

近中四農研報
Bull.NARO West.
Reg.Agric.Res.Cent.

BULLETIN OF
NARO WESTERN REGION AGRICULTURAL RESEARCH CENTER

No.13 March 2014

近畿中国四国農業研究センター 研究報告

第13号 平成26年3月



NARO

農研機構

独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構

近畿中国四国農業研究センター

NARO WESTERN REGION AGRICULTURAL RESEARCH CENTER

近畿中国四国農業研究センター研究報告 第13号

所長 尾 関 秀 樹

編集委員会

委員長	佐野資郎	
委員	川上秀和	笹倉修司
	松村修	田坂幸平
	佐藤隆徳	篠田満
	渡邊修一	菊地淳志
	川瀬真市朗	細川雅敏
	村上健二	山本直幸
	十鳥博	

BULLETIN OF
NARO WESTERN REGION AGRICULTURAL RESEARCH CENTER
No. 13

Hideki OZEKI, Director General

EDITORIAL BOARD

Shiro SANO, Chairman

Hidekazu KAWAKAMI

Osamu MATSUMURA

Takanori SATO

Syuichi WATANABE

Shin-ichiro KAWASE

Kenji MURAKAMI

Hiroshi JUTORI

Shuji SASAKURA

Kohei TASAKA

Mitsuru SHINODA

Atsushi KIKUCHI

Masatoshi HOSOKAWA

Naoyuki YAMAMOTO

(NARO: National Agriculture and Food Research Organization)

近畿中国四国農業研究センター研究報告

第13号

(平成26年3月)

目 次

蛍光灯光源の照射波長バランスがハウレンソウと葉ネギの生育に及ぼす影響 浜本 浩・山崎敬亮	1
防根給水ひも栽培に肥効調節型肥料を適用したトマトの省力・環境負荷低減型簡易生産システムの開発 木下貴文	11
ヤーコンの新品種「アンデスの乙女」の育成 杉浦 誠・中西建夫・藤野雅丈・石川浩一	59
甘草抽出物のキュウリべと病および炭疽病に対する発病抑制機作に関する研究 宮川久義・大野裕和	71
硝子率が低く精麦品質が優れる早生・多収の裸麦新品種「ハルヒメボシ」の育成 高橋飛鳥・吉岡藤治・柳沢貴司・長嶺 敬・高山敏之・土井芳憲・松中 仁・ 藤田雅也・土門英司・杉浦 誠・伊藤昌光	107

BULLETIN OF
NARO WESTERN REGION
AGRICULTURAL RESEARCH CENTER

No. 13 March 2014

CONTENTS

Effects of Spectral Balance of Fluorescent Light Source on Growth of Spinach and Welsh onion Hiroshi HAMAMOTO and Keisuke YAMAZAKI	1
Development of a Simplified, Laborsaving and Low-Environmental-Impact Production System for Tomato Cultivation by Applying of Controlled Release Fertilizers via Root-Proof Capillary Wick Irrigation Takafumi KINOSHITA	11
A New Yacon Cultivar, 'Andesu no Otome' Makoto SUGIURA, Tateo NAKANISHI, Masatake FUJINO and Koichi ISHIKAWA	59
Studies on The Mechanism of Cucumber Downy Mildew and Anthracnose Disease Suppression by Licorice Extract Hisayoshi MIYAGAWA and Hirokazu OHNO	71
A New Hull-less Barley Cultivar 'Haruhimeboshi' with Low Grassiness and Good Pearling Quality Asuka TAKAHASHI, Toji YOSHIOKA, Takashi YANAGISAWA, Takashi NAGAMINE, Toshiyuki TAKAYAMA, Yoshinori DOI, Hitoshi MATSUNAKA, Masaya FUJITA, Eiji DOMON, Makoto SUGIURA and Masamitsu ITO	107

蛍光灯光源の照射波長バランスがホウレンソウと 葉ネギの生育に及ぼす影響

浜本 浩¹・山崎敬亮

Key words : 蛍光灯, 作物生長, 波長バランス, 葉ネギ, ホウレンソウ

目 次

I 緒 言	1	III 結 果	3
II 材料および方法	2	1 光環境	3
1 栽培方法	2	2 第1試験	3
2 第1試験：赤, 青, 緑バイアス光の作物 生育への影響調査	2	3 第2試験	5
3 第2試験：赤バイアス光下での青, 緑色 光バランスの違いが作物生育へ及ぼす影 響調査	3	IV 考 察	6
		V 摘 要	7
		引用文献	7
		Summary	10

I 緒 言

近年, 植物工場は消費者, 食品産業, 政府や自治体などからの関心を集めている。閉鎖的, 半閉鎖的な環境での生産が, 気象環境に影響されない安定的な収穫や収穫物の安全性を高め¹⁶⁾, 消費者に安心感をもたらす。現在, 植物工場ではレタスの生産を行っていることが多いが, ホウレンソウや葉ネギのようなレタス以外の葉菜類の栽培も行われるようになってきている。近畿中国四国地域でも, 完全人工光型や太陽光・人工光併用型の植物工場が生産を行っている例がある²²⁾。完全人工光型の植物工場では, 光源として近年発光ダイオード(LED)を導入している例もあるものの, LEDの利用割合はまだ低く²²⁾, 蛍光灯を光源として用いるものが多い^{21, 22)}。しかし, 作物生産に好適な波長バランスなどはまだ明確でなく, これを明らかにすることが, 光源の利用効率の向上に関しての課題となっている。

栽培用蛍光灯として通常用いられる白色蛍光灯は青色光(波長400~500nm), 緑色光(同500~600nm), 赤色光(同600~700nm)の波長域にピークを持つ幅広い発光帯を有する。赤色光は光合成に特に有効である^{13, 18, 19)}が, 茎葉の徒長など, 形態上の異常をもたらす場合がある³⁰⁾。青色光は作物形態を正常に保つために有効とされ, 赤色光に青色光を付加することによって形態異常が緩和されたとする報告がいくつかある^{6, 27, 30, 31, 32)}。緑色光は植物葉への吸収率が低いものの^{1, 13, 18, 19)}, 光合成に利用できる^{18, 25, 29)}。また近年, 光合成以外にも, 緑色光に生理的な作用があることが指摘されている^{5, 24, 33)}。しかし, 作物生育への緑色光の影響については, トマトやマリーゴールド¹⁵⁾, レタス⁴⁾で抑制的な効果が報告された一方で, レタスについて生育促進に作用したという報告¹⁴⁾もあり, 緑色光が作物生育に有効に作用するかについては, まだ検討が必要と考えられる。

そこで, 本研究ではホウレンソウと葉ネギを蛍光

灯照射下で栽培し、生育に好適な照射光の波長バランス、特に赤色光、青色光、緑色光のバランスについて検討し、植物工場の技術的発展に資する知見を得ようとした。

本研究は農林水産省委託プロジェクト研究「生物の光応答メカニズムの解明と省エネルギー、コスト削減利用技術の開発」において行った。

II 材料および方法

1 栽培方法

作物にはホウレンソウ「アクティブ」(サカタのタネ)と葉ネギ「フレッシュ小ねぎ」(タキイ種苗)を用いた。市販の園芸培土と土を混合して0.2 g N, 1.2 g P₂O₅, 0.2 g K₂O L⁻¹に肥料分を調整した用土を容量13 Lのプランタ(上面61×19cm, 深さ14cm)に詰め、ホウレンソウでは12カ所に各3粒点播、葉ネギでは10カ所に5～6粒条播した。ホウレンソウは生育途中で1ヶ所1株に間引いた。

実験は96W白色蛍光灯(FPR96EXNA, パナソニック)14本を光源とするグロースキャビネット(KG-50HLA, コイト電工)3台を用いて行った。室内気温と相対湿度はそれぞれ23℃と80%に設定した。光照射は、栽培前のプランタ直上で約200μmol・m⁻²・s⁻¹の光合成有効放射(PPF = Photosynthetic Photon Flux: 波長400～700nm)になる強度とし、明期は1日12時間とした。各グロースキャビネットにはホウレンソウと葉ネギのプランタを1個ずつ配置した。

2 第1試験: 赤, 青, 緑バイアス光の作物生育への影響調査

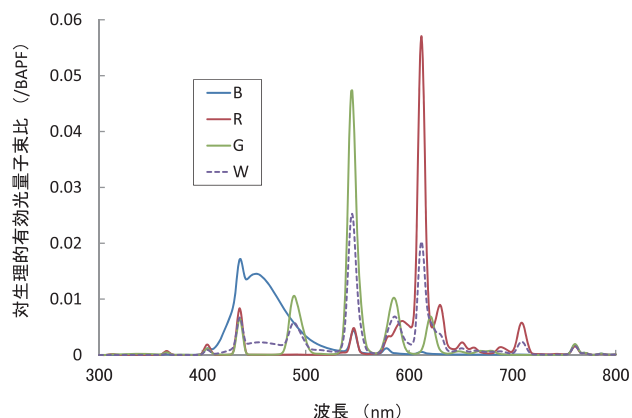
第1試験では、白色蛍光灯のみを用いた場合に比べて赤, 青, 緑色光の割合をそれぞれ大きくした(赤, 青, 緑バイアスをかけた)光の作物生育への影響を、白色蛍光灯のみで栽培した場合と比較することで評価した。グロースキャビネットの白色蛍光灯のうち、4本, 7本または10本を赤色または青色の96W蛍光灯(赤, FPR96ERA; 青, FPR96EBA, パナソニック)にそれぞれ交換する区を設け、赤バイアス, 青バイアス光の影響を調査した。なお、グロースキャビネットは3室しかないため、赤バイア

ス, 青バイアスそれぞれで、実験1(4本, 7本交換と白色蛍光灯単独), 実験2(7本, 10本交換と白色蛍光灯単独)の2回に分けて実施した。緑バイアス光の影響調査は、96W緑色蛍光灯(FPR96EGA, パナソニック)に4本と7本を交換する区を設けて行った。

蛍光灯の組み合わせは、白, 赤, 青および緑色蛍光灯をそれぞれW, R, BおよびGと示し、その横に使用した蛍光灯の本数を示すように表現した。例えば、白色蛍光灯10本と赤色蛍光灯4本の場合は、W10R4とした。各蛍光灯の光量子束の波長分布は第1図に示す。

栽培前に、プランタ直上に相当する高さの波長別光量子束を波長別エネルギー測定装置(LI-1800, ライカ)で計測した。計測した波長別光量子束の生理的有効放射(BAPF = Biological Active Photon Flux: 波長300～800nm)に対する割合を紫外線(UV: 波長300～400nm), 青色光(B: 波長400～500nm), 緑色光(G: 波長500～600nm), 赤色光(R: 波長600～700nm), 遠赤色光(FR: 波長700～800nm)に対して求めた。PPFに対するB, G, Rの割合も求めた。また、作物生育、特に伸長に影響を及ぼすとされるR/FR比^{20, 26}も求めた。

作物の生育については、ホウレンソウ(各試験区12株)では草丈、地上部の生体重と乾物重、葉面積、葉数を調査するとともに、葉緑素計(SPAD502, コニカミノルタ)を用いて葉色(SPAD値)を計測



第1図 供試蛍光灯の光量子束の波長分布

B: 青色蛍光灯, R: 赤色蛍光灯, G: 緑色蛍光灯, W: 白色蛍光灯。

グラフは各波長での光量子束と生理的有効放射域(BAPF: 波長300～800nm)の光量子束との比を示す。

し、葉ネギでは各試験区1カ所につき2株の計20株をサンプリングして、草丈、地上部の生体重と乾物重、葉鞘径、葉数、葉色を計測した。

3 第2試験：赤バイアス光下での青、緑色光バランスの違いが作物生育へ及ぼす影響調査

第2試験では、赤バイアスのかかった光環境で、赤色光の割合を一定にした上で青色光と緑色光のバランスを変える処理を行った。赤色蛍光灯を9本、白色蛍光灯を1本設置し、残りの4本を青色蛍光灯と緑色蛍光灯にする2試験区を設け、赤色蛍光灯7本と白色蛍光灯7本を設置した区と比較した。同じ処理で2回実験を行った（実験1、実験2）。蛍光灯の組み合わせ表示や栽培前のプランタ直上波長別光量子束の調査、作物の生育調査は第1試験と同様に行った。

Ⅲ 結 果

1 光環境

グロースキャビネット内の光質については第1表に示す。紫外線の生理的有効放射に対する割合（UV/BAPF）はどの試験区でも少ない割合を示し

た。FR/BAPFは赤バイアス光源で高い傾向があり、最も高くなったのはW4R10区で、約0.08となった。逆に青バイアス光源では低くなり、最も低いW4B10区では0.03未満であった。光合成有効放射にあたるR、G、Bの生理的有効放射に対する割合は、どの試験区も高く、白色蛍光灯のみの場合（W14）においてR/BAPFが0.30、G/BAPFが0.42、B/BAPFが0.24程度で、赤、青、緑にバイアスをかけた場合は、それぞれの色の波長域がより高い割合になり、残りの波長域の割合が低くなった。R/FRについては、W7B7とW4B10区で他の試験区より低くなった。

2 第1試験

赤バイアス光はホウレンソウの生育を促進した。特にW7R7区では、葉色を除く項目すべてで最も大きい数値を示した。W10R4区とW4R10区においても、W14区と比較すると良好な生育をしていたが、W7R7区と比べて効果は劣った。葉色に対しての赤バイアス光の影響は明らかでなかった。一方、赤バイアス光の葉ネギの生育に対する影響は、ホウレンソウほど明確でないものの、W7R7区で他の区よりも生育が促進される傾向がみられた。なお、赤バイ

第1表 各蛍光灯組み合わせ処理下の光質環境

	蛍光灯組み合わせ処理										
	W14	W10R4	W7R7	W4R10	W10B4	W7B7	W4B10	W10G4	W7G7	G4W1R9	B4W1R9
	—光量子束比—										
UV/BAPF	0.003	0.005	0.003	0.004	0.003	0.003	0.002	0.004	0.005	0.005	0.003
B/BAPF	0.235	0.181	0.139	0.103	0.378	0.512	0.608	0.211	0.203	0.099	0.247
G/BAPF	0.419	0.341	0.279	0.229	0.357	0.283	0.242	0.491	0.551	0.321	0.165
R/BAPF	0.300	0.410	0.502	0.586	0.231	0.167	0.119	0.246	0.209	0.506	0.510
FR/BAPF	0.042	0.062	0.076	0.078	0.031	0.035	0.028	0.048	0.031	0.069	0.076
B/PPF	0.247	0.195	0.151	0.112	0.391	0.532	0.627	0.223	0.211	0.107	0.268
G/PPF	0.439	0.366	0.304	0.249	0.370	0.294	0.250	0.518	0.572	0.347	0.179
R/PPF	0.314	0.440	0.546	0.638	0.240	0.174	0.123	0.259	0.217	0.547	0.553
R/FR	7.003	6.007	6.519	7.175	7.385	4.740	4.219	5.125	6.706	7.400	6.717

UV：紫外線（波長300～400nm）、B：青色光（同400～500nm）、G：緑色光（同500～600nm）、R：赤色光（同600～700nm）、FR：遠赤色光（同700～800nm）、BAPF：生理的有効放射域（同300～800nm）、PPF：光合成有効放射域（同400～700nm）。

蛍光灯の組み合わせは、白、赤、青、緑色蛍光灯をそれぞれW、R、B、Gと示し、その横に使用した蛍光灯の本数を示した。

アスをかけた場合はW14区と比べ、葉色が若干薄くなる傾向があった(第2表)。

青バイアス光のハウレンソウと葉ネギの生育への影響は、W14, W10B4, W7B7の3試験区で比較し

た実験1ではあまり明確でなかったが、W14, W7B7, W4B10の3試験区で行った実験2では、青色光の割合が多いほど生育抑制する傾向がみられた。葉色の試験区間差は小さかったが、実験1のホ

第2表 赤バイアス光照射下でのハウレンソウと葉ネギの生育

調査項目	ハウレンソウ (処理)				ネギ (処理)				
	W14	W10R4	W7R7	W4R10	W14	W10R4	W7R7	W4R10	
草丈 (cm)	実験1	14.7 ^c	17.3 ^b	19.8 ^a	—	31.6 ^a	29.5 ^a	32.0 ^a	—
	実験2	19.0 ^b	—	22.8 ^a	20.8 ^{ab}	33.8 ^b	—	36.8 ^a	34.6 ^{ab}
生体重 (g)	実験1	11.9 ^b	14.3 ^b	21.2 ^a	—	1.9 ^a	1.6 ^a	2.0 ^a	—
	実験2	12.3 ^b	—	23.3 ^a	17.0 ^b	1.9 ^a	—	2.3 ^a	1.9 ^a
乾物重 (g)	実験1	1.24 ^b	1.41 ^b	1.94 ^a	—	0.17 ^a	0.14 ^a	0.17 ^a	—
	実験2	1.01 ^b	—	1.78 ^a	1.34 ^b	0.15 ^a	—	0.17 ^a	0.14 ^a
葉鞘径 (mm)	実験1	—	—	—	—	3.7 ^a	3.5 ^a	3.7 ^a	—
	実験2	—	—	—	—	3.7 ^{ab}	—	3.9 ^a	3.5 ^b
葉面積 (cm ²)	実験1	261.7 ^b	310.3 ^b	450.9 ^a	—	—	—	—	—
	実験2	275.5 ^b	—	480.8 ^a	353.5 ^b	—	—	—	—
葉数 (枚)	実験1	16.0 ^a	16.2 ^a	17.8 ^a	—	5.0 ^a	4.6 ^a	4.8 ^a	—
	実験2	12.3 ^b	—	14.6 ^a	14.3 ^a	4.2 ^a	—	4.1 ^a	4.0 ^a
葉色 (SPAD)	実験1	53.1 ^a	53.8 ^a	52.7 ^a	—	61.3 ^a	57.1 ^b	58.5 ^{ab}	—
	実験2	49.3 ^a	—	47.0 ^a	48.8 ^a	58.7 ^a	—	56.0 ^{ab}	55.0 ^b

蛍光灯の組み合わせ処理の表記は第1表と同じ。

同一作物の同一実験において、異なるアルファベットが付された数値にはTukey法5%水準で有意差あり、3室のグロースキャビネットを用い、実験1と実験2の2回に分けて調査した。

第3表 青バイアス光照射下でのハウレンソウと葉ネギの生育

調査項目	ハウレンソウ (処理)				ネギ (処理)				
	W14	W10B4	W7B7	W4B10	W14	W10B4	W7B7	W4B10	
草丈 (cm)	実験1	18.2 ^a	17.0 ^a	18.3 ^a	—	31.5 ^a	32.7 ^a	32.0 ^a	—
	実験2	17.9 ^a	—	14.4 ^b	13.4 ^b	31.7 ^a	—	30.5 ^a	30.0 ^a
生体重 (g)	実験1	16.8 ^a	14.4 ^a	18.6 ^a	—	1.5 ^a	1.8 ^a	1.5 ^a	—
	実験2	13.1 ^a	—	8.4 ^b	7.0 ^b	1.5 ^a	—	1.2 ^b	1.1 ^b
乾物重 (g)	実験1	1.56 ^a	1.32 ^a	1.44 ^a	—	0.14 ^a	0.17 ^a	0.14 ^a	—
	実験2	1.3 ^a	—	0.9 ^{ab}	0.7 ^b	0.13 ^a	—	0.11 ^b	0.09 ^b
葉鞘径 (mm)	実験1	—	—	—	—	3.3 ^a	3.5 ^a	3.4 ^a	—
	実験2	—	—	—	—	3.2 ^a	—	3.0 ^a	3.0 ^a
葉面積 (cm ²)	実験1	361.9 ^a	331.8 ^a	418.8 ^a	—	—	—	—	—
	実験2	294.1 ^a	—	206.2 ^b	170.3 ^b	—	—	—	—
葉数 (枚)	実験1	14.8 ^a	14.1 ^a	14.5 ^a	—	4.7 ^a	4.4 ^a	4.4 ^a	—
	実験2	12.6 ^a	—	12.1 ^a	11.2 ^a	4.7 ^a	—	4.6 ^{ab}	4.2 ^b
葉色 (SPAD)	実験1	51.0 ^a	50.7 ^a	46.1 ^b	—	59.5 ^a	60.3 ^a	58.3 ^a	—
	実験2	52.4 ^a	—	52.1 ^a	51.4 ^a	57.5 ^a	—	57.3 ^a	54.1 ^a

蛍光灯の組み合わせ処理の表記は第1表と同じ。

同一作物の同一実験において、異なるアルファベットが付された数値にはTukey法5%水準で有意差あり、3室のグロースキャビネットを用い、実験1と実験2の2回に分けて調査した。

ウレンソウではW7B7で他区より若干小さい値になった(第3表)。

緑バイアス光はハウレンソウの生育にはあまり影響を与えなかったが、葉ネギの生育には抑制的に働いた(第4表)。

なお、すべての実験、試験区において、ハウレンソウの葉が、上偏生長により、巻き込む傾向がみられた。

3 第2試験

W7R7区と比較して、G4W1R9区ではハウレンソウの生育に大差はなかった。葉ネギは若干生育が劣る場合もあった。B4W1R9区では葉ネギは若干生育が劣る傾向がみられ、ハウレンソウは劣る場合と優る場合があり明確な傾向はなかった。葉色には両作物とも明確な区間差はなかった(第5表)。第2試験でも、ハウレンソウの葉が巻く現象は全試験区で

第4表 緑バイアス光照射下でのハウレンソウと葉ネギの生育

調査項目	ハウレンソウ (処理)			ネギ (処理)		
	W14	W10G4	W7G7	W14	W10G4	W7G7
草丈(cm)	19.6 ^a	19.5 ^a	19.6 ^a	35.5 ^a	34.0 ^{ab}	31.9 ^b
生体重(g)	20.5 ^a	21.5 ^a	18.6 ^a	2.3 ^a	1.9 ^b	1.8 ^b
乾物重(g)	1.68 ^a	1.72 ^a	1.51 ^a	0.19 ^a	0.16 ^b	0.16 ^b
葉鞘径(mm)	—	—	—	3.9 ^a	3.5 ^a	3.4 ^a
葉面積(cm ²)	417.3 ^a	434.8 ^a	411.2 ^a	—	—	—
葉数(枚)	14.7 ^a	15.1 ^a	13.8 ^a	4.8 ^a	4.6 ^a	4.8 ^a
葉色 (SPAD)	53.3 ^a	52.1 ^a	52.9 ^a	59.2 ^a	59.0 ^a	58.7 ^a

蛍光灯の組み合わせ処理の表記は第1表と同じ。

同一作物の同一実験において、異なるアルファベットが付された数値にはTukey法5%水準で有意差あり。

第5表 W7R7処理から赤色光の割合を変えずに緑色光や青色光の割合を変えた場合のハウレンソウと葉ネギの生育

調査項目		ハウレンソウ (処理)			ネギ (処理)		
		W7R7	G4W1R9	B4W1R9	W7R7	G4W1R9	B4W1R9
草丈(cm)	実験1	24.6 ^a	22.9 ^{ab}	20.5 ^b	37.4 ^a	35.8 ^a	32.2 ^b
	実験2	22.8 ^a	24.0 ^a	24.0 ^a	39.1 ^a	38.6 ^a	37.2 ^a
生体重(g)	実験1	29.1 ^a	23.6 ^a	20.7 ^a	2.7 ^a	2.0 ^b	1.7 ^b
	実験2	25.6 ^a	24.0 ^a	30.4 ^a	3.0 ^a	2.8 ^a	2.5 ^a
乾物重(g)	実験1	2.07 ^a	1.86 ^a	1.54 ^a	0.20 ^a	0.16 ^b	0.14 ^b
	実験2	1.90 ^a	1.80 ^a	2.14 ^a	0.23 ^a	0.22 ^{ab}	0.20 ^b
葉鞘径(mm)	実験1	—	—	—	3.9 ^a	3.4 ^b	3.1 ^b
	実験2	—	—	—	4.0 ^a	4.0 ^a	3.6 ^a
葉面積(cm ²)	実験1	589.3 ^a	518.0 ^a	444.7 ^a	—	—	—
	実験2	537.0 ^a	497.7 ^a	622.8 ^a	—	—	—
葉数(枚)	実験1	13.1 ^a	14.0 ^a	12.8 ^a	5.1 ^a	4.8 ^a	4.8 ^a
	実験2	14.9 ^b	14.8 ^b	16.8 ^a	5.2 ^a	5.1 ^a	5.1 ^a
葉色 (SPAD)	実験1	46.9 ^a	50.1 ^a	49.2 ^a	57.8 ^a	59.9 ^a	58.4 ^a
	実験2	43.7 ^a	43.8 ^a	43.2 ^a	62.9 ^a	62.8 ^a	61.3 ^a

蛍光灯の組み合わせ処理の表記は第1表と同じ。

同一作物の同一実験において、異なるアルファベットが付された数値にはTukey法5%水準で有意差あり。

実験1と実験2は同じ処理を2回行った。

みられた。

IV 考 察

赤色波長域の光は他の波長域光よりも光合成に効率がよい^{13, 18, 19)}。赤色蛍光灯が白色蛍光灯と比べて光合成を促進して、トマトやレタスの乾物重や葉面積を増加させたという報告や²³⁾、赤バイアス光が葉の生長を促進したという報告もある²⁸⁾。しかし、本研究第1試験の結果では、ホウレンソウの生育にはR/BAPFで約0.5, R/PPFで約0.55になる程度の赤バイアスが最も有効で、これ以上の赤バイアスでは効果が減少することを示した。葉ネギについては白色蛍光灯のみを用いても比較的良好に生育しており、赤バイアス処理の影響がホウレンソウほど明確ではなかったが、第1表に示すように、統計的に有意でない場合が多いものの、数値的にはホウレンソウ同様の傾向がみられた。また過去の研究では、極端な赤バイアス光である赤色光単独での照射下では、同じPPFで赤色光に青色光を付加した条件よりも生育が劣ることがピーマン²⁾やコムギ⁷⁾で報告されている。これらの結果からは、作物生育用の光源は光合成に対する効率に加え、形態に対する影響なども含めて、その生育促進効果を検討するのが望ましいと考えられる。

青色光には作物形態を正常に保つ働きがあるとされ^{6, 27, 30, 31, 32)}、人工光栽培で栽培光に付加することは有効と推察されるが、本研究においては、青バイアス光は葉の伸長と重量増加を抑制する場合が多く、青色光が過剰になることは好ましくないと考えられる。青色光による、作物の伸長抑制は白クローバー²⁸⁾、トマト²³⁾、レタス^{12, 23)}において、乾物重の増加抑制はマリーゴールド¹⁰⁾においても、それぞれ報告されている。また、青色蛍光灯や緑色蛍光灯は、白色蛍光灯と比べて光合成には効率的でないとの報告もある²³⁾。

過去の報告には、形態に対する青色光の影響はその照射強度に依存しているとしたものがある。Yorio *et al.*³²⁾は、作物種にもよるが、最低20~30 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ の青色光が照射されることで、徒長が抑制されるとした。本研究の試験では青色光が20 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 以下に低下する処理はなかった。し

たがって、これで極端な徒長が起きなかったとも考えられるが、100 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (B/PPF = 0.5) を超えるような青色光は葉の伸長を過度に抑制する場合があった。Dougher and Bugbee³⁾は青色光に対するレタスの生育反応が他の波長域の光によって影響される可能性を指摘しており、高圧ナトリウムランプではB/PPFで0.06の場合が乾物増加や葉面積拡大に好適で、メタルハイドランプではそれよりもやや多い青色光割合で好適としている。こうした報告例から、青色光に関しても、量的な面だけでなく総合的な波長バランスを考慮する必要があると考えられる。

第2試験では、赤色光の割合を、第1試験で最も好成績であったW7R7区と同じ、R/BAPFで約0.5, R/PPFで約0.55になるよう固定し、青色光と緑色光の割合を変えて、その影響を調べた。赤色光割合を固定した上でW7R7区より青色光割合を強めたB4W1R9区や緑色光割合を強めたG4W1R9区には、W7R7区を明確に上回る生育促進効果はみられなかった。

第1試験と第2試験の結果を総合すると、赤、青、緑色光のバランスでは、白色蛍光灯のみを用いた場合と比べやや赤バイアスのかかったW7R7区のそれがホウレンソウや葉ネギの生育に好適で、それより過度に赤、青、緑バイアスをかけても、生育促進効果の増大はあまり期待できないと考えられる。緑バイアス光の有効性は第1、第2試験とも明確でなかったが、栽培光に緑色光を加えること自体は、過度の赤バイアスや青バイアスを回避するためには、有効に働いたとみられる。緑色光には、赤色光や青色光の影響を調節するような役割が推測されており^{5, 33)}、付加する意義はあると考えられる。

FR光は光合成に直接作用することはないが、作物の生育には影響を及ぼすとみられる。例えば、低R/FRの光環境が作物生育を促進したとする報告がいくつかあり^{20, 26)}。白色蛍光灯単独よりもこれに白熱灯を加えて照射した方が、同じPPFでもFR光が多く付加されているため、レタスやマリーゴールドの生育を促進したという研究例もある¹⁷⁾。これに対して、本研究の青バイアスや緑バイアスをかけたランプの組み合わせ (W7B7やW7G7) では、白蛍光灯のみ (W14) と比較して低いR/FR比の光環境

であったものの、作物の生育は促進されていない。しかし、本研究の供試ランプはFR光の強度が弱いため、FR光をさらに付加するなどの処理がさらなる生育促進に有効である可能性は残る。紫外線は作物生育を抑制する可能性があるが^{15, 31)}、本研究の供試ランプは紫外線の照射強度が比較的低かったため、作物の生育における試験区間差にもあまり紫外線の影響はないと考えられる。一方、ホウレンソウに紫外線を照射することで、抗酸化物質が増加したとする報告もあり¹¹⁾、紫外線付加が生産物の品質向上の手段となる可能性はある。生育抑制を最小にした上で品質が向上するような紫外線の与え方も検討する価値があろう。FR光の付加のあり方も含めて、これらは今後の課題である。

本研究の2つの試験では、屋外で生育したものより、ホウレンソウの葉に上偏生長による巻き込みがみられた。別途行った試験でもこの傾向は確認されており^{8, 9)}、蛍光灯を光源とした栽培ではしばしば起こる症状とみられる。浜本⁸⁾は蛍光灯を光源としたグロースキャビネットではホウレンソウを栽培し、葉の巻きを測定して、強光条件や、過半数の蛍光灯を緑色や赤色の蛍光灯に変換して特定波長域の放射ピークを高めた条件で、葉の巻きが強まることを見出した。これは狭い波長域でも強い光が当たった場合は葉にストレスがかかる可能性を示唆しており、栽培光源としては大きな発光ピークを持たない方が、外見上、自然環境での生育に近いものが生産できる可能性がある。

以上をまとめると、ホウレンソウや葉ネギの人工光栽培には、白色蛍光灯よりやや赤バイアスのかかった(本研究のW7R7程度)、あまり突出したピークを持たない発光特性の光源が適すると考えられる。現在、蛍光灯は植物工場の主要な光源になっているが、上記のような発光特性をもつランプが開発されれば、植物工場用の光源として有望だと推察される。

