±0.14 bc	0.58±0.03 c	76.8± 4.2 c	
		100	13.8±0.7 ab	8.70±2.16 a	1.00±0.25 a	130.4±30.3 ab	

^z 紅色非硫黄細菌処理をした廃糖蜜液

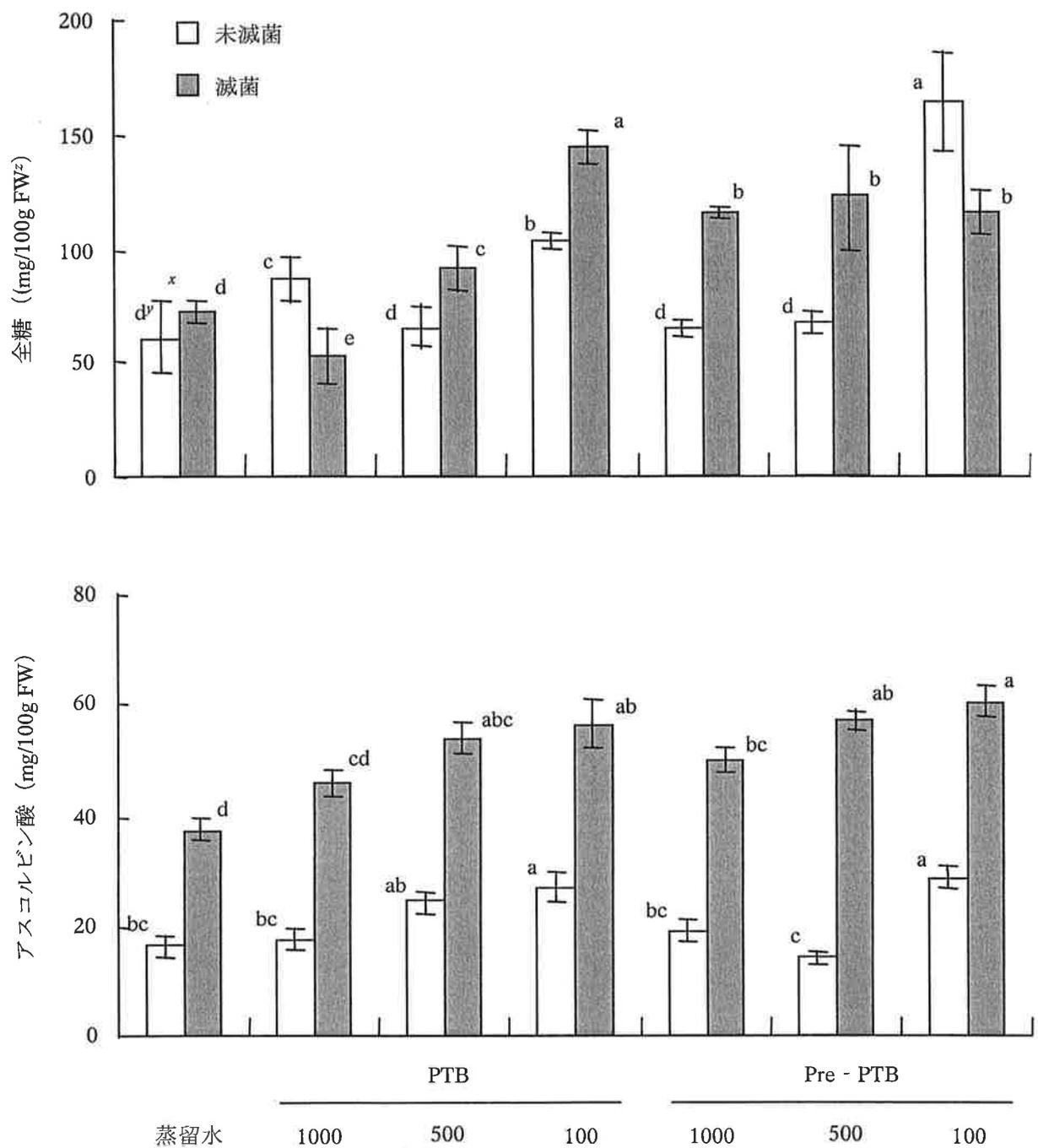
^y 紅色非硫黄細菌処理前の廃糖蜜液

^x 平均値±標準誤差 (n=3)

^w 異なるアルファベット間には各供試土壌の処理区間に5%水準で有意差あり (LSD)

PTB および Pre-PTB 施用区では，土壤の滅菌に関わり無く濃度が高くなるにしたがって，ハウレンソウの生長が促進される傾向があった．PTB のハウレンソウ生長促進効果は未滅菌区で顕著に認められ，未滅菌・PTB100倍希釈区では，対照区に対して草丈が51%，地上部新鮮重が85%，地上部乾物重が100%，葉面積が98%増加し，いずれの調査項目でも5%水準で有意差が認められた．しかし，Pre-PTB区では100倍希釈区での草丈を除いた全ての調査項目で有意な影響が認められなかった．一方，滅菌区では，PTBとPre-PTB施用区ともに100倍希釈区で，対照区に対して地上部新鮮重，同乾物重および葉面積が有意に大きくなったが，PTB施用の効果は未滅菌区でより大であった．

第6-1図にハウレンソウの全糖とアスコルビン酸含量を示す．PTB施用区とPre-PTB施用区間において，全糖含量は未滅菌区ではPre-PTBの100倍希釈区が最も高く，滅菌区ではPTBの100倍希釈区が最も高くなり，土壤の滅菌処理がPTB，Pre-PTBの作用に影響した．一方，アスコルビン酸含量はPTB施用区とPre-PTB施用区との間に有意差は認められなかった．



第6-1図 ホウレンソウの全糖とアスコルビン酸含量に及ぼす廃糖蜜液施用の影響
 *FW：新鮮重
 †異なるアルファベット間には各供試土壌の処理区間に5%水準で有意差あり (LSD)
 ‡縦棒は標準誤差を示す (n=3)

第 6-4 表にホウレンソウのクロロフィルとカロテノイド含量を示す。クロロフィル a, クロロフィル b 含量は 1000 倍希釈区では PTB, Pre-PTB 施用区とも対照区と同程度かそれ以下であったが, 500 倍希釈区では PTB 施用区で同程度かそれ以上となり, 100 倍希釈区では PTB, Pre-PTB 施用区とも同程度かそれ以上となった。また, PTB100 倍希釈区ではクロロフィル b が a に比べて相対的に増加したことより, クロロフィル a と b の比 (a/b) が対照区に対して有意に低くなった。カロテノイド含量は土壌の滅菌の有無に関わり無く, 100 倍希釈の PTB 施用区, Pre-PTB 施用区ともに対照区より有意に増加し, その増加は PTB 施用区の方が Pre-PTB 施用区より多かった。

考 察

PTB と NO-PTB の 1 倍区では, 発芽率および発芽勢ともに著しい低下が認められたが, 主要な無機成分が PTB と同じ INO の 1 倍区で発芽阻害が認められなかったことから, PTB と NO-PTB の 1 倍区での著しい発芽阻害は無機成分以外の物質によると考えられる。しかし, その物

第6-4表 ホウレンソウのクロロフィルとカロチノイド含量に及ぼす廃糖蜜液施用の影響

供試土壌	処理	希釈倍率	クロロフィルa (mg/g FW)	クロロフィルb (mg/g FW)	クロロフィルa+b (mg/g FW)	a/b	カロチノイド (mg/100g FW)		
未滅菌	蒸留水		0.21±0.01 ^x b ^w	0.11±0.01 c	0.32±0.01 d	2.00±0.02 bc	1.02±0.03 e		
		PTB ^z	1000	0.18±0.02 d	0.08±0.01 d	0.25±0.02 f	2.29±0.05 a	0.92±0.01 f	
			500	0.24±0.01 b	0.12±0.01 b	0.36±0.02 c	1.97±0.01 c	1.38±0.01 c	
	Pre-PTB ^y	100	0.26±0.01 a	0.17±0.01 a	0.43±0.01 a	1.55±0.01 d	1.79±0.03 a		
		1000	1000	0.21±0.01 b	0.10±0.03 c	0.31±0.03 d	2.13±0.06 b	1.19±0.02 d	
			500	0.20±0.01 e	0.08±0.01 d	0.28±0.01 e	2.35±0.01 a	1.20±0.02 d	
	100	100	0.24±0.01 b	0.13±0.01 b	0.37±0.01 b	1.95±0.01 c	1.57±0.01 b		
		滅菌	蒸留水		0.23±0.01 b	0.12±0.01 c	0.34±0.01 d	1.96±0.01 b	1.32±0.02 d
				PTB	1000	0.22±0.01 b	0.10±0.01 d	0.33±0.01 e	2.16±0.01 a
500	0.25±0.01 a		0.15±0.01 b		0.40±0.01 b	1.74±0.01 c	1.56±0.01 b		
100	0.26±0.01 a		0.16±0.02 a	0.41±0.02 a	1.61±0.02 d	1.88±0.01 a			
Pre-PTB	1000	0.15±0.01 d	0.08±0.02 e	0.22±0.04 g	1.95±0.05 b	1.08±0.01 f			
	500	0.20±0.01 c	0.10±0.01 d	0.30±0.02 f	2.06±0.01 ab	1.30±0.01 d			
	100	0.24±0.01 b	0.12±0.01 c	0.36±0.01 c	2.02±0.01 b	1.48±0.01 c			

^z 紅色非硫黄細菌処理をした廃糖蜜液

^y 紅色非硫黄細菌処理前の廃糖蜜液

^x 平均値±標準誤差 (n=3)