V 摘 要

蛍光灯光源のグロースキャビネットを用いてホウレンソウや葉ネギの生育に及ぼす光源の波長バランスの影響について検討し、栽培・補光用光源の開発

などに資する知見を得た。白色蛍光灯14灯を光源とするグロースキャビネットを用い、その一部を赤色、緑色、青色蛍光灯に変換することで各領域光を増強し、ホウレンソウ「アクティブ」とネギ「フレッシュ小ねぎ」をプランタ栽培した。もっとも生育促進効果が得られたバランスは、光量子束の対生理的有効放射(波長300~800nm)比で0.14(青)、0.28(緑)、0.50(赤)、対光合成有効放射(波長400~700nm)比での0.15(青)、0.30(緑)、0.55(赤)であった。赤色光や青色光の過剰な増強は、生育抑制や生育促進効果の減少を引き起こした。緑色光の増強には生育を促進する効果は認められなかった。

引用文献

- 1) Balegh, S. E. and O. Biddulph 1970. The photosynthetic action spectrum of the bean plant. *Plant Physiol.* 46: 1 - 5.
- 2) Brown, C. S., A. C. Schuerger and J. C. Sager 1995. Growth and photomorphogenesis of pepper plants under red light-emitting diodes with supplemental blue or far-red lighting. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 120: 808 - 813.
- 3) Dougher, T. A. O. and B. Bugbee 1998. Is blue light good or bad for plants? *Life Support Biosphere Sci.* 5: 129 - 136.
- 4) ——— 2001. Evidence for yellow light suppression of lettuce growth. *Photochem. Photobiol.* 73: 208 - 212.
- 5) Folta, K. M. and S. A. Maruhnich 2007. Green light: a signal to slow down or stop. *J. Exp. Bot.* 58: 3099 - 3111.
- 6) Fukuda, N., M. Fujita, Y. Ohta, S. Sase, S. Nishimura and H. Ezura 2008. Directional blue light irradiation triggers epidermal cell elongation of abaxial side resulting in inhibition of leaf epinasty in geranium under red light condition. *Sci. Hortic.* 115: 176 - 182.
- 7) Goins, G. D., N. C. Yorio, M. M. Sanwo and C. S. Brown 1997. Photomorphogenesis, photosynthesis, and seed yield of wheat plants grown under red light-emitting diodes (LEDs) with

- and without supplemental blue lighting. *J. Exp. Bot.* 48: 1407 – 1413.
- 8) 浜本 浩 2012. 蛍光灯光源グロースチャンバにおける光強度とハウレンソウの葉の巻き込みとの関係. 日本生物環境工学会2012東京大会講演要旨: 124 – 125.
- 9) ———・山崎敬亮 2007. 蛍光灯光源のグロースチャンバでのハウレンソウの葉の巻き込みに対する青色光比率増加の影響. 園学研 6 (別1): 199.
- 10) Heo, J., C. Lee, D. Chakrabarty and K. Paek 2002. Growth responses of marigold and salvia bedding plants as affected by monochromic or mixture radiation provided by a light-emitting diode (LED). *Plant Growth Regulat.* 38: 225 – 230.
- 11) 東尾久雄 2001. 野菜の栽培条件と品質形成. 日本食品保存科学会誌 27: 349 – 355.
- 12) Hoenecke, M. E., R. J. Bula and T. W. Tibbitts 1992. Importance of 'blue' photon levels for lettuce seedlings grown under red-light-emitting diodes. *HortScience.* 27: 427 – 430.
- 13) Inada, K 1976. Action spectra for photosynthesis in higher plants. *Plant Cell Physiol.* 17: 355 – 365.
- 14) Kim, H. H., G. D. Goins, R. M. Wheeler and J. C. Sager 2004. Green-light supplementation for enhanced lettuce growth under red- and blue-light-emitting diodes. *HortScience.* 39: 1617 – 1622.
- 15) Klein, R. M., P. C. Edsall and A. C. Gentile 1965. Effects of near ultraviolet and green radiations on plant growth. *Plant Physiol.* 40: 903 – 906.
- 16) Kozai, T., K. Ohyama, A. S. Zobayed, C. Kubota, T. Hoshi and C. Chun 1999. Transplant production in closed systems with artificial lighting for solving global issues on environment conservation, food, resource and energy. *Proc. ACESYS III Conf.* 343 – 357.
- 17) Krizek, D. T. and D. P. Ormrod 1980. Growth response of 'Grand Rapids' lettuce and 'First Lady' marigold to increased far-red and infrared radiation under controlled environments. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 105: 936 – 939.
- 18) McCree, K. J 1972a. The action spectrum, absorptance and quantum yield of photosynthesis in crop plants. *Agric. Meteorol.* 9: 191 – 216.
- 19) ——— 1972b. Test of current definitions of photosynthetically active radiation against leaf photosynthesis data. *Agric. Meteorol.* 10: 443 – 453.
- 20) Murakami, K., I. Aiga, K. Horaguchi and M. Morita 1997. Red/far-red photon flux ratio used as an index number for morphological control of plant growth under artificial lighting conditions. *Acta Hort.* 418: 135 – 140.
- 21) 日本生物環境工学会植物工場部会 2009. 植物工場のニューウェーブ“ビジネススキームとイノベーション”. *SHITA Report* 26: 1 – 60.
- 22) 農林水産省・経済産業省 2009. 植物工場の事例集. 49.
- 23) Sager, J. C., J. L. Edwards and W. H. Klein 1982. Light energy utilization efficiency for photosynthesis. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.* 25: 1737 – 1746.
- 24) Sellaro, R., M. Crepy, S. A. Trupkin, E. Karayekov, A. S. Buchovsky, C. Rossi and J. J. Casal 2010. Cryptochrome as a sensor of the blue/green ratio of natural radiation in *Arabidopsis*. *Plant Physiology.* 154: 401 – 409.
- 25) Sun, J. S., J. N. Nishio and T. C. Vogelmann 1998. Green light drives CO₂ fixation deep within leaves. *Plant Cell Physiol.* 39: 1020 – 1026.
- 26) Takaichi, M., H. Shimaji and T. Higashide 2000. Effect of red/far-red photon flux ratio of solar radiation on growth of fruit vegetable seedlings. *Acta Hort.* 514: 147 – 156.
- 27) 土屋広司・山崎 文・宮島博文・本間孝宜・菅博文 1997. 植物栽培への赤色LD光の応用. *レーザー研究* 25: 841 – 844.
- 28) 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.
- 29) Withrow, R. B. and L. Price 1957. A darkroom safelight for research in plant physiology. *Plant Physiol.* 32: 244 – 248.
- 30) 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.
- 31) Yorio, N. C., C. L. Mackowiak, R. M. Wheeler and J. C. Sager 1995. Vegetative growth of potato under high-pressure sodium, high-pressure sodium SON-Agro, and metal halide lamps. *HortScience.* 30: 374 – 376.
- 32) Yorio, N. C., R. M. Wheeler, G. D. Goins, M. M. Sanwo-Lewandowski, C. L. Mackowiak, C. S. Brown, J. C. Sager and G. W. Stutte 1998. Blue light requirements for crop plants used in bioregenerative life support systems. *Life Support Biosphere Sci.* 5: 119 – 128.
- 33) Zhang, T. and K. M. Folta 2012. Green light signaling and adaptive response. *Plant Signaling & Behavior.* 7: 1 – 4.

Effects of Spectral Balance of Fluorescent Light Source on Growth of Spinach and Welsh onion

Hiroshi HAMAMOTO¹ and Keisuke YAMAZAKI

Key words: blue light, green light, growth cabinet, lamp combination, red light

Summary

We estimated the effects of light spectral balance on the growth of spinach (*Spinacia oleracea* L.) and Welsh onion (*Allium fistulosum* L.) in growth chambers lighted with fluorescent lamps. The spectral balance was altered by using blue, green, and red lamps. Both species grew best with a photon flux of 14% blue, 28% green, and 50% red within 300-800 nm (= 15%, 30%, and 55% of total photosynthetic photon flux). An excessive bias toward red or blue gave inferior growth. A bias toward green did not promote plant growth.

防根給水ひも栽培に肥効調節型肥料を適用した トマトの省力・環境負荷低減型簡易生産システムの開発

木下貴文¹

Key words : 培地, 毛管給水, 施肥法, 促成栽培, *Solanum lycopersicum*, 養液栽培

目 次

I 緒 論	11	5 摘要	33
1 本研究の背景	11	III 施肥の簡略化のためのCRFの給水タンク内 施用技術の開発	33
2 肥効調節型肥料 (CRF) を用いた施肥技 術に関する既往の研究	13	1 タンク内硝化処理方法の検討	34
3 本研究の目的と本論文の構成	14	2 肥料の施用方法の違いが生育および収量 に及ぼす影響ならびにタンク内硝化処理 の効果	35
II トマトの防根ひも栽培法に適した培地の検 討およびCRFを用いた施肥法の開発	14	3 肥料の施用方法の違いが窒素の吸収形態 と形態変換に及ぼす影響	39
1 促成トマトの防根ひも栽培に適した培地 の種類を検討	15	4 CRFのタンク内施用法の長期促成栽培へ の適用	41
2 促成トマトの防根ひも栽培法へのCRFの 適用	20	5 摘要	44
3 培養液管理との比較におけるCRF施用の 果実収量と養分動態	24	IV 総 括	45
4 肥料の組み合わせを改良した上でのCRF 施用と培養液施用との果実生産性および 養分吸収の比較	28	謝 辞	48
		引用文献	48
		Summary	57

I 緒 論

1 本研究の背景

わが国における園芸用施設の設置面積は、戦後一貫して増加してきたが、1999年をピークにその面積は微減の傾向にある¹²²⁾。その中で、養液栽培設置面積は21世紀に入ってから順調に増加しており、2007年には1,686haとなり施設設置面積の約3.3%を占めるに至っている¹²²⁾。

施設栽培では特定の作目で連作される場合が多

く、養分の過不足、土壤病害や塩類集積などによって連作障害が生じやすい。養液栽培は、地下部環境のコントロールが土耕栽培よりも容易であることから、連作障害を回避して安定した生産ができる。また、耕起、畝立て、有機物の施用、除草、土寄せ、追肥などの管理が不要であり、給液や施肥のシステム化ならびに自動化が可能であるので労働が軽減され、管理の煩わしさからも解放される⁴²⁾。このように生産の安定化や労力の軽減などの面から養液栽培はメリットが多い。

養液栽培は、培養液や酸素供給方法の違い、培地

の有無などによって、さまざまに分類することができるが、その中でトマトなどの果菜類では、ロックウールなどを用いた固形培地耕と呼ばれる方式が主流である。固形培地耕における給液方式としては、チューブやドリッパーなどを用いた点滴給液方式が一般的である。しかし、この方式では肥料分を含む排液が大量に発生するため、施設外への流出による環境負荷が懸念される^{36, 173)}。養液栽培の普及率が高いオランダでは法規制により排液の施設外への排出が厳しく制限されており、1998年の段階で、75%の生産者では既に養液循環式の栽培となっている¹²³⁾。わが国でも近年、この問題に対処するため、養液循環方式の養液栽培技術の開発が進められ^{6, 7, 57, 58, 59, 61, 62, 63, 103, 125)}、徐々に普及しつつある。

一般に、培養液の循環を行う場合、土壌病害の蔓延の危険性から、紫外線、オゾンや熱などによる培養液の殺菌装置の導入が必要である¹⁷⁴⁾。また、養液循環方式では培養液の組成の変化が生育障害を引き起こすなどして問題となる場合がある。その対策のためには、定期的に培養液を更新するか、培養液の無機成分濃度を定期的に調査して補正する必要がある。しかし、培養液の更新によって大量の排液が廃棄されることは環境保全にとって好ましいことではないし、培養液の無機成分濃度を補正するためには分析などで追加の費用も必要となる。

一方、養液栽培では、作物の吸水量や生育状態に合わせて給液量や給液濃度を適切に管理する必要がある。それに向けて日射量や吸水量に応じた給液制御システムの開発が進んでいる³⁰⁾。ただし、これらの技術を導入するためには、ポンプやセンサ、あるいは制御盤など高価な機器を購入する必要があるとともに、電力などの多くのランニングコストが必要である。

以上のことから、養液栽培、特に培養液循環方式の導入は大変コストがかかる。岩崎⁶⁴⁾が行った養液栽培に対する実態調査では、養液栽培導入の最大の阻害要因として導入コストの高さがあげられている。わが国における経営規模はオランダなどと比べると非常に小さく、特に中山間地などに多い小規模農家では生産者の高齢化も進んでおり、施設や装置などに対する投資意欲や投資能力は一般に小さい。

このような小規模農家にとっては、精密な栽培管理によって収量増、高品質化、省力化などを狙って多額の投資を行う養液栽培の導入は難しく、装置はなるべく簡素で低コストであることが重要であると考えられる。

養液栽培では点滴給液法が一般的な給液法であるが、それに対して底面給液法という給液法がある。底面給液法にはエブアンドフロー方式やマット給液方式などさまざまな方法があるが、いずれも排液をほとんど出さないため、一般に点滴給液法よりも水や肥料の利用効率が高いとされ^{22, 49, 140)}、この点で、底面給液法は省資源的で環境負荷の少ない手法であるといえる。毛管ひも給液法は、底面給液法の中の一手法であり、その原型は1930年代に考案されている^{121, 131)}。わが国では、1970年代後半に岐阜農試の渡辺¹⁷⁶⁾によって技術開発が行われて以降、1980年代中頃からシクラメンなど鉢花栽培において広く普及するようになった。本給液法については、片岡⁷³⁾がファレノプシスでも栽培可能であると報告しており、アメリカやオーストラリアなど海外においてもポット栽培における簡便な灌水手法として研究が行われている^{15, 102, 149, 165, 185)}。毛管ひも給液法は、フロートバルブなどを用いて給水樋や給水管の水位を一定に保つことで、培地含水量をほぼ一定に保つことができ、給液の管理や制御を行うための装置が不要であるとともに、排液処理のための装置も必要としないため、装置の簡易化が可能で、省力的であると同時に生産者の経済的な負担も小さいと考えられる。

しかし、長期にわたる野菜栽培に毛管ひも給液法を適用した場合、根がひもへ侵入することによる毛管力の低下が問題となり、栽培が成立しない可能性が高い。梶田⁹²⁾は、毛管ひもを遮根透水シートで封入した防根給水ひもを開発し、この問題を克服した。この報告では、長期間の栽培で根が給液管に達するのを防ぐためにひもの導入口を底面ではなく側面に設けている。また、トマトの長期栽培において、防根給水ひもによる側面給液法（以下、防根ひも栽培法）における適切なひもの種類や培養液濃度が検討されており、終始大塚A処方¹⁾の1/2単位濃度培養液を用いることで安定的な生産がほぼ可能となっている^{93, 106, 107)}。

なお、本栽培法と同様に吸水性の資材を用いて毛管給液を行う簡易・低コストな栽培システムが、中山間地域や発展途上国のような投資能力の低い地域への導入を目的として開発されている^{138, 139, 164, 170, 186, 187}。しかし、本栽培方式ではこれらのシステムに比べても使用する資材が少ないため、さらに省資源的かつ低コストで簡易な栽培システムであると考えられる。

防根ひも栽培法における施肥法としては、上述のように培養液をひもで供給する方法が考えられるが、その他に肥効調節型肥料（Controlled Release Fertilizer, 以下、CRF）を栽培前に全量基肥施用する方法も考えられる。後者の方法では、液肥混入装置など培養液を供給するための装置が不要であるため、栽培装置をさらに低コスト化できるとともに、定植前に施肥作業を済ませた後は、水管理や施肥管理を完全に省略することができる。したがって、本方式は、肥培管理の大幅な簡略化が可能で、極めて簡易かつ環境保全的な栽培管理法であるといえ、特に肥培管理が煩雑になりやすい促成トマトのような長期間にわたる栽培へ適用できれば、経営上のメリットは非常に大きい。

2 肥効調節型肥料（CRF）を用いた施肥技術に関する既往の研究

CRFとは、肥効を持続させるためにさまざまな方法で肥料成分の溶出を調節した一連の化学肥料のことである。露地畑では施肥直後の降雨や長雨などによる肥料成分の溶脱や表面流去による損失が生じる場合があり、施設栽培においてもアンモニア揮散や急激な硝酸化成による肥料成分の損失が起こることがある。CRFではこのような肥料成分の流出が小さいので、減肥料栽培や追肥回数の軽減による肥料コストの低減化や省力化が可能で、さらには環境に配慮した施肥管理を行うことができる。また、CRFの特徴として、一般の肥料とは異なり施肥初期の肥効発現を抑えることができるので、全量基肥施用が可能である。

CRFの中でも特に、水溶性の尿素や高度化成肥料を硫黄や樹脂などの安定な皮膜で覆うことにより、肥料成分の溶出量や溶出期間を物理的に調節するように造粒されているものを被覆肥料と呼ぶ。被覆肥

料の肥料成分の溶出は土壌が十分に湿潤であれば、土壌の理化学性質や土壌条件にあまり影響されず、被覆資材の特性や地温に左右される特徴を有する。溶出期間は被覆肥料を25℃の水中に静置して保証成分の80%が溶出する日数で算出されている。肥効の溶出パターンの精度は高く、専用のソフトウェアを利用して地温から肥料成分の溶出予測を行うことができる。最初に1960年代にアメリカにおいて商品として開発・実用化され、わが国では、1960年代から1970年代にかけて検討がなされたが、当初は価格が高く溶出コントロールも不十分であったこともあって広く普及するには至らなかった。しかし、近年、農業環境の変化で省力化や環境負荷の軽減が重要視されるようになって再び注目されるようになった。

1980年代以降現在に至るまで、わが国における各地の農業試験場や大学において施肥労力の省力化や施肥量の削減、環境負荷の低減などを目的としてCRFの利用技術の開発が盛んに行われた。

その中でも検討例が最も多く普及面積が多いのは水稲である。水稲では、基肥に加えて追肥を数回施用するのが慣行の施肥法であり、施肥労力がかかるため、その軽減と施肥量の削減を目指して全量基肥施用法が開発された^{44, 45, 48, 52, 79, 142}。また、施肥後一定期間成分の溶出を抑えられるシグモイド溶出型の肥料が開発されたことから、水稲栽培では、育苗箱に全量基肥施用し、本圃における施肥作業を省略した育苗箱全量施肥法が開発された^{70, 110, 154, 175}。

その他、主要作物としてコムギやダイズでも同様の理由で全量基肥施用法が検討された^{33, 72, 114, 115, 143}。特にダイズでは、根粒菌の活性の維持と施肥窒素の硝酸化成抑制、溶脱防止あるいは不良土壌に対する土壌改良技術として深層施肥技術が開発された¹⁵³。

また、果樹は施肥量が多く、年に何回も追肥を行う必要があり施肥労力が大きいことから、カンキツにおいて施肥回数の軽減のために施用されたり^{25, 55, 167}、イチジクにおいて全量基肥法が検討されている^{41, 78}。

その他、花き^{5, 134}、茶^{3, 69, 147, 148}、桑^{101, 146}、飼料作物¹⁰⁹など多種多様な作物においてCRFの適用が試みられている。

また、CRFは養分の溶出が極めて遅いために濃度障害が出にくい点を利用して、種子と肥料を接触さ

せて施肥し、肥料の利用効率を高めることを狙った接触施肥法が開発された^{51, 60, 133}。

一方、圃場から発生する亜酸化窒素の削減を目的としてCRFを利用する研究もみられる^{104, 119, 177}。

野菜栽培においても、主にネギ、ハクサイ、ブロッコリーなど土地利用型の露地栽培を中心に施肥回数と施肥労力の軽減あるいは環境負荷軽減を目的に全量基肥施用法に関する数多くの検討がなされた^{31, 32, 37, 54, 68, 74, 116, 127, 159}。より効率的な施肥方法として、施肥を全面ではなく有効根群域や植穴のみに行う局所施肥の検討も行われている^{77, 86, 113, 144, 160}。さらに、施肥労力軽減のため、2作分の肥料を1作目の定植時に施肥する2作1回施肥法も開発されている¹²⁶。一方、水稻における育苗箱施用のように、育苗ポット内に全量を施肥して本圃における施肥を省略する方法も検討されている^{84, 85, 141, 156, 157, 180, 181}。

葉菜類では硝酸の蓄積が問題となることがあり、適切な施肥管理が求められるが、CRFを利用して窒素施肥量を減らし体内の硝酸含有量を低減させる技術も検討されている^{100, 150, 155}。

以上のように、CRF施用に関する研究は、栽培面積が広く施肥や追肥の省力効果が大きい水稻などの土地利用型の作物において多いが、施設野菜の栽培においても、主に土耕栽培において多くの検討がなされてきた^{75, 81, 82, 83, 84, 85, 87, 108, 141, 168, 172}。固形培地耕では栽培面積が相対的に小さく、一般に液肥の利用が多いためあまり検討が進んでないが、イチゴでは施肥の低コスト化や省力化を狙ってCRFの適用事例^{14, 18, 19, 56, 166, 183}が多くみられる。トマト栽培では、土壌を培地とした養液かけ流し方式で比較的短期間の半促成あるいは抑制栽培を行うにあたってCRFを適用した研究事例がある¹²⁴。

さらに、培地を使わない毛管水耕方式における簡易な肥培管理法としてもCRFの利用が試みられている^{13, 71}。

以上のように、その目的に応じてさまざまな形でCRFの利用技術の開発が進んでおり、利用面積は着実に増加している²³。しかし、本栽培法のように毛管給水式で閉鎖型の固形培地耕の栽培における報告、特に長期にわたるトマトの栽培に関する報告は見当たらない。

3 本研究の目的と本論文の構成

以上のことから、本研究では、促成トマトの防根ひも栽培法におけるCRFを利用した肥培管理技術の開発を行った。本技術は、投入コストも小さく、精密な肥培管理も必要としないと考えられるため、今まで養液栽培の導入が難しかった小規模農家などでも導入が可能であると考えられる。

本研究では、まず、II章において促成トマトの防根ひも栽培法に適した培地条件の検討および、CRFを培地に混和して施用する場合の施肥量の検討を行うとともに、果実生産性や養分利用効率について培養液で管理を行った場合と比較を行った。III章では、上記のようなCRFの培地混合法では、施肥に要する労力が多大であり、肥料が混和された培地の再利用が困難であることから、より簡易な肥培管理を目指し、CRFを給水タンク内へ施用し溶出液として防根ひもで養分を供給する方法の開発を行った。

II トマトの防根ひも栽培法に適した培地の検討およびCRFを用いた施肥法の開発

防根ひも栽培法は固形培地耕の一種とみなすことができるが、培地として利用可能な資材は種々あり、その特性はさまざまである。一般的な点滴給液法の場合、培地の特性に合わせて給液回数や給液量を調節することが可能である。一方、防根ひも栽培法の場合は、培地内の水分量は専らひもと培地の毛管力に依存するため、人為的な給液管理によって培地の水分環境を植物にとって好適な条件に制御するのは困難である。このため、植物の生育に適した水分環境を維持できる培地選択が極めて重要となる。培養液管理による先行の研究^{93, 106, 107}で用いた培地でも十分な果実生産が可能と思われたが、上述の背景からあらためてさまざまな培地を比較検討する必要があると思われる。

一方、防根ひも栽培法では、肥培管理を培養液で行う方法のほかに、肥料はCRFとして全量を定植前に培地に混合しておき、水のみをひもで供給する方法が考えられる。後者の方法では液肥混入装置が不要であり、栽培装置を一層低コスト化できる。実際、トマトやイチゴの固形培地耕では、そのような目的でCRFを用いた全量基肥法の検討が行われて

いる^{14, 18, 19, 56, 124, 166, 183}). しかし、本研究で取りあげる毛管給水方式の少量隔離培地耕については、適切な施肥量や培地中の養分の動態などが明らかにされていない。

そこで、本章では、トマト促成栽培において防根ひも栽培法に適する培地条件を明らかにするとともに、その培地条件下において定植前に培地に混和する方法によるCRFの適用が可能であるか検討した。

1 促成トマトの防根ひも栽培に適した培地の種類の検討

1) 緒言

防根ひも栽培法では、培地内の水分量は専らひもと培地の毛管力に依存するため、人為的な給水管理によって、培地の水分環境を植物にとって好適な条件に制御するのは困難である。したがって、植物の生育に適した水分環境を維持できる培地の選択が非常に重要である。

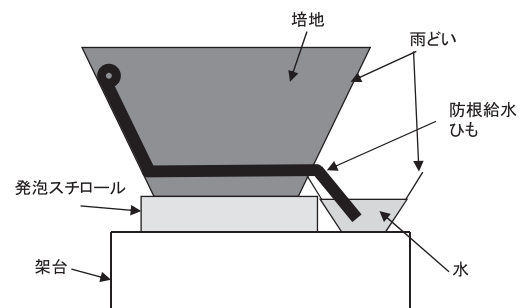
また、本栽培法は排液を全く出さないため、閉鎖型養液栽培の一種とみなすことができる。閉鎖型養液栽培では、循環培養液や培地溶液の電気伝導度(以下EC)や無機成分濃度の極端な上昇や成分組成の乱れが、トマトの果実収量の低下をもたらすおそれがある^{53, 61, 62}。本方式においても、培地の違いで培地溶液のECや無機成分濃度に極端な差が生じれば、果実収量の差につながるであろう。

そこで、本節では、トマト促成栽培において防根ひも栽培法に適する培地条件を明らかにするため、特に水分保持特性が異なると考えられる数種類の培地資材について、果実収量、培地の三相分布および培地溶液の無機成分を比較した。

2) 材料および方法

実験は近畿中国四国農業研究センター(香川県善通寺市)(以下当研究センター)内のパイプハウス(面積108m²)で行った。実験区として培地の異なる7区を設けた。供試培地は、ロックウール細粒綿(栽培用ロックファイバー細粒綿66R, 日東紡, 以下, RW区), ヤシガラ(ココベッド, カネコ種苗, 以下, ヤシガラ区), ピートモス(カナダ産, 以下, ピート区), 粉殻燻炭(以下, 燻炭区), 粉碎粉殻(以下, 粉殻区), バーク堆肥(天領CB培地, ジャ

パングリーンシステム, 以下, バーク区)および樹田・福元⁹³が用いた培地を参考に作成した混合培地(田土:バーク堆肥:パーライト:ピートモス=2:4:1:1(v/v), 以下, 混合区)の7種類である。材料として本研究のすべての実験に共通してトマト(*Solanum lycopersicum* L.)の「ハウス桃太郎」(タキイ種苗)を用いた。2008年9月13日に培養土メトロミクス350(SUNGRO, USA)を充填した128穴セルトレイに催芽種子を播種し、本葉2枚出葉期の9月25日に各供試培地を充填した9cmポットに鉢上げした。ポット育苗期間は大塚A処方1/2単位濃度液でエプアンドフロー給液²⁹⁾を行った。10月20日に、防根ひも栽培装置に定植した。本栽培装置の概略は第1図に示したとおりである。ハウス用の直管で組んだ骨組みの上にコンクリートパネルを載せて架台とし、その上に発泡スチロールと栽培容器である雨どい(上底19.2×下底15.0×高さ12.0cm)を載せ、その横に給水用の雨どい(上底11.7×下底8.8×高さ5.2cm)を置いた。栽培容器は、側面(底面から2cm上)に小孔をあけ、小孔に防根給水ひも⁹²⁾を導入し、小孔から出たひもの先端は培養液に浸し、ひもは1株に1本配した。水位は各栽培ベッドの端に設置したタンクに付けたボールタップで一定に保ち、小孔と水面との距離は常に約3cmとした。各処理区の培地はポット育苗で使用した培地とし、培地量は株あたり3Lとした。培地の乾燥を防ぐため、表層に2cm程度粉殻を敷いた。この処理は以下のすべての実験に共通である。なお、培地のpH調整のため、ピート区(pH4.7)および混合区(pH5.7)についてはそれぞれ培地1Lあたり3~4gの炭酸苦土石灰を定植前に混合した。栽植様式は、株間20cm, 畝間180cmの1条振り分け誘引と



第1図 防根ひも栽培装置の概略図

した。培養液は大塚A処方1/2単位濃度液を終始用いて管理した。試験区は各区6株の3反復乱塊法とした。各果房とも3花程度が開花したときにトマトトーン100倍液を噴霧し、各果房5果以内になるように摘果するとともに下葉は適宜摘葉した。これらの管理は以下のすべての実験に共通である。誘引高約2.2mでつる下ろし誘引を行った。2009年5月2日に15段果房上の2葉を残して摘心し、2009年7月2日に収穫を終了した。温室内の温度管理については、最低13℃に設定して加温し、28℃以上で換気を行った。各区6株について果実を約1週間に1回収穫し、80g以上の正常果（可販果）と80g未満の小果および生理障害果に分け、果実重、個数を調査するとともに、各個体の各果房の可販第1果について果実糖度をデジタル糖度計（PAL-1, ATAGO）で測定した。また、栽培期間中には約2週間に1回、株元から約5cmの培地中心部に採取部の長さが5cmの土壤溶液採取器（DIK-300B, 大起理化工業）を各区1か所埋設して培地溶液の採取を行い、ECを導電率計（B-173, 堀場製作所）（以下導電率計）で、各無機成分濃度をイオンクロマトグラフ（DX-AQ, 日本ダイオネクス）（以下イオンクロマトグラフ）で測定した。さらに、栽培前と栽培終了後には、培地を栽培装置にセットして飽水させた状態で各区2か所について100mL採土管を用いて培地を採取したのち、三相分布を土壤三相計（DIK-1130, 大起理化工業）により計測した。

3) 結果および考察

(1) 栽培前および栽培終了後の培地の三相分布

第1表に栽培前後の各培地の三相分布を示した。固相率は栽培前後とも混合区で最も高く、ヤシガラ区で最も低かったが、混合区の値は他の培地に比べて特に高かった。液相率は、栽培前後ともピート区で最も高く、籾殻区で最も低かった。気相率は、栽培前後とも籾殻区において顕著に高かった。栽培前後で比較すると、固相率はヤシガラ区、ピート区および混合区では減少した一方、RW区、燐炭区、籾殻区およびパーク区では増加した。液相率はRW区とピート区を除いて栽培前より栽培後の方が大きい傾向にあり、気相率はヤシガラ区とピート区を除いて栽培前より栽培後の方が小さい傾向にあった。

第1表 培地の種類が栽培前後の三相分布に及ぼす影響

培地	栽培前			栽培後		
	固相率 (%)	液相率 (%)	気相率 (%)	固相率 (%)	液相率 (%)	気相率 (%)
RW	5.4 b ²⁾	69.4 a	25.2 d	6.8 b	69.2 a	23.9 d
ヤシガラ	5.1 b	57.5 b	37.4 c	3.3 c	58.9 ab	37.8 bc
ピート	6.6 b	72.1 a	21.3 d	5.9 bc	71.5 a	22.5 d
燐炭	7.8 b	39.6 d	52.7 b	9.0 b	47.9 b	43.1 b
籾殻	5.2 b	10.0 e	84.8 a	6.3 bc	26.3 c	67.4 a
混合	24.3 a	49.3 c	26.4 d	17.5 a	67.2 a	15.3 d
パーク	8.3 b	43.2 d	48.6 b	8.8 b	63.7 a	27.6 cd
ANOVA ¹⁾	***	***	***	***	***	***

1) ***は0.1%水準で有意であることを示す (n = 3)。

2) 同一列の異なる符号間に5%水準で有意差あり (Tukey検定, n = 3)。

本実験における三相分布の測定は、各培地を栽培装置に充填して飽水させた状態で行ったものであった。ひも給水法では、栽培期間を通じて飽水状態に近い状態、培地含水率はほぼ一定であるので、今回の測定値は栽培期間中にトマトがおかれた培地の水分環境に近かったものと考えられる。