^w 異なるアルファベット間には各供試土壌の処理区間に5%水準で有意差あり (LSD)

質は 100 倍以上の希釈でホウレンソウの発芽に影響を及ぼさなかった。また、ホウレンソウは冷涼な気候を好み、発芽率は 20℃ 以上になると低下するが（稲川・宮瀬，1943），紅色非硫黄細菌は 30℃ 前後が最も生育が活発であり（平山，1978），紅色非硫黄細菌の活性を考慮しホウレンソウの発芽適温より高い 25℃ で発芽試験を行ったが，PTB 区で発芽の促進効果は認められなかった。

廃糖蜜液は紅色非硫黄細菌処理に関わり無く，100，500，1000 倍希釈では希釈倍率が低くなるにしたがって，ホウレンソウの生育を促進した（第 6-3 表）。なお，ホウレンソウの生育が通常栽培に比べて全体的に劣った理由は，廃糖蜜液施用の影響を検討するために，施肥量を控えて栽培したためである。さらに，全糖およびアスコルビン酸（第 6-1 図），クロロフィルおよびカロテノイド（第 6-4 表）の各含量は 100 倍希釈区で増加した。これらは，供試した廃液中に含まれる有機および無機成分（第 6-1 表）によると考えられる。

PTB 施用は未滅菌区では Pre-PTB 施用より生育を有意に促進し（第 6-3 表），クロロフィルとカロテノイド含量を有意に増加させ（第 6-4 表），その効果は 100 倍希釈区

で顕著であった。また、PTB 施用区は滅菌区では Pre-PTB 施用区よりも全糖含量を 100 倍希釈区で有意に増加させた（第 6-1 図）。以上から、紅色非硫黄細菌処理廃糖蜜液をハウレンソウに施用する方が、廃糖蜜を水で希釈して施用するよりも有効であることが示唆された。

紅色非硫黄細菌の一種である *Rba. capsulatus* や *Rps. palustris* の施用により水稻（Elbadry・Elbanna, 1999）やマッシュルーム（Han, 1999）の生育が促進され、カキ（小林ら, 1974）とミカン（Kobayashi・Tchan, 1973）の全糖およびカロテノイド含量が増加する報告がある。また、紅色非硫黄細菌は、ポルフィリン類や 5-アミノレブリン酸（ALA）を生成することが知られている（上山ら, 2000）。これらの物質はクロロフィルの前駆体であり、低濃度 ALA の茎葉散布が植物の生育を促進すること（堀田・渡辺, 1999）や糖含量を増加すること（堀田・渡辺, 1999）が報告されている。すなわち紅色非硫黄細菌処理廃糖蜜液の施用効果は、増加した処理液中の紅色非硫黄細菌の菌体および分泌物によることが推察される。

一方、未滅菌区と滅菌区を比較すると全糖およびアスコルビン酸含量（第 6-1 図）は、滅菌区でより多くなる

傾向が見られた。すなわち本実験で供試した土壤に存在する土壤微生物はホウレンソウの全糖とアスコルビン酸合成を促進する PTB 施用および Pre-PTB 施用の効果を抑制する傾向を示した。近藤ら (2001b) は凍結乾燥した紅色非硫黄細菌 (*Rba. sphaeroides*) および PTB 施用が砂地の微生物相のうち糸状菌を増加させることを報告している。また、小林ら (1978) は *Rba. capsulatus* を添加すると砂耕および土耕栽培とも、土壤中の放線菌/糸状菌の比が増大することを報告している。したがって、PTB 施用は土壤微生物相に影響を与え、PTB および Pre-PTB に含まれているホウレンソウの全糖とアスコルビン酸の含量を増加させる因子に負の効果をもたらしたことが推察される。

発芽試験および生育試験から、紅色非硫黄細菌処理廃糖蜜液を 100 倍に希釈したものは、ホウレンソウの栽培に利用可能であり、生育を促進し、品質を向上させることが示された。また、紅色非硫黄細菌処理廃糖蜜液の施用の効果は土壤微生物の作用により変動することが推察されたことから、紅色非硫黄細菌処理廃糖蜜液の農業利用を実用化するために、長期的な栽培試験を行うことが

必要と思われる。そして、紅色非硫黄細菌処理廃糖蜜液中に含まれる紅色非硫黄細菌および成分が作物の生育および品質に与える影響を明らかにし、より効果的な施用方法を確立することが望まれる。

摘 要

紅色非硫黄細菌 (*Rhodobacter sphaeroides*) 処理廃糖蜜液 (PTB) の施用がホウレンソウの生育と品質に及ぼす影響を調査した。100倍以上に希釈したPTBは、発芽を阻害しなかった。PTBと紅色非硫黄細菌処理前の廃糖蜜液 (Pre-PTB) を用いた栽培実験において、100倍希釈のPTB施用が生育を最も促進し、品質を向上させたことから、廃糖蜜液の紅色非硫黄細菌処理が有効であることが示された。また、未滅菌区と滅菌区を比較すると、全糖およびアスコルビン酸含量は滅菌区で高くなる傾向がみられ、PTBの施用効果には土壤微生物との相互作用が関与すると推察された。

総合考察

紅色非硫黄細菌 (Purple non-sulfur bacteria) は、光エネルギーを利用し生育することができる、光栄養細菌 (Phototrophic bacteria) の一種である (Van Niel, 1944; Sasakiら, 1985)。この細菌は水田、河川、湖沼、海水、下水処理場などの水界嫌気層に普遍的に分布し(小林ら, 1966b; 奥田・小林, 1966; Pfennig, 1967; Siefertら, 1978; Hiraishi・Kitamura, 1984a)、自然界の炭素、窒素、硫黄などの物質循環に重要な役割を演じている(小林, 1975a; 1978)。

農業関係の研究ではその分布特性から、イネに及ぼす影響が中心に検討されている (Okudaら, 1957; 1959; Kobayashiら, 1967a; Kobayashi・Haque, 1971; 小林, 1995; Elbadryら, 1999a; 1999b; Elbadry・Elbanna, 1999)。しかし、畑作では有機質肥料のモデル実験としての利用(小林ら, 1974)、マッシュルームの生育促進 (Han, 1999) 等、いくつかの報告があるがほとんど検討されていない。

一方、近年、蔬菜の生産現場では、社会的な環境保全意識の高揚にともない、農地においても環境に負荷を与

えない施肥技術が求められている(松本ら,1999)。また,消費者が野菜に求める品質に変化がみられ,色,つや,形などの外観的品質以外に,栄養価,安全性などの成分品質が重要になってきている。これらの観点から野菜生産農家および消費者の間では有機農産物に対する関心が高まっている。

そこで本研究では,紅色非硫黄細菌を利用した高品質な野菜栽培技術の確立を目的とし行った。

1. 紅色非硫黄細菌 (*Rhodobacter sphaeroides*) およびその培養液がイネ幼植物体の生育と無機成分含量に及ぼす影響

イネを用いて環境要因を制御しやすい水耕栽培を行い,紅色非硫黄細菌およびその培養液がイネ幼植物の生育と無機成分含量に及ぼす影響を検討した。紅色非硫黄細菌は生きている紅色非硫黄細菌(PTBF),凍結乾燥した紅色非硫黄細菌(PTBP),さらに凍結乾燥した菌体を熱処理したもの(PTBP-D)を,水耕液は滅菌水,紅色非硫黄細菌の培養液,木村氏B液をそれぞれ用い,計11処理区で実験を行った(第2-3表)。紅色非硫黄細菌施用効果は滅菌水区で顕著であり,イネ幼植物の生育を促進した。

また、無機成分では N, P₂O₅ 含量を増加させた。一方、滅菌水区、木村氏 B 液区における PTBP 区と PTBP-D 区の生育は PTBF 区に比べ同等もしくは優れ、液体培地区における無施用区では +PTBF 区と最大根長を除き差がなかった。よって、紅色非硫黄細菌の分泌物による効果は大きくないと推察された。以上より、紅色非硫黄細菌の施用はイネの生長を促進し、N および P₂O₅ 含量を増加することが示された。さらに、凍結乾燥した紅色非硫黄細菌の施用は、生きている紅色非硫黄細菌の施用と同等、もしくはそれ以上の効果を及ぼすことが明らかとなった。

2. 紅色非硫黄細菌 (*Rhodobacter sphaeroides*) 施用が蔬菜の生育と品質に及ぼす影響

PTBP 施用はイネの生育を促進することが明らかになったことから、紅色非硫黄細菌施用が蔬菜の生育と品質に及ぼす影響を検討するために PTBP を供試し、一般的な葉野菜であるホウレンソウとコマツナおよび果菜であるメロンとトマトを用い、実験を行った。

ホウレンソウとコマツナの生育と品質に及ぼす影響

PTBP 施用はホウレンソウの地上部とコマツナの地下部の生育を促進させ、作物間で PTBP 施用の影響が異なる

った。品質では全糖とカロテノイドの含量をともに増加させた。さらに、ホウレンソウはクロロフィル a と b 含量の比 (a/b) を、コマツナでは a/b に加え、クロロフィル a および a+b 含量も増加させ、コマツナに対する効果がより顕著だった。一方、ホウレンソウでは土壤の滅菌処理の影響も検討した。滅菌区の PTBP 施用では全糖、カロテノイドの含量で、処理区間の差は認められなかった。さらに、クロロフィル a+b 含量は増加したが a/b では差はみられず、これはクロロフィル a 含量とクロロフィル b 含量がともに増加したためだった。よって、滅菌区では未滅菌区と異なる傾向がみられ、PTBP 施用効果と土壤微生物の間に相互作用があることが示唆された。

メロンとトマトの生育と品質に及ぼす影響

メロンでは 2001 年と 2003 年の 2 回栽培を行った。PTBP 施用は生育と品質に対し、2001 年と 2003 年では異なる影響を示した。すなわち、2001 年は PTBP 施用により生育が促進され糖度が増加する傾向がみられたが、2003 年では生育が抑制され糖度の増加は認められなかった。これは栽培期間が 2001 年は 8/30～11/19 と比較的低温期で、2003 年では 6/23～9/15 と高温期であったことが関係し

ていると考えられた。また、PTBP 施用は無機成分含量で 2001 年、2003 年ともに果実の N 含量を減少させ、地下部では N、 P_2O_5 、K、Ca の含量を増加させた。よって、PTBP 施用はメロンの無機成分の吸収および移動に影響することが示された。さらに、PTBP 施用は 2003 年の滅菌区でのみ N 含量を葉と茎において減少させ、ハウレンソウと同様に PTBP 施用効果に土壤微生物の影響が考えられた。

トマトでは PTBP 施用を 1 回もしくは 10 回に分割して行い、施用方法の違いも検討した。PTBP 施用はアスコルビン酸含量を増加させた。しかし、施用方法の違いによる差は認められなかった。さらに、果重、糖度、有機酸含量には PTBP 施用および施用方法の違いによる影響はみられなかった。一方、1 回施用区でリンゴ酸含量が、10 回施用区ではリン酸含量がそれぞれ増加し、異なる傾向を示した。

以上より、PTBP 施用はメロンの糖度およびトマトのアスコルビン酸含量増加に有効だった。さらに、その効果は作型、施用方法により異なり、低温期では PTBP 施用によるメロンの糖度上昇が期待される。

3. 紅色非硫黄細菌 (*Rhodobacter sphaeroides*) 施用が土壤微生物相に及ぼす影響

ホウレンソウとメロンを供試した実験で PTBP 施用効果に土壤微生物の関与が考えられたことから、以下の 3 つの実験を行い検討した。

実験 1 ではホウレンソウ、コマツナ、ニンジン、ハツカダイコン、トマト、メロンを供試し、PTBP 施用が蔬菜栽培土壤の微生物相に及ぼす影響を検討した。その結果、PTBP 施用により土壤微生物中で糸状菌数と放線菌数が増加することが明らかとなった。そして、糸状菌および放線菌の増加には PTBP のアミノ酸組成が影響していると考えられた。さらに、その増加は栽培作物により異なることが明らかとなった。

実験 2 ではホウレンソウとコマツナを供試し、3 作期連続施用が土壤微生物相に及ぼす影響を検討した。その結果、PTBP の 3 作期連続施用は 2 つの供試作物栽培土壤において放線菌数を増加することが明らかとなった。また、糸状菌数の推移は PTBP 施用によりホウレンソウで差がみられたが、コマツナでは差が認められず、供試作物の違いにより異なることも示された。

実験 3 では栽培期間の長いトマトを供試し，砂地および畑土壌において 1 回もしくは 10 回に分割施用し，施用回数の違いが土壌微生物に及ぼす影響を検討した．その結果，1 回施用区で糸状菌数および放線菌数を増加させたが，10 回施用区では影響は認められなかった．これは，1 回に施用する PTBP の量が関係しているのかもしれない．さらに，畑土壌では PTBP 施用による影響はみられなかった．これは，畑土壌は砂地土壌に比べ土壌微生物数が多く，微生物的緩衝力が高いことが関係していると考えられた．

以上より，PTBP を施用すると糸状菌数と放線菌数が増加すること，放線菌数の増加は PTBP を連続施用することにより維持されること，施用方法は分割するよりも 1 回にある程度の量を施用することで糸状菌数と放線菌数を増加させることが明らかとなった．また，PTBP 施用は放線菌数を増加させることから，生育促進，土壌病害の抑制に有効な資材であると考えられた．

4. 異なる光質条件下で栽培したコマツナの生育と品質に及ぼす紅色非硫黄細菌 (*Rhodobacter sphaeroieds*) 施用の影響

光質は植物の重要な生育環境の一つである。しかし、農作物に及ぼす紅色非硫黄細菌施用効果に対する光質の影響について検討されていない。そこで、発光ダイオード(LED)を用い、異なる光質条件下で栽培したコマツナの生育と品質に及ぼす紅色非硫黄細菌施用の影響を検討した。青色100%区における地下部の生育が著しく抑制されたが、PTBP施用により地下部の生育が回復したことから、青色100%の光質条件下で特異的にコマツナの地下部の生育を促進することが示された。PTBP施用は青色100%の光質条件下でコマツナの全糖とアスコルビン酸の含量を減少させ、クロロフィルとカロテノイドの含量を増加させたが、赤色100%の光質条件では、アスコルビン酸と硝酸の含量を減少させた。以上より、PTBP施用効果は青色光下の生長および品質に認められ、赤色光不足を補うことができることが示唆された。

5. 紅色非硫黄細菌 (*Rhodobacter sphaeroides*) 処理廃糖蜜液がホウレンソウの生育と品質に及ぼす影響

製糖工場から排出された廃糖蜜の農業への有効利用を促進することを目的とし、紅色非硫黄細菌処理廃糖蜜液(PTB)の施用がホウレンソウの生育と品質に及ぼす影

響を調査した。100倍以上に希釈したPTBは、発芽を阻害しなかった。PTBと紅色非硫黄細菌処理前の廃糖蜜液（Pre-PTB）を用いた栽培実験において、100倍希釈のPTB施用が生育を最も促進し、品質を向上させたことから、廃糖蜜液の紅色非硫黄細菌処理が有効であることが示された。また、未滅菌区と滅菌区を比較すると、全糖およびアスコルビン酸含量は滅菌区で高くなる傾向がみられ、PTBの施用効果には土壌微生物との相互作用が関与すると推察された。

以上より、紅色非硫黄細菌施用はイネ、ホウレンソウ、コマツナの生育を促進し、ホウレンソウ、コマツナ、メロン、トマトの品質を向上させることが示された。また、土壌微生物中で放線菌と糸状菌を増加させること、光質では青色光下でコマツナの地下部の生育促進と品質の向上を行うことが明らかとなった。さらに、製糖工場から排出される廃糖蜜液を紅色非硫黄細菌で処理することにより、農業へ有効利用できることが示された。

総 括

紅色非硫黄細菌（Purple non-sulfur bacteria）は，光エネルギーを利用し生育することができる光栄養細菌（Phototrophic bacteria）の一種である．この細菌は水田，河川，湖沼，海水，下水処理場などの水界嫌気層に普遍的に分布し，自然界の炭素，窒素，硫黄などの物質循環に重要な役割を演じている．その農業利用における研究は分布特性からイネに関するものが主であり，畑作ではほとんど検討されていない．一方，近年，消費者が野菜に求める品質に変化がみられ，外観的品質以外に成分品質が重要になってきている．

本論文は，紅色非硫黄細菌を利用した高品質な野菜栽培技術の確立を目的に 1998 年から 2004 年にかけて，著者が行った研究の一連の成果を取りまとめたものである．これらの結果は次の通りである．

1. 紅色非硫黄細菌（*Rhodobacter sphaeroides*）およびその培養液がイネ幼植物体の生育と無機成分含量に及ぼす影響

イネを水耕栽培し、紅色非硫黄細菌およびその培養液がイネ幼植物の生育と無機成分含量に及ぼす影響を検討した。紅色非硫黄細菌は生きている紅色非硫黄細菌 (PTBF)、凍結乾燥した紅色非硫黄細菌 (PTBP)、さらに凍結乾燥した菌体を熱処理したもの (PTBP-D) を、水耕液は滅菌水、紅色非硫黄細菌の培養液、木村氏 B 液をそれぞれ用い、計 11 処理区で実験を行った (第 2-3 表)。生育が優れていたのは木村氏 B 液区について液体培地区、滅菌水区という順であった。紅色非硫黄細菌施用効果は滅菌水区で顕著であり、イネ幼植物の生育を促進した。また、無機成分では N、 P_2O_5 含量を増加させた。一方、滅菌水区、木村氏 B 液区における PTBP 区と PTBP-D 区の生育は PTBF 区に比べ同等もしくは優れ、液体培地区における無施用区では +PTBF 区と最大根長を除き差がなかった。よって、紅色非硫黄細菌の分泌物による効果は大きくないと推察された。以上より、紅色非硫黄細菌の 1 種である *Rba. sphaeroides* の施用はイネの生長を促進し、N および P_2O_5 含量を増加することが示された。さらに、凍結乾燥した紅色非硫黄細菌の施用は、生きている

紅色非硫黄細菌の施用と同等，もしくはそれ以上の効果を及ぼすことが明らかとなった。

2. 紅色非硫黄細菌 (*Rhodobacter sphaeroides*) 施用が蔬菜の生育と品質に及ぼす影響

1. ホウレンソウとコマツナの生育と品質に及ぼす影響

一般的な葉野菜であるホウレンソウとコマツナを供試して紅色非硫黄細菌の施用が生育と品質に及ぼす影響を検討した。紅色非硫黄細菌は液体培養した後，凍結乾燥したもの (PTBP) を用いた。PTBP 施用は，ホウレンソウの地上部とコマツナの地下部の生育を促進させ，作物間で PTBP 施用の影響が異なった。品質では全糖とカロテノイドの含量をともに増加させた。さらに，ホウレンソウはクロロフィル a と b 含量の比 (a/b) を，コマツナでは a/b に加え，クロロフィル a および a+b 含量も増加させ，コマツナに対する効果がより顕著だった。一方，ホウレンソウでは土壌の滅菌処理の影響も検討した。滅菌区の PTBP 施用では全糖，カロテノイドの含量で，処理区間の差は認められなかった。さらに，クロロフィル

a+b 含量は増加したが a/b では差はみられず，これはクロロフィル a 含量とクロロフィル b 含量がともに増加したためだった．よって，滅菌区では未滅菌区と異なる傾向がみられ，PTBP 施用効果と土壤微生物の間に相互作用があることが示唆された．