第1表の結果から、培地によっては液相率と気相率には、栽培の前後で大きな増減がみられた。特に籾殻区、混合区、燐炭区およびパーク区では、栽培前に比べて栽培後に液相率が大きく増加する一方で気相率が大きく減少した。これは、籾殻培地を連続使用すると保水性が増すという報告¹¹⁾や、パークを主体とする培地において9か月後の気相率が減少し、含水率が増加したという報告¹³²⁾と一致する。このように、培地の種類によっては、栽培期間中の培地の水分条件が変動する可能性があることがわかった。

(2) 生育および収量

第2表に摘心時の莖長および果実の収量と糖度を示した。摘心時の莖長には培地の種類によって有意差が認められなかった。一方、総収量や可販果収量は、培地の種類によって大きく異なった。総収量は、燐炭区および混合区で最も高く、籾殻区で最も低かった。可販果収量は、混合区で最も高く、籾殻区で最も低く、培地による差は株あたり2.1kgであった。総収量が高い培地ほど可販果収量が高い傾向にあった。1果重は、パーク区で最も大きく、籾殻区で最も小さかった。可販果数はヤシガラ区で最も多く、籾殻区で最も少なかった。果実糖度には培地間で有意差は認められなかった。

(3) 可販果収量と三相分布との関係

一般に、保水性が高い培地ほど、通気性は低くなる傾向にあるとされる⁴²⁾。本実験で用いた各培地の液相率と気相率を比較すると、指摘されているように液相率の高い培地ほど気相率が低いという傾向がみられる。また、Zoha・梶田¹⁸⁸⁾は、粒子径別に選別した砂培地を用いてトマトの防根給水ひも栽培を行った結果、粒子径が小さく含水率が高い培地の方が収量は高いことを示した。小林ら⁸⁰⁾は、培養液かけ流し方式で各種培地資材を用いてトマト栽培を行った結果、水分保持能力の高い資材ほど収量が高

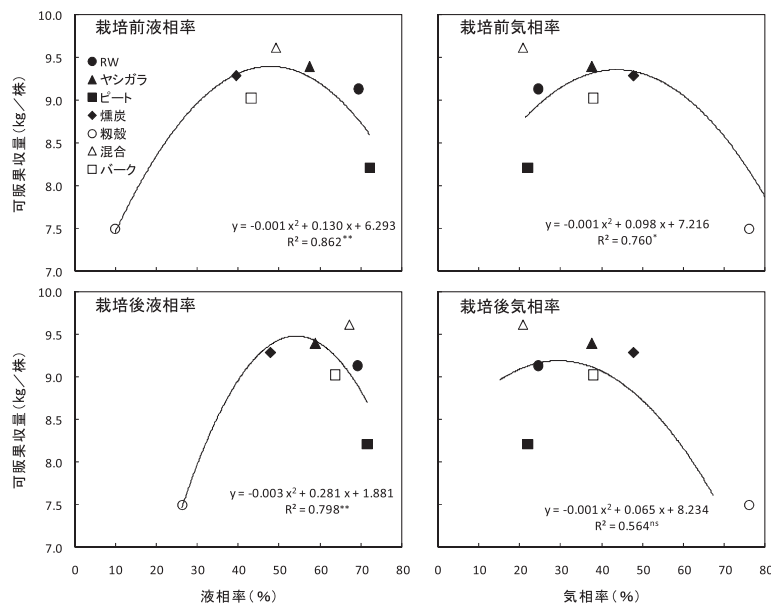
くなる傾向のあることを示した。以上のことから、培地の液相率や気相率はトマトの収量に密接に関係していると考えられるため、培地の液相率と気相率の栽培前後の値について可販果収量との関係を2次回帰式で求めたところ、液相率に関しては栽培前後とも1%水準で有意であった(第2図)。気相率に関しては、栽培前は5%水準で有意であったが、栽培後は有意でなかった。Allaireら²⁾は、作物の根は培地中の気相部が少なくても順応することから、さまざまな培地における培地の気相部に関する値は生産性の指標とならず、培地中の水分量の方が重要であると報告している。このことから本実験でも、気相率よりも液相率の方が果実の生産性に及ぼす影響が大きかったものと考えられた。また、栽培後よりも栽培前の方が決定係数は高く、栽培前の液相率と可販果収量との関係が最も強かった。このことは、栽培後半よりも前半の培地の三相分布の好適性が収量の確保にとって重要であることを示唆している。なお、5%以下の水準で有意となった回帰曲線の頂点の座標を求めると、液相率では48% (栽培前) および54% (栽培後) であった。一方、気相率では44% (栽培前) であった。

第2表 培地の種類が茎長、果実収量および果実糖度に及ぼす影響

培地	茎長 ¹⁾ (cm)	総収量 (kg/株)	可販果収量 (kg/株)	1果重 (g/個)	可販果数 (個/株)	果実糖度 ²⁾ (Brix%)
RW	421	9.8 a ⁴⁾	9.1 ab	171 ab	53 ab	6.1
ヤシガラ	421	10.0 a	9.4 a	168 ab	56 a	6.2
ピート	426	9.1 b	8.2 bc	164 b	50 bc	6.3
燻炭	424	10.1 a	9.3 a	175 ab	53 ab	6.1
籾殻	416	8.2 c	7.5 c	159 c	47 c	6.3
混合	427	10.1 a	9.6 a	176 a	55 ab	6.1
バーク	419	9.7 ab	9.0 ab	178 a	51 abc	6.1
ANOVA ³⁾	ns	***	***	**	***	ns

- 1) 摘心時の茎長。
- 2) 各果房の値を平均した値。
- 3) ***, **はそれぞれ0.1%, 1%水準で有意, nsは5%水準で有意でないことを示す (n = 3)。
- 4) 同一列の異なる符号間に5%水準で有意差あり (Tukey検定, n = 3)。

可販果収量が特に少なかったのは、籾殻区およびピート区であった。籾殻は一般に保水力が小さく、



第2図 栽培前後の培地の液相率および気相率と可販果収量との関係

注) **および*は、それぞれ1%水準および5%水準で有意であることを示し、nsは5%水準で有意でないことを示す。

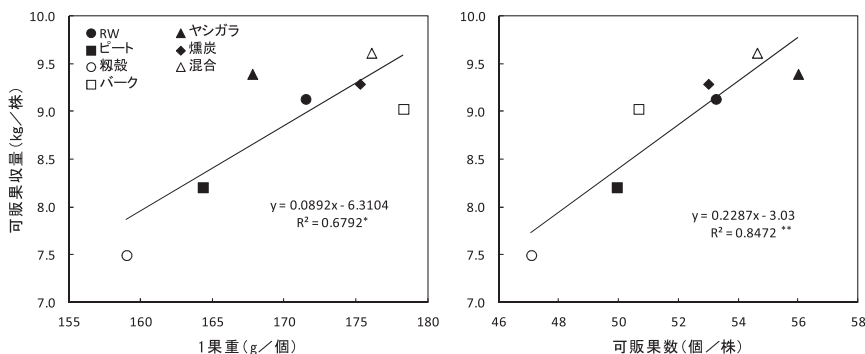
養液栽培で培地として単独で用いられることは少ない⁶⁵⁾。毛管力により培地に給液する本栽培方式では、籾殻をそのまま使用したのでは毛管力が弱く栽培困難と考え、保水力を増すように粉碎したものをを用いたが、それでも液相率が他の培地に比べて低く、保水力が少なかったものと考えられた。一方、ピートモス培地では粒子サイズが小さいため過湿の危険性があることが指摘されている²⁸⁾。本栽培方式では、栽培期間中の培地水分の変動は小さく、常に飽和含水量に近い水分を含むと考えられるため、ピート区では過湿状態にあったと推察され、それがピート区において収量が低かった要因と考えられた。

一方、点滴給液方式では、保水力の少ない籾殻培地を用いて、保水性の高いロックウール培地に近いか、ほぼ同等の収量を上げている報告がある¹⁰³⁾。また、イチゴは根の酸素要求量がトマトより大きい⁵⁰⁾ため、トマトに比べて過湿に弱いと考えられるが、遠藤ら¹⁷⁾は、イチゴにおいて培地のヤシガラと混合ピートの混合比率を検討した結果、ピート主体の液相率の高い培地において最も収量が高かったと報告している。これらのことは、点滴給液方式では、培地の保水力の大小に関わらず、十分に収量が得られる可能性があることを示唆している。その要因としては、点滴給液方式では、培地含水量が経時的に大きく変化するが、人為的に給液量や給液回数を設定でき、その培地に適した給液制御が行えるからであると考えられる。一方、ひも給水は培地やひもの毛管力に依存した受動的な給液法であり、給液量や培地水分のコントロールは非常に困難で、培地の保水力は生育や収量に影響を及ぼしやすい。そのため、培地の選択は特に重要な要素であるといえる。

また、各試験区の可販果収量と1果重および可販果数との間に有意な正の相関関係が認められた(第3図)。したがって、培地の違いに伴う可販果収量の差は、1果重および可販果数の両方の影響を受けたものであることがわかる。前述のように、培地の種類によって培地の水分環境が大きく異なるため、試験区間差が生じる要因として植物体の水分生理状態の差が考えられる。本実験では、植物体の水分生理に関するデータは取っていないが、トマトは、水ストレスがかかると、1果重、果数ともに減少する^{40, 130)}という報告から、培地によって水ストレスの程度が異なったことが推察される。

坂本ら¹³⁷⁾は、根系の一部を湿気中に露出させる保水シート耕において、トマトの安定的な生育のためには、適度な気相比率が必要であり、機能の異なる湿気中根と水中根がバランスよく併存していることが重要であると述べている。本栽培法においても、培地の三相分布の違いによる根の生理活性や形態と収量の関係について今後追究していく必要がある。

一方、固形培地耕における培地の選択では、三相分布などの物理的特性とともに、成分の吸着・溶出、CECなどの化学的特性も重要である⁴²⁾。本実験において、RW区とピート区との間には栽培前の液相率で有意差がないのにも関わらず可販果収量には有意差がみられた。本実験では、培地の化学的特性の違いについて調査していないが、有機質の培地は過湿になると分解し始めて異常還元状態になる場合があるとの指摘⁷⁶⁾もあり、ピート区ではこのような化学性の変化の結果、RW区よりも収量が低かった可能性もある。今後は、培地の化学的特性なども考



第3図 可販果収量と1果重および可販果数との関係

注) **および*は、それぞれ1%水準および5%水準で有意であることを示す。

慮に入れて培地を選択する必要がある。

(4) 栽培期間中の培地溶液無機成分の変動

第4図に栽培期間中における培地溶液のECおよび各無機成分の変動を示した。培地溶液のECおよびPO₄-P以外の無機成分濃度は、概して生育が進むにつれてやや上昇する傾向があった。特にパーク区や籾殻区において他の培地よりも高まる時期があった。これは、生育後半には培地溶液の成分濃度に対して成分吸収量が小さいためと考えられる。しかし、それらの数値が他の培地に比べて極端に高まることはなく、養分の過剰・欠乏症状もみられなかった。

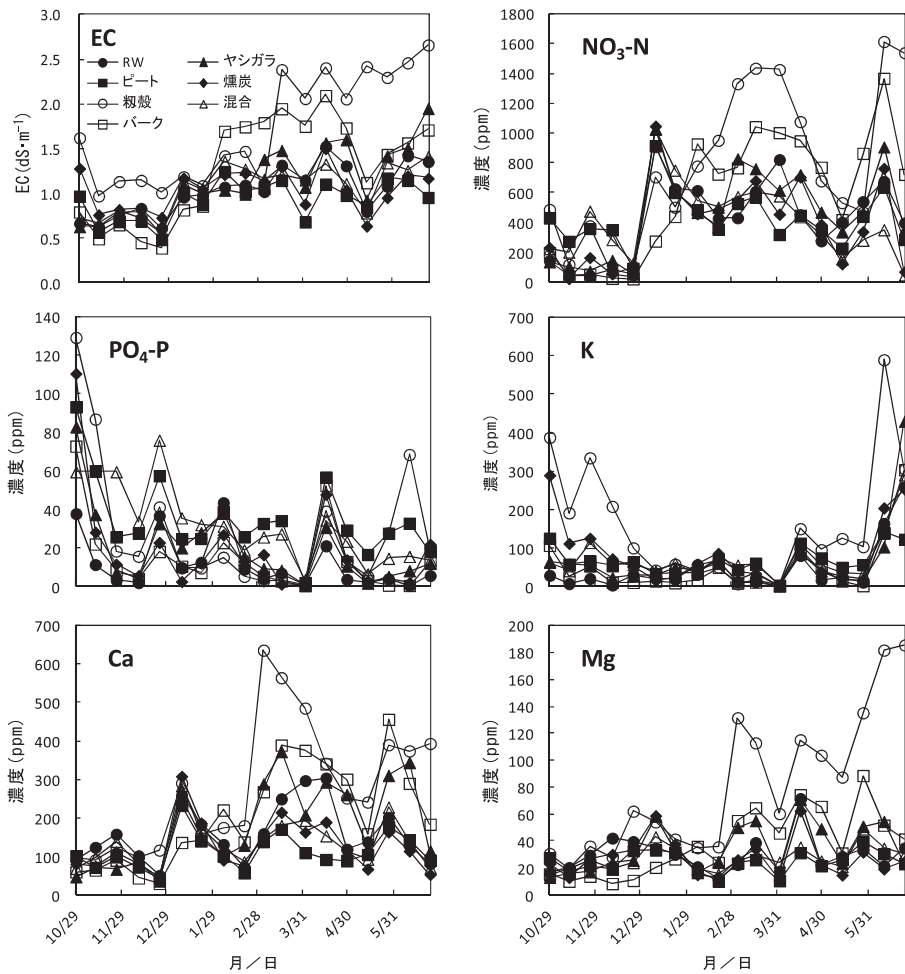
PO₄-Pはそれらと異なる推移を示し、定植直後に濃度が高く、その後は減少し、生育後期に上昇する傾向はなかった。石原ら⁵³⁾が行ったトマト閉鎖型養液栽培の実験でも、培地溶液中のP濃度が定植直後に高く、その後は急激に減少するという本実験と

同様な傾向がみられる。これは、PO₄-Pの吸収速度が定植直後は小さく、培地溶液中に残存するが、その後は培地溶液の成分濃度と吸収量がつり合うためであると考えられる。

以上のことから本実験の範囲では、培地溶液の無機成分濃度が果実収量に大きな影響を及ぼさなかったものと考えられた。

(5) まとめ

以上のことから、培地の種類による収量差は、特に栽培前の培地の液相率との関係が強いため、この閾値が培地選択の際の指標となると考えられた。本実験の範囲では、液相率と収量との関係から液相率が45~55%程度であれば十分な果実収量を得られるものと判断された。ただし、培地の選択の際には、三相分布のみならず、他の諸特性についても考慮する必要性も示唆された。また、本結果から、柘田・



第4図 培地溶液のECおよび無機成分濃度の推移

福元⁹³⁾の報告を参考にして作成した混合培地は他の培地と比較しても収量は高水準で本栽培法に適した培地組成であると考えられた。

2 促成トマトの防根ひも栽培法へのCRFの適用

1) 緒言

II-1において、梶田・福元⁹³⁾が用いた培地を参考にした、田土：パーク堆肥：パーライト：ピートモスを2：4：1：1 (v/v)の比率で混合した培地は、他の培地と比べて収量性が高く防根ひも栽培法に適した培地であることを明らかにした。また、梶田・福元⁹³⁾や森重ら^{106, 107)}が報告したように終始大塚A処方¹⁾の1/2単位濃度培養液を用いた培養液の管理で安定的な生産がほぼ可能であると考えられた。したがって、促成トマト栽培において培養液を用いた肥培管理法はほぼ完成したといえる。

本栽培法では、培養液によって施肥を行う方法のほかに、CRFを全量基肥として定植前に培地に混合しておき、水のみをひもで供給する方法が考えられる。後者の方法では、液肥混入装置が不要であり、栽培装置がさらに簡素化され低コストとなる。しかし、本栽培方式のような排水を全く出さない少量隔離培地耕においてCRFを適用した研究例は見当た

らず、適切な施肥量や培地中の養分の動態などについては明らかでない。

そこで、本節では、促成トマトにおけるCRFの施肥量の違いが生育、収量および養分の動態などに及ぼす影響について検討した。

2) 材料および方法

実験は当研究センター内の鉄骨ハウス (144 m²)で行った。2007年9月11日に催芽種子を128穴セルトレイに播種し、本葉2枚出葉期の9月25日に田土：パーク堆肥：パーライト：ピートモス=2：4：1：1 (v/v)の培養土 (仮比重0.50 g・cm⁻³)を詰めた9 cmポットに鉢上げした。ポット育苗期間は緩効性肥料 (プロミック錠剤1.5 g, N：P₂O₅：K₂O=8：8：8, ハイポネックスジャパン)をポットあたり2個置肥し、不織布製のマットを用いた底面給水によって灌水した。10月19日にII-1で用いたものと同じ防根ひも栽培装置に定植した。給水ひもは1株に1本配し、ひもを通す栽培容器側面の穴と水面との距離は終始3 cmに保った。培地にはポット育苗で使用した組成のものを用い、培地量は株あたり3 Lとした。

第3表に施肥設計を示した。本実験の栽培期間は長いですが、培地加温を行わないため、溶出期間の長い肥料の単用では、厳冬期に供給量が足りなくなると考え、溶出期間の短いものと長いものを組み合わせた。また、複合肥料のエコロングトータル313 (チッソ旭肥料)にロングショウカル (チッソ旭肥料)とエコカリコート (チッソ旭肥料)を組み合わせて、CaOとK₂Oを補った。LPコート (チッソ旭肥料)は生育初期の窒素肥料として、燃焼鶏糞灰 (粒状PK, 南国興産)は微量元素の補てんと培地のpH補正を兼ねて用いた。これらの肥料を混合して株あたり窒素施用量で11.3 g (少肥料区), 16.2 g (中肥料区), 21.0 g (多肥料区)とした3処理区を設けた。肥料は定植前日に培地とよく混和した。栽植様式は、II-1と同一とした。実験区は各区7株の3反復とした。誘引高約2 mでつる下ろし誘引を行った。2008年5月2日に15段上2葉を残して摘心し、2008年7月3日に収穫を終了した。温室内気温は最低13℃に設定して加温し、28℃で側窓の開閉による換気を行った。果実を約1週間に1回収穫し、果

第3表 CRFの施肥設計 (g/株)

処理区	使用した肥料	日数 ¹⁾	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
少肥料区	燃焼鶏糞灰			1.4	1.3	1.6	0.4
	LPコート	40	1.4				
	エコロングトータル313	40	0.4	0.3	0.4		0.1
	〃	100	1.4	1.2	1.4		0.2
	〃	140	1.8	1.5	1.8		0.3
	〃	180	1.8	1.5	1.8		0.3
	ロングショウカル	100	1.7			3.2	
	〃	140	2.5			4.8	
	エコカリコート	180	0.4		6.7		
	合計		11.3	5.9	13.3	9.7	1.2
中肥料区	燃焼鶏糞灰			2.0	1.8	2.3	0.6
	LPコート	40	2.0				
	エコロングトータル313	40	0.5	0.4	0.5		0.1
	〃	100	2.0	1.7	2.0		0.3
	〃	140	2.6	2.2	2.6		0.4
	〃	180	2.6	2.2	2.6		0.4
	ロングショウカル	100	2.4			4.6	
	〃	140	3.6			6.9	
	エコカリコート	180	0.5		9.5		
	合計		16.2	8.5	19.0	13.8	1.8
多肥料区	燃焼鶏糞灰			2.6	2.3	3.0	0.8
	LPコート	40	2.6				
	エコロングトータル313	40	0.7	0.6	0.7		0.1
	〃	100	2.5	2.1	2.5		0.4
	〃	140	3.4	2.9	3.4		0.5
	〃	180	3.4	2.9	3.4		0.5
	ロングショウカル	100	3.1			6.0	
	〃	140	4.7			9.0	
	エコカリコート	180	0.7		12.4		
	合計		21.0	11.0	24.7	17.9	2.3

1) 25℃水中で80%の成分が溶出する日数。

実の重量と個数および糖度をⅡ-1と同様の方法で調査した。実験期間中、株元から約5cmの培地中心部に採取部の長さが5cmの土壤溶液採取器(DIK-300B, 大起理化工業)を各区2か所埋設して培地溶液を採取した。2か所のサンプルを等量混合した後、ECを導電率計で、無機成分濃度をイオンクロマトグラフで測定した。実験終了時には奇数果房下の莖径を測定した。

また、植物体の成分分析に供するために、各反復の生育中庸な2株について、摘葉した下葉と収穫果実および実験終了時の莖葉を採取し、80℃で1週間以上乾燥したのち粉碎した。乾物中の窒素をNCアナライザー(Vario MAX CN, Elementar)で測定した。さらに、乾物を湿式分解した後、Pをバナドモリブデン酸比色法で、K, CaおよびMgをICP発光分光分析(PS1500NR, セイコー電子)で測定した。

さらに、培地成分の分析として栽培開始前の培地と終了後の各区2株分の培地を採取して風乾させたのち、全窒素を上述のNCアナライザーで、無機態窒素(NO₃-N, NH₄-N)を2M塩化カリウム抽出の後、プレムナー法で、可給態P₂O₅をトルオーグ法で分析した。交換性カチオンは1M酢酸アンモニウム液で振とう・ろ過して抽出した後に上述のICP発光分光分析により測定した。

栽培期間中の培地温をT型熱電対で経時的に計測し、シミュレーションソフト(施肥名人 Ver.2.0, JA全農)で施肥窒素の日溶出量を算出した。

以上の各値については、反復ごとの平均値としてまとめ、統計解析を行った。なお、原水の無機成分濃度は、NO₃-N:0.25 (me・L⁻¹, 以下単位同じ), NH₄-N:0.01, PO₄-P:0.00, K:0.08, Ca:1.42, Mg:0.36であった。

3) 結果および考察

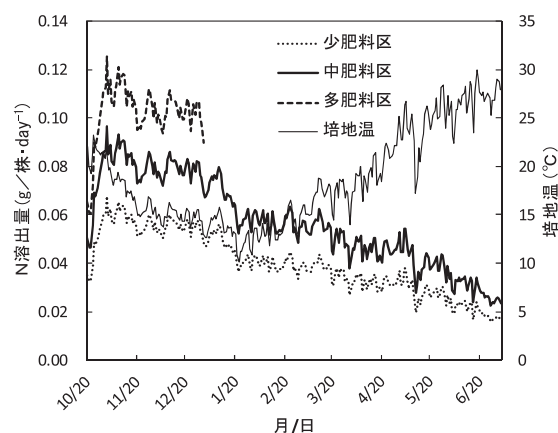
(1) 日平均培地温と施肥窒素の日溶出量の推移

第5図に日平均培地温と施肥窒素の日溶出量の推移を示した。日平均培地温は、処理区間で差がほとんどなかったため、中肥料区のもの示した。定植直後の20℃程度から、徐々に低下し、1~2月には10℃近くまで低下した。その後、上昇に転じ、栽培終了直前には30℃近くまで達した。日平均培

地温から施肥窒素の日溶出量のシミュレーションを行った。その結果、施肥量が多い区ほど窒素の溶出量は多く、その溶出は栽培前半に多く、栽培後期ほど少ない傾向にあった。

(2) 生育、果実収量および果実糖度

第4表に果実収量と果実糖度を示した。多肥料区では萎れ症状が著しく、枯死個体も発生したため、2007年12月末で栽培を打ち切った。そのため、多肥料区における果実収量は皆無であった。中肥料区と少肥料区と比較すると、総収量、可販果収量および可販果個数には有意差はなかったが、果実糖度に関しては中肥料区の方が有意に高かった。細井³⁸⁾は、窒素施用量と収量との関係について、ある程度の窒素施用量までは収量が増加するが、それ以上では収量の増加率が逡減し、やがて増加は止まり、更に多いと収量が減少すると述べている。また、Hegde・Srinivas²⁷⁾はある一定以上の窒素施肥量で収量は変わらなかったと報告している。したがって、



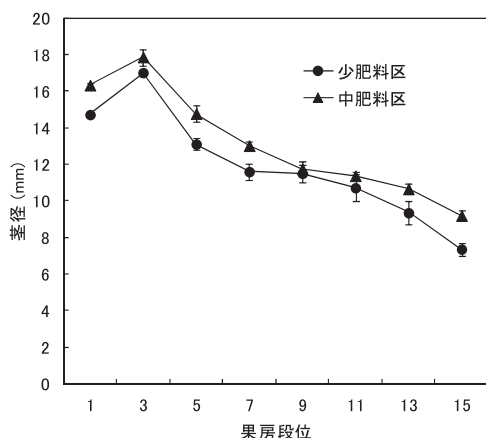
第5図 日平均培地温および培地温から算出した施肥窒素の日溶出量の推移

注) 培地温は中肥料区の数値。多肥料区については2007年12月末で栽培を打ち切ったためそれ以降のデータなし。

第4表 施肥量の違いが果実収量および果実糖度に及ぼす影響

処理区	総収量 (kg/株)	可販果収量 (kg/株)	可販果数 (個/株)	果実糖度 (Brix%)
少肥料区	6.28	5.40	38.3	5.5
中肥料区	6.57	5.40	38.2	6.1
ANOVA ¹⁾	ns	ns	ns	*

1) *は5%水準で有意、nsは5%水準で有意でないことを示す (n = 3)。



第6図 施肥量の違いが各果房下の茎径に及ぼす影響

注) 図中の縦棒は標準誤差を示す (n = 3)。

中肥料区と少肥料区の窒素施肥量の差は収量の差につながらない範囲にあったものと考えられる。

生育の指標とした栽培終了時の茎径は、各果房下において中肥料区の方が少肥料区より大きかった(第6図)。両区とも、下位果房では大きく、上位果房で小さいという傾向にあった。特に少肥料区では15段果房下では7.3mmと下位果房からみると極めて細かった。したがって、少肥料区では生育終盤に生育の衰えが顕著にみられたと考えられる。

(3) 植物体の養分吸収量と栽培後の培地中の残存養分量

第5表に養分吸収量を示した。1株あたりの養分吸収量はN、P₂O₅およびK₂Oについては少肥料区よりも中肥料区の方が有意に多かったが、CaOおよびMgOについては処理区間の有意差はなかった。果実生産1kgあたりで養分吸収量をみると、各養分において両処理区間で有意差はなかった。果実生産1kgあたりの養分吸収量は肥料に対する果実生産効率ととらえることができる。景山・青木⁶⁶⁾はこの値についてNは1.5~2.8g、P₂O₅は0.71~1.1g、K₂Oは2.6~5.3g、CaOは1.2~3.1g、MgOは0.5~1.2gと見積もっている。本実験の結果を照らし合わせると、NとP₂O₅は両処理区ともこの範囲にあった一方で、K₂O、CaOおよびMgOについては、両処理区ともこの範囲よりも少なかった。したがって、NとP₂O₅については、養分供給量が適正な範囲にあった一方でK₂O、CaOおよびMgOについて

第5表 施肥量が養分吸収量に及ぼす影響

処理区	1株あたりの養分吸収量 ²⁾					果実生産1kgあたりの養分吸収量 ³⁾				
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
少肥料区	13.1	4.6	9.9	6.5	2.5	2.08	0.73	1.57	1.04	0.39
中肥料区	16.3	5.9	12.2	6.9	2.6	2.51	0.92	1.89	1.07	0.40
ANOVA ¹⁾	*	*	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

1) *は5%水準で有意、nsは5%水準で有意でないことを示す (n = 3)。

2) 1株あたりの養分吸収量として算出。

3) 果実生産1kgあたりに吸収した養分量として算出。

第6表 栽培前後における1株あたりの培地内養分含有量 (g/株)

処理区	全窒素	無機態窒素			可給態	交換性塩基			
		NO ₃ -N	NH ₄ -N	合計		P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
栽培前	3.60	0.04	0.02	0.06	0.62	0.47	5.18	0.62	
栽培終了後									
少肥料区	5.76	0.54	0.17	0.72	0.99	1.41	12.38	1.58	
				(6.3) ¹⁾	(16.8)	(10.6)	(127.6)	(131.4)	
中肥料区	6.07	0.78	0.18	0.96	1.20	1.98	13.57	1.95	
				(5.9)	(14.2)	(10.4)	(98.3)	(108.1)	
ANOVA ²⁾	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	

1) カッコ内は施肥量に対する割合 (%)。

2) 栽培終了後の処理区間の比較であり、nsは5%水準で有意でないことを示す (n = 3)。

は、養分供給量が不足していた可能性がある。観察の結果であるが、厳冬期には葉の先端が黄変するカリ欠乏特有の症状がみられた。ただし、栽培上大きな問題となるような極端な養分欠乏はなかった。

第6表に栽培後の培地中の残存養分量を示した。全窒素含量は、栽培前と比べて約2.2~2.5g増加したが、無機態窒素の残存量は、両区とも施用量に対して約6%と低く、栽培前に比べて大きな増加はなかった。可給態P₂O₅、交換性K₂Oについても両区とも施用量に対して約10~17%と低く、窒素と同様に栽培前に比べて大きな増加はなかった。したがって、無機態窒素、可給態P₂O₅、交換性K₂Oについては、中肥料区、少肥料区とも与えた養分の全量近くを吸収したと考えられる。一般に、底面給液方式は排液を出さないため、点滴給液方式よりも水や肥料の利用効率が高い^{22, 49, 140)}。本方式では、肥料をあらかじめ培地に混和しておき、水のみをひもで供給するため、肥料成分が系外に流亡することがなく、このように効率よく肥料を利用できたと考えられる。

一方、栽培前の無機態窒素は少ないものの、全窒素含量は株あたり3.6g存在し、原水にも窒素が含まれていることから、培地中で有機化して吸収不能

となった窒素や原水由来の窒素成分の吸収があったことが考えられる。このことから、培地や原水由来の窒素を考慮に入れて施肥設計する必要があることが示唆された。

一方、交換性のCaOとMgOについては培地中の残存量は施肥量に対して約98～131%と多く、特にCaOは栽培前に比べて大幅に増加した。また、いずれの養分残存量にも処理区間で有意差はなかった。培地溶液には栽培期間を通じて蓄積される傾向はなかったため、不溶化して吸収されにくくなった成分が培地に吸着したと考えられる。同様の傾向は、森重ら¹⁰⁶⁾が本実験に近い組成の培地を用いて市販培養液で管理を行ったトマトの防根ひも栽培でも認められている。しかし、上述したようにCaOとMgOの養分吸収量自体は不足していたと推察されたので、施肥量を増やすか、これらの養分の吸着が少ない培地組成を検討するなどの必要性が認められた。

(4) 培地溶液中の無機成分濃度の変動

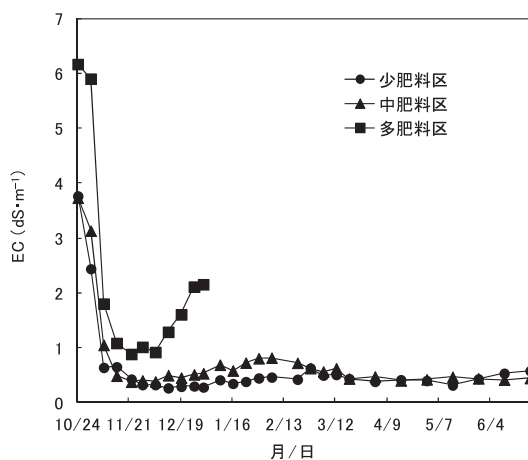
第7図に培地溶液のECを、第8図に培地溶液中の無機成分濃度の推移を示した。ECは定植直後には各区で3.0dS・m⁻¹以上と高かったが、11月以降は低下した。12～2月中旬までは施肥量が多いほどECは高い傾向にあり、施肥量の違いを反映していたが、それ以降は処理区間の差はみられなかった。各多量元素において、培地溶液の濃度は栽培初期には数～数十me・L⁻¹の高い値を示したが、ECの変化と同様に11月以降は急激に減少し、おおよそ5

me・L⁻¹以下まで低下した。また、2月頃までは施肥量の差が培地溶液中の養分濃度の差を反映していたが、それ以降は施肥量の違いによる差はなくなった。特にNO₃-N、NH₄-N、PO₄-PおよびKは0me・L⁻¹近くまで減少した。しかし、上述したように葉にカリ欠症状はみられたものの、栽培上大きな問題となるような極端な養分欠乏は生じなかった。