2. メロンとトマトの生育と品質に及ぼす影響

一般的な果菜であるメロンとトマトを供試して紅色非硫黄細菌の施用が生育と品質に及ぼす影響を検討した．紅色非硫黄細菌は第 1 節と同様に PTBP を供試した．

メロンでは 2001 年と 2003 年の 2 回栽培を行った．PTBP 施用は生育と品質に対し，2001 年と 2003 年では異なる影響を示した．すなわち，2001 年は PTBP 施用により生育が促進され糖度が増加する傾向がみられたが，2003 年では生育が抑制され糖度の増加は認められなかった．これは栽培期間が 2001 年は 8/30～11/19 と比較的低温期で，2003 年では 6/23～9/15 と高温期であったことが関係していると考えられた．また，PTBP 施用は無機成分含量で 2001 年，2003 年ともに果実の N 含量を減少させ，地下部では N， P_2O_5 ，K，Ca の含量を増加させた．よって，PTBP 施用はメロンの無機成分の吸収および移動に影響

することが示された。さらに，PTBP 施用は 2003 年の滅菌区でのみ N 含量を葉と茎において減少させ，第 1 節と同様に PTBP 施用効果に土壤微生物の影響が考えられた。トマトでは PTBP 施用を 1 回もしくは 10 回に分割して行い，施用方法の違いも検討した。PTBP 施用はアスコルビン酸含量を増加させた。しかし，施用方法の違いによる差は認められなかった。さらに，果重，糖度，有機酸含量には PTBP 施用および施用方法の違いによる影響はみられなかった。一方，1 回施用区でリンゴ酸含量が，10 回施用区ではリン酸含量がそれぞれ増加し，異なる傾向を示した。

以上より，PTBP 施用はメロンの糖度およびトマトのアスコルビン酸含量増加に有効だった。さらに，その効果は作型，施用方法により異なり，低温期では PTBP 施用によるメロンの糖度上昇が期待される。

3. 紅色非硫黄細菌 (*Rhodobacter sphaeroides*) 施用が土壤微生物相に及ぼす影響

PTBP 施用が土壤微生物相に及ぼす影響を，以下の 3

つの実験を行い検討した。

実験 1 ではホウレンソウ，コマツナ，ニンジン，ハツカダイコン，トマト，メロンを供試し，蔬菜栽培土壌の微生物相に及ぼす影響を検討した。その結果，PTBP 施用により土壌微生物中で糸状菌数と放線菌数が増加することが明らかとなった。そして，糸状菌および放線菌の増加には PTBP のアミノ酸組成が影響していると考えられた。さらに，その増加は栽培作物により異なることが明らかとなった。

実験 2 ではホウレンソウとコマツナを供試し，3 作期連続施用が土壌微生物相に及ぼす影響を検討した。その結果，PTBP の 3 作期連続施用は 2 つの供試作物栽培土壌において放線菌数を増加することが明らかとなった。また，糸状菌数の推移は PTBP 施用によりホウレンソウで差がみられたが，コマツナでは差が認められず，供試作物の違いにより異なることも示された。

実験 3 では栽培期間の長いトマトを供試し，砂地および畑土壌において 1 回もしくは 10 回に分割施用し，施用回数の違いが土壌微生物に及ぼす影響を検討した。その結果，1 回施用区で糸状菌数および放線菌数を増加させ

たが、10回施用区では影響は認められなかった。これは、1回に施用するPTBPの量が関係しているのかもしれない。さらに、畑土壌ではPTBP施用による影響はみられなかった。これは、畑土壌は砂地土壌に比べ土壌微生物数が多く、微生物的緩衝力が高いことが関係していると考えられた。

以上より、PTBPを施用すると糸状菌数と放線菌数が増加すること、放線菌数の増加はPTBPを連続施用することにより維持されること、施用方法は分割するよりも1回にある程度の量を施用することで糸状菌数と放線菌数を増加させることが明らかとなった。また、PTBP施用は放線菌数を増加させることから、生育促進、土壌病害の抑制に有効な資材であると考えられた。

4. 異なる光質条件下で栽培したコマツナの生育と品質に及ぼす紅色非硫黄細菌 (*Rhodobacter sphaeroi*eds) 施用の影響

発光ダイオード(LED)を用い、異なる光質条件下で栽培したコマツナの生育と品質に及ぼす紅色非硫黄細菌

施用の影響を検討した。青色 100%区における地下部の生育が著しく抑制されたが、PTBP 施用により地下部の生育が回復したことから、青色 100%の光質条件下で特異的にコマツナの地下部の生育を促進することが示された。PTBP 施用は青色 100%の光質条件下でコマツナの全糖とアスコルビン酸の含量を減少させ、クロロフィルとカロテノイドの含量を増加させたが、赤色 100%の光質条件下では、アスコルビン酸と硝酸の含量を減少させた。以上より、PTBP 施用効果は青色光下の生長および品質に認められ、赤色光不足を補うことができることが示唆された。

5. 紅色非硫黄細菌 (*Rhodobacter sphaeroides*) 処理 廃糖蜜液がホウレンソウの生育と品質に及ぼす 影響

紅色非硫黄細菌 (*Rba. sphaeroides*) 処理廃糖蜜液 (PTB) の施用がホウレンソウの生育と品質に及ぼす影響を調査した。100 倍以上に希釈した PTB は、発芽を阻害しなかった。PTB と紅色非硫黄細菌処理前の廃糖蜜液 (Pre-PTB) を用いた栽培実験において、100 倍希釈の PTB 施用が生

育を最も促進し、品質を向上させたことから、廃糖蜜液の紅色非硫黄細菌処理が有効であることが示された。また、未滅菌区と滅菌区を比較すると、全糖およびアスコルビン酸含量は滅菌区で高くなる傾向がみられ、PTBの施用効果には土壤微生物との相互作用が関与すると推察された。

Study on the purple non-sulfur bacteria utilization in vegetable cultivation

Summary

Purple non-sulfur bacteria is one of the phototrophic bacteria, which can live and grow in light. The purple non-sulfur bacteria are distributed in anaerobic aquatic phase like rice paddy field, river, lake, pond, sea water and wastewater plant. The purple non-sulfur bacteria have important role in nature with circulation of carbon, nitrogen and sulfur.

In agricultural research, the effect of purple non-sulfur bacteria has been studied mainly on rice due to the characteristic of the distribution. However, there is few studies on the effect of purple non-sulfur bacteria in horticultural crops. In addition, recently, the demand is growing for techniques of more nature friendly fertilizer application and the enhancement of social consciousness to environmental preservation. Moreover, consumer requirement for better quality of vegetables is changing from not only the shape, but also the nutritional value and healthiness of vegetables. Therefore, vegetable producer and consumer have strong interest in organic farming of vegetables.

The present study was conducted during 1998 - 2004 to establish a method of utilization of the purple non-sulfur bacteria (*Rhodobacter sphaeroides*) in high quality vegetable cultivation.

The results obtained are summarized as follows ;

1. Effect of purple non-sulfur bacteria (*Rhodobacter sphaeroides*) and

its medium on the growth and inorganic contents of rice seedling

The study was conducted to investigate the effect of purple non-sulfur bacteria (*Rhodobacter sphaeroides*) and its medium on the growth and inorganic contents of rice seedling under hydroponic culture. The experiment comprised eleven treatments with three different types of purple non-sulfur bacteria ; living purple non-sulfur bacteria (PTBF), freeze dried purple non-sulfur bacteria (PTBP) and heat treated (80°C, 60h) PTBP (PTBP-D), and three different hydroponic solution ; sterile distilled water, medium of the purple non-sulfur bacteria and Kimura B solution (Table 2-3). The superior rice seedling growth treatment of hydroponic solution was in order of Kimura B solution, medium of purple non-sulfur bacteria and sterile distilled water. The application of purple non-sulfur bacteria promoted the growth of rice seedling and the effect was clear in sterile distilled water solution. Moreover, the application of purple non-sulfur bacteria increased in N and P₂O₅ contents in rice seedling. On the other hand, the growth in PTBP and PTBP-D treatments in sterile distilled water and Kimura B solution was similar or superior to the PTBF treatment. The growth under the control medium of purple non-sulfur bacteria was not different compared with +PTBF treatment, except the maximum root length. Therefore, the excreted materials from purple non-sulfur bacteria might not be effective on the rice seedling development. These results indicated that the application of *Rba . sphaeroides* promoted growth and increased N and P₂O₅ contents of the rice seedling.

2. Effect of purple non-sulfur bacteria (*Rhodobacter sphaeroides*) on growth and quality of vegetables

1. Effect of purple non-sulfur bacteria on the growth and quality of spinach and komatsuna

This study was conducted to investigate the effect of purple non-sulfur bacteria application on the growth and quality of spinach and komatsuna as common leafy vegetables. Freeze dried purple non-sulfur bacteria (PTBP) was used for the investigation. The PTBP application promoted top part growth of spinach and root growth of komatsuna. Total sugar and carotenoid contents were increased by the PTBP application. Moreover, the PTBP application increased the ratio of chlorophyll *a* : chlorophyll *b* (*a/b*) on spinach. The effects of PTBP application was more remarkable on komatsuna. In addition to its increase in *a/b* ratio, the PTBP application increased chlorophyll *a* content and total chlorophyll *a* and *b* content (*a+b*) in komatsuna. Furthermore, the effects of sterile soil treatment was investigated on spinach. Total sugar and carotenoid contents were not significantly different in sterile soil treated with the PTBP application. The chlorophyll *a+b* content was increased by the PTBP application, without affecting the *a/b* ratio. Therefore, it has been found that the PTBP application in sterile soil tended to show different effects on spinach compared to its application in non sterile soil. This indicated that the effect of PTBP application might have interacted with soil microorganisms.