寺林ら¹⁶¹⁾は水耕トマトにおいて、週単位の定量施用法により、NO₃-NおよびPO₄-Pを施用すると、次の施用前に水耕液中のそれらの濃度は0に近い値にまで減少するが、生育の障害や異常は生じないとしている。これは、養分吸収速度と施用量が見合ったことによるものである。本実験では、CRFからの溶出により、培地溶液への養分の供給は常時行われたと考えられるが、養分供給量と吸収量がほぼ同等か後者がやや上回っていたと推察される。

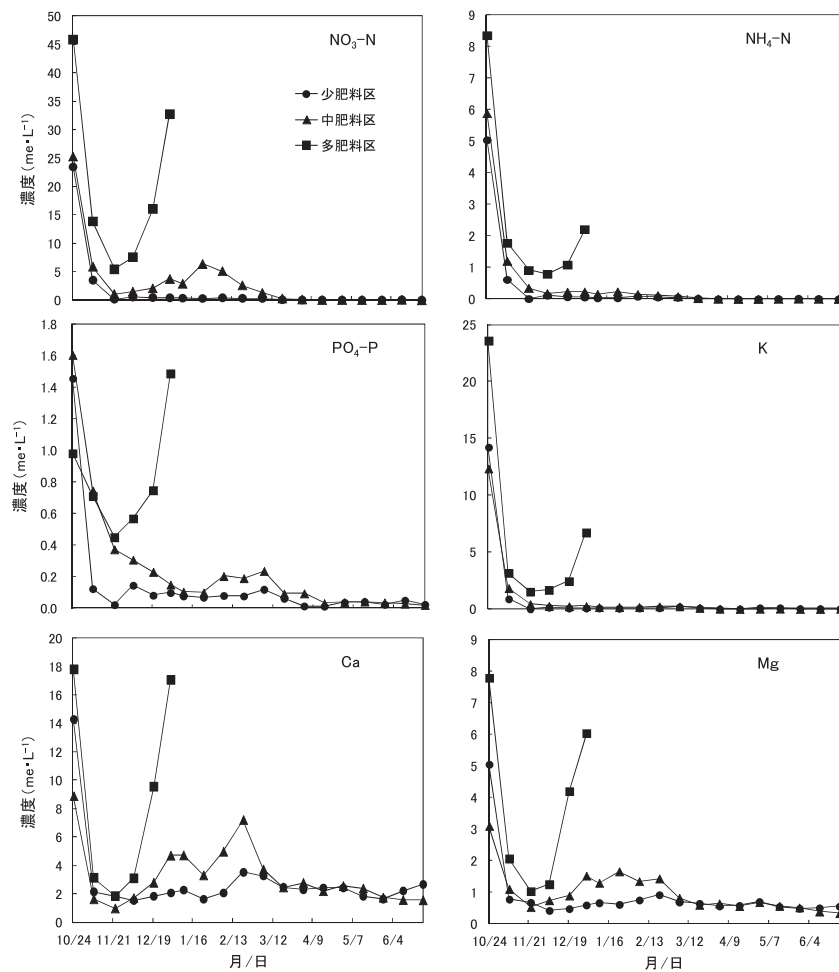
一方、両処理区とも生育中期以降のMgおよびCaの培地溶液中濃度は、NO₃-N、NH₄-N、PO₄-PおよびKに比べて高い値で推移した。細井・細野³⁹⁾は、トマトの水耕栽培において、Mg、CaはN、P、Kと異なり、低濃度での吸収が困難で、正常に生育するためには最低0.5～1.6me・L⁻¹程度の濃度が必要であることを明らかにしている。本実験においても、CaおよびMgを十分に吸収するために、培地溶液中にある程度の濃度の養分が存在する必要があると考えられる。ただし、3月以降、両処理区ともMgおよびCaの濃度がその必要濃度の下限近くで推移していたが、先述したようにCaOとMgOの施肥量は不足気味の可能性があるため、施肥量よりも吸収量が上回っていたと推察される。また、閉鎖型の養液栽培では、特定の成分が培地溶液へ蓄積することが問題となる場合がある⁵³⁾。本実験では、中肥料区および少肥料区において、培地溶液中に肥料成分の蓄積はみられず、そのような問題はないと考えられた。

ただし、多肥料区では、栽培を打ち切る12月まで培地溶液のECや無機成分濃度が他の区に比べて顕著に高かった。したがって、多肥料区において萎れ症状がひどく、枯死する個体も発生したのは、塩類濃度障害を起こしたためと考えられ、多肥料区の施肥量は過剰と考えられた。



第7図 施肥量が培地溶液のECに及ぼす影響

注) 多肥料区については2007年12月末で栽培を打ち切ったためそれ以降のデータなし。



第8図 施肥量が培地溶液の無機成分濃度に及ぼす影響

注) 多肥料区については2007年12月末で栽培を打ち切ったためそれ以降のデータなし。

(5) まとめ

以上のことから、窒素施用量を指標とした場合、トマト促成15段栽培では、中肥料区で与えた株あたり16.2 gが適量の範囲内にあると考えられた。ただし、実際の窒素吸収量は施肥量をやや上回る数値であったため、培地や原水由来の窒素を考慮に入れて施肥設計する必要があることが示唆された。また、生育中期以降、培地溶液の無機成分は低濃度で推移したため、培地溶液に養分が蓄積することはないと考えられた。しかし、 K_2O の施肥量が不足していたこと、 CaO および MgO が一定程度、培地へ吸着して植物が吸収できなかったことがデータから示唆され、これらの無機成分の供給は不足気味であった可能性がある。一方、茎径は上位果房ほど細くなる傾向があった。これは、窒素溶出量が生育前半に多く、時期によって窒素の溶出が大きく異なったことが要

因と考えられる。したがって、果実収量の増加とさらなる安定化のためには、窒素溶出量の平準化が必要であり、そのためには施肥量と肥料の種類をさらに検討する余地があると考えられた。

3 培養液管理との比較におけるCRF施用の果実収量と養分動態

1) 緒言

II-2における結果から、大玉トマトの促成15段栽培を行うために窒素施用量として株あたり16.2 gが適量の範囲内であると考えられた。しかし、CRF施用管理法の確立のためには、それまでの研究でほぼ確立している培養液管理^{93, 106, 107)}と果実生産性を比較する必要がある。また、前節では、窒素溶出量の平準化などが課題として挙げられたが、それらを含めてCRF施用管理法を確立する上での改善点

が培養液管理と比較することによって明らかになると考えられる。さらに、CRF管理と培養液管理での養分動態の違いについても明らかでない。そこで、本節では、CRF管理と培養液管理を行った場合の果実生産性と養分動態の違いについて検討を行った。

2) 材料および方法

実験は当研究センター内のパイプハウス (108 m²) で行った。供試品種と育苗方法はII-2と同様で、播種日を2008年9月13日、鉢上げ日を9月29日とした。10月22日にII-1で用いた防根ひも栽培装置に定植した。給水ひもは1株に1本配し、ひもを通す栽培容器側面の穴と水面との距離は終始3 cmに保った。培地 (培地量3 L/株) は上述と同じ混合培地を使用した。栽植様式は、II-1と同一とした。誘引高約2.2 mでつる下ろし誘引を行った。2009年5月1日に15段上2葉で摘心したのち、6月29日まで収穫し、実験を終了した。温室内は28℃で換気を行い、13℃以下にならないように温風暖房を行った。

処理区としてCRF区と培養液 (LF) 区を設けた。用いたCRFの種類と施肥量はII-2における中肥料区と同じとした (16.2gN/株、第3表)。なお、燃焼鶏糞灰は培地のpH矯正と微量元素の付加のために施用した。CRF区では、すべての肥料を定植前日に培地とよく混和した。LF区では、既報^{93, 106, 107)}で用いた大塚A処方¹⁾の1/2単位濃度培養液 (EC = 約1.4dS・m⁻¹) を終始施用した。実験区は各区8株で3反復設けた。

約1週間に1回果実を収穫し、果実の重量と個数および糖度をII-1と同様の方法で調査した。実験期間中には、約2週間に1回の頻度で第1節と同様の方法で培地溶液を採取し、培地溶液中のECを導電率計で、無機成分濃度をイオンクロマトグラフで測定した。また、植物の栄養状態の把握のために、約2週間に1回、田中¹⁵⁸⁾と同様の方法で小葉を採取し、小葉葉柄汁中のNO₃濃度を硝酸イオンメータ (B-341, 堀場製作所) で測定した。実験終了時には各区6株について奇数果房下の莖径を測定した。また、各区の生育中庸な4株について、摘葉した下葉とすべての収穫果実および実験終了時の莖葉を80℃で1週間程度乾燥し、乾物重を測定したのち粉

砕した。そして、乾物中の窒素, リン, カリウム, カルシウムおよびマグネシウムについて、II-2と同様の方法で分析した。

3) 結果および考察

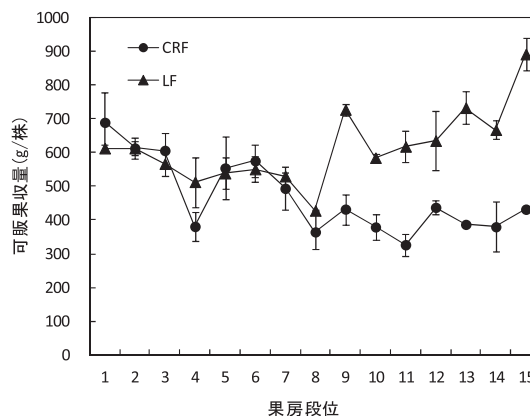
(1) 生育, 果実収量および植物の栄養状態

総収量および可販果収量はLF区に比べてCRF区の方が小さかった (第7表)。果房段位別にみると、第8果房までの下位果房では両処理区で可販果収量に差はなかったが、第9果房以上の上位果房ではLF区の方が大きかった (第9図)。したがって、可販果収量の処理間差は上位果房の差によるものであった。しかし、果実糖度には処理間差はなかった。栽培終了時の莖径をみると、第3果房下まではCRF区の方が莖径は大きかったが、第7果房下より上位ではLF区の方が大きかった (第10図)。葉柄汁中のNO₃濃度は、生育初期の11月頃まではCRF区の方が高かったが、生育中期の2月下旬以降はLF区の方が高かった。 (第11図)。栽培終了時の莖径、可販果収量および葉柄汁中のNO₃濃度をみると、お互

第7表 肥料の種類が果実収量, 果実糖度および乾物重に及ぼす影響

肥料の種類	果実収量 (kg/株)		果実糖度 (Brix%)	乾物重 (g/株)		
	総収量	可販果収量		莖葉	果実	合計
CRF	7.7	7.1	6.1	231	439	669
LF	9.9	9.2	6.1	304	574	878
ANOVA ¹⁾	**	**	ns	**	*	*

1) **および*はそれぞれは1%および5%水準で有意, nsは5%水準で有意でないことを示す (n = 3)。

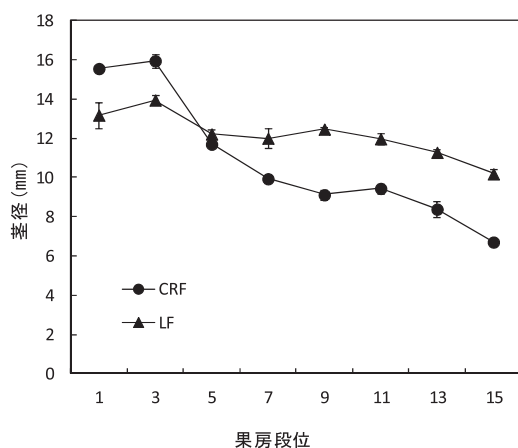


第9図 肥料の種類が果房段位別の可販果収量に及ぼす影響

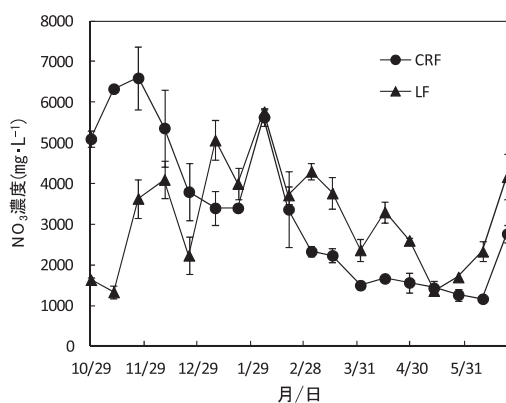
注) 図中の縦棒はSE (n = 3) を示す。

いに一定の関係性がみられる。すなわち、CRF区でNO₃濃度が高い生育初期は下位果房下の茎径もLF区より大きいのにに対し、NO₃濃度が低い生育中期以降は上位果房下の茎径も小さい。また、CRF区で茎径がLF区と同等以上の下位果房では収量差がないのにに対し、茎径が小さい上位果房下では収量も低い。

したがって、可販果収量の処理間差が葉柄汁中のNO₃濃度すなわち植物の栄養状態の差で説明できると考えられる。また、下位果房下ではCRF区の方が茎径は大きく生育が旺盛であったと推察されるが、可販果収量には差はなかったことから、CRF区では生育前半の養分供給が過剰であった可能性が高い。以上から、CRF区では生育前半の養分供給を抑え、生育後半の養分供給を増やすことによって収量を増やすことができると考えられた。このことは前節における結果から考察されたことと一致しており、



第10図 肥料の種類が各果房下の茎径に及ぼす影響
注) 図中の縦棒はSE (n = 3) を示す。



第11図 肥料の種類が葉柄汁中NO₃濃度に及ぼす影響
注) 図中の縦棒はSE (n = 3) を示す。

今後CRFの種類と組み合わせをさらに検討する必要があると思われた。

(2) 養分吸収量

第8表に乾物中の養分含有率および養分吸収量を示した。1株あたりおよび果実生産1kgあたりの養分吸収量はCRF区の方が小さかった。その原因はCRF区において乾物重が小さく、乾物中の養分含有率が低いためであった。これらの結果は、本実験の組成・濃度による培養液の施用に比べてCRFの施用によって無駄な養分吸収を抑えて果実生産に対する養分利用効率を高めうる可能性があることを示しているが、果実収量がLF区より低いため、より詳細な検討が必要である。

(3) 培地溶液中の養分動態

培地溶液のECは、11月(第2花房開花期)以降CRF区の方が低く推移した(第12図)。培地溶液中の無機成分濃度については、すべての成分で最終CRF区の方が低く推移した(第13図)。その中で特にCRF区におけるNO₃-N、NH₄-N、PO₄-PおよびKは、2月中旬(2段果房収穫期)以降非常に低い濃度で推移した。一方、CaとMgは、それらに比べて高い濃度(それぞれ約2 me·L⁻¹および約0.5 me·L⁻¹)で推移した。この傾向は、前節の結果とほぼ一致し、CRF区では細井・細野³⁹⁾が報告したこれらの成分が正常に吸収される下限値(0.5~1.6 me·L⁻¹程度)に近い値で推移したことになる。今野ら⁴⁶⁾も本栽培法を用いたトマト栽培において、CRFを施用した

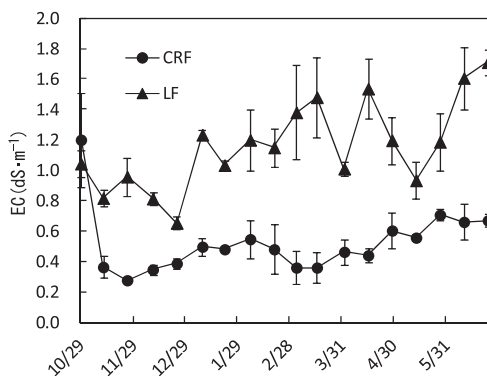
第8表 肥料の種類が乾物中養分含有率および養分吸収量に及ぼす影響

項目	肥料の種類	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
茎葉乾物中養分含有率 (%)	CRF	2.73	1.42	3.11	5.06	0.74
	LF	2.92	1.74	4.02	6.25	1.04
	ANOVA ¹⁾	ns	*	*	*	*
果実乾物中養分含有率 (%)	CRF	1.79	1.01	2.31	0.16	0.17
	LF	1.85	1.25	3.37	0.19	0.16
	ANOVA	ns	**	**	ns	ns
1株あたりの養分吸収量 ²⁾ (g/株)	CRF	14.1	5.8	15.9	11.2	2.2
	LF	19.5	9.3	31.6	20.1	4.1
	ANOVA	*	**	**	*	**
果実生産1kgあたりの養分吸収量 (g·kg ⁻¹)	CRF	1.84	0.73	2.25	1.58	0.32
	LF	1.97	0.94	3.20	2.04	0.41
	ANOVA	*	***	**	*	*

- 1) ***, **および*はそれぞれ0.1%, 1%および5%水準で有意, nsは5%水準で有意でないことを示す (n = 3).
2) 乾物重および乾物中養分含有率から算出した。

場合に培地溶液のECが生育中期以降に非常に低い値で推移すると報告しており、本実験の結果と一致する。しかし、両処理区とも特に養分欠乏の症状はみられなかった。

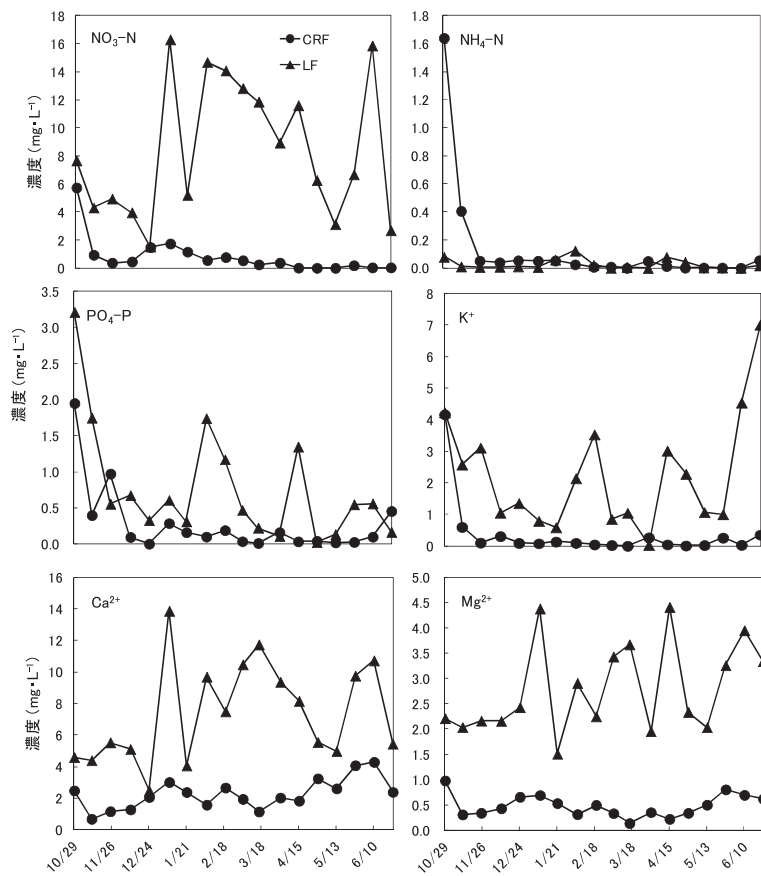
これらの結果から、本栽培法においてCRFを施用した場合、生育中期以降、CRFの表面から溶出した養分がただちに植物に吸収されている可能性が示唆



第12図 肥料の種類が培地溶液のECに及ぼす影響
注) 図中の縦棒はSE (n = 3) を示す。

される。そうであれば、CRFからの養分溶出量は培地温度に依存するので、CRF区では植物の養分吸収は溶出量によって制限されることになる。中野ら¹¹²⁾およびNakanoら¹¹¹⁾は、トマトの養液栽培において、養分を量的に施用することによって養分供給を制限した場合、循環培養液や培地溶液中の無機成分濃度がEC制御で濃度管理を行った場合に比べて非常に低い値で推移したと報告している。さらに、トマト^{99, 111, 112)}やメロン¹²⁸⁾において、EC制御の濃度管理に比べて、量的な養分管理によって収量を減少させることなく無駄な養分吸収や栄養成長を抑制できることが報告されている。本実験においても、CRF区の方が茎葉の乾物重や乾物中養分含有率は小さく、養分利用効率が高かった。

したがって、CRFを本栽培法に適用した場合、量的な養分管理となり、EC制御による培養液管理と比較して過剰な養分吸収を抑えて無駄な栄養成長を抑制し、高い養分利用効率を達成することが可能であることが示唆された。さらに、閉鎖型養液栽培で



第13図 肥料の種類が培地溶液の無機成分濃度に及ぼす影響

は、循環培養液や培地溶液中への養分の蓄積^{9, 53)}がみられることがあるが、CRFの適量施用ではそのようなことは起こらないことが明らかとなった。このことはトマト栽培において非常に有益なことでありと考えられる。ただし、CRFを施用した場合における養分吸収の様相については明らかではなく、さらに検討する必要があると考えられた。

(4) まとめ

以上の結果から、CRFを防根ひも栽培に適用した場合、EC制御による培養液管理に比べて高い養分利用効率で果実生産を行える可能性が示された。しかし、前節でも考察したように本実験におけるCRFの組み合わせでは収量性が十分ではなかったため、収量増加のために生育前半の養分溶出を抑えて生育後半の養分溶出を増やす必要があった。CRFからの養分吸収の様相についてさらに検討する必要があると考えられた。

4 肥料の組み合わせを改良した上でのCRF施用と培養液施用との果実生産性および養分吸収の比較

1) 緒言

II-3における結果から、防根ひも栽培法にCRFを適用した場合、EC制御による培養液管理に比べて、果実生産に対する養分利用効率が高まる可能性があることが明らかとなった。しかし、前節におけるCRFの組み合わせでは、果実生産性が培養液管理よりも劣ったため、収量増加のために生育前半の養分溶出を抑えて生育後半の養分溶出を増やす必要があると考えられた。そのためには施用する肥料の種類を改良する必要がある。

さらに、CRFを施用した場合、培地溶液中の養分濃度は、培養液管理と比べて生育中期以降、極めて低い濃度で推移した。この結果は、CRFの表面から溶出した養分がただちに植物に吸収されていることを示唆しており、このことがCRF施用における効率的な養分利用に結びついている可能性があると考えられた。

そこで、本節では、CRFあるいは培養液を施用した場合の養分吸収の違いについて検討した。養分吸収を簡便に評価するために、ここでは、茎を地際で

切断して得られる木部いっ泌液に着目した。一般に、単位時間あたりのいっ泌液量は水分吸収能を評価するために用いられる¹⁷⁹⁾。また、茎切断から1時間以内であれば、いっ泌液中の養分濃度はほぼ一定である^{4, 91, 94, 178)}ため、インタクトな植物の養分輸送濃度を評価することができる。実際に、いっ泌液の量や養分濃度から養分吸収の評価を行っている研究例がある^{35, 90, 120, 135, 136)}。そこで、養分輸送や養分吸収を評価するために、茎切断から1時間のいっ泌液について分析を行った。

以上により、本節の目的は、CRFの組み合わせを改良した上での収量性を評価することと、CRFと培養液を施用した場合の養分吸収の違いを評価し、CRFを施用した場合の高い養分利用効率の要因を明らかにすることである。

2) 材料および方法

実験は、当研究センター内のプラスチックハウス(252 m²)で行った。供試品種と育苗方法はII-2と同様で、播種日を2009年9月11日、鉢上げ日を10月1日とした。10月20日にII-1で用いたのと同様の防根ひも栽培装置に定植した。ただし栽培容器には長さ39 cm×幅22 cm×高さ16 cmのプラスチックボックスを用い、1つの容器に2株を定植した。培地(培地量3 L/株)は上述と同じ混合培地を使用した。栽植様式は、II-1と同一とした。誘引高約2.5 mでつる下ろし誘引を行った。2010年5月1日に15段上2葉で摘心したのち、6月29日まで収穫し、実験を終了した。温室内の温度管理は28℃で換気を行い、13℃以下にならないように温風暖房を行った。温室内の気温と培地温はT型熱電対で経時的に測定した。屋外の全天日射量は、近畿中国四国農業研究センター内に設置されている総合気象観測装置による測定値を用いた。

第9表 CRF区において施用した肥料の種類 (g/株)

使用した肥料	日数 ¹⁾	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
燃焼鶏糞灰	-		2.0	1.8	2.3	0.6
エコロングトータル313	140	4.7	4.0	4.7		0.7
スーパーエコロング	100	3.1	2.6	3.1		
ロングショウカル	140	7.4			14.3	
エコカリコート	140	1.0		19.0		
ロング硫マグ	180					2.3
合計		16.2	8.6	28.6	16.6	3.6

1) 25℃水中で80%の成分が溶出する日数。

処理区としてCRFを施用する区（CRF区）および培養液を施用する区（LF区）を設けた。CRFの組み合わせは前節までの結果および市販のソフトウェア（施肥名人 Ver.2.0, JA全農）による窒素溶出シミュレーションの結果を基に決定した（第9表）。施肥窒素のNO₃-N：NH₄-N比は76：24であった。すべての肥料は定植前日に培地によく混和した。LF区では、大塚A処方1/2単位濃度液（EC＝約1.4dS・m⁻¹）を施用した。培養液中のNO₃-N：NH₄-N比は9：1であった。試験区は各区30株の3反復とした。

各区8株について果実を約1週間に1回収穫し、果実の重量と個数および糖度をⅡ-1と同様の方法で調査した。実験期間中には、約2週間に1回の頻度でⅡ-2と同様の方法で培地溶液を採取した。また、約4週間に1回、晴天日に木部いっ泌液を採取した。いっ泌液は、各区2株について午前10時に地上5cmで茎を切断し、最初の数滴を捨てたのち、ガラス製のバイアルに1時間集めた。サンプルは測定まで-20℃で保存した。培地溶液中の電気伝導度（EC）を導電率計で、培地溶液およびいっ泌液中の無機成分濃度をイオンクロマトグラフで測定した。さらに、実験終了時には各区6株について奇数果房下の茎径を測定したのち、各区生育中庸な4株について、摘葉した下葉とすべての収穫果実および実験終了時の茎葉を80℃で1週間程度乾燥し、粉碎したのち乾物重を測定した。そして、乾物中の窒素、リン、カリウム、カルシウムおよびマグネシウムについて、Ⅱ-2と同様の方法で分析した。

3) 結果および考察

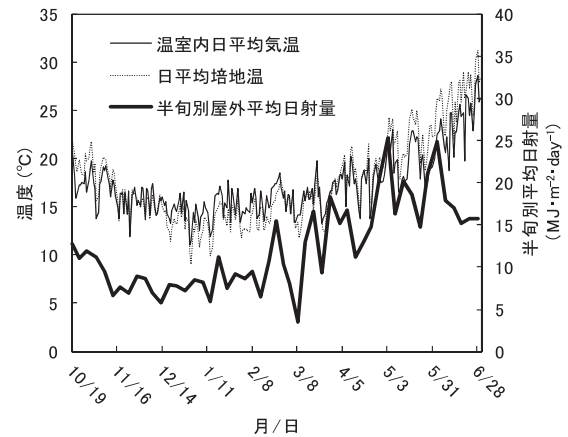
(1) 実験期間中の気象条件

実験期間中の気象条件を第14図に示した。実験期間全体で平均した温室内気温、培地温および屋外日射量はそれぞれ、17.3℃、17.7℃および12.3MJ・m⁻²・day⁻¹であった。温室内日平均気温および日平均培地温は6月下旬に最も高く、1月中旬に最も低かった。半旬別の平均屋外日射量は5月下旬に最も多く、1月中旬に最も少なかった。

(2) 生育、果実収量および養分吸収量

実験終了時の茎径は、第3果房下でCRF区の方

が大きく、第9果房下でLF区の方が大きかった以外は有意差がみられなかった（データ略）。第10表に果実収量および乾物重を示した。総収量および可販果収量は、処理区の間には有意差がみられなかった。一方、果実糖度はCRF区の方が高かった。したがって、本実験におけるCRFの組み合わせで培養液管理と同等の果実生産性を得られることがわかった。また、部位別の乾物重をみると、茎葉乾物重および全乾物重において、CRF区の方が小さかった。



第14図 実験期間中の気象条件

第10表 肥料の種類が果実収量および乾物重に及ぼす影響

肥料の種類	果実収量 (kg/株)		果実糖度	乾物重 (g/株)		
	総収量	可販果収量	(Brix%)	茎葉	果実	合計
CRF	8.5	8.0	6.5	265	472	736
LF	8.9	8.5	6.1	306	509	815
ANOVA ¹⁾	ns	ns	*	*	ns	*

1) *は5%水準で有意であること、nsは5%水準で有意でないことを示す (n = 3)。

第11表 肥料の種類が乾物中養分含有率および養分吸収量に及ぼす影響

項目	肥料の種類	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
茎葉乾物中養分含有率 (%)	CRF	2.85	1.34	4.42	3.22	0.78
	LF	2.98	1.70	5.00	4.48	1.05
	ANOVA ¹⁾	ns	*	*	*	*
果実乾物中養分含有率 (%)	CRF	1.60	0.79	3.31	0.30	0.23
	LF	1.68	0.96	3.86	0.37	0.25
	ANOVA	ns	ns	*	*	ns
1株あたりの養分吸収量 ²⁾ (g/株)	CRF	15.0	7.2	27.3	9.9	3.2
	LF	17.7	9.8	34.2	14.9	4.3
	ANOVA	**	**	*	***	***
果実生産1kgあたりの養分吸収量 (g・kg ⁻¹)	CRF	1.79	0.85	3.22	1.17	0.37
	LF	1.98	1.10	3.84	1.68	0.49
	ANOVA	*	*	**	**	**

1) ***, **および*はそれぞれ0.1%, 1%および5%水準で有意、nsは5%水準で有意でないことを示す (n = 3)。

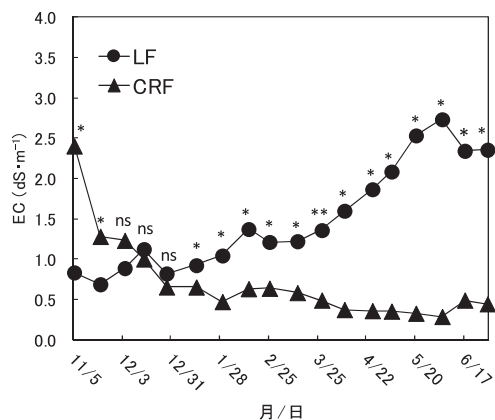
2) 乾物重および乾物中養分含有率から算出した。

第11表に乾物中養分含有率と養分吸収量を示した。茎葉乾物中養分含有率はNを除いてCRF区の方が低かった。また、果実乾物中の K_2O と CaO については、CRF区の方が低かった。1株あたりおよび果実生産1kgあたりの養分吸収量は各養分ともCRF区の方が小さかった。したがって、果実生産に対する養分利用効率は前節と同様にCRF区の方が高かった。CRF区において養分利用効率が高い理由は、LF区と比べて果実生産量が同等であるのに養分吸収量が少ないためである。また、CRF区において養分吸収量が少ないのは、LF区に比べて乾物重が小さく、乾物中の養分含有率が低いためである。これらの結果は、CRF区において無駄な養分吸収が少ないことを示唆しており、このことは、施肥量および肥料コストを低減させようことを意味しており、トマトの生産上非常に重要な点である。

(3) 培地溶液中の無機成分濃度

培地溶液中のECは、生育初期にはCRF区の方が高かったが、第1果房収穫期にあたる1月中旬以降はLF区よりも低く推移した(第15図)。培地溶液の無機成分濃度の推移を第16図に示した。 NO_3-N 、 K 、 Ca および Mg の濃度は生育初期にはCRF区の方が高かったが、1月以降はLF区よりも低く推移した。 NH_4-N 濃度は、1月まではCRF区の方が高く推移したが、それ以降は両処理区とも非常に低い値で推移した。

PO_4-P 濃度は、実験期間を通じてCRF区の方が低



第15図 肥料の種類が培地溶液のECに及ぼす影響

注) **および*は分散分析の結果、それぞれ1%および5%水準で有意であることを示し、nsは5%水準で有意でないことを示す(n=3)。

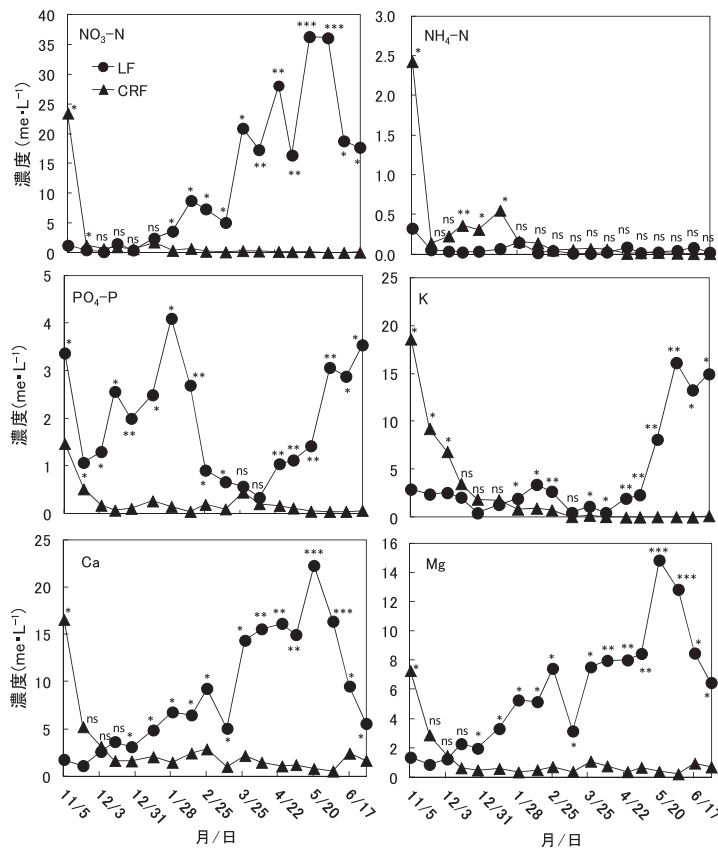
く推移した。CRF区では、前節と同様に、すべての成分において生育中期以降、吸収限界濃度³⁹⁾に近い極めて低い濃度で推移した。

(4) 木部いっ泌液の量および無機成分濃度と時期別の養分吸収量

本実験では、両処理区間の養分吸収量が異なる時期を明らかにするため、木部いっ泌液の量および液中の無機成分濃度を調査した。いっ泌液量は、両処理区とも11月(第2果房開花期)から3月(5段果房収穫期)にかけて減少傾向で推移した後は増加傾向に転じた(第17図)。摘心後の5月~6月におけるいっ泌液量は他の時期に比べて特に多かった。一般に、日射量が多いほど^{97, 182)}、地温が高いほど¹⁷⁹⁾、いっ泌液量は多くなる。したがって、5月~6月にいっ泌液量が多かったのは、他の時期に比べてこの時期の日射量が多く、培地温が高かったためであると考えられる。一方、実験期間を通じて液量には処理間差はみられなかったため、根の水分吸収能には両処理区で差がなかったと推察された。

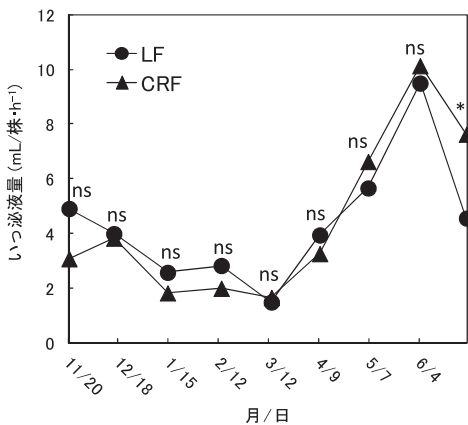
いっ泌液中の無機成分濃度の推移を第18図に示した。 NO_3-N 、 Ca および Mg の濃度には3月~4月(第5段~7段果房収穫期)まで処理間差がみられない場合が多かったが、その後は明らかにLF区の方が高い濃度で推移した。 K 濃度は、3月まではCRF区の方が高い傾向にあったが、5月以降はLF区の方が高く推移した。 NH_4-N 濃度は、4月まではCRF区の方が高く推移し、5月以降は処理間差がみられなかった。いっ泌液中の無機成分濃度の違いは、地上部への養分輸送濃度の違いを反映している。いっ泌液量から根の水分吸収能は5月~6月に高かったと考えられる。促成トマト栽培では吸水量は生育初期を除いて日射量にほぼ比例する¹¹¹⁾ため、日射量の多いこの時期は吸水量自体も他の時期に比べて多かったと考えられる。このことから、5月~6月の地上部への養分輸送濃度の差は、実験期間全体の養分吸収量(第11表)の差に大きく影響したと考えられる。LF区では、この時期にいっ泌液中の NO_3-N 、 K 、 Ca および Mg の濃度が高いため、これらの養分の吸収量がCRF区に比べて非常に多かったと考えられる。

ただし、 PO_4-P 濃度には実験期間を通じて処理間



第16図 肥料の種類が培地溶液の無機成分濃度に及ぼす影響

注) ***, **および*は分散分析の結果, それぞれ0.1%, 1%および5%水準で有意であることを示し, nsは5%水準で有意でないことを示す (n = 3).



第17図 肥料の種類が単位時間あたりのいつ泌液採取量に及ぼす影響

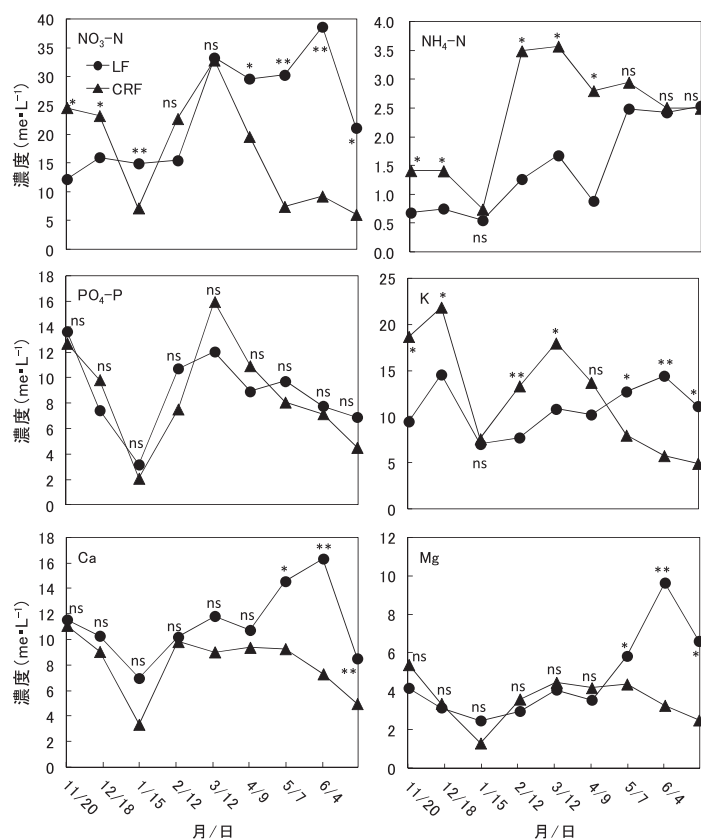
注) *は分散分析の結果, 5%水準で有意であることを示し, nsは5%水準で有意でないことを示す (n = 3).

で差がほとんどみられず, リン酸吸収量の処理間差をいつ泌液の量および成分濃度から説明することはできなかった. また, 本実験では, 培地溶液中の $PO_4\text{-P}$ 濃度には処理間に有意差がみられたのに対し,

いつ泌液中の濃度には差はなかった. 一般にいつ泌液中のリン酸濃度は根圏に存在する総リン酸量とは関係ないことがわかっている^{120, 152)}. 本実験においても培地中のリン酸存在量の差がいつ泌液中の $PO_4\text{-P}$ 濃度に影響を及ぼさなかった可能性が考えられる. 一方, Terabayashiら^{162, 163)}によって, $PO_4\text{-P}$ は24時間の総吸収量に対する夜間の吸収量の割合が多量成分の中で最も高いことが報告されているように, リン酸は夜間にも盛んに吸収される. 本実験では昼間にいつ泌液を採取したが, 夜間のいつ泌液中の $PO_4\text{-P}$ 濃度についても調査する必要があるかもしれない.

以上のことから, 両処理区間における積算の養分吸収量の差は, 主に生育後半に生じた可能性が高いと考えられる.

また, CRF区におけるいつ泌液中の無機成分濃度は, 第1果房収穫期以降に培地溶液中の無機成分濃度よりも極めて高い濃度で推移し, その濃度は摘心



第18図 肥料の種類がいつ泌液中の無機成分濃度に及ぼす影響

注) **および*は分散分析の結果，それぞれ1%および5%水準で有意であることを示し，nsは5%水準で有意でないことを示す (n = 3)。

時期までLF区とほぼ同じ濃度で推移した。さらに、両処理区とも養分欠乏の症状はみられなかった。したがって、両処理区において、生育期間を通じて正常な生育のために必要な量の養分が不足なく吸収されていたと考えられる。これらの結果は、CRF区において第1果房収穫期以降、多くの養分が肥料の表面から溶出された後ただちに吸収されているのではないかとする前節の仮説を支持するものである。また、本実験においても、LF区では培地溶液中に吸収可能な養分が豊富に存在するのに対し、CRF区では培地温によって養分溶出量が制限されていたと考えられる。CRF区において生育後期のいつ泌液中の成分濃度が低かったのは、このためであろう。これらのことからCRF粒子の表面は根で完全に覆われていた可能性が推察されるが、根の分布については調査しておらず、今後の検討課題としたい。

リン酸以外の成分に関しては、いつ泌液中の成分濃度は根圏の利用可能養分量を反映する¹²⁰⁾ので、LF区においてPO₄-P以外のいつ泌液中成分濃度が

生育後半にCRF区よりも高まったのは、生育後半における培地溶液中の成分濃度が高く、根圏の利用可能養分量が多かったためと考えられる。さらに、LF区においていつ泌液中の無機成分濃度は生育終盤に上昇したが、これは、いつ泌液中のNO₃-N、CaおよびMgの濃度は摘果によって上昇する⁹⁶⁾と報告されていることから、5月上旬の摘心後に収穫によって担果数が徐々に減少したためと考えられる。したがって、EC制御によって培養液を施用する場合には、生育後半に培養液濃度を下げることによって培地溶液中の成分濃度を下げ、無駄な養分吸収を減らすことができる可能性がある。

一方、生育初期のCRF区におけるNO₃-N、NH₄-NおよびKのいつ泌液中濃度はLF区よりも高かったため、この時期のNおよびK₂Oの吸収量についてはCRF区の方が多かったと考えられる。実際、生育の指標である栽培終了時の茎径をみると、下位の茎径はCRF区の方が太かった。したがって、生育初期の溶出を減らすようにCRFの組み合わせを再検討

する必要があると考えられる。

(5) まとめ

以上のことから、EC制御によって培養液を施用する場合に比べて、CRFの施用によって、収量を減少させることなく無駄な養分吸収を抑え、果実生産に対する養分利用効率を高めることができることが明らかとなった。また、培養液とCRFを施用した場合における養分吸収量の差は、主に生育後半に生じていると考えられた。さらに、CRF区において生育中期以降、多くの養分が肥料の表面から溶出された後ただちに吸収されている可能性が非常に高いと推察された。また、このことからCRF粒子の表面は根で完全に覆われていた可能性もある。本栽培方式は閉鎖式の栽培方式で排液の発生はないため、もともと養分利用効率の高い方式であるが、それに加えて、本実験の結果から、CRFを施用した場合、培養液管理の場合よりも養分が効率的に利用されていることが明らかとなった。したがって、CRFの施用で施肥量を他の栽培方式よりも大幅に減少させることができると考えられた。

5 摘要

本章では、促成トマトの防根給水ひも栽培において、培地の種類が生育および収量に及ぼす影響について三相分布および培地溶液の無機成分の比較から検討するとともに、CRFを用いた全量基肥法適用する場合の適切な施肥量を、果実生産性、養分動態および養分の利用効率について培養液管理と比較することで明らかにしようとした。得られた結果は以下のように要約される。

- ① 培地の種類あるいは栽培の前後によって三相分布は大きく異なり、可販果収量は、混合培地（田土：バーク堆肥：ピートモス：パーライト＝2：4：1：1 (v/v)）で最も高く、促成トマトの防根給水ひも栽培における培地選択の際には、栽培前の混合培地の液相率を指標にすることができ、本手法では、液相率が45～55%の範囲に入るよう設定すれば適当と判断され、この点で、上記の混合培地は本手法に適しているものと考えられた。
- ② ①の結果から本栽培法に適当と考えられた培地

を用いた場合に、CRFを培地に混和して施用する方法について、促成15段栽培において施肥量を検討した結果、窒素施用量でみた場合、株あたり16.2gNの施肥が適量の範囲内であると考えられた。

- ③ 上記②から適当と考えられた16.2gN/株のCRFを施用した場合とEC管理による培養液を施用した場合において果実収量などを比較した。その結果、可販果収量はCRF施用の方が低く、その差は主に上位果房における差によるものであり、収量性を向上させるために施用するCRFの種類を再検討する必要があると考えられた。ただし、CRFの施用で培養液施用よりも果実生産に対する養分利用効率を高められる可能性が示唆された。また、CRFを施用した場合、肥料から成分が溶出されるとすぐに吸収されている可能性も示唆された。
- ④ ③の結果を受け、施用するCRFを改良した上でEC管理による培養液管理と果実生産量や養分利用効率および時期別の養分吸収を比較した。その結果、可販果収量には施用した肥料の種類で差がみられなかったが、CRFを施用した方が養分吸収量は少なく、果実生産に対する養分利用効率は高かった。したがって、CRFの施用で、培養液施用に比べて収量性を維持した上で養分利用効率を高められることがわかった。肥料の違いによる養分吸収量の差は、いっ泌液分析の結果、主に生育後半に生じていると考えられた。また、いっ泌液と培地溶液の成分分析の結果、CRFを施用した場合、肥料から成分が溶出されると培地溶液中に拡散する前にすぐに吸収されていると推察された。

Ⅲ 施肥の簡略化のためのCRFの給水タンク内施用技術の開発

Ⅱ章では、防根ひも栽培法におけるCRFの適用を行い、培養液管理と同等の収量を得ることができるとともに施肥量の削減が可能であることを明らかにした。この場合のCRFの施用法としては、培地に混和する方法（以下、培地混和法）を検討してきた。しかし、この方法では実用規模での栽培を考え

た場合、肥料を培地へ混和するための労力が大きいとともに、均一な施肥が困難といった問題がある。また、栽培終了後に培地内に養分が残存するために、培地の再利用する場合に養分残存量を考慮に入れて施肥量を決定する必要があり、培地の再利用が難しいと考えられる。

その対策として、今野ら⁴⁶⁾は、栽培後に残存肥料を取り除けるようにした施肥法として、CRF全量をまとめて透水性の袋に入れて培地中の防給水ひも上に置く「紐上置肥（以下、置肥法）」を検討した結果、栽培後の培地への養分集積がほとんどなく、培地の再利用が培地混和法に比べて容易になると述べている。しかし、この方法は1株分ずつ肥料を袋に入れる作業を必要とするため、コストと手間が非常にかかることが問題点として考えられる。

そこで筆者は、これらの問題を解決する方法として、ハウス1棟分あるいは1区画分で1作に必要なCRFの全量をまとめて透水性の袋に入れて給水タンクへ施用し、溶出液として養分をひもで供給する方法（以下、タンク内施用法）を検討することにした。この方法によって、培地への養分蓄積が緩和されるとともに、施肥の大幅な簡素化・軽労化が期待される。しかし、この方法については、梶田らが予備実験を行っており（未発表）、尻腐れ果の多発が認められている。一般に、施用窒素中の $\text{NH}_4\text{-N}$ の比率が高いと尻腐れ果が多発する^{1, 24, 43)}。市販のCRFは市販の培養液と比べて含有窒素中の $\text{NH}_4\text{-N}$ 比率が高いことから、配合によっては高 $\text{NH}_4\text{-N}$ 比率に起因する生育障害が発生する可能性が考えられ、梶田らの予備実験における尻腐れ果の多発もそのためであると考えられる。しかし、前章で検討した培地混和法では尻腐れ果の発生はほとんどみられず、施肥窒素の高 $\text{NH}_4\text{-N}$ 比率の影響はほとんどないと推察された。したがって、CRFは施用方法によって $\text{NH}_4\text{-N}$ の影響の出方が異なる可能性が考えられる。

そこで本章では、施肥の簡素化・軽労化と培地の再利用の簡便化を目指し、CRFのタンク内施用法の開発を行う。その際、培地混和法や置肥法と果実生産性や養分動態の違いについて比較を行うとともに、タンク内施用法における尻腐れ果発生抑制法について検討を行った。

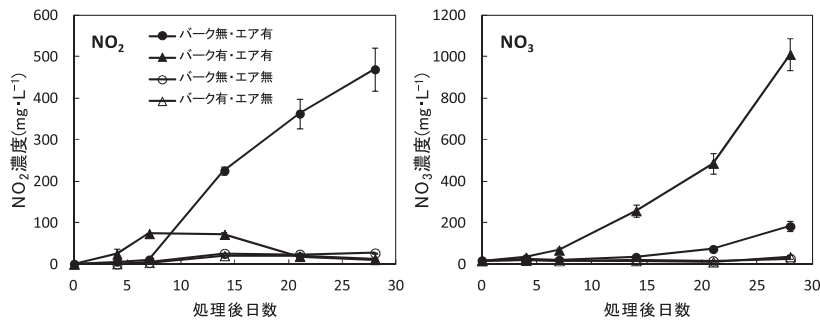
1 タンク内硝化処理方法の検討

1) 緒言

梶田ら（未発表）の予備実験の結果、タンク内施用法では施肥窒素の高 $\text{NH}_4\text{-N}$ 比率による尻腐れ果の発生が問題である可能性が示唆された。施設野菜栽培におけるCRFの利用は、固形培地耕における事例^{14, 18, 19, 56, 124, 166, 183)}もみられるものの、一般には土耕栽培での利用の方が多くを占める^{75, 81, 82, 83, 84, 85, 87, 108, 141, 168, 172)}。土耕栽培の場合は、土壤中では速やかに $\text{NO}_3\text{-N}$ に変換され、植物には主に $\text{NO}_3\text{-N}$ として吸収される。そのため、肥効調節型肥料の利用によって尻腐れ果が多発し高 $\text{NH}_4\text{-N}$ が問題となることはほとんどない。したがって、タンク内施用法においても土耕栽培における硝化作用を再現するために、給水タンク内で硝化処理を行い、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度を下げて $\text{NO}_3\text{-N}$ 比率を増やしてからトマトに供給することができれば尻腐れ果の発生を軽減できると考えられる。篠原¹⁴⁵⁾は、肥料源として有機物のみによる水耕栽培を試み、その際、栽培槽内に硝化細菌源および細菌の住みかとしてバーク堆肥を入れるとともに酸素源としてエアレーションを行うことで有機態窒素から $\text{NH}_4\text{-N}$ および $\text{NO}_2\text{-N}$ を経て $\text{NO}_3\text{-N}$ までの生成を進めることができることを明らかにした。したがって、タンク内施用法においても篠原らが用いた方法で給水タンク内の $\text{NH}_4\text{-N}$ を $\text{NO}_3\text{-N}$ に変換できると考えられることから、本節ではこの方法について検討した。

2) 材料および方法

4 L容のポリバケツ（矢崎化工）に3 Lの井戸水を入れ、窒素濃度が400ppmNとなるように $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ を溶解させた。中の水が気化して窒素濃度が変化しないようにバケツの上部はシルバーポリマルチで覆った。処理区として、硝化細菌源および住みかとして3 Lあたり15 gのバーク堆肥の添加の有無および硝化細菌の酸素源としてエアポンプによるエアレーション処理（24h）の有無を組み合わせ計4処理区を設定した。硝化の進行度合いをみるため、数日～1週間ごとにバケツ内の水を1 ml採取し、 NO_2 濃度と NO_3 濃度をイオンクロマトグラフで測定した。実験は25℃一定とした恒温室内で行った。



第19図 バーク堆肥の添加およびエアレーションの有無が硝酸化成に及ぼす影響

注) 図中の縦棒はSE (n = 3) を示す。

3) 結果および考察

バーク堆肥添加+エアレーション区においてNO₃-N生成が他の区よりも顕著に進んだ(第19図)。エアレーションのみでもNO₂-N生成までは旺盛に進むものの、NO₃-Nの生成はほとんどなく、いわゆる亜硝酸型硝化がみられた。バーク堆肥の添加のみではNO₃-Nの生成はほとんどなく、NO₂-Nの生成までもほとんど進まなかった。以上のことから、硝化菌源の添加や酸素の供給のいずれか単独ではNO₃-Nの生成はほとんど進まず、篠原ら¹⁴⁵⁾が行った有機養液栽培における硝酸化成促進処理と同様に、硝化菌源としてバーク堆肥を添加し、エアレーションによって酸素の供給を行うことで給水タンク内の硝酸化成を効率的に進められると考えられた。

2 肥料の施用方法の違いが生育および収量に及ぼす影響ならびにタンク内硝化処理の効果

1) 緒言

先述したように、防根ひも栽培法では、CRFの施用方法によって施肥窒素中のNH₄-Nの影響が異なる可能性が考えられる。そこで、前章で検討した培地混和法、今野ら⁴⁶⁾が開発した置肥法およびタンク内施用法において、生育および収量を季節の異なる春夏作と秋冬作において調査した。実験を異なる季節に2度行ったのはNH₄-Nの影響は季節によって異なるとされている⁴³⁾ためである。あわせて、Ⅲ-1で用いた給水タンク内の硝化処理によって、尻腐れ果の発生を軽減し収量を向上できるかどうかについても検討した。

第12表 CRFの施肥量 (g/株)

使用した肥料	日数 ¹⁾	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
春夏作						
燃焼鶏糞灰			2.0	1.8	2.3	0.6
エコロングトータル313	70	1.4	1.2	1.4		0.2
スーパーエコロング	100	2.9	2.5	2.9		
ロングショウカル	100	1.6			3.0	
エコカリコート	100	0.2		3.2		
ロング硫マグ	100					0.6
合計		6.0	5.6	9.3	5.3	1.4
秋冬作						
燃焼鶏糞灰			2.0	1.8	2.3	0.6
エコロングトータル313	100	3.9	3.3	3.9		0.6
スーパーエコロング	100	1.4	1.2	1.4		
ロングショウカル	100	2.5			4.7	
エコカリコート	100	0.3		5.3		
ロング硫マグ	100					0.7
合計		8.0	6.5	12.4	7.0	1.9

1) 25℃水中で80%の成分が溶出する日数。

2) 材料および方法

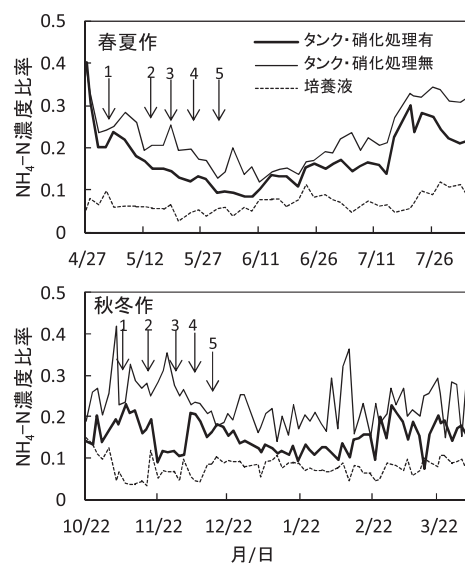
実験は当研究センター内のパイプハウス(108m²)で行った。供試品種と育苗方法はⅡ-2と同様で、春夏作については2010年2月22日、秋冬作については2010年9月12日に播種し、それぞれ2010年4月8日(春夏作)および2010年9月29日(秋冬作)に鉢上げした。2010年4月27日(春夏作)および2010年10月20日(秋冬作)に、Ⅱ-1で用いたのと同じ防根ひも栽培装置に定植した。給水ひもは1株に1本配し、ひもを通す栽培容器側面の穴と水面との距離は終始約3cmに保った。培地はポットに充填したのと同じものを用い、培地量は株あたり3Lとした。栽植様式は、Ⅱ章と同様とした。処理区として、両作型とも①大塚A処方1/2単位濃度培養液で管理(培養液区)、②CRFを培地混和(混和区)、③CRFをひも上置肥⁴⁶⁾(置肥区)、④CRFをタンク

内施用 (タンク・硝化無区), ⑤CRFをタンク内施用し前節で用いた方法で硝化处理 (タンク・硝化有区) の合計5処理を設定した. 置肥区については燃焼鶏糞灰を培地に混合し, それ以外の肥料の全量を春夏作は 9.5×7.0 cm, 秋冬作は 10.5×11.0 cmのポリエステル製の袋に入れ, 給水ひも上に置いた. タンク区については, 鶏糞燃焼灰を培地に混合し, それ以外の肥料を種類ごとにポリエステル製の不織布に包んで20 Lの給水タンク内に投入した. タンク内の硝化处理は, 100 gのパーク堆肥をタンク内に投入し2 L/分でエアレーションをすることで行った. CRFの施肥量については第12表のとおりとした. 実験規模は各区6株の3反復とした. 2010年6月15日 (春夏作) および2011年1月15日 (冬春作) に5段果房上の2葉を残して摘心し, 2010年8月4日 (春夏作) および2011年4月5日 (冬春作) に収穫を終了した. 温室内の温度管理については, 最低 13°C に設定して加温し, 28°C 以上で換気を行った. 週に3回, 給水タンク内の養液の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度と $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度について, 小型反射式光度計 (RQフレックス, メルク) を用いて測定した. 各区6株について1週間に1~2回果実を収穫し, 果実の重量と個数および糖度をII章と同様の方法で調査した. また, 各果房の開花約2週間後の午後1~2時の間にその果房直下葉の小葉を各区3枚採取し, それに10倍量の蒸留水を加えて乳鉢で磨碎し, その希釈液の各無機イオン濃度をイオンクロマトグラフで測定した. さらに栽培前と栽培終了後の培地を採取して風乾させた後, 全窒素, 可給態 P_2O_5 および交換性塩基類をII-2と同様の方法で分析した. また, 栽培後の残存肥料についても 80°C で乾燥させた後, II-2における乾物と同一の方法で各成分を分析した.

3) 結果および考察

(1) 給水タンク内の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度比率の推移

第20図にタンク区および培養液区における給水タンク内の養液の全N ($\text{NO}_3\text{-N} + \text{NH}_4\text{-N}$) に対する $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度比率の推移を示した. 両作型ともタンク施用区において硝化处理を行うと給水タンク内の養液の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度比率が低下した. したがって, 給水タンク内での硝化处理は有効であると考えられた.



第20図 給水タンク内の硝化处理が $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度比率に及ぼす影響

注) 図中の↓は各果房の開花時期を示す.

また, 培養液区と比べてタンク施用区では, $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度比率の変動が大きく, 特に秋冬作で顕著であった. これは, タンク内水温の違いによる硝化速度の違いによるためと考えられる. 硝化作用の適温は一般に $25^{\circ}\text{C} \sim 30^{\circ}\text{C}$ 程度であり, 15°C 以下では著しく低下する⁶⁷⁾ため, 高温期の春夏作では硝化作用が高く維持されたのに対して, 低温期の秋冬作では, 硝化作用の低下に起因して硝化が進まなかった日があったと考えられる.

(2) 栽培終了後の養分残存量

栽培終了後における培地および肥料中の養分残存量の合計量については, 秋冬作の P_2O_5 および K_2O を除いてCRFを施用した処理区間で有意差がなく (第13表), 肥料の溶出率やみかけの養分吸収量の差は小さかったと考えられた.

(3) 果実収量および植物の栄養状態

第14表に果実収量および尻腐れ果発生率を示した. 可販果収量は, 両作型とも混和区に比べて, 置肥区およびタンク・硝化無区で有意に少なかった. 一方, タンク・硝化有区の収量は両作型ともタンク・硝化無区よりも有意に大きく, 混和区とほぼ同等であった. ただし, 春夏作では, CRF施用区の収量はいずれも培養液区より有意に少なかった. これ

第13表 肥料の施用方法が培地および肥料中の1株あたりの残存養分量に及ぼす影響 (g/株)

処理区	N			P ₂ O ₅			K ₂ O			CaO			MgO		
	培地	肥料	合計	培地	肥料	合計	培地	肥料	合計	培地	肥料	合計	培地	肥料	合計
春夏作															
混和	5.29	-	5.29	5.68	-	5.68 a ²⁾	3.00	-	3.00	6.77	-	6.77 b	1.34	-	1.34 b
置肥	4.54	1.13	5.67	2.57	2.73	5.30 a	1.24	2.45	3.69	4.52	1.55	6.07 b	1.15	0.45	1.60 ab
タンク・硝化無	4.10	1.03	5.13	2.46	1.94	4.40 bc	1.23	2.47	3.70	5.21	1.41	6.62 b	1.25	0.53	1.78 ab
タンク・硝化有	4.19	0.85	5.05	2.47	1.97	4.44 b	0.92	2.54	3.46	4.46	1.03	5.49 b	1.06	0.42	1.48 b
培養液	5.77	-	5.77	3.87	-	3.87 c	3.87	-	3.87	8.73	-	8.73 a	2.08	-	2.08 a
ANOVA ¹⁾	ns			***			ns			**			*		
秋冬作															
混和	5.69	-	5.69	4.51	-	4.51 a	4.41	-	4.41 bc	10.92	-	10.92	2.33	-	2.33
置肥	4.35	1.47	5.82	1.21	2.84	4.05 ab	0.69	3.83	4.52 ab	8.49	1.95	10.44	1.83	0.78	2.61
タンク・硝化無	4.48	1.33	5.82	1.40	2.43	3.83 ab	0.62	4.77	5.40 a	10.31	1.57	11.89	1.97	0.58	2.55
タンク・硝化有	4.55	1.18	5.73	1.33	2.40	3.73 b	0.62	4.30	4.92 a	9.80	1.29	11.09	1.92	0.59	2.51
培養液	5.46	-	5.46	2.72	-	2.72 c	2.79	-	2.79 c	10.50	-	10.50	2.50	-	2.50
ANOVA	ns			***			**			ns			ns		

- 1) ***, **および*はそれぞれ, 0.1%, 1%および5%水準で有意, nsは5%水準で有意でないことを示す (n = 3).
 2) 同一列の異なる符号間に5%水準で有意差あり (Tukey検定, n = 3).