2. Effect of purple non-sulfur bacteria on the growth and quality of melon and tomato

This study was conducted to investigate the effect of purple non-sulfur bacteria application on the growth and quality of melon and tomato as common fruiting vegetables. Purple non-sulfur bacteria was used in form of PTBP same as the experiment 1.

The experiment of melon was cultivated twice in 2001 and 2003. The PTBP application was showed different effects in 2001 and 2003. In 2001, the PTBP

application tended to promote the growth and sweetness of melon. However, in 2003, the PTBP application reduced the growth and there was no tendency of promoting the sweetness of melon. The results might be affected by the temperature during different cultivation time in 2001 and 2003. The cultivation time in 2001 was from 8/30 to 11/19, which was quite cold time, while the cultivation time in 2003 was from 6/23 to 9/15, which was hot time. On the other hand, the PTBP application reduced N content of fruit and increased N, P₂O₅, K and Ca content of the root in both 2001 and 2003. Moreover, the PTBP application only reduced N content of leaf and stem on sterile soil treatment. These results showed that the PTBP application affected the inorganic absorption and transportation in melon. The result suggested that the effect of PTBP application might be influenced by soil microorganisms similar to that in experiment 1.

The experiment of tomato investigated different PTBP application methods, which were PTBP application once or split application over ten times. Regardless of the methods of PTBP application, the PTBP application promoted ascorbic acid content, but there was no significant difference on fruit weight, sweetness and organic acid contents. On the other hand, the one time application promoted the malic acid content while the split application promoted phosphoric acid content.

Results of the melon and tomato experiments showed that the PTBP application promoted sweetness of melon and ascorbic acid content of tomato. The effects of PTBP application differed with cultivation period of melon and application method on tomato. Therefore, the PTBP application during cool season might be expected to promote sweetness of melon.

3. Effect of purple non-sulfur bacteria (*Rhodobacter sphaeroides*) on

microflora in vegetable cultivated soil

Three experiments was conducted to investigate the effect of PTBP application on the microflora in vegetable cultivated soil.

Experiment 1 investigated the effect of PTBP application on the microflora in spinach, komatsuna, carrot, radish, tomato and melon cultivated soil. The PTBP application increased numbers of fungi and actinomycete in those soils. This might be due to the amino acid compounds in the PTBP. Moreover, the magnitude of increase numbers of fungi and actinomycete by the PTBP application differed according to each vegetable type.

Experiment 2 investigated the effect of continuous PTBP application for three cultivation on the microflora in spinach and komatsuna cultivated soil. The continuous PTBP application promoted number of actinomycete in spinach and komatsuna cultivated soil. Furthermore, the PTBP application increased number of fungi in first cultivation of spinach non sterile cultivated soil and third cultivation of spinach sterile cultivated soil, however, there was no significant difference in komatsuna cultivated soil. These results showed that the effects of continuous PTBP application for three cultivation might have differential effects on soil microflora cultivated with each vegetable.

Experiment 3 investigated the effect of different PTBP application methods, which were PTBP application once or split application over ten times, on the microflora in tomato cultivated sandy and loamy soils. The one time PTBP application treatment increased numbers of fungi and actinomycete, however, there was no significant difference on the split application treatment in sandy soil. These results showed that the effect might be related to the amount of PTBP applied each time. Moreover, there was no significant difference between application methods in

loamy soil. These results suggested that the high buffer effect of soil microorganisms in loamy soil was responsible, because of presence of more soil microorganisms in loamy soil compared with sandy soil.

Therefore, it was concluded that the PTBP application increased numbers of fungi and actinomycete, and the effect on number of actinomycete remained every year continuous PTBP application. The effect of one time PTBP application was more effective on fungal and actinomucete than the split application. This indicated that the PTBP application was useful for vegetable growth promotion and soil diseases control.

4. Effect of purple non-sulfur bacteria (*Rhodobacter sphaeroides*) on the growth and quality of komatsuna under different light qualities

The effect of purple non-sulfur bacteria application on the growth and quality of komatsuna was investigated under different light qualities using blue(470nm) and red (660nm) light emitting diodes (LED). Freeze dried purple non-sulfur bacteria (PTBP) were used for the investigation. Komatsuna plants were grown for 21 days with or without PTBP application under three different light qualities (blue-100%, red-100%, blue 20%-red 80%) at 20°C in a growth chamber. The PTBP application significantly promoted root growth under the blue-100% treatment, whereas the no PTBP application under the same light quality reduced root growth compared to the other light quality treatments. Moreover, the PTBP application under blue-100% increased chlorophyll and carotenoid contents, and reduced total sugar and ascorbic acid contents. On the other hand, the PTBP application under red-100% reduced nitrate and ascorbic acid contents. These results indicated that PTBP application significantly promoted growth and quality of komatsuna under blue light, and might

also compensate for red light.

5. Effect of final molasses wastewater treated with purple non-sulfur bacteria (*Rhodobacter sphaeroides*) on the growth and quality of spinach

This study was conducted to investigate the effect of final molasses wastewater treated with purple non-sulfur bacteria (PTB) on the growth and quality of spinach. More than 1 : 100 dilution of PTB did not inhibit the germination of spinach seeds. The application of the 1 : 100 dilution of PTB significantly improved both growth and quality of spinach compared to application of dilution of final molasses wastewater (Pre-PTB) or distilled water. This result showed that the application of PTB was more effective than the application of Pre-PTB. Moreover, the application of PTB tended to increase sugar and ascorbic acid contents of spinach in unsterilized sandy soil rather than in sterilized sandy soil. This suggested that the effect of application of PTB might be influenced by microorganisms in the sandy soil.

It is concluded that the purple non-sulfur bacteria application not only promoted growth of rice, spinach and komatsuna, but also the quality of spinach, komatsuna, melon and tomato. In addition, it has been found that the purple non-sulfur bacteria application increased number of fungi and actinomycete in vegetable cultivated soil, and promoted root growth and quality of komatsuna under blue light. Moreover, the utilization of final molasses wastewater produced by sugar factories was improved when treated with purple non-sulfur bacteria.

引用文献

- 雨木若慶・渡辺博之・樋口春三・田中道男. 2000. インビトロにおける各種発光ダイオード (LED) 照射下でのエキザカム実生の生長と開花. 園学雑. 69 (別 1) : 341.
- Arnon, D. I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. Plant Physiol. 24 : 1-15.
- Biebl, H. and N. Pfennig. 1978. Growth yields of green sulfur bacteria in mixed cultures with sulfur and sulfate reducing bacteria. Arch. Microbiol. 117: 9-16.
- Bienger, I. and P. Schopfer. 1970. Photomodulation by phytochrome of the rate of accumulation of ascorbic acid in mustard seedlings (*Sinapis alba* L.). Planta 93 : 152-159.
- Bingshan, L., Y. Hotta, Q. Yinglan, Z. Jinsong, T. Tanaka, Y. Takeuchi and M. Konnai. 1998. Effects of 5-aminolevulinic acid on the growth and ripening of wheat. J. Pesticide Sci. 23 : 300-303.
- Cataldo, D. A., M. Haroon, L. E. Schrader and V. L. Youngs. 1975. Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 6 : 71-80.
- 茶珍和雄. 1981. 生理に関する実験. p. 158-159. 大阪府立大学農学部園芸学教室編著. 園芸学実験・実習. 養賢堂. 東京.
- 茶珍和雄. 1986. 生理に関する実験. 炭水化物. P. 156-162. 中川昌一編著. 園芸学実験・実習. 養賢堂. 東京.
- 壇 和弘・今田成雄. 2003. コマツナの硝酸塩含量に及ぼす光条件の影響. 園学雑. 72 (別 1) : 135.
- Duong Tan Nhut・高村武二郎・五井正憲・渡辺博之・佐藤昌孝・田中道男. 2000.