第14表 肥料の施用方法が果実収量および尻腐れ果発生率に及ぼす影響

処理区	総果実		可販果		一果重 (g/個)	果実糖 度 (Brix%)	尻腐れ果発生率(%)				
	収量 (g/株)	個数 (個/株)	収量 (g/株)	個数 (個/株)			1段	2段	3段	4段	5段
春夏作											
混和	2711 b ²⁾	20.2 ab	2612 b	18.4 b	142 b	5.9 b	2.5 b	6.8 ab	1.2	0.0	0.0
置肥	2167 cd	17.9 bc	1995 cd	14.5 d	137 b	6.4 a	18.2 a	12.2 ab	5.8	0.0	2.6
タンク・硝化無	2054 d	16.8 c	1896 d	13.9 d	136 b	6.1 ab	15.0 a	20.0 a	9.5	0.0	1.9
タンク・硝化有	2432 bc	18.3 bc	2349 bc	16.2 c	145 ab	6.1 ab	8.4 ab	3.0 b	3.7	0.0	0.0
培養液	3483 a	21.4 a	3390 a	20.2 a	168 a	6.1 ab	1.1 b	3.5 b	1.2	0.0	0.0
ANOVA ¹⁾	***	**	***	***	*	*	**	*	ns	ns	ns
秋冬作											
混和	3768 a	23.0	3572 a	21.6 a	166	6.5	5.1 b	0.0	1.1	0.0	1.3
置肥	3360 ab	22.9	3237 bc	21.0 a	154	6.5	29.9 a	0.0	0.0	0.0	0.0
タンク・硝化無	3304 b	21.8	3074 c	19.4 b	158	6.5	35.7 a	0.0	0.0	0.0	4.3
タンク・硝化有	3430 ab	22.3	3383 ab	21.4 a	158	6.5	11.1 b	1.4	0.0	0.0	1.2
培養液	3485 ab	21.7	3449 ab	21.1 a	164	6.5	0.0 b	0.0	0.0	0.0	1.2
ANOVA	*	ns	**	*	ns	ns	**	ns	ns	ns	ns

- 1) ***, **および*はそれぞれ0.1%, 1%および5%水準で有意, nsは5%水準で有意でないことを示す (n = 3).
 2) 同一列の異なる符号間に5%水準で有意差あり (Tukey検定, n = 3).

については、春夏作のCRF施用区では培養液区に比べて上位果房の莖径が小さく（データ略）、収量が少なかったことから、生育後半の養分供給が少なかったためと考えられる。CRF施用区の間で比較すると、一果重に有意差はみられなかったが、可販果数は可販果収量が小さい区ほど少ない傾向にあった。CRF施用区の間において、総果実数については秋冬作では処理間に有意差はなかったが、春夏作では、混和区で最も多く、タンク・硝化無区で最も少なかった。尻腐れ果の発生率には大きな処理間差がみられ、春夏作では1段～3段果房、秋冬作では1段果房で高く、特に置肥区やタンク・硝化無区で高かった。したがって、可販果収量の処理間差は、春夏作では総果実数の違いによる部分もあったが、両

作型とも尻腐れ果発生率の違いが大きく影響していると考えられた。また、春夏作と秋冬作を比べると、春夏作の方が全般に尻腐れ果発生率が高く、処理間の収量差が大きかった。これは、トマトの水耕栽培において、気温が低い秋作に比べて気温の高い春作の方が施肥窒素のNH₄-N比率を高めた場合に尻腐れ果が発生しやすいという報告⁴³⁾と一致する。

以上のように、尻腐れ果発生率が処理間で異なることが明らかとなったことから、その要因について検討した。尻腐れ果の発生には開花後1～3週間の果実肥大初期のCa栄養が大きく影響するとされる^{12, 16, 21, 95, 117, 118)}ため、尻腐れ果の発生が多かった果房において、果実肥大初期（開花から約2週間後）の果房直下の葉柄汁のCa濃度を調査すると、

各果房において処理間に大きな差がみられ (第15表), 尻腐れ果発生率と葉柄汁のCa濃度との間には有意な相関関係が認められた (第21図). したがって, 処理によって果実肥大初期のCa吸収量が異なることが, 尻腐れ果発生率の違いにつながったと考えられた. また, この関係をみると, 葉柄汁中のCa濃度が $100 \sim 200 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 以下になると尻腐れが多発する傾向にあった. 森国・嶋田¹⁰⁵⁾ は本実験と同様に葉柄汁中のCa濃度が $200 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ を下回ると尻腐れ果発生率が高まる傾向を認めている. Heら²⁶⁾

も開花後の早い時期における花房直下の葉柄汁中Ca濃度によりCa欠乏症の診断の可能性を示唆しており, 葉柄汁中のCa濃度を測定することで尻腐れ果発生率の予測が可能であると考えられた.

置肥区およびタンク・硝化無区における尻腐れ果の多発, すなわちCa欠乏の要因としては, 先述のように肥料の溶出率には差がないため, Caの供給不足によって発生したとは考えにくい. Ca欠乏は, 土壤水分の不足^{21, 129)} や高温¹⁶⁹⁾, 夜間の低湿度^{10, 34)} などによっても発生するといわれているが, 本実験

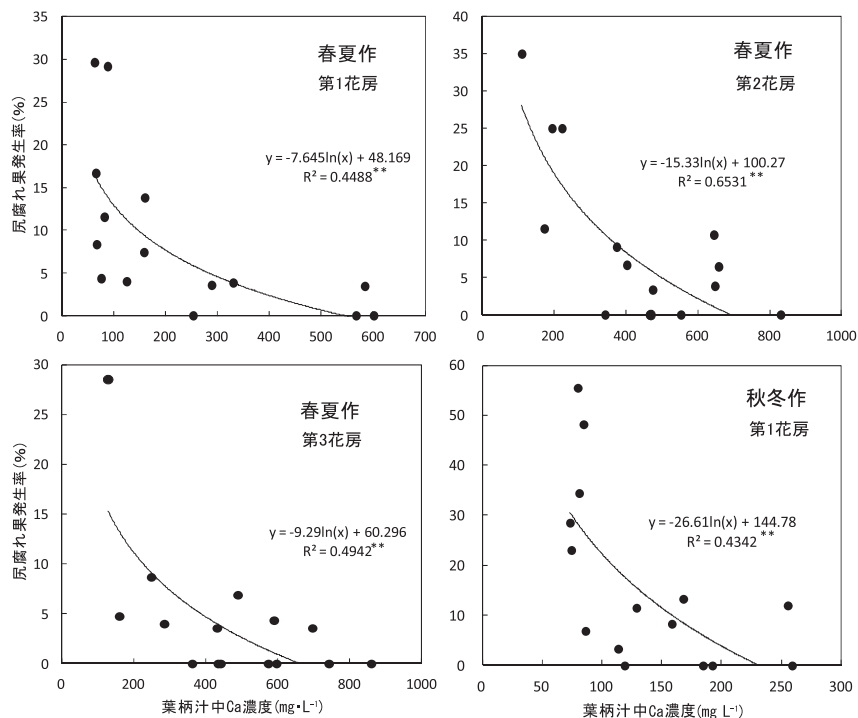
第15表 肥料の施用方法が各果房直下葉の小葉葉柄汁中のCa濃度および $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度に及ぼす影響

処理区	Ca($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)				NH ₄ -N($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)			
	春夏作 (5/21) ¹⁾	春夏作 (6/4)	春夏作 (6/11)	秋冬作 (11/25)	春夏作 (5/21)	春夏作 (6/4)	春夏作 (6/11)	秋冬作 (11/25)
混和	290 b ³⁾	592 a	582 a	184 a	338 c	154	185	63 b
置肥	65 c	236 b	230 c	84 ab	576 a	151	167	86 ab
タンク・硝化無	81 c	267 b	308 bc	76 b	509 ab	200	178	103 a
タンク・硝化有	132 bc	464 a	507 ab	152 ab	478 abc	139	170	83 ab
培養液	583 a	626 a	718 a	190 a	359 bc	144	148	91 ab
ANOVA ²⁾	**	**	**	*	**	ns	ns	*

1) 小葉葉柄の採取日.

2) **および*はそれぞれ, 1%および5%水準で有意, nsは5%水準で有意でないことを示す (n = 3).

3) 同一列の異なる符号間に5%水準で有意差あり (Tukey検定, n = 3).



第21図 小葉葉柄汁のCa濃度と尻腐れ果発生率との関係

注) **は1%水準で有意であることを示す.

では処理間で環境条件に差はないので、これらの環境要因の影響とは考えられない。一方、Ca欠乏はNH₄-Nの多用などで他のカチオンとの拮抗作用によって吸収が抑制されることによっても発生する¹⁵⁾。CRFは含有窒素に占めるNH₄-Nの比率が一般の培養液に比べて非常に高く、本実験の場合には施肥窒素に対するNH₄-Nの割合が33～35%と約1/3を占めた。池田・大沢⁴³⁾は、この割合で水耕栽培を行った場合に尻腐れ果の多発を認めており、Aklら¹⁾やHartmanら²⁴⁾も施用窒素中のNH₄-N比率が20～25%以上になると尻腐れ果が多発して果実収量が減少すると述べている。したがって、Ca吸収量の処理間差の要因としては、CRFの含有窒素中の高いNH₄-N含有比率によるCa吸収抑制が考えられる。

そこで、各果房直下の葉柄汁中のNH₄-N濃度をみると、春夏作および秋冬作の1段果房では葉柄汁のNH₄-N濃度に処理間差が認められ(第15表)、NH₄-N濃度が高い区でCa濃度が低い傾向があることから、Caの吸収抑制がNH₄-Nの吸収による拮抗作用による可能性がある。しかし、他の果房ではNH₄-N濃度の処理間差は小さく、Ca濃度との間には一定の関係は認められなかった。したがって、本実験で用いた葉柄汁診断からは、Ca吸収の差がNH₄-N吸収の差によるものであると断定することはできなかった。

しかし、給水タンク内の硝化処理によってタンク内のNH₄-N濃度比率が低下し、尻腐れ果発生率が大きく減少することから、CRF中の高NH₄-NがCa吸収に関わっており、NO₃-Nへの変換率の差がCa吸収および尻腐れ果発生率の差につながっている可能性は高く、さらなる検討が必要であると考えられた。

一方、生育全体でのCaのみかけの吸収量には、CRF施用区の各処理間で有意差がなかった。また、尻腐れ果は2作とも下位果房のみで発生率が高く、上位果房ではほとんど発生しなかった。したがって、Ca吸収量の処理間差は生育初期～中期にのみ発生し、それ以降は吸収量の差はほとんどなかったと考えられた。

(4) まとめ

以上のことから、CRFの培地混和法に比べてタンク施用法では、尻腐れ果の発生が多いため可販果収

量が少なかったが、給水タンク内で硝化処理を行ってNH₄-N濃度比率を低下させると、可販果収量は培地混和区並に増加することから、CRFのタンク内施用法は十分成立可能であると考えられた。

3 肥料の施用方法の違いが窒素の吸収形態と形態変換に及ぼす影響

1) 緒言

Ⅲ-2において、CRFの施用方法により、作期によらず尻腐れ果の発生率が異なることが明らかとなった。その要因は、果実肥大初期のCa吸収量の違いによると考えられた。また、CRFを給水タンク内に施用する方法では、タンク内で施肥窒素の硝化を促進すると、尻腐れ果は激減した。一般に施肥窒素中のNH₄-Nの割合が高いほどCaと吸収が拮抗し、Ca吸収が阻害されることで尻腐れ果が多発する¹⁵⁾。CRFは、市販の培養液と比べて含有窒素のNH₄-N割合が非常に高いため、尻腐れ果の多い区では、NH₄-NとCaとの拮抗作用でCa吸収が阻害されたものと考えられる。一方、CRFを培地に混和して施用した場合には、尻腐れ果の発生はほとんどみられなかった。これは、他の施用方法に比べて植物に吸収される段階におけるNH₄-Nの吸収がNO₃-Nの吸収よりも相対的に少ないためと考えられる。したがって、CRFの施用方法により、窒素を吸収する段階での形態別の割合が異なる可能性が考えられる。そこで、NH₄-Nを¹⁵Nで標識したCRFを用いて、施肥方法の違いが、植物の吸収段階における窒素形態別の存在率と形態変換に及ぼす影響を調査した。

2) 材料および方法

実験は当研究センター内のプラスチックハウス(252㎡)で行った。供試品種と育苗方法はⅡ-2と同様で、播種は2010年9月12日、鉢上げは2010年9月29日に行った。2010年10月28日に、市販の家庭用の防根ひも栽培装置(トマト名人、グローウェル)に定植した。本装置の栽培容器は1つの容器に2株定植できるようになっており、真中に仕切りを入れて株ごとに培地を仕切った。栽培容器は内容量約4Lの給水タンクの上に乗せる構造になっている。ひもは1株に1本配し、培地は上述と同様のものを株あたり3L充填した。処理区としては、①

CRFを培地混和(混和区), ②CRFをひも上置肥⁴⁶⁾(置肥区), ③CRFをタンク内施用(タンク区)の合計3処理区を設定した。置肥区およびタンク区については, CRFを1株分ずつ9.5×7.0cmのポリエステル製の袋に入れ, 置肥区では給水ひも上に置き, タンク区では給水タンク内に施用した。NH₄-Nのみを¹⁵Nで標識した40日タイプのCRF(N-P₂O₅-K₂O=6-6-6, 6.6atom%¹⁵NH₄-N)をジェイカムアグリ(株)に依頼して作成してもらい, 1株あたりNH₄-Nで1.2gを施用した。施肥窒素中のNO₃-N:NH₄-Nは40:60であった。また, すべての区において燃焼鶏糞灰(粒状PK, 南国興産)を10g培地に混合した。実験区は各区2株の3反復とした。温室内の温度管理については, 最低13℃に設定して加温し, 28℃以上で換気を行った。晴天日であった2010年12月8日の午前10時より各株から木部いっ泌液を3時間採取した。採取日は第1花房果実の肥大初期であった。採取方法については, II-4と同じ方法をとった。採取したサンプルは分析するまで-20℃の冷凍庫で保存し, NH₄-NおよびNO₃-Nの濃度をイオンクロマトグラフで測定し, 全窒素を全自動元素分析装置(Vario MAX CN, Elementar)で分析した。全窒素濃度からNH₄-NおよびNO₃-Nの濃度を引いた値を有機態窒素濃度とした。また, イオン交換樹脂(カチオン:アンバーライトIR120B-NA, アニオン:アンバーライトIRA400J-CL, オルガノ)を用いて採取液の含有窒素のカチオンあるいはアニオンを完全に除去したのち, カチオンまたはアニオンを除去したそれぞれの液中における¹⁵N存在比を安定同位体比質量分析計(ANCA-GSL+GEO20-20, Europa Scientific)で分析した(太陽日酸(株)に分析を依頼)。すべてのNはアニオン態およびカチオン態で存在していると考えられるため, カチオンを除去したものをアニオン態, アニオンを除去したものをカチオン態とした。

3) 結果および考察

第16表にいっ泌液中の各形態の窒素濃度を示した。NO₃-N濃度は, 置肥区およびタンク区に比べて混和区で高かったが, NH₄-N濃度は処理間で差がなかった。有機態窒素濃度は混和区に比べて置肥区およびタンク区で高かった。また, NO₃-N濃度に対す

るNH₄-N濃度の比(NH₄-N/NO₃-N比)は混和区に比べて置肥区およびタンク区で高かった。一般に水耕栽培では, 施肥窒素のNH₄-N含有率をあげるといっ泌液中のNO₃-N濃度は低下し, アミノ酸の濃度が上昇することが報告されている^{8, 20, 88, 89)}。これはNO₃-Nは, 根において硝酸が還元されて同化される割合が少なく, 多くがNO₃-Nの形態のまま地上部へ輸送されて葉において硝酸還元やアミノ酸への同化が進むのに対して, NH₄-Nは根における同化の割合が高いためである⁸⁸⁾。したがって, 本実験において, 置肥区およびタンク区では, 混和区に比べていっ泌液中のNO₃-N濃度は低く, 有機態窒素の濃度が高かったことから, 根に取り込まれる段階におけるNH₄-N/NO₃-N比が高かった, すなわち施肥窒素の硝化があまり進んでいなかったことが示唆される。これらのことから, 施肥した肥料は同じなのに関わらず, 施用方法によって吸収される窒素形態の比率が異なり, 置肥区およびタンク区では混和区に比べて相対的にNO₃-Nの吸収量が少ないと考えられた。

第17表にいっ泌液中における窒素形態別の¹⁵N濃度を示した。¹⁵NによるラベルはすべてNH₄-Nに行ったので, アニオン態Nおよびカチオン態Nの¹⁵N濃度から全Nの¹⁵N濃度を引くことでどちらの形態への変換が多いかをとらえることができる。すべての処理区において, 全Nの¹⁵N濃度と比較して, アニオン態Nの¹⁵N濃度は低く, カチオン態Nの¹⁵N濃度は高かった。したがって, 施用した¹⁵Nはアニオン態への形態変換は少なく, カチオン態への変換が多かったものと考えられる。一方, いっ泌液中の

第16表 肥料の施用方法がいっ泌液中の形態別の窒素濃度に及ぼす影響

処理区	NO ₃ -N (mg・L ⁻¹)	NH ₄ -N (mg・L ⁻¹)	NH ₄ -N/ NO ₃ -N比	有機態 (mg・L ⁻¹)
混和	182.9 a ³⁾ (38.0) ¹⁾	35.4 (7.3)	0.193 b	262.9 b (54.6)
置肥	125.1 b (24.4)	38.2 (7.4)	0.305 a	349.7 a (68.2)
タンク	127.0 b (24.5)	39.0 (7.5)	0.307 a	352.9 a (68.0)
ANOVA ²⁾	*	ns	*	*

1) 全窒素量に対する割合(%)。

2) *は5%水準で有意, nsは5%水準で有意でないことを示す(n=3)。

3) 同一列の異なる符号間に5%水準で有意差あり。

NH₄-N濃度は非常に低かったことから、カチオン態のN形態としてはアミノ酸などの有機態の割合が高かったと考えられる。よって、施用したNH₄-N形態の¹⁵Nは有機態Nへの変換割合が非常に高かったと推察される。このことは、いっ泌液中の形態別のN濃度において有機態Nの割合が高かったことを裏付けるものである。

以上の結果と前節の結果を踏まえると、肥料の施用方法による尻腐れ果発生率の違いの要因について以下のように考えることができる。すなわち、①混和区では、窒素が根に吸収されるまでに施肥窒素の硝化が進み、NH₄-Nの形態での窒素吸収が少ないため、Ca吸収阻害が起こりにくく、尻腐れ果が少ない、②置肥区やタンク区では、窒素が根に吸収されるまでに施肥窒素の硝化があまり進まず、NH₄-Nの形態のままの窒素吸収が多いため、Ca吸収阻害が起こりやすく、尻腐れ果が多発した、というメカニズムが考えられる。

また、肥料の施用方法による硝化の度合いの違いの要因としては、根の分布の違いが考えられる。観察の結果であるが、混和区では根が培地中に広く分布するのに対し、置肥区やタンク区では肥料や給水ひもの周りに密集して分布する。この根の分布の違いによって、混和区では培地中で硝化が進んでから根に吸収されるのに対し、置肥区やタンク区では直接肥料成分に接する根の割合が高いため窒素が硝化されずに吸収されている可能性が考えられる。今後根の分布と窒素の吸収について詳細に検討する必要があると考えられる。

以上のことから、いっ泌液中の形態別の窒素濃度

第17表 肥料の施用方法がいっ泌液中における¹⁵Nの窒素形態別の濃度に及ぼす影響

処理区	全N		アニオン態 ¹⁾		カチオン態 ²⁾	
	¹⁵ N濃度 (atom%)	¹⁵ N濃度 (atom%)	全Nの ¹⁵ N濃度との差	¹⁵ N濃度 (atom%)	全Nの ¹⁵ N濃度との差	¹⁵ N濃度 (atom%)
混和	3.4 b ⁴⁾	3.0 b	-0.46	4.9	1.48 a	
置肥	3.9 a	3.5 a	-0.37	4.8	0.90 b	
タンク	4.2 a	3.9 a	-0.28	5.1	0.94 b	
ANOVA ³⁾	**	**	ns	ns	**	

- 1) カチオン交換樹脂に吸着したNを除いたものを測定した。
- 2) アニオン交換樹脂に吸着したNを除いたものを測定した。
- 3) **は1%水準で有意、nsは5%水準で有意でないことを示す (n = 3)。
- 4) 同一列の異なる符号間に5%水準で有意差あり (Tukey検定, n = 3)。

および¹⁵Nの窒素形態別の濃度を調査した結果、置肥区およびタンク区では、混和区に比べて施肥窒素の硝化があまり進んでいなかったためにCa吸収阻害が起こりやすく、尻腐れ果が多発したと推察され、CRFの施用方法による尻腐れ果発生率の違いの要因の一つが明らかとなった。

4 CRFのタンク内施用法の長期促成栽培への適用 1) 緒言

Ⅲ-2の結果から、CRFの簡易・省力的な施用方法としてタンク内施用法が可能であることを明らかにした。しかし、その結果は5段栽培という短期間の栽培の結果をまとめたものである。本節では、より実用的な場面を想定し、実用化へ近づけるため、Ⅱ章で検討した長期促成15段栽培におけるタンク内施用法の果実生産性と養分利用効率について、Ⅲ-2と同時期に栽培を行い、他の施用方法と比較・検討を行った。

2) 材料および方法

実験は当研究センター内のプラスチックハウス (252m²) で行った。供試品種と育苗方法はⅡ-2と同様で、播種は2010年9月12日、鉢上げは2010年9月29日に行った。2010年10月20日に、Ⅱ-4で用いたものと同一の防根ひも栽培装置に定植した。給水ひもは1株に1本配し、ひもを通す栽培容器側面の穴と水面との距離は終始3cmに保った。培地はポットに充填したのと同じものを扱い、培地量は株あたり3Lとした。栽植様式は、Ⅱ-4と同様とした。処理区としては、①大塚A処方1/2単位濃度培養液で管理 (培養液区)、②CRFを培地混和 (混和区)、③CRFをひも上置肥⁴⁾ (置肥区)、④CRFをタンク内施用しⅢ-1で用いた方法で硝化处理 (タ

第18表 CRFの施肥量 (g/株)

使用した肥料	日数 ¹⁾	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
鶏糞燃焼灰			2.0	1.8	2.3	0.6
エコロングトータル313	140	2.0	1.7	2.0		0.3
スーパーエコロング	100	2.9	2.5	2.9		0.0
スーパーエコロング	140	2.9	2.5	2.9		
ロングショウカル	140	7.4			14.3	
エコカリコート	140	1.0		19.0		
ロング硫マグ	180					2.7
合計		16.2	8.6	28.6	16.6	3.6

- 1) 25℃水中で80%の成分が溶出する日数。

ンク区)の合計4処理区を設定した。置肥区については鶏糞燃焼灰を培地に混合し、それ以外の肥料の全量を①エコロングトータル313+スーパーエコロング、②ロングショウカルおよび③エコカリコート+ロング硫マグの三種類に分け、それぞれを9.5×7cmのポリエステル製の袋に入れ、給水ひも上に置いた。タンク区については、鶏糞燃焼灰を培地に混合し、それ以外の肥料の種類ごとにポリエステル製の不織布に包んで40Lの給水タンク内に投入した。タンク内の硝化処理は、200gのバーク堆肥をタンク内に投入し2L/分でエアレーションをすることで行った。CRFの施肥量についてはⅡ-4における結果を参考にして第18表のとおりとした。施肥窒素中のNH₄-N含有率は24%であった。実験区は各区8株の3反復とした。2011年5月2日に15段果房上の2葉を残して摘心し、2011年6月22日に収穫を終了した。温室内の温度管理については、最低13℃に設定して加温し、28℃以上で換気を行った。週に3回、給水タンク内の養液のNO₃-N濃度とNH₄-N濃度について小型反射式光度計(RQフレックス,メルク)を用いて測定した。各区8株について約1週間に1回果実を収穫し、Ⅱ章と同様の方法で果実の重量と個数および糖度を測定した。また、各区の生育中庸な4株について、摘葉した下葉と収穫果実および実験終了時の茎葉を80℃で72時間以上乾燥し、粉碎した。乾物中の窒素、リンおよびカチオンをⅡ章と同様の方法で分析した。栽培後の残存肥料についても80℃乾燥させた後、同様の方法で各成分を分析した。さらに、栽培前と栽培終了後の培地を採取して風乾させた後、全窒素、可給態P₂O₅および交換性塩基類をⅡ-2と同様の方法で分析した。

3) 結果および考察

(1) 給水タンク内のNH₄-N濃度比率の推移

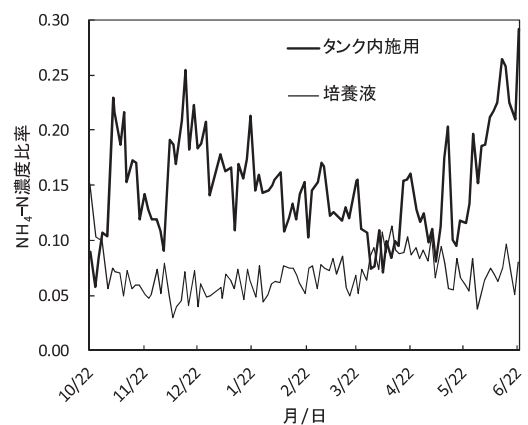
第22図にタンク区と培養液区における給水タンク内の全N成分に対するNH₄-Nの濃度比率を示した。タンク区では、タンク内のNH₄-N濃度比率は培養液よりはやや高く推移したものの、概ね0.1~0.2の間(生育期間平均は0.15)と施肥窒素中のNH₄-Nの含有比率(0.24)よりはかなり低い比率で推移した。したがって、タンク内の硝化処理は有効に働い

ていたと考えられる。

(2) 果実収量および部位別乾物重

第19表に果実収量および部位別乾物重を示した。可販果収量は、混和区とタンク区では培養液区とはほぼ同じ水準であったが、置肥区では他の区よりも有意に小さかった。尻腐れ果の発生率は各処理区でも低かった。Ⅲ-2において置肥法では下位果房における尻腐れ果の発生が多かったが、本実験では非常に少なかった。これは、Ⅲ-2の実験に比べて施肥窒素中のNH₄-N含有比率が低いことと栽培期間が尻腐れ果の発生しにくい低温期であることが要因としてあげられるが、本実験においてもNH₄-N含有比率が24%と高いため、その他の何らかの環境要因も考えられる。茎葉乾物重および果実乾物重は、いずれも培養液区で最も大きく、置肥区で最も小さかった。

したがって、同じ肥料を用いたにもかかわらず、置肥区において混和区やタンク区よりも果実収量が



第22図 給水タンク内の硝化処理がNH₄-N濃度比率に及ぼす影響

第19表 肥料の施用方法が果実収量および部位別乾物重に及ぼす影響

処理区	総収量 (g/株)	可販果収量 (g/株)	果実糖度 (Brix%)	尻腐れ果率 (%)	乾物重(g/株)	
					茎葉	果実
混和	8237 ab ²⁾	7891 a	5.8 b	2.1	254 b	481 b
置肥	7462 b	7055 b	5.8 b	0.5	225 c	442 c
タンク	8269 a	7831 a	5.9 b	1.4	263 b	470 b
培養液	8660 a	7982 a	6.5 a	2.5	325 a	553 a
ANOVA ¹⁾	**	*	**	ns	***	***

1) ***, **および*はそれぞれ、0.1%, 1%および5%水準で有意、nsは5%水準で有意でないことを示す(n=3)。

2) 同一列の異なる符号間に5%水準で有意差あり(Tukey検定, n=3)。

小さかったのは、茎葉乾物重が混和区やタンク区よりも小さく、生育が劣ったためと考えられる。また、混和区、タンク区および培養液区の総果実収量および可販果収量には差はなかったが、果実乾物重は培養液区で有意に大きかった。したがって、培養液区では果実の乾物率が高いことになるが、これは培養液区において果実糖度が高かったことに通じる。

(3) 養分吸収量

第20表に養分吸収量を示した。1株あたりの養分吸収量はすべての成分でCRFを施用した区の方が培養液区よりも有意に小さかった。CRF施用区の間でみると、置肥区のN、P₂O₅およびK₂Oの吸収量は、混和区およびタンク区よりも有意に小さかった。この傾向は部位別乾物重の傾向とほぼ一致した。したがって、置肥区では養分吸収量が少なかったために茎葉乾物重が小さかったと考えられる。果実生産1kgあたりの養分吸収量をみると、すべての成分において、CRF施用区で培養液区よりも小さい傾向がみられた。すなわち、CRF施用区で果実生産に対する養分利用率が高かった。この結果は、II章でCRFの培地混和法によって得られた結果と同様であった。したがって、肥料の施用方法を変えても、CRFを施用した場合には量的な肥培管理となってお

り、濃度管理の培養液管理よりも養分利用効率が高まることが明らかとなった。

(4) 栽培終了時における養分残存量

第21表に栽培終了時における培地および残存肥料中の養分含有量を示した。同じ施肥量であるCRF施用区の間で比較すると、培地の残存量と肥料の残存量を合計した値(合計値)は、各成分とも置肥区において混和区およびタンク区よりも高い傾向にあり、特にNとK₂Oに関しては有意に高かった。すなわち、施肥量から培地と肥料の養分残存量を引いた値であるみかけの養分吸収量が、置肥区では混和区やタンク区よりも小さかったことになる。置肥区は残存肥料の養分含有量が各成分ともタンク区よりも高い傾向にあり、肥料の溶出量が少なかった。一方、混和区とタンク区における合計値はほぼ同等であったことから、みかけの養分吸収量が同等であり、肥料の溶出量もほぼ同等であったと考えられる。みかけの養分吸収量の結果は、地上部の養分吸収量の結果とよく一致することから、置肥区における養分吸収量が混和区やタンク区よりも少なかったのは、肥料の溶出量がそれらの区よりも少なかったためと考えられる。

今野ら⁴⁶⁾もCRFを透水性の袋に入れてひも上置

第20表 肥料の施用方法が養分吸収量に及ぼす影響

処理区	1株当たりの養分吸収量(g/株)					果実生産1kg当たりの養分吸収量(g kg ⁻¹)				
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
混和	16.2 b ²⁾	6.3 b	25.3 b	6.3 b	2.6 b	1.97 b	0.77 b	3.08 b	0.77 b	0.31 b
置肥	15.3 c	5.0 c	21.7 c	6.3 b	2.2 b	2.05 ab	0.68 b	2.90 b	0.85 b	0.30 b
タンク	16.2 b	6.7 b	25.7 b	6.8 b	2.8 b	1.96 b	0.81 b	3.11 b	0.82 b	0.34 b
培養液	20.0 a	9.3 a	30.9 a	11.4 a	4.3 a	2.31 a	1.07 a	3.56 a	1.30 a	0.49 a
ANOVA ¹⁾	***	***	***	**	**	*	***	***	**	**

- 1) ***, **および*はそれぞれ、0.1%、1%および5%水準で有意であることを示す (n = 3)。
- 2) 異なる符号間に5%水準で有意差あり (Tukey検定, n = 3)。

第21表 肥料の施用方法が栽培終了時における養分残存量に及ぼす影響 (g/株)