- LED 光源の赤色/青色混合比がファレノプシスのクローン苗の生育に及ぼす影響. 園学雑. 69 (別 2) : 218.
- Elbadry, M., A. El-Bassel and Kh. Elbanna. 1999a. Occurrence and dynamics of phototrophic purple nonsulphur bacteria compared with other asymbiotic nitrogen fixers in ricefields of Egypt. W. J. Microbiol. Biotec. 15 : 359-362.
- Elbadly, M., H. Gamal-Eldin and Kh. Elbanna. 1999b. Effects of *Rhodobacter capsulatus* inoculation in combination with graded levels of nitrogen fertilizer on growth and yield of rice in pots and lysimeter experiments. W. J. Microbiol. Biotec. 15 : 393-395.
- Elbadry, M. and Kh. Elbanna. 1999. Response of four rice varieties to *Rhodobacter capsulatus* at seedling stage. W. J. Microbiol. Biotec. 15 : 363-367.
- 藤原孝之. 2001. 有機野菜の品質評価研究の現状と今後の展望. 農及園. 76 : 743-748.
- 富金原孝. 1978. 光合成細菌に関する特許抄録. 発酵と工業. 36 : 941-945.
- 福田直也・池田英男・鈴木芳夫・奈良 誠. 1990. 波長分布の異なる光がトマトとインゲンマメの生育に及ぼす影響. 園学雑. 59 (別 2) : 384-385.
- 福田直也・池田英男・鈴木芳夫・奈良 誠. 1991. 波長分布の異なる光がレタスならびにホウレンソウの生育に及ぼす影響. 園学雑. 60 (別 2) : 314-315.
- 福田直也・池田英男・奈良 誠. 1992. 光質がレタスの養水分吸収におよぼす影響. 園学雑. 61 (別 2) : 310-311.
- 福田直也・池田英男. 1993. 光質がトマトおよびレタスの光合成に及ぼす影響. 園学雑. 62 (別 2) : 320-321.
- 古江広治・永田茂穂. 1994. サトウキビに対する黒糖焼酎廃液の施用効果. 鹿児島農試研報. 23 : 33-40.
- Garrity, G. M., M. Winters and D. B. Searles. 2001. Taxonomic outline of the

- procaryotic genera. p. 1-39. In : G. M. Garrity (ed.). *Bergey's manual of systematic bacteriology*, 2nd Edition. Springer-Verlag. New York.
- Gest, H. and M. D. Kamen. 1949. Photoproduction of molecular hydrogen by *Rhodospirillum rubrum*. *Science* 109 : 558-559.
- 後藤典弘. 1996. 廃棄物・リサイクル技術. 環境研究. 100 : 70-75.
- Han, J. 1999. The influence of photosynthetic bacteria treatments on the crop yield, dry matter content, and protein content of the mushroom *Agaricus bisporus*. *Scientia Hortic.* 82 : 171-178.
- 樋口太重. 1996. 有機質肥料の機能性評価と土壌養水分の動態解析. 農業技術. 51 : 177-182.
- Hiraishi, A. and H. Kitamura. 1984a. Distribution of phototrophic purple nonsulfur bacteria in activated sludge systems and other aquatic environments. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.* 50 : 1929-1937.
- Hiraishi, A. and H. Kitamura. 1984b. Differences in phototrophic growth on high phosphate concentrations among *Rhodospseudomonas* species. *J. Ferment. Technol.* 62 : 293-296.
- 平山 修. 1978. 光合成細菌の色素およびユビキノン生成. 発酵と工業. 36 : 563-573.
- Hoagland, D. R. and D. I. Arnon. 1938. The water-culture method for growing plants without soil. University of California College of agriculture Agricultural experiment station 347 : 1-39.
- 星野八洲雄. 1978. 光合成細菌の分類. 発酵と工業. 36 : 552-562.
- 堀田康司・渡辺圭太郎・田中 徹・竹内安智・近内誠登. 1997. 5-アミノレブリン酸が幼植物の生育に及ぼす影響. 日本農薬学会誌. 22 : 102-107.
- Hotta, Y., T. Tanaka, H. Takaoka, Y. Takeuchi and M. Konnai. 1997a. New

physiological effects of 5-aminolevulinic acid in plants : The increase of photosynthesis, chlorophyll content, and plant growth. *Biosci. Biotech. Biochem.* 61 : 2025-2028.

Hotta, Y., T. Tanaka, H. Takaoka, Y. Takeuchi and M. Konnai. 1997b. Promotive effects of 5-aminolevulinic acid on the yield of several crops. *Plant Growth Regulation* 22 : 109-114.

堀田康司・渡辺圭太郎. 1999. 5-アミノレブリン酸の植物生理活性. *植物の化学調節*. 34 : 85-96.

堀田康司・田中 徹・近内誠登・竹内安智. 2000. 5-アミノレブリン酸のコウシュンシバ (*Zoysia matrella* Merr.) とベントグラス (*Agrostis palustris* Huds. cv. Penncross) の生育に及ぼす影響. *芝草研究*. 28 : 97-102.

北條良夫・石塚潤爾編著. 1985. 最新作物生理実験法. p. 337-339. 農業技術協会. 東京.

Imhoff, J. F. 1984. Reassignment of the genus *Ectothiorhodospira* Pelsh 1936 to a new family, *Ectothiorhodospiraceae* fam. nov., and emended description of the *Chromatiaseae* Bavendamm 1924. *Int. J. Syst. Bacteriol.* 34 : 338-339.

Imhoff, J. F. and M. T. Madigan. 2004. International committee on systematics of prokaryotes subcommittee on the taxonomy of phototrophic bacteria. Minutes of the meetings, 27 August 2003, Tokyo, Japan. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 54 : 1001-1003.

稲川利男・宮瀬 勇. 1943. 蔬菜種子の最低, 最適, 最高, 発芽温度. *農及園*. 18 : 763.

石井征亜・山崎敬亮. 2002. 岐阜における昼光の分光光量子束の日および年変化. *生物環境調節*. 40 : 207-213.

伊藤豊彰・木村和彦. 1990. 無機成分の定量法. p. 197-198. 東北大学農学部

- 農学科編著. 最新農学実験の基礎. ソフトサイエンス社. 東京.
- Jee, H. S., T. Ohashi, Y. Nishizawa and S. Nagai. 1987. Limiting factor of nitrogenase system mediating hydrogen production of *Rhodobacter sphaeroides* S. J. Ferment. Technol. 65 : 153-158.
- Kamen, M. D. and H. Gest. 1949. Evidence for a nitrogenase system in the photosynthetic bacterium *Rhodospillum rubrum*. Science 109 : 560.
- 上村幸廣・鳩野哲也・西菌直生子. 1993. 甘しょ焼酎廃液の農耕地還元技術. 鹿児島農試研報. 22 : 105-111.
- 上山宏輝・堀田康司・田中 徹・西川誠司・佐々木健. 2000. 光合成細菌変異株による 5-アミノレブリン酸の工業的生産. 生物工程. 78 : 48-55.
- 金森正雄. 1978. 光合成細菌の菌体成分. 発酵と工業. 36 : 934-940.
- Katayama, T., M. Kobayashi and A. Okuda. 1967. Nucleic acids in the culture fluids of *Rhodopseudomonas capsulatus* and other heterotrophic bacteria. Soil Sci. Plant Nutr. 13 : 101-106.
- 加藤邦彦. 1992. 希釈平板法による好気性細菌の計数. p. 15-16. 土壤微生物研究会編著. 新編土壤微生物実験法. 養賢堂. 東京.
- Kirk, J. T. O. and R. L. Allen. 1965. Dependence of chloroplast pigment synthesis on protein synthesis : Effect of actidione. Biochem. Biophys. Res. Commun. 21 : 523-530.
- 北村 博. 1978. 光合成細菌の有機酸代謝. 発酵と工業. 36 : 659-673.
- 北村 博. 1986. 光合成細菌. 微生物. 2 : 525-540.
- 小林達治・汐見信行・奥田 東. 1966a. 光合成細菌の利用に対する検討 (1). 土肥誌. 37 : 305-310.
- 小林達治・松本英明・奥田 東. 1966b. 光合成細菌の分布とその存在意義. 土肥誌. 37 : 447-450.

- Kobayashi, M., E. Takahashi and K. Kawaguchi. 1967a. Distribution of nitrogen-fixing microorganisms in paddy soils of Southeast Asia. *Soil Sci.* 104 : 113-118.
- Kobayashi, M., K. Mochida and A. Okuda. 1967b. The amino acid composition of photosynthetic bacterial cells. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.* 33 : 657-660.
- 小林達治・小林正泰・中西 弘・高橋英一. 1970. 光合成細菌による廃液の処理とその資源化 (1). *土肥誌.* 41 : 129-132.
- Kobayashi, M., M. Kobayashi and H. Nakanishi. 1971. Construction of a purification plant for polluted water using photosynthetic bacteria. *J. Ferment. Technol.* 49 : 817-825.
- Kobayashi, M. and M. Z. Haque. 1971. Contribution to nitrogen fixation and soil fertility by photosynthetic bacteria. *Plant and Soil Special Vol.* : 443-456.
- 小林達治. 1972. 光合成細菌による廃液の処理とその資源化 (2) 各種汚水処理過程中における細菌数と光合成細菌体定量法について. *土肥誌.* 43 : 123-126.
- Kobayashi, M. and Y. T. Tchan. 1973. Treatment of industrial waste solutions and production of useful by-products using a photosynthetic bacterial method. *Water Res. Pergamon Press* 7 : 1219-1224.
- 小林達治・葦澤正義・中条利明. 1974. 果実品質におよぼす有機質肥料施用の効果. *土肥誌.* 45 : 315-317.
- 小林達治. 1975a. 光合成細菌の基礎と応用 I. (基礎編) *土肥誌.* 46 : 101-109.
- 小林達治. 1975b. 光合成細菌の基礎と応用 II. (応用編) *土肥誌.* 46 : 148-156.
- 小林達治. 1978. 光合成細菌の自然界における役割 (特に高等植物との相関性) とその利用. *発酵と工業.* 36 : 574-583.
- 小林達治. 1992. 培地および特殊溶液の組成と作り方. *光合成細菌用培地.* p. 390. 土壤微生物研究会編著. *新編土壤微生物実験法.* 養賢堂. 東京.