処理区	N			P ₂ O ₅			K ₂ O			CaO			MgO		
	培地	肥料	合計	培地	肥料	合計	培地	肥料	合計	培地	肥料	合計	培地	肥料	合計
栽培前	3.73	-	3.73	0.27	-	0.27	0.71	-	0.71	7.45	-	7.45	0.85	-	0.85
混和	6.36 a ²⁾	-	6.36 b	3.58 a	-	3.58	3.73 a	-	3.73 b	12.48 a	-	12.48 a	2.58	-	2.58
置肥	5.00 b	3.31	8.32 a	0.96 c	3.36	4.33	2.87 a	5.93	8.80 a	11.56 a	2.39	13.96 a	2.56	0.96	3.52
タンク	4.74 b	1.56	6.30 b	0.89 c	2.46	3.35	0.77 b	2.11	2.88 b	10.88 a	1.84	12.71 a	2.04	0.71	2.75
培養液	6.15 a	-	6.15 b	2.64 b	-	2.64	2.34 ab	-	2.34 b	6.51 b	-	6.51 b	2.65	-	2.65
ANOVA ¹⁾	**	-	**	***	-	ns	**	-	***	**	-	**	ns	-	ns

- 1) ***, **および*はそれぞれ、0.1%および1%水準で有意、nsは5%水準で有意でないことを示す (n = 3)。
- 2) 同一列の異なる符号間に5%水準で有意差あり (Tukey検定, n = 3)。

肥を行った結果、培地に混和する場合に比べて溶出率の低下による養分吸収量の不足を報告しており、この要因として、肥料が置肥袋内で約6層にも積み重なった結果、袋内の空隙が拡大し、毛細管現象による給水が袋内部に十分に行われなかったためと考察している。今野らの実験は7段栽培であったが、本実験は15段栽培であり、さらに多くのCRFを施肥している。その結果、肥料袋は約2.5cmの厚さで肥料が10層以上に積み重なり、上述の理由で溶出率が低下したものと考えられる。今野らは解決策として、袋を拡大して多層による空隙を減らし、肥料が水と接する表面積を増大させるか、粒径の小さな肥料を用いる必要があると述べている。しかし、培地量が3Lと限られている状況では、本実験のような多量の肥料を必要とする長期栽培の場合には、これ以上袋を拡大するスペースがほとんどないように思われた。よって、対策の1つとして培地量を増やした上で横長の栽培容器を利用することで溶出率が高まる可能性はある。一方、佐藤ら¹⁴¹⁾は、ネット入り肥料の養分溶出率は、充填する施肥量が少ないと肥料と土壌の接触面積の割合が相対的に高まるため、養分溶出率が高まると述べている。また、置肥の方法として今野ら⁴⁷⁾は、基肥を培地中に置肥し、追肥を栽培容器の外のひも上に置肥する方法を提案している。したがって、15段栽培に必要な肥料を基肥と追肥に分け、1回の施肥量を減らすことで溶出率を高めうる可能性もある。いずれにしても、トマトの長期栽培に置肥法を導入するのは新たなコストや手間を要することとなり、その点ではデメリットが大きい。

培地に残存した養分量をみると、混和区に比べて置肥区ではNとP₂O₅、タンク区ではそれに加えてK₂Oが少なかった。本栽培方式においてCRFを施用した場合、培地を再利用しようとする、次作の肥料設計時に培地中の残存養分量を考慮して設計するという煩雑な作業を行う必要がある。この点で置肥法やタンク施用法は混和法に比べて培地の再利用に適した施肥法であるといえる。置肥区およびタンク区において培地に残存したNとP₂O₅、タンク区において培地に残存したK₂Oは、栽培前の水準にほぼ近く、これらの成分については次の作付も同じ施肥設計でも問題ないように思われた。一方、CaOと

MgOに関しては、CRF施用区間で有意差はなく、いずれの区も栽培前の水準よりも高かった。これらの成分は他の交換性塩基と比較して土壌に吸着されやすい性質を持ち¹⁸⁴⁾、実際にⅢ-2の栽培実験においても同様に培地中に大量に残存した。したがって、これらの成分は吸収しきれなくて残存したのではなく、土壌に吸着された可能性が高いと考えられる。以上から、置肥区およびタンク区については、施肥設計を修正せずにこのまま培地を再利用できると考えられる。しかし、置肥法では、上述のように長期栽培に導入するのは新たなコストや手間を要することとなるし、肥料袋を作成する手間とコストも必要である。その点、タンク施用法は、1ハウス分の肥料をまとめて給水タンク内に施用し、栽培終了後は肥料を取り出すことで培地を再利用することができ、施肥労力や施肥コストを低減することができるので、タンク施用法は極めて実用性の高い施肥方法であるといえる。

(5) まとめ

以上のことから、タンク施用法は、施肥が極めて簡便であり施肥労力を軽減でき、培地混和法と比べて同等の果実収量および養分利用効率を得ることができるとともに、培地中の養分残存量を減らすことで培地の再利用が容易となることから防根ひも栽培法による長期促成栽培において極めて実用性の高い施肥方法であると考えられた。

5 摘要

本章では、トマトの防根ひも栽培法において、施肥の簡素化・軽労化と培地の再利用の簡便化を目指し、CRFのタンク内施用法の開発を行った。その際、培地混和法や置肥法と果実生産性や養分動態の違いについて比較を行うとともに、タンク内施用法における尻腐れ果発生の抑制法について検討した。得られた結果は以下のように要約される。

- ① 予備実験からタンク内施用法ではCRF含有窒素の高いNH₄-N比率によると考えられる尻腐れ果の発生が懸念されたことから、その対策として給水タンク内の窒素の硝化を促進する方法について検討した結果、タンク内にパーク堆肥を添加しエアレーションを行うことで硝酸化成が

効率的に進むと考えられた。

- ② タンク内施用法が可能かどうかを検討するために、CRF 施用法を、培地混和法、置肥法およびタンク内施用法の3種類として、生育および収量を春夏作および秋冬作で比較するとともに、給水タンク内の硝化処理が尻腐れ果の軽減に有効かどうかを検討した。その結果、CRFの培地混和法に比べてタンク施用法では、尻腐れ果の発生が多いため可販果収量が少なかったが、給水タンク内で硝化処理を行うと、可販果収量は培地混和区並に増加し、CRFのタンク内施用法は十分成立すると考えられた。また、CRFの施用法による尻腐れ果の発生率の違いは、果実肥大初期のCa吸収量の違いによるものであり、Caの吸収抑制はNH₄-N吸収との拮抗作用によるものと考えられた。
- ③ NH₄-Nを¹⁵NでラベリングしたCRFを用いて、施肥方法の違いが、木部いっ泌液中の窒素形態別の濃度に及ぼす影響を調査した。その結果、置肥法およびタンク施用法では、培地混和法に比べて施肥窒素が根に吸収されるまでに十分に硝化されないためにCa吸収阻害が起こりやすく、尻腐れ果が多発したと推察された。
- ④ 長期促成栽培におけるタンク内施用法の検討を行った結果、タンク施用法は、培地混和法と比べて同等の果実収量および養分利用効率を得ることができるとともに、培地の再利用が容易であると考えられたことから、防根ひも栽培法による長期促成栽培において極めて実用性の高い施肥方法であると考えられた。

Ⅳ 総 括

防根ひも栽培法は、底面給液法の一手法であり、フロートバルブなどを用いて給水樋の水位を一定に保つことで、培地含水量をほぼ一定に保つことができ、給液の管理や制御のための装置が不要であるとともに、排水処理のための装置も必要としないため、装置の簡易化が可能であり、省力的であると同時に生産者の経済的な負担も小さいと考えられる。そのため、一般の養液栽培に比べて、わが国の中山間地などに多い小規模農家でも導入が比較的容易である

と考えられる。本栽培法における施肥方法としては、培養液を利用する方法のほかにCRFを栽培前に全量基肥施用する方法が考えられる。後者の方法では、液肥混入装置が不要であるため、栽培装置のさらなる低コスト化と施肥の簡略化により、極めて簡易かつ環境保全的な肥培管理法が可能となる。そこで本研究では、トマトにおける簡易かつ低コストな栽培法としてCRFを利用した防根ひも栽培法を確立することを目的とした。本研究で得られた結果を概括すると以下ようになる。

Ⅱ章では、促成トマトの防根ひも栽培に適する培地の条件を明らかにするため、先行の研究⁹³⁾で用いられたものに近い組成の混合培地（田土：パーク堆肥：ピートモス：パーライト＝2：4：1：1）を含む培地の種類が生育および収量に及ぼす影響について検討するとともに、促成トマトの防根ひも栽培法においてCRFを用いた培地混和による全量基肥施用法の開発を行った。

培地比較試験の結果、培地の種類によって三相分布は大きく異なり、栽培の前後でも粉碎籾殻、混合培地、籾殻燻炭およびパーク堆肥では、その分布が大きく変化した。可販果収量には培地間で大きな違いがみられ、混合培地で最も高く、粉碎籾殻で最も低かった。果実糖度には培地間で有意差は認められなかった。栽培前後の培地の液相率および気相率と可販果収量との間の関係をみると、気相率よりも液相率の方が、また栽培後より栽培前の値の方が相関は高かった。パーク堆肥および粉碎籾殻において、培地溶液のECおよびPO₄-Pを除く無機成分濃度が他の培地よりも高くなる時期があったが、養分の過剰や欠乏の症状は特にみられなかったことから、本実験の範囲では培地溶液の無機成分濃度が収量に及ぼす影響は小さいと考えられた。以上の結果から、促成トマトの防根ひも栽培における培地選択の際には、栽培前の混合培地の液相率を指標にすることができ、本手法では、液相率が45～55%の範囲に入るよう設定すれば適当と判断され、この点で、上記の混合培地は本手法に適しているものと考えられた。そのため、以降の研究では、田土：パーク堆肥：ピートモス：パーライト＝2：4：1：1の混合培地を使用することとした。

次に、培地混和法によるCRF施用において、促

成15段栽培に適切な施肥量(1株あたり)を明らかにするために、11.3 g、16.2 gおよび21.0 gの3段階の窒素施肥量を検討した。21.0 gでは塩類濃度障害の萎れ症状がひどく途中で栽培を打ち切った。可販果収量には16.2 gと11.3 gで有意差はなかったが、果実糖度は16.2 gの方が高かった。栽培終了時の莖径は、16.2 gの方が11.3 gより大きかった。11.3 gと16.2 gにおいて、培地溶液の無機成分濃度は、生育中期以降各成分とも低濃度で推移したことから、培地溶液中への養分蓄積は生じないと考えられた。以上のことから、窒素施肥量でみた場合、大玉トマト促成15段栽培では株あたり16.2 gの施肥が適量の範囲内であると考えられた。

続いて、前実験において適当と考えられた16.2gN/株のCRFを施用した場合とEC管理による培養液を施用した場合において果実収量などを比較した。可販果収量はCRF施用の方が低く、その差は主に上位果房の収量差によるものであった。栽培終了時の莖径は下位果房下ではCRF施用の方が大きかったが、上位果房下では培養液施用の方が大きかった。したがって、収量性を向上させるためには、施用するCRFの種類を再検討する必要があると考えられた。一方、CRFの施用で培養液を施用した場合よりも果実生産に対する養分利用効率を高められる可能性があることが示唆された。また、培地溶液中のECおよび無機成分はCRF施用の方が低く推移し、特に生育中期以降は非常に低い値で推移した。このことから、CRFを施用した場合、肥料からの成分の溶出と植物の吸収のタイムラグが非常に小さい可能性も示唆された。

これらの結果を基に、施用するCRFの種類を改良した上でEC管理による培養液管理と果実生産量や養分利用効率および時期別の養分吸収を比較したところ、可販果収量には施用した肥料の種類によって差がみられなかったがCRFを施用した方が養分吸収量は少なく、果実生産に対する養分利用効率は高かった。したがって、CRFを施用した場合、培養液施用に比べて収量性を維持した上で養分利用効率を高められることがわかった。肥料の違いによる養分吸収量の差は、木部いっ泌液を分析した結果、主に生育後半に生じていると考えられた。また、培地溶液中のECおよび無機成分はCRF施用の方が低く推

移し、特に生育中期以降は非常に低い値で推移したのに対し、いっ泌液中の無機成分濃度は高い値を示したことから、CRFを施用した場合、肥料からの成分の溶出と植物の吸収のタイムラグが非常に小さいという先述の仮説を強く支持する結果となった。

以上の結果から、CRFの施用でも培養液施用と同等の果実収量を得ることが可能であるとともに、培養液を施用する場合に比べて果実生産に対する養分利用効率を高められることがわかった。

Ⅲ章では、本栽培法において、施肥の簡素化・軽労化と培地の再利用の簡便化を目指し、CRFを給水タンク内に施用する方法の開発を行った。その際、培地混合法や置肥法との間で果実生産性や養分動態の違いについて比較を行うとともに、タンク内施用法における尻腐れ果発生の抑制法について検討を行った。まず、予備試験の結果からタンク内施用法ではCRF含有窒素の高いNH₄-N比率によると考えられる尻腐れ果の発生が懸念されていたため、その対策として給水タンク内の窒素の硝化を促進する方法について検討した。その結果、タンク内にバーク堆肥を添加しエアレーションを行うことで硝酸化成を効率的に進められると考えられた。

次に、CRFの施用法としてタンク内施用法が可能かどうかを検討するために、培地混合法ならびに置肥法と生育および収量を春夏作および秋冬作において比較するとともに、給水タンク内の硝化处理が尻腐れ果の軽減に有効かどうかについて検討した。その結果、CRFの培地混合法に比べてタンク施用法では、尻腐れ果の発生が多いため可販果収量が少なかったが、給水タンク内で上述の方法による硝化处理を行ってNH₄-N濃度比率を低下させると、可販果収量は培地混和区並に向上することから、CRFのタンク内施用法は十分成立可能であると考えられた。また、CRFの施用法によって尻腐れ果の発生率が異なったが、これは果実肥大初期のCa吸収量の違いによるものであり、Caの吸収抑制はNH₄-N吸収との拮抗作用によるものと考えられた。この結果から、CRFの施用方法により、窒素を吸収する段階での施肥窒素の形態別の割合が異なる可能性が考えられた。そこで、NH₄-Nを¹⁵NでラベリングしたCRFを用いて、施肥方法の違いが、木部いっ泌液中の窒素形態別の濃度と形態変換に及ぼす影響を調査した。

その結果、置肥法およびタンク施用法では、培地混和法に比べて施肥窒素が根に吸収されるまでに十分に硝化されないためにCa吸収阻害が起りやすく、尻腐れ果が多発したと推察された。

これらの結果を基に、より実用的な場面を想定し、長期促成栽培におけるCRFのタンク内施用法の検討を行った結果、タンク施用法は、培地混和法と比べて同等の果実収量および養分利用効率を得ることができるとともに、培地中の養分残存量が少ないので培地の再利用が容易になると考えられた。以上のことから、CRFのタンク内施用法は防根ひも栽培法による長期促成栽培において極めて実用性の高い施肥方法であると考えられた。

以上のように、本研究によって、長期促成トマトの防根ひも栽培法におけるCRFを用いた簡易かつ省力的な肥培管理技術を開発することができた。また、CRFの施用は濃度管理による培養液の施用に比べて、果実生産に対する養分利用効率を高められることから、施肥量の低減が可能であることがわかった。このことは、資源の節約や環境保全、さらに農業経営上大きなメリットである。また、Ⅲ章で検討したCRFの給水タンク内への施用技術は今までほとんど検討されることのなかった技術であり、非常に省力的な施肥技術であることから、一般の養液栽培も含めて今後利用する価値の高いものであると考えられる。

一方、梶田ら⁹⁸⁾は、防根ひも栽培法によるトマト栽培を行った結果、水利用率が97%と極めて高く、乾物生産や果実生産に対する水利用効率も従来の灌水手法に比べて高いことを示している。したがって、本栽培法は節水栽培と位置づけることもできる。また、Ⅱ章で図示した栽培装置は自作が可能であり、資材コストは10 aあたり約150万円と見積もられる。これは、一般の養液栽培の設置費用の1/2～1/4程度であり、極めて低コストである。また、本栽培法と同様に吸水性の資材を用いて毛管給液を行う簡易・低コストな栽培システムがSakuma・Suzuki¹³⁹⁾、浦山ら¹⁷¹⁾あるいはZarza-Silvaら^{186, 187)}によって開発されている。それらの資材コストをみると、Sakuma・Suzukiのシステムの資材コストは浦山¹⁷⁰⁾によって10 aあたり315万円、Zarza-Silvaらのシステムの資材コストは10 aあたり226万円と

見積もられており、それらのシステムと比較しても本栽培法の方が格段に低コストである。これは、本栽培法の方が使用する資材が少ないためであると考えられる。一方、一般の養液栽培における低コスト型の栽培槽としてポリマルチを利用したものがあるが、それに比べると栽培槽には比較的耐久性の高い雨樋を使用しているため、耐用年数は長いと考えられる。したがって、本栽培法は、極めて水利用効率の高い節水栽培であるとともに低コストな栽培システムであることから、例えば途上国の乾燥地帯など、投資能力が小さい上に灌漑用水が限られている地域に最も適していると考えられる。わが国は降雨量が多いため水に困ることは比較的少ないが、それでも香川県をはじめとする瀬戸内地域などでは降雨不足による渇水が問題となることがしばしばあり、灌漑用水の確保が難しい場合もあるため、そういった地域において本栽培法は適していると考えられる。

最後に、本栽培技術における残された課題について述べる。先述のように、CRFの利用によって、果実生産に対する養分利用効率を高められることがわかったが、CRFの溶出は温度に依存したものであるため、作型や地域が異なる場合、本研究で施用した肥料の組み合わせがそのまま適用できない可能性が高い。特に、土耕栽培と異なり土からの養分供給がほとんどないことから、肥料の養分量や溶出速度をあらかじめ推定することは極めて重要である。給水タンク内水温や培地温がわかれば、CRFの窒素の溶出は市販のソフトを使ってシミュレートできるため、タンク水温や培地温をあらかじめその作型や地点の気温や日射量などの気象条件からシミュレートできるようにモデルを開発する必要があると考えられる。また、トマトの品種が異なる場合も必要養分量が異なると考えられるため、品種に応じた施肥量を検討する必要がある。特に、養分要求量が大きく異なると考えられる大玉、中玉および小玉別に適正施肥量を整理する必要があると考えられる。これらの点は、本栽培法においてCRFの利用を広めるために必要な課題であり、今後の検討を要する。

現在、防根ひも栽培法は、西日本地域の数カ所の生産者によって導入されており、徐々に栽培面積は広まりつつある。今後、本栽培法の認知度が上がり、コンセプトと導入のメリットを理解して、導入する

生産者が増加すれば幸いである。

謝 辞

本論文を取りまとめるにあたり、岡山大学大学院教授（現名誉教授）・榊田正治博士には終始懇切なご指導とご鞭撻を賜った。心より感謝の意を表す。同教授・吉田裕一博士、同准教授（現石川県立大学教授）・村上賢治博士からは多くの適切なお助言とご校閲を賜った。また、同教授・後藤丹十郎博士には適切なお助言を賜った。深く感謝の意を表す。さらに、近畿中国四国農業研究センター傾斜地園芸研究領域長の田坂幸平博士ならびに東北農業研究センター畑作園芸研究領域長の熊倉裕史博士には本論文を校閲していただいた。心より御礼申しあげる。

本研究は、筆者が岡山大学大学院博士課程に在籍しつつ、近畿中国四国農業研究センターにおいて実施したものであり、遂行にあたっては多くの方々のご指導ならびにご協力をいただいた。元中山間傾斜地域施設園芸研究チーム長（現北海道農業研究センター）の菅谷博氏には大学院に在籍しての研究を開始・遂行するにあたり暖かいご配慮をいただいた。実験を行うにあたって、元広域農業水系保全研究チームの吉川省子博士（現農業環境技術研究所）、渡邊修一氏（現営農・環境研究領域）ならびに石川葉子博士（現中央農業総合研究センター）、元レタスビッグベイン研究チーム（現水田作研究領域）の野見山孝司氏ならびに元中山間傾斜地域施設園芸研究チーム（現花き研究所）の中野善公博士には、元素分析や無機成分濃度の測定などの化学分析の手法や、イオン交換樹脂を用いた実験手法についてご教示いただいた。また、中山間傾斜地域施設園芸研究チーム（現傾斜地園芸研究領域）の研究職員の方々には多くの有益な示唆とご激励をいただいた。さらに、栽培管理や分析補助では、業務第2科の香川基氏、渡辺修一氏、香川信次氏、加賀宇昌宏氏、関浩二氏、秋山正樹氏、松崎健文氏、森江昌彦氏、塩本知氏、上枝博樹氏、桑田将能氏ならびに契約職員の中路純子氏にご助力いただいた。ここに記して関係者各位に深く感謝の意を表す。

引用文献

- 1) Akl, I. A., D. Savvas, N. Papadantonakis, N. Lydakis-Simantris, and P. Kefalas 2003. Influence of ammonium to total nitrogen supply ratio on growth yield and fruit quality of tomato grown in a closed hydroponic system. *Europ. J. Hort. Sci.* 6: 204 – 211.
- 2) Allaire, S. E., J. Caron, C. Menard and M. Dorais 2005. Potential replacements for rock wool as growing substrate for greenhouse tomato. *Can. J. Soil. Sci.* 85: 67 – 74.
- 3) 青久・稲垣卓次 2000. 茶栽培における被覆尿素を用いた省力施肥法と硝酸態窒素の溶脱低減効果. *土肥誌* 71: 546 – 549.
- 4) Armstrong, M. J. and E. A. Kirkby 1979. Estimation of potassium recirculation in tomato plants by comparison of the rates of potassium and calcium accumulation in the tops with their fluxes in the xylem stream. *Plant Physiol.* 63: 1143 – 1148.
- 5) 芦田哲也 2003. 初期溶出抑制型被覆肥料利用によるマリーゴールド及びインパチェンスの草姿改善技術. *京都農研報* 25: 27 – 32.
- 6) 坂東一宏・河野充憲・黒田康文・草刈真一・山崎基嘉・前田拓也・高麗寛紀 2008. トマトロックウール栽培における銀担持光触媒を利用した殺菌装置の殺菌効果と収量、品質、培養液無機成分濃度に及ぼす影響. *園学研* 7: 309 – 315.
- 7) 坂東一宏・町田治幸 1992. トマトのロックウール栽培実用化技術の確立（第4報）循環方式における培養液組成が品質、収量に及ぼす影響. *徳島農試研報* 28: 35 – 42.
- 8) Bialczyk, J., Z. Lechowski, and D. Dziga 2004. Composition of the xylem sap of tomato seedlings cultivated on media with HCO_3^- and nitrogen source as NO_3^- or NH_4^+ . *Plant and Soil.* 263: 265 – 272.
- 9) Böhme, M. 1995. Effects of closed systems in substrate culture for vegetable production in

- greenhouses. *Acta Hort.* 396: 45 – 54.
- 10) Bradfield, E. G. and C. G. Guttridge 1984. Effect of night-time humidity and nutrient solution concentration on the calcium content of tomato fruit. *Sci. Hort.* 22: 207 – 217.
 - 11) 近乗偉夫・安部勇徹・宝満利行 1992. もみがらを培地とした低コスト養液栽培装置の開発. *大分農技セ研報* 22: 97 – 110.
 - 12) Chiu, T. and C. Bould 1976. Effects of shortage of calcium and other cations on ⁴⁵Ca mobility, growth and nutritional disorders of tomato plants (*Lycopersicon esculentum*). *J. Sci. Food Agric.* 27: 969 – 977.
 - 13) 伊達修一・寺本 豊・村山乃里子・寺林 敏・藤目幸廣 2007. アンモニア態窒素比率の低い緩効性肥料の使用による低投入・低排出型 (Low Input and Low Emission; LILE) 水耕栽培装置の改良. *園学研* 6 (別1): 160.
 - 14) 土井元章・小野芳三・矢次雅恵・浅平 端 1988. 緩効性被覆肥料を用いたイチゴの簡易ロックウール栽培. *生環調* 26: 101 – 106.
 - 15) Dolar, S.G. 1971. A self-watering system for growing plants in potted soils. *Agr. J.* 63: 334 – 336.
 - 16) Ehert, D. and L. C. Ho 1986. Translocation of calcium in relation to tomato fruit growth. *Ann. Bot.* 58: 679 – 688.
 - 17) 遠藤昌伸・切岩祥和・糠谷 明 2006. イチゴ‘章姫’の養液栽培におけるヤシ殻とPEATの混合比率が生育, 収量, 水分生理特性に及ぼす影響. *園学雑* 75: 344 – 349.
 - 18) 舟越雄二・磯村政弘 2000. イチゴの高設栽培技術の確立 第2報 杉皮培地での施肥量, 培地加温, 連作数と生育・収量. *九農研* 62: 181.
 - 19) ———・松垣喜詞・磯村政弘・徳丸健太郎 1999. イチゴの高設栽培技術の確立. *九農研* 61: 166.
 - 20) Ge, T., D. Tang, B. Lu, S. Song, and D. Huang 2008. Influence of organic and inorganic nitrogen supply on the composition of tomato seedling root exudates, xylem and phloem sap grown in hydroponic culture. *Acta Hort. Sinica.* 35: 39 – 46.
 - 21) Gerard, C. J. and B. W. Hipp 1968. Blossom-end rot of ‘Chico’ ‘Chico Grande’ tomatoes. *Proc. Am. Soc. Hort. Sci.* 93: 521 – 531.
 - 22) Goodwin, P. B., M. Murphy, P. Melville and W. Yiasoumi 2003. Efficiency of water and nutrient use in containerized plants irrigated by over head, drip or capillary irrigation. *Austral J. Expt. Agr.* 43: 189 – 194.
 - 23) 羽生友治 2007. 被覆肥料. 緩効性化学肥料. 農業技術体系土壌施肥編7-①. 農文協, 東京. 135 – 144の15.
 - 24) Hartman, P. L., H. A. Mills, and J. B. Jones, Jr 1986. The influence of Nitrate: ammonium ratios on growth, fruit development, and element concentration in ‘Floradel’ tomato plants. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 111: 487 – 490.
 - 25) 橋田泰昌・徳永和代・内野浩二・川島俊次・橋元祥一 2004. 屋根掛け栽培‘吉田ポンカン’における肥効調節型肥料を用いた省力施肥法. *鹿児島県果樹試研報* 4: 9 – 17.
 - 26) He, Y., S. S. Terabayashi, and T. Namiki 1998. The effect of leaf position and time of sampling on nutrient concentration in the petiole sap from plants cultured hydroponically. *J. Jpn. Soc. Hort. Sci.* 67: 331 – 336.
 - 27) Hegde, D. M. and K. Srinivas 1990. Effect of irrigation and nitrogen fertilization on yield, nutrient uptake, and water use of tomato. *Gartenbauwissenschaft.* 55: 173 – 177.
 - 28) Heiskanen, J. 1995. Water status of sphagnum peat and a peat-perlite mixture in containers subjected to irrigation regimes. *HortScience.* 30: 281 – 284.
 - 29) 東出忠桐・笠原賢明・伊吹俊彦・角川 修 2005. 傾斜地トマト栽培のための低コスト・閉鎖系養液栽培システムの開発. *園学研* 4: 33 – 40.
 - 30) Higashide, T., H. Shimaji, H. Hamamoto and M. Takaichi 2004. A method to measure low drainage flow and to control nutrient solution

- supply in aeroponics system. Environ. Cont. Biol. 42: 277 - 286.
- 31) 日置雅之・池田彰弘・山田良三・早川岩夫 1996. 肥効調節型肥料を用いた露地野菜の全量基肥施肥法 (第1報) 年内採りハクサイ. 愛知農総試研報 28: 141 - 147.
- 32) ———・————・————・———— 1997. 肥効調節型肥料を用いた露地野菜の全量基肥施肥法 (第2報) 年内採りブロッコリー. 愛知農総試研報 29: 121 - 126.
- 33) ———・今井克彦・池田彰弘・久野智香子・岩田久史 1995. 肥効調節型肥料を用いた小麦の全量基肥施肥法. 愛知農総試研報 27: 69 - 76.
- 34) Ho, L. C. 1989. Environmental effects on the diurnal accumulation of ⁴⁵Ca by young fruit and leaves tomato plants. Ann. Bot. 63: 281 - 288.
- 35) ———, R. Belda, M. Brown, J. Andrews, and P. Adams 1993. Uptake and transplant of calcium and the possible causes of blossom-end rot in tomato. J. Exp. Bot. 44: 509 - 518.
- 36) 北条正章 2001. 培養液の交換と廃棄. 養液栽培. 農業技術体系野菜編12. 農文協, 東京. 96の68 - 72.
- 37) 本間利光・白鳥 豊・門倉綾子・星野 卓 2002. 砂丘地ダイコン栽培における環境保全的施肥法の検討. 新潟農総試研報 5: 11 - 19.
- 38) 細井徳夫 2001. 養液耕による施設栽培長段トマト個体群の収量に好適な葉面積指数に関する研究. 野茶試報 16: 329 - 349.
- 39) ———・細野達夫 2005. 個体群葉面積を指標にした肥料施用量の日調節による培養液にN・P・Kの残留がないトマト養液栽培. 野茶研報 4: 87 - 119.
- 40) 細川卓也・小松秀雄・前田幸二・中村和洋・吉田徹志・福元康文 2006. ヤシガラ・パーク成型培地を用いた養液栽培での日射比例給液制御による長段どりトマトの高糖度果実生産. 園学研 5: 39 - 44.
- 41) 池田彰弘・井戸 豊 1994. 被覆尿素を利用したイチジクの全量基肥施肥法. 愛知農総試研報 26: 281 - 286.
- 42) 池田英男 2003. 養液栽培の展開. 五訂施設園芸ハンドブック. 日本施設園芸協会, 東京. 258 - 273.
- 43) ———・大沢孝也 1988. 培養液のNO₃/NH₄比と液温がトマトの生育, 収量ならびに尻腐れ果発生に及ぼす影響. 園学雑 57: 62 - 69.
- 44) 今井克彦・日置雅之・鈴木智香子・澤田守男 1993. 肥効調節型肥料の溶出パターンの推定と水稻の全量基肥施与法への適応性. 愛知農総試研報 25: 51 - 60.
- 45) ———・今泉諒俊 1990. 水稻湛水直播栽培における全量基肥施肥法に関する研究 (1) 窒素供給パターンと生育. 愛知農総試研報 22: 41 - 50.
- 46) 今野裕光・榊田正治・村上賢治 2011. 肥効調節型肥料の紐上置肥によるトマトの防根給水ひも栽培. 園学研 10: 41 - 47.
- 47) ———・村上賢治・榊田正治 2009. 「防根給水ひも」による果菜類の養水分需給バランス栽培法の開発. 第10報. 緩効性肥料のひも上「置き肥」の効果. 園学研 8 (別2): 630.
- 48) 伊森博志・坂東義仁・友廣啓二郎 1994. 遅効性肥料を利用した施肥田植機によるコシヒカリの全量基肥施肥法. 福井農試研報 31: 53 - 63.
- 49) Incrocci, L., F. Malorgio, A. Della Bartola and A. Pardossi 2006. The influence of drip irrigation or subirrigation on tomato grown in closed-loop substrate culture with saline water. Sci. Hortic. 107: 365 - 372.
- 50) 位田藤久太郎 1953. 蔬菜の根の生理に関する研究. 第1報. 蔬菜の酸素要求に就いて. 園学雑 21: 202 - 207.
- 51) 井上博道・伊藤豊彰・三枝正彦 1999. 肥効調節型肥料を用いたデントコーンの全量基肥・接触施肥栽培における雑草の生育反応. 土肥誌 71: 345 - 349.
- 52) 井上恵子・山本富三・末信信二 1994. 水稻「ヒノヒカリ」に対する被覆尿素肥料の施肥法. 福岡農試研報A (作物) 13: 17 - 22.
- 53) 石原良行・人見秀康・八巻良和 2006. 毛管給液を併用したトマトの閉鎖型養液栽培における培養液組成が培地内溶液濃度および収量に及ぼ