- 小林達治. 1995. 農業技術大系作物編 2. 光合成細菌. p. 522. 農文協. 東京.
- 近藤謙介・中田昇・西原英治・高橋國昭. 2001a. 紅色非硫黄細菌 (*Rhodobacter sphaeroides*) の施用がハウレンソウの生育と品質に及ぼす影響. 園学雑. 70 (別 2) : 303.
- 近藤謙介・中田 昇・高橋國昭・西原英治・濱村邦夫. 2001b. 紅色非硫黄細菌 (*Rhodobacter sphaeroides*) 及び菌処理されたサトウキビ廃液の施用が砂地の微生物相に及ぼす影響. 日本砂丘学会講演要旨集. 14-15.
- 近藤謙介・中田 昇・田中 太・西原英治. 2003. 紅色非硫黄細菌 (*Rhodobacter sphaeroides*) の施用がトマトの果実品質に及ぼす影響. 農業生産技術管理学会誌. 10 (別 1) : 15-16.
- 黒沢慶二. 1978. 光合成細菌による廃水处理-PSB 法. 石油と石油化学. 22: 53-60.
- Leclerc, J., M. L. Miller, E. Joliet and G. Rocquelin. 1991. Vitamin and mineral contents of carrot and celeriac grown under mineral or organic fertilization. Biol. Agric. Hort. 7 : 339-348.
- Madigan, M., S. S. Cox and R. A. Stegeman. 1984. Nitrogen fixation and nitrogenase activities in members of the family *Rhodospirillaceae*. J. Bacteriol. 157: 73-78.
- 馬西清徳・福元康文・吉田徹志. 1996. 根域制限による水ストレス条件下でのトマトの生育と果実の品質に対する堆肥施用の影響. 土肥誌. 67: 257-264.
- Maudinas, B., M. Chemardin, E. Yovanovitch and P. Gadal. 1981. Gnotobiotic cultures of rice plants up to ear stage in the absence of combined nitrogen source but in the presence of free living nitrogen fixing bacteria *Azotobacter vinelandii* and *Rhodopseudomonas capsulata*. Plant and Soil 60 : 85-97.
- 松本真悟・阿江教治・山縣真人. 1999. 有機質肥料の施用がハウレンソウの生育および硝酸, シュウ酸, アスコルビン酸含量に及ぼす影響. 土肥誌. 70 : 31-38.

- 目黒孝司・川原祥司・相馬 暁. 1986. 野菜のし好に関する消費者の意識調査 (1985) (第4報) ホウレンソウの品質に関する消費者意識について. 北海道園芸研究談話会報. 19 : 44-45.
- Meier-Ploeger, A., R. Duden and H. Vogtmann. 1989. Quality of food plants grown with compost from biogenic waste. *Agric. Ecosystems Environ.* 27 : 483-491.
- 宮下清貴. 1992. 希釈平板法による放線菌の計数. p. 55-56. 土壤微生物研究会編著. 新編土壤微生物実験法. 養賢堂. 東京.
- 水野直治・南 松雄. 1980. 硫酸-過酸化水素による農作物中 N, K, Mg, Ca, Fe, Mn 定量のための迅速前処理法. 土肥誌. 51 : 418-420.
- 森 康裕・高辻正基. 1999. LED と LD 光がサラダナ生育に及ぼす影響. 植物工場学会誌. 11 : 46 - 49.
- 元村佳恵. 1990. 有機酸. p. 215. 東北大学農学部農学科編著. 最新農学実験の基礎. ソフトサイエンス社. 東京.
- 村山秀樹・俵谷圭太郎・村山 徹. 2002. 有機質肥料がメロンの収量ならびに品質におよぼす影響. 園学雑. 71 (別2) : 144.
- 村山三郎・空西麻里・小阪進一. 1997. 温度条件が緑化植物種子の発芽に及ぼす影響. 農及園. 72 : 1217-1220.
- 村山 徹・渡邊和洋・村山秀樹・新野孝男. 2001. ダイコンの品質・収量に対する有機質肥料および施肥量の影響. 園学雑. 70 (別1) : 111.
- 中野明正・上原洋一・山内 章. 2001. 有機液肥の連続施用システムの開発とそれがトマトの生育・果実収量・品質および土壌の化学性に与える影響. 土肥誌. 72 : 505-512.
- 中野明正. 2002. 有機質資材の有効利用. - 有機質資材を活用した養液土耕と有機農産物の科学的認証 -. 農及園. 77 : 853-859.
- 中尾宏人・前田直彦・鍬塚昭三. 1996. クロレラ熱水抽出物およびその抽出残

- 渣がダイコン幼植物の生育と土壤微生物相変化に及ぼす影響. 土肥誌. 67 : 17-23.
- 西原英治・高橋國昭・近藤謙介・中田 昇・渡辺圭太郎. 2000. 5-アミノレブリン酸 (ALA) 処理が砂地におけるハウレンソウ夏期栽培の生育に及ぼす影響. 農業生産技術管理学会誌. 7 (別 1) : 9-10.
- 西尾道徳. 1984. 畑地における有機物施用効果の微生物学的解析上の問題点. 土と微生物. 26 : 3-11.
- 新田恒雄. 1992. 希釈平板法による糸状菌の計数. p. 63-64. 土壤微生物研究会編著. 新編土壤微生物実験法. 養賢堂. 東京.
- 野口勝憲. 1992a. 有機質肥料と土壤微生物 [1]. 農及園. 67 : 673-677.
- 野口勝憲. 1992b. 有機質肥料と土壤微生物 [2]. 農及園. 67 : 785-790.
- Noparatnaraporn, N., W. Wongkornchawalit, D. Kantachote and S. Nagai. 1986. SCP production of *Rhodopseudomonas sphaeroides* on pineapple wastes. J. Ferment. Technol. 64 : 137-143.
- Noparatnaraporn, N., S. Trakulnaleumsai, R. G. Silveira, Y. Nishizawa and S. Nagai. 1987. SCP production by mixed culture of *Rhodocyclus gelatinosus* and *Rhodobacter sphaeroides* from cassava waste. J. Ferment. Technol. 65 : 11-16.
- 岡本研正・柳 智博. 1994. 青色／赤色超高輝度発光ダイオードを用いた植物育成用光源の開発. 平成 6 年度電気関係学会四国支部連合大会講演論文集 : 109.
- Okuda, A., M. Yamaguchi and S. Kamata. 1957. Nitrogen-fixing microorganisms in paddy soils. (Part 3) Distribution of non-sulphur purple bacteria in paddy soils. Soil and Plant Food 2 : 131-133.
- Okuda, A., M. Yamaguchi and M. Kobayashi. 1959. Nitrogen-fixing microorganisms in paddy soils IV . Nitrogen fixation by photosynthetic bacteria

- (*Rhodospseudomonas capsulatus species*) under various conditions. *Soil and Plant Food* 5 : 73-76.
- 奥田 東・小林達治. 1966. 光合成細菌について. *土と微生物*. 8 : 44-54.
- 大島敏久・岩田史子・大島松美. 1988. 紅色非硫黄細菌のアミノ酸及び関連化合物の資化性. *京都教育大学紀要*. 71/72 : 17-21.
- 大山卓爾・伊藤道秋・小林京子・荒木 創・安吉佐和子・佐々木修・山崎拓也・曾山久美子・種村竜太・水野義孝・五十嵐太郎. 1991. 硫酸 - 過酸化水素分解法による, 植物, 厩肥試料中に含まれる, N, P, K の分析. *新潟大農研報*. 43 : 111-120.
- 小沢 聖. 1996. 農業技術大系野菜編 7. ベたがけ溝底播種・寒冷地冬どり栽培. p. 56. 農文協. 東京.
- Pfennig, N. 1967. Photosynthetic bacteria. *Annu. Rev. Microbiol.* 21 : 285-324.
- Pfennig, N and H. G. Trüper. 1971. Higher taxa of the phototrophic bacteria. *Int. J. Syst. Bacteriol.* 21 : 17-18.
- 斉藤忠雄・高橋文次郎. 2000a. 温室メロン栽培における火山灰土壌の床土利用と収量・品質〔1〕 - 土壌の種類・床土量・堆肥量 -. *農及園*. 75 : 401-408.
- 斉藤忠雄・高橋文次郎. 2000b. 温室メロン栽培における火山灰土壌の床土利用と収量・品質〔2〕 - 有機質窒素肥料・リン酸・カリウムの施用量 -. *農及園*. 75 : 496-504.
- 坂本一憲・大羽 裕. 1995. 各種有機物資材の施用が土壌中の糸状菌と細菌のバイオマス比に及ぼす影響. *土肥誌*. 66 : 418-421.
- 坂本一憲・大塚麻子・吉田富男. 1996. 土壌の団粒粒径分布におよぼす土壤微生物相の影響. *土肥誌*. 67 : 310-313.
- Sasaki, K., M. L. A. E. Hurtado, Y. Nishizawa and S. Nagai. 1985. Aerobic-heterotrophic and photoheterotrophic growth in microaerobic-light

- chemostat cultures of *Rhodospseudomonas sphaeroides* S. J. Ferment. Technol. 63 : 377-381.
- Sasaki, K., S. Ikeda, Y. Nishizawa and M. Hayashi. 1987. Production of 5-aminolevulinic acid by photosynthetic bacteria. J. Ferment. Technol. 65 : 511-515.
- Sasaki, K., H. Morii, Y. Nishizawa and S. Nagai. 1988. Denitrifying and photoheterotrophic growth of *Rhodobacter sphaeroides* S under anaerobic-dark and -light conditions. J. Ferment. Technol. 66 : 27-32.
- 佐藤敏生. 1978. 光合成細菌の脱窒. 発酵と工業. 36 : 650-658.
- Schopfer, P. 1966. The control by phytochrome of the contents of ascorbic acid and dehydroascorbic acid in the mustard seedling (*Sinapis alba* L.). Planta 69 : 158-177.
- Shigeoka, S., A. Yokota, Y. Nakano and S. Kitaoka. 1979. The effect of illumination on the L-ascorbic acid content in *Euglena gracilis* z. Agric. Biol. Chem. 43 : 2053-2058.
- Siefert, E., R. L. Irgens and N. Pfennig. 1978. Phototrophic purple and green bacteria in a sewage treatment plant. Appl. Environ. Microbiol. 35 : 38-44.
- 杉田交啓・雨木若慶・渡辺博之. 2002. 各種発光ダイオード (LED) による単色光照射が植物の生長に及ぼす影響. 園学雑. 71 (別 2) : 173.
- 高橋 甫. 1981. 光合成細菌による水素の生産. 発酵と工業. 39 : 394-404.
- 高辻正基・辻 貴之・関 善範・星 岳彦. 1995. 可視発光ダイオードによる植物栽培実験. 植物工場学会誌. 7 : 163-165.
- 建部雅子・石原俊幸・松野宏治・藤本順子・米山忠克. 1995. 窒素施用がハウレンソウとコマツナの生育と糖, アスコルビン酸, 硝酸, シュウ酸含有率に与える影響. 土肥誌. 66 : 238-246.

- 田中史宏・渡辺博之・村瀬 誠・山内 進・遠藤政弘. 1995. LED を光源とした植物栽培 (第 2 報) 光質による植物栄養成分の変化. 園学雑. 64 (別 1) : 392-393.
- 田中道男・大野恵理・高村武二郎・渡辺博之・岡本研正. 1997. LED 光源を用いたシンビジウムのマイクロプロパゲーションにおける光要求性. 園学雑. 66 (別 1) : 518-519.
- 田中亮太郎. 1977. 光合成細菌利用の実用化に関する考察. 発酵と工業. 36 : 842-848.
- 遠山隆文・石井征亜・禿 泰雄・岡部勝美. 2001. 太陽光の光質の季節変化と植物への影響. 植物の生長調節. 36 : 202-207.
- Trüper, H. G. 1976. Higher taxa of the phototrophic bacteria: *Chloroflexaceae* fam. nov., a family for the gliding, filamentous, phototropic "green" bacteria. Int. J. Syst. Bacteriol. 26 : 74-75.
- 都築俊文. 1994. 富栄養化に関連するもの. p. 253-256. 日本分析化学会北海道支部編著. 水の分析. 化学同人. 京都.
- van Niel, C. B. 1944. The culture, general physiology, morphology and classification of the nonsulfur purple and brown bacteria. Bacteriol. Rev. 8 : 1-118.
- Vassilev, N., M. Vassileva, R. Azcon, M. Fenice, F. Federici and J. M. Barea. 1998. Fertilizing effect of microbially treated olive mill wastewater on *Trifolium* plants. Biores. Technol. 66 : 133-137.
- 若澤秀幸・高橋和彦・望月一男. 1998. コーヒー粕の施用が作物生育と土壤理化学性に及ぼす影響. 土肥誌. 69 : 1-6.
- Warrington, I. J. and K. J. Mitchell. 1976. The influence of blue- and red-biased light spectra on the growth and development of plants. Agric. Meteorol. 16 : 247-262.

- 渡辺博之・田中史宏・村瀬 誠・山内 進・遠藤政弘. 1995. LED を光源とした植物栽培（第 1 報）各種植物の光要求性. 園学雑. 64（別 1）：390-391.
- 渡部潤一郎・門屋一臣. 1991. 光質の相違がイヨカン果実の品質に及ぼす影響. 園学雑. 60：55-60.
- 山中 啓. 1985. 光合成細菌による芳香族化合物の転換. 発酵と工業. 43:426-435.
- Yanagi, T., K. Okamoto and S. Takita. 1996. Effects of blue, red, and blue/red lights of two different PPF levels on growth and morphogenesis of lettuce plants. Acta Hort. 440：117-122.
- 柳 智博・近藤伸二・岡本研正. 1996. 園芸植物の人工光栽培における超高輝度発光ダイオード（LED）光源の利用.（第 2 報）赤/青色光の混合比率を変えて設定した同一の光合成有効光量子束密度条件下におけるレタス苗の生長と形態形成について. 園学雑. 65（別 2）：432-433.
- 柳 智博・岡本研正. 1996. 超高輝度発光ダイオードによる青色および赤色光がイチゴ葉の光合成速度に及ぼす影響について. 園学雑. 65(別 1):328-329.
- 米山忠克. 1982. 空気, 土, 水, 植物における硝酸, 亜硝酸, N-ニトロソ化合物. 保健の科学. 24：725-729.
- 吉田企世子・森 敏・長谷川和久・西沢直子・熊沢喜久雄. 1984a. 肥料の違いによる栽培トマトの食味. 日本栄養・食糧学会誌. 37：115-121.
- 吉田企世子・森 敏・長谷川和久・西沢直子・熊沢喜久雄. 1984b. 肥料の違いによる栽培トマトの還元糖, 有機酸およびビタミン C 含量. 日本栄養・食糧学会誌. 37：123-127.
- 吉田企世子. 1996. 野菜の栽培方法と成分. 日本食生活学会誌. 7：15-22.
- 吉田重方・田口英昭・野村佳伸・田代 亨・和田富吉・江沢辰広・田原保樹. 2002. 鈣質畑地における厩肥の長期連用効果の解析 - (1)作物の生育収量, 品質および発病抑止に対する効果 -. 農及園. 77：1310-1318.

吉川年彦・中川勝也・小林 保・時枝茂行・永井耕介. 1988. 高品質ホウレンソウの生産・出荷に関する研究（第2報）シュウ酸含量に及ぼす施肥，有機質資材施用の影響. 近畿中国農研. 75 : 77-81.

Zürner, H and R. Bachofen. 1979. Hydrogen production by the photosynthetic bacterium *Rhodospirillum rubrum*. Appl. Environ. Microbiol. 37 : 789-793.

謝 辞

本研究の計画から，本論文のとりまとめに至るまで終始懇篤なご指導を賜り，また，本論文をご校閲いただきました，鳥取大学農学部教授 中田昇博士に対し，深甚の謝意を表します。また，懇切なご指導とご校閲を賜りました，鳥取大学農学部助教授 山口武視博士，島根大学生物資源科学部教授 青木宣明博士，鳥取大学農学部教授 田村文男博士ならびに山口大学農学部助教授 高橋肇博士に心から感謝致します。

本研究の遂行にあたり懇切なご指導とご鞭撻を賜りました，元島根大学生物資源科学部教授 伊藤憲弘博士に感謝致します。

学部学生の頃より長きにわたり懇篤なご指導とご鞭撻を賜りました，鳥取大学名誉教授 竹内芳親博士ならびに元鳥取大学乾燥地研究センター助教授 遠山 柁雄博士に感謝し，厚くお礼申し上げます。

本研究の遂行にあたり懇切なご指導を賜りました，鳥取大学乾燥地研究センター教授 濱村邦夫博士ならびに元鳥取大学農学部教授 高橋國昭博士に感謝致します。

本研究に供試した紅色非硫黄細菌‘NR3’を提供していただきました，日本大学生産工学部 故新井孝昭先生，
廃糖蜜液を提供していただきました，鹿児島県富国製糖株式会社 佐藤常志氏，鹿児島県笠利町役場 前田篤夫，
国分正大両氏，研究用LED光源システムを提供していただきました，三洋電機株式会社 三井準，今重洋二両氏
に感謝し，故人のご冥福をお祈り致します。

学部学生の頃より有益なご指摘とご助言を賜りました，
新潟県農業総合研究所 西原英治博士に心から感謝致します。

本論文のご校閲を賜りました，鳥取大学地域学部外国人教師 A. K. Cates 先生，産業技術総合研究所 若山樹博士ならびに神戸大学大学院自然科学研究科助手 勝田知尚博士に感謝致します。

多大なご協力をいただきました，鳥取大学農学部農場研究室の卒業生，大学院生，学部生の皆様，鳥取大学農学部附属農場の事務官，技官の皆様，鳥取大学大学院連合農学研究科の事務官，卒業生，大学院生の皆様，鳥取大学乾燥地研究センターの事務官，技官，卒業生，大学院生，学部生の皆様ならびに鳥取大学農学部生物生産学

講座の事務官，卒業生，大学院生，学部生の皆様に厚く
お礼申し上げます．

最後に，長い年月にわたり学生としての研究生活を支
援していただいた，家族に心から感謝致します．

公表論文リスト

学術論文 1：学位論文第 5 章

題目 異なる光質条件下で栽培したコマツナの生育と品質に及ぼす紅色非硫黄細菌
(*Rhodobacter sphaeroides*) 施用の影響
Effect of purple nonsulfur bacteria (*Rhodobacter sphaeroides*) on the growth and
quality of komatsuna under different light qualities

著者名 近藤謙介・中田 昇・西原英治
Kensuke Kondo, Noboru Nakata and Eiji Nishihara

学術雑誌名 生物環境調節 (2004 年 9 月刊行)
Environment Control in Biology (Published September, 2004)

学術論文 2：学位論文第 6 章

題目 紅色非硫黄細菌 (*Rhodobacter sphaeroides*) 処理廃糖蜜液がホウレンソウの
生育と品質に及ぼす影響
Effect of final molasses wastewater treated with purple nonsulfur bacteria
(*Rhodobacter sphaeroides*) on the growth and quality of spinach

著者名 近藤謙介・中田 昇・西原英治・濱村邦夫
Kensuke Kondo, Noboru Nakata, Eiji Nishihara and Kunio Hamamura

学術雑誌名 農業生産技術管理学会誌 (2004 年 11 月刊行)
Journal of the Japanese Society of Agricultural Technology Management
(Published November, 2004)