- す影響. 園学研 5 : 265 - 270.
- 54) 石井 貴・河野 隆 2007. 露地ニラ栽培における肥効調節型肥料を利用した窒素減肥が収量, 施肥窒素利用率, 環境負荷軽減に及ぼす影響. 茨城農総七園芸研報 15 : 29 - 36.
- 55) 石川 啓・野中 稔・藤井栄一 2002. 肥効調節型肥料による‘宮内イヨ’の施肥効率向上に関する研究. 愛媛果樹試研報 15 : 21 - 34.
- 56) 磯村政弘・舟越雄二 2001. イチゴの高設栽培技術の確立 第3報 杉パーク培地での施肥法と灌水法および培地保水対策. 九農研 63 : 180.
- 57) 磯崎真英・糀谷 斉・小西信幸・黒田克利・佐藤法子・古田堅持・鈴木啓史・田中一久・富川章 2006. 実用規模トマト栽培での排液再利用式ロックウールシステムの有用性の実証. 園学研 5 : 135 - 140.
- 58) ——・小西信幸・黒田克利・佐藤法子・古田堅持・田中一久・富川 章 2005. 排液再利用ユニットを取り付けたロックウールシステムで栽培したトマトの収量および培地内培養液の無機成分濃度の推移. 園学研 7 : 63 - 68.
- 59) ——・——・黒木 誠・野村保明・田中一久 2004. 培養液の廃棄を削減する余剰液再利用ロックウールシステムにおけるトマトの生育および培養液成分濃度の推移. 園学雑 73 : 354 - 363.
- 60) 伊藤豊彰・井上博道・三枝正彦 2000. 耕起法と窒素肥料種が全量基肥・接触施肥栽培におけるデントコーンの出芽に及ぼす影響. 土肥誌 71 : 187 - 193.
- 61) 岩崎泰永・千葉佳朗 1999. 有機質資材を培地としたトマトの循環型養液栽培システムの開発. 宮城園試研報 12 : 1 - 12.
- 62) ——・三枝正彦 2001. 培養液の $\text{NO}_3\text{-N}/\text{NH}_4\text{-N}$ 比がやし殻繊維を培地とする循環型養液栽培における培養液組成とトマトの生育・収量に及ぼす影響. 土肥誌 72 : 214 - 222.
- 63) ——・佐々木丈夫・千葉佳朗・三枝正彦 1999. 土壌を培地としたトマトの循環型灌水施肥システムにおける排液イオン組成の変動. 園学雑 68 : 1161 - 1169.
- 64) —— 2003. 培地の緩衝能を活用したトマトの循環型養液栽培システムの開発. 宮城農園研報 71 : 1 - 64.
- 65) —— 2005. 固形培地の理化学性と作物の生育. 日本土壤肥料学会編. 養液土耕と液肥・培地管理. 博友社, 東京. 29 - 64.
- 66) 景山美葵陽・青木正孝 1969. 被覆下そ菜園土壌の生産力低下防止に関する研究 第5報 トマトの時期別養分吸収について. 園試報 B - 9 : 45 - 70.
- 67) 甲斐秀昭 1981. 土壌中における窒素の動態. 土の微生物. 土壤微生物研究会編. 博友社, 東京. 352 - 372.
- 68) 鎌田 淳 2005. 秋冬ネギ栽培における緩効性肥料を利用した全量基肥法. 埼玉農総研研報 5 : 13 - 17.
- 69) 神田真帆・大串卓史 2005. 被覆肥料を利用した玉露・てん茶園の窒素施肥量削減. 茶研報 100 : 67 - 72.
- 70) 金田吉弘・栗崎弘利・村井 隆 1994. 肥効調節型肥料を用いた育苗箱全量施肥による水稲不耕起移植栽培. 土肥誌 65 : 385 - 391.
- 71) Kang, B. K. and S. H. Han 2005. Production of seed potato (*Solanum tuberosum* L.) under the recycling capillary culture system using controlled release fertilizers. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 74: 295 - 299.
- 72) 神崎正明・佐々木次郎 2010. 肥効調節型肥料を用いた「シラネコムギ」の全量基肥栽培. 宮城県古川農試研報 8 : 1 - 6.
- 73) 片岡圭子・榊原俊雄・南 洋久 1998. フェレノプシス鉢生産における底面ひも給液法の導入. 京大農報 8 : 9 - 17.
- 74) 片山勝之・三浦憲蔵・皆川 望 2003. 太陽熱処理および肥効調節型肥料施用による減肥・減農薬栽培がニンジンの収量および品質に及ぼす影響. 中央農研報 3 : 89 - 97.
- 75) 加藤政司・大藪哲也・矢部和則 2005. 単為結果性トマト‘ルネッサンス’の遺伝特性を利用した省力栽培技術の確立. 愛知農総試研報 37 : 55 - 60.
- 76) 加藤俊博 2002. 培地の種類・特性. 養液栽培

- の新マニュアル. 誠文堂新光社, 東京. 14 - 19.
- 77) 川崎佳栄・西原基樹・横山明敏 2008. 抑制キュウリにおける被覆燐硝安加里肥料を用いた植穴施肥栽培. 農及園83: 1179 - 1188.
- 78) 鬼頭郁代・成田秋義・高瀬輔久 2006. ハウスイチジクのコンテナ栽培における全量基肥施肥法. 愛知農総試研報 38: 81 - 86.
- 79) 北村秀教・今泉諒俊 1990. 水稻への窒素供給量からみた全量基肥施肥法. 愛知農総試研報 22: 51 - 60.
- 80) 小林尚司・時枝茂行・永井耕介・桐村義孝・西村十郎・藤原辰行 1989. ロックウールを用いたバッグカルチャーによる野菜栽培 第2報. 培地資材の違いがトマトの収量並びに品質に及ぼす影響. 兵庫中央農技研報 (農業編) 37: 23 - 28.
- 81) 小菅佐代子・桑野伸晃・三枝正彦 2001 a. トマト栽培における肥効調節型肥料を利用した全量基肥施肥法. 土肥誌 72: 621 - 626.
- 82) ———・山田ゆき・東 隆夫・三枝正彦 2001 b. 肥効調節型肥料を利用したイチゴの育苗ポット全量施肥栽培. 土肥誌 72: 88 - 91.
- 83) 小杉 徹・堀田 柏 1996. セルリー栽培における肥効調節型肥料を用いた施肥量削減. 静岡農試研報 41: 3 - 62.
- 84) ———・中村仁美・若澤秀幸 2007. 肥効調節型肥料を用いたトマト育苗鉢内全量施肥法. 土肥誌 78: 207 - 211.
- 85) ———・高橋和彦・鈴木則夫 2004. 肥効調節型肥料を用いたセルリー鉢上げ時施肥による施肥量削減. 土肥誌 75: 373 - 376.
- 86) 今野陽一・熊谷勝巳・富樫政博・黒田 潤・上野正夫 2001. 肥効調節型肥料を利用したネギの全量基肥局所施肥栽培. 山形農試研報 35: 37 - 43.
- 87) 窪田 哲・赤池一彦・木下耕一 2003. 種子繁殖型イチゴ 'F₁エラン' を用いた高冷地での夏秋どり安定生産技術. 山梨総農試研報 13: 9 - 14.
- 88) Lorenz, H. 1976. Nitrate, ammonium and amino acids in the bleeding sap of tomato plants in relation to form and concentration of nitrogen in the medium. *Plant and Soil*. 45: 169 - 175.
- 89) Lu, Y. L., C. C. Xu, Q. R. Shen, and C. X. Huang 2009. Effects of different nitrogen forms on the growth and cytokinin content in xylem sap of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) seedlings. *Plant Soil*. 315: 67 - 77.
- 90) 馬 啓林・山口武視・中田 昇・中野貴章・田中朋之・中野淳一 2005. ダイズ茎基部からの出液を用いた過湿による根系機能低下の評価. 根の研究 14: 3 - 8.
- 91) 榊田正治 1989. トマトおよびキュウリの真昼と真夜中における木部いっ泌液の無機成分濃度. 園学雑 58: 619 - 625.
- 92) ——— 2008. 「防根給水ひも」によるトマトの新規栽培手法. 農及園83: 20 - 25.
- 93) ———・福元祥子 2008. 「毛管給水ひも」によるトマト栽培の可能性について. 岡大農報 97: 49 - 54.
- 94) Masuda, M. and K. Gomi 1982. Diurnal change of the exudation rate and the mineral concentration in xylem exudates after decapitation of grafted and non grafted cucumbers. *J. Jpn. Soc. Hort. Sci.* 51: 293 - 298.
- 95) 榊田正治・長谷川 博・野村眞史 1996. トマトの昼夜間における根から果房への¹⁵Nと⁴⁵Caの移行. 園学雑 65: 571 - 577.
- 96) ———・野村眞史 1995. トマトの摘心および果実除去が根の養分吸収と酸素消費に及ぼす影響. 園学雑 64: 73 - 78.
- 97) ———・島田吉裕 1993. トマト木部いっ泌液における無機成分濃度の日変化およびその濃度に及ぼす光照度と苗齢の影響. 園学雑 61: 839 - 845.
- 98) ———・恒川仰一・太田靖子 2010. トマト「紐」栽培における要水量と土壤養分の収支. 農及園85: 1199 - 1204.
- 99) Matsuda, R., K. Suzuki, Y. Nakano, H. Sasaki and M. Takaichi 2010. Daily based quantitative nutrient management in rockwool hydroponics: Growth and yield of tomato and nutrient use at elevated CO₂. *J. Agr. Meteorol.* 66: 217 - 226.
- 100) 松本昌直・大須賀隆司・大場誠司・高橋和彦

2007. チンゲンサイの硝酸イオン低減化 産地実態及び肥培管理による硝酸イオン低減化. 静岡農試研報 51: 25 - 32.
- 101) 松沢宗一・大槻 昭・久根下栄一・河原正昭・正木唯尾・市川清志 1982. 桑に対する被覆肥料（コーティング肥料）の肥効試験. 長野蚕試要報 18: 30 - 38.
- 102) Million, J., T. Yeager and C. Larsen 2007. Water use and fertilizer response of azalea using several no-leach irrigation methods. HortTech. 17: 21 - 25.
- 103) 深山陽子・米山 裕・衣巻 巧・土屋恭一 2004. トマト循環型養液栽培におけるロックウール代替培地としてのもみがらの検討. 神奈川農総研報 145: 27 - 33.
- 104) 水上浩之・郡司掛則昭 2008. キャベツ栽培黒ボク畑において亜酸化窒素発生削減に有効な施肥法. 熊本農研セ研報 15: 62 - 69.
- 105) 森国博全・嶋田永生 2001. トマトの隔離床栽培における尻腐れ果発生におよぼす施用窒素形態の影響. 土肥誌 72: 489 - 498.
- 106) 森重歩己・榊田正治・村上賢治 2009 a. 大玉トマトの防根給水ひも栽培における生育途中の根域拡張と「ひも」適用が果実生産に及ぼす影響. 岡大農報 98: 23 - 29.
- 107) 森重歩己・榊田正治・村上賢治 2009 b. 「防根給水ひも」による果菜類の養水分需給バランス栽培法の開発 第 8 報. 長期促成栽培における大玉トマトの生育収量に及ぼす培養液濃度の影響. 園学研 8 (別 1): 360.
- 108) 森下年起・藪野佳寿郎 2007. 肥効調節型肥料による促成エンドウの施肥改善に関する研究. 和歌山県農林水技セ研報 8: 53 - 59.
- 109) 長縄寿信・浅井英樹・田口勝士・豊田喜彦 2004. 環境に配慮した飼料作物栽培技術の開発 (第 4 報) 肥効調節型肥料施肥法の検討. 岐阜畜研報 4: 40 - 46.
- 110) 中川文彦・熊谷勝巳・今野陽一・山口金英 2001. 育苗箱施肥と牛ふん堆肥による水稻の 50% 減化学肥料栽培. 土肥誌 72: 565 - 569.
- 111) Nakano, Y., H. Sasaki, A. Nakano, K. Suzuki and M. Takaichi 2010. Growth and yield of tomato plants as influenced by nutrient application rates with quantitative control in closed rockwool cultivation. J. Jpn. Soc. Hort. Sci. 79: 47 - 55.
- 112) 中野有加・渡辺慎一・川嶋浩樹・高市益行 2006. トマト水耕栽培の無機成分の日施用における施用量が収量, 品質および無機成分吸収量に及ぼす影響. 園学雑 75: 421 - 429.
- 113) 永田茂穂・清本なぎさ・長友 誠・久米隆志 2001. 被覆尿素の利用と施肥位置改善による露地野菜の省施肥技術. 土肥誌 72: 283 - 286.
- 114) 二瓶直登・丹治克男 2004. 肥効調節型肥料の全量基肥施用に対するダイズの収量と根の反応. 日作紀 73: 18 - 22.
- 115) ——・丹治克男 2006. 肥効調節型肥料の全量基肥施用に対するダイズの根の反応と収量. 福島農試研報 37: 19 - 27.
- 116) 西畑秀次 2006. ネギにおける合理的施肥法に関わる研究. 富山農技セ研報 23: 73 - 79.
- 117) 仁科弘重・趙 日煥・田中基司・橋本 康 1993. 果実送風によるトマト尻腐れ発生防止とそのメカニズムの解明. 植物工場学会誌 5: 26 - 38.
- 118) 西尾敏彦・中村英司 1984. トマト尻ぐされ果発生に関する研究 (第 7 報) トマト果実の初期肥大成長の様相と尻ぐされ果発生について. 滋賀短大学雑誌 25: 37 - 41.
- 119) 野田 滋 2001. 施肥改善による亜酸化窒素の発生量削減. 土肥誌 72: 575 - 581.
- 120) Noguchi, A., M. Kageyama, F. Shinmachi, Urs. Schmidhalter and I. Hasegawa 2005. Potential for using plant xylem exudates to evaluate inorganic nutrient availability in soil. I. Influence of inorganic nutrients present in the rhizosphere on those in the xylem exudates of *Luffa cylindrical* Roem. Soil Sci. Plant Nutr. 51: 333 - 341.
- 121) Norem, W. L. 1936. Mineral nutrition and seasonal growth of ageratum in sand cultures with auto-irrigation. Amer. J. Bot. 23: 545 - 555.
- 122) 農林水産省 2009. 園芸用ガラス室・ハウス

- 等の設置状況. 〈<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?lid=000001051847>〉.
- 123) 糠谷 明 1999. オランダの施設園芸における閉鎖系栽培システム. 農業技術体系土壌施肥編3. 農文協, 東京. 8の20-23.
- 124) 岡本将宏・吉澤克彦 1994. 被覆肥料利用によるトマト, キュウリの固形培地耕 (第1報) 培地資材と肥培管理法. 滋賀農試報 35: 31-42.
- 125) 岡野邦夫・坂本有加・渡邊慎一・中島武彦 1999. 排液の再利用による一段トマトの閉鎖型養液栽培システムの確立. 生環調 37: 63-71.
- 126) 大井義弘・大津善雄 2003. レタス連作圃場の土壌実態と年内・年明けどりレタスの2作1回施肥. 長崎絵農林試研報 (農業部門) 29: 51-63.
- 127) 大森誉紀・松本英樹 2009. サトイモ専用肥効調節型肥料の開発と硝酸態窒素溶脱抑制効果. 土肥誌 80: 413-416.
- 128) Pardossi, A., P. Malorgio, L. Incrocci, C.A. Campiotti and F. Tognoni 2002. A comparison between two methods to control nutrient delivery to greenhouse melons grown in recirculating nutrient solution culture. *Scientia Hort.* 92: 89-95.
- 129) Pill, W. G. and V. N. Lambeth 1980. Effect of soil water regime and nitrogen form on blossom-end rot, yield, water relations, and elemental composition of tomato. *Am. Soc. Hort. Sci.* 105: 730-734.
- 130) Rahman, S. M. L, E. Nawata and T. Sakuratani 1999. Effect of water stress on growth, yield and eco-physiological responses of four tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivars. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 68: 499-504.
- 131) Raines, M. A. 1937. Wick culture of seedlings with different rates of water flow. *Amer. J. Bot.* 24: 185-187.
- 132) Regulski, Jr. F. J. 1984. Changes in physical characteristics of bark-based and gasifier residue-based container media over time and by sample depth. *HortScience.* 19: 494-496.
- 133) 三枝正彦・大鷲高志・渡辺 肇・鈴木和美 2008. 肥効調節型被覆硝酸カルシウムの接触施用による水稲への硝酸態窒素の供給. 日作東北支部報 51: 17-18.
- 134) 齋藤龍司・高橋正輝・由井秀紀・水谷俊秀 1996. 被覆肥料を用いたカーネーション栽培の基肥重点施肥法. 長野県野菜花き試報 9: 71-79.
- 135) 境垣内岳雄・森田茂紀・阿部 純・山口武視 2005. 水稲における追肥後の窒素吸収の経時変化. 日作紀 74: 285-290.
- 136) Sakaigaichi, T., S. Morita, J. Abe and T. Yamaguchi 2007. Diurnal and phenological changes in the rate of nitrogen transportation monitored by bleeding in field-grown rice plants (*Oryza sativa* L.). *Plant Prod. Sci.* 10: 270-276.
- 137) 坂本有加・渡邊慎一・岡野邦夫・巽 二郎 2001. 保水シート耕方式の養液栽培における根域の気相/液相部比率がトマトの生育・収量に及ぼす影響. 園学雑 70: 622-628.
- 138) 佐久間青成 2001. 低コスト簡易な養液栽培装置による葉菜類の栽培. 農及園76: 797-802.
- 139) Sakuma, H. and K. Suzuki 1997. Development of energy-saving hydroponics systems without requiring energy. *JIRCAS J.* 4: 73-77.
- 140) Santamaria, P., G. Campanile, A. Parente and A. Elia 2003. Subirrigation vs drip-irrigation: Effects on yield and quality of soilless grown cherry tomato. *J. Hort. Sci. & Biotech.* 78: 290-296.
- 141) 佐藤之信・安達栄介・中西政則・齋藤謙二・安藤隆之 2006. ネット入り肥料を用いた育苗ポット内局所施肥法によるスイカの全量基肥栽培. 土肥誌 77: 87-91.
- 142) 佐藤福男・泉 誠 1993. 水稲に対する被覆緩効性肥料の基肥施用効果. 秋田農試研報 33: 10-15.
- 143) 関 稔・中嶋泰則 1993. 西三河洪積台地の

- 輪換畑における小麦「農林61号」の全量基肥施肥法. 愛知農総試研報 25: 113 - 126.
- 144) 進藤勇人・佐藤福男・金田吉弘 2001. 寒冷地における肥効調節型肥料を用いた夏どりキャベツの全量局所施肥栽培. 土肥誌 72: 803 - 806.
- 145) 篠原 信 2006. 有機肥料の養液栽培 - 並行複式無機化法による養液内微生物生態系構築法 -. 農及園81: 753 - 764.
- 146) 宍戸 貢・土佐明夫・遠藤征彦 1994. 被覆肥料入り桑専用肥料による春一回施肥法. 岩手蚕試要報 17: 20 - 24.
- 147) 志和将一 2005 a. 被覆肥料の茶園全面施用による施肥効率の向上. 茶研報 100: 83 - 85.
- 148) ——— 2005 b. 茶園における年1回施肥と生分解性マルチを利用した窒素溶脱防止. 茶研報 100: 99 - 102.
- 149) Son, J. E., D. H. Jung and Y. J. Lui 2002. Analysis of root zone environment in pot plant production system with subirrigation method using wick. Acta Hort. 578: 389 - 393.
- 150) 杉沼千恵子・佐藤賢一・中村幸二・山崎晴民 2005. 肥効調節型肥料を活用した葉菜類の硝酸低減化技術の検討. 埼玉農総研報 5: 1 - 7.
- 151) 橋 昌司 1990. 根域環境と蔬菜の生育. 蔬菜園芸学. 川島書店, 東京. 188 - 189.
- 152) Tachibana, S. and I. Suzuki 1980. Studies on the fertilization and cultivation of horticultural crops under covering conditions. VI. Effects of the concentration of nutrient solution on the chemical constituents in the root exudates of cucumber and tomato. Bul. Fac. Agr. Mie Univ. 60: 1 - 13.
- 153) 高橋能彦 2001. 水田転作サイズに対する被覆尿素の深層施肥技術の開発. 土肥誌 72: 323 - 326.
- 154) 高橋行継・大島賢一・神沢武男・吉田智彦 2007. 群馬県の早植・普通期水稻栽培における育苗箱全量基肥栽培. 日作紀 76: 171 - 180.
- 155) 竹川昌宏・永井耕介・斎藤隆雄・小松正紀 2005. コマツナ, シュンギクの体内硝酸イオン濃度に及ぼす緩効性肥料の影響. 近中四農研 6: 62 - 66.
- 156) 武田正人 2005. 肥効調節型肥料を用いたキュウリ苗ポット内基肥施肥法. 埼玉農総研報 5: 23 - 31.
- 157) ——— 2006. ハウス抑制栽培のキュウリ苗ポット内基肥施用法. 埼玉農総研報 6: 57 - 62.
- 158) 田中哲司 2003. トマトの養液土耕栽培における葉柄汁液中硝酸イオン濃度を用いた生育診断指標の策定. 愛知農総研報 35: 73 - 78.
- 159) 田中有子・小山田勉 2000. セル成型苗利用による秋冬穫りネギの肥効調節型肥料を用いた全量基肥溝施肥法. 茨城農総七園芸研報 8: 19 - 26.
- 160) 谷泉忠幸 2004. 露地ホウレンソウにおける側条施肥の効果. 土肥誌 75: 493 - 495.
- 161) 寺林 敏・浅香智孝・戸祭 章・伊達修一・藤目幸擴 2004. トマト水耕栽培における硝酸態窒素およびリンの定量施与が養分吸収および果実生産に及ぼす影響. 園学研 3: 195 - 200.
- 162) Terabayashi, S., K. Takii and T. Namiki 1991a. Variation in diurnal uptake of water and nutrients by tomato plants of different growth stages grown in water culture. J. Jpn. Soc. Hort. Sci. 59: 751 - 755.
- 163) ———, ——— and ——— 1991b. Variation in diurnal uptake of water and nutrients by tomato plants grown hydroponically. J. Jpn. Soc. Hort. Sci. 60: 547 - 553.
- 164) Thippayarugs, S., K. Suzuki, Y. Katsuta, A. Yoshida, N. Matsumoto, N. Kabaki and C. Wongwongwatchai 2001. Vegetable production using energy-saving hydroponics systems in northeast Thailand. JIRCAS J. 9: 33 - 38.
- 165) Toth, J., E. J. Nuethen and K. Y. Chan 1988. A simple wick method for watering potted plants which maintains a chosen moisture regime. Aust. J. Exp. Agr. 28: 805 - 808.
- 166) 豊福博記・宇留嶋美奈・磯村政弘・松垣喜詞

2003. イチゴの高設栽培技術の確立 第4報 杉パーク培地での肥料の種類, 収穫延長に対応した施肥法, 培地加温法. 九農研 65: 190.
- 167) 土田通彦・相川博志・岡島量男 2003. 肥効調節型肥料による露地ウンシュウミカンの年1回施肥法. 土肥誌 4: 519-524.
- 168) 内山知二・清水 武・日野和裕 1990. 冷涼地における緩効性被覆肥料を利用した雨よけ栽培トマトの施肥法. 大阪農技セ研報 26: 1-4.
- 169) 宇井 睦・高野泰吉 1995. 果実肥大期における温度と培養液濃度が水耕トマトの尻ぐされ発生に及ぼす影響. 生環調 33: 7-14.
- 170) 浦山 久 2009. 熱帯地域におけるココナツコイアを利用した作物の養液栽培および耕地への還元利用に関する研究. 筑波大学大学院生命環境科学研究科博士論文 1-120.
- 171) ——・L. J. Matthews, V. J. Coetzee, 山下忠明 2005. ココナツコイアを用いた省エネルギー型養液栽培装置によるキュウリの栽培試験. 熱帯農業 49: 154-158.
- 172) 後 俊孝・田辺茂男・船越建明 1989. マサ土地帯における緩効性肥料を用いた果菜類の効率的施肥法. 広島農試報 52: 105-115.
- 173) Van Os, E. A. 1995. Engineering and environmental aspects of soilless growing systems. Acta Hort. 396: 25-32.
- 174) ——, —— 2001. Design of sustainable hydroponic systems in relation to environment-friendly disinfection methods. Acta Hort. 548: 197-205.
- 175) 渡邊 肇・日高秀俊・三枝正彦・大江真道・渋谷暁一 2006. 中山間地における育苗箱全量施肥による水稲の不耕起移植深水栽培. 日作紀 75: 264-272.
- 176) 渡辺公敏 1979. 鉢物花きかん水法. 園芸学会東海支部, 第25回シンポジウム集 60-62.
- 177) 渡辺 武・石川隆之・陽 捷行 1999. 肥効調節型肥料および硝酸化成抑制剤入り肥料による亜酸化窒素の発生抑制効果. 土肥誌 70: 747-753.
- 178) Widders, I. E. and O. A. Lorenz 1982. Ontogenetic changes in potassium transport in xylem of tomato. Physiol. Plant. 56: 458-464.
- 179) 山口武視・津野幸人・中野淳一・真野玲子 1995. 水稲の茎基部からの出液速度に関する要因の分析. 日作紀 64: 703-708.
- 180) 山本二美・松丸恒夫 2007 a. 夏どりネギにおけるチェーンポット内施肥の施肥窒素量と追肥窒素量の検討. 土肥誌 78: 179-186.
- 181) ——・—— 2007 b. ネギのチェーンポット内全量窒素施肥が生育および収量に及ぼす影響. 土肥誌 78: 371-378.
- 182) Yamasaki, A. 2003. Root-pressure driven xylem exudates flow in greenhouse melon (*Cucumis melo* L.): Diurnal Change and effects of shading, growth stage, rootstock and fruit number. Plant Soil. 255: 409-412.
- 183) 山崎敬亮・熊倉裕史・濱本 浩 2007. 促成イチゴの高設栽培における連続出蓄性に与える定植後の培地昇温抑制と施肥時期の効果. 近中四農研報 7: 35-47.
- 184) 山崎慎一 2003. 土壌における養分の動態. 各種養分の動態=苦土. 農業技術体系土壌施肥編1. 土壌の働きと根圏環境. 農文協. 東京. 183-184の2.
- 185) Yeager, T. H. and R. W. Henley 2004. Irrigation and fertilization for minimal environmental impact. Acta Hort. 638: 233-240.
- 186) Zarza-Silva, H., T. Maruo, M. Takagaki, M. Hohjo and Y. Shinohara 2004. Lettuce production in closed type capillary hydroponic system using substrates of tropical origin. Jpn. J. Trop. Agr. 48: 246-252.
- 187) ——, ——, ——, —— and —— 2005. Lettuce production using a commercial scale recirculated capillary hydroponic system. Jpn. J. Trop. Agr. 49: 45-52.
- 188) Zoha, M. S.・榊田正治 2009. 「防根給水ひも」を用いたトマト砂栽培手法の開発—異なる粒子中の水移動と生育収量に及ぼす砂中湿度の影響—. 園学研 8 (別1): 119.

Development of a Simplified, Laborsaving and Low-Environmental-Impact Production System for Tomato Cultivation by Applying of Controlled Release Fertilizers via Root-Proof Capillary Wick Irrigation

Takafumi KINOSHITA *

Summary

The root-proof capillary wick irrigation system, a type of sub-irrigation method, is expected to reduce environmental impact by eliminating drainage and save labor by eliminating the use of irrigation equipment. Application of controlled release fertilizers (CRF) by using this system has economic benefits because fertigation equipment is not required. The purpose of this study was to establish a laborsaving and low-environmental-impact production system for forcing tomato culture by using a single basal application of CRF with this irrigation method.

First, I investigated the effects of various substrates on growth and yield in relation to 3-phase distribution of substrates and inorganic nutrient solution in substrate solution in forcing tomato culture to determine an appropriate substrate for this culture method. These results suggested that liquid-phase distribution of substrates would be an indicator of suitable substrate selection in this culture; the value was around 45-55%, including a substrate consisting of paddy soil: bark compost: peatmoss: perlite at a ratio of 2:4:1:1 (v/v).

Secondly, a suitable level of CRF, which was applied by mixing the fertilizers with substrates in a conventional manner, for the forcing tomato culture was evaluated. Initially, 16.2 g N/plant appeared to be sufficient. I, then, investigated the effect of this concentration of CRF and liquid fertilizer (LF) on fruit productivity and nutrient dynamics. Marketable fruit weight was significantly lower with CRF than with LF, especially at the upper trusses, indicating that nutrient supply was lower in later phases of the plant growth cycle using CRF. Therefore, further investigations are required to determine the level of nutrients that is sufficient to increase fruit yield during the later period of cultivation. On the other hand, nutrient use efficiency for fruit production was higher with CRF than with LF. I, then, examined fruit production in plants treated with modified combinations of CRFs, compared CRF and LF with respect to nutrient uptake and transport in forcing tomato cultures. No significant difference was noted in marketable fruit yield between CRF- and LF-treated plants. The quantity of nutrient uptake per plant and per fruit yield was lower with CRF than with LF, indicating that nutrients were utilized more efficiently for fruit production in plants grown with CRF. Analysis of the volume and mineral concentrations of xylem exudates indicated that the amount of nutrients absorbed was greater with LF than with CRF, particularly after the 10th truss was harvested. Mineral concentrations in the substrate solution of CRF-

Hillside Horticulture Research Division, NARO Western Region Agricultural Research Center

* NARO Tohoku Agricultural Research Center

treated plants were initially higher than those in the substrate solution of LF-treated plants, but were extremely low after the second truss was harvested; mineral concentrations in the xylem exudates were similar in CRF- and LF-treated plants until the eighth truss was harvested. Thus, the difference in mineral concentrations between the xylem exudates and substrate solution was much larger for plants treated with CRF than for plants treated with LF, indicating that plants absorbed the bulk of the nutrients immediately after their release from the CRF surface. Therefore, CRF is suitable in this system because it combines high fruit production with high nutrient utilization efficiency.

Finally, a tank-fertilization method (TF), in which CRF was supplied in the water reserve tank, was developed to simplify and reduce labor requirements for application of CRF and reutilization of substrate. In the TF method, efficient nitrification (production of $\text{NO}_3\text{-N}$) was achieved in the water tank by combining the addition of bark compost (substrate for nitrifying bacteria) with aeration of the water. Next, we compared 3 CRF fertilization methods: (1) completely mixed with the substrate (“mixed-fertilization” [MF]); (2) packed in bags and placed on the wick (“packed bag-fertilization” [PF]); and (3) TF in a short tomato-cultivation period. Fruit yield was lower under PF and TF than under MF, because a high incidence of blossom-end rot (BER) occurred in plants fertilized by PF and TF. However, promotion of nitrification under TF using the above-mentioned method increased fruit yield to the same level as that observed under MF, due to decreased incidence of BER. Thus, the use of CRF via “tank fertilization” for tomato production is effective by promoting nitrification in the water reserve tank. On the other hand, high incidence of BER probably was due to suppression of Ca uptake caused by high $\text{NH}_4\text{-N}$ uptake. I, then, investigated the difference in the uptake ratio of $\text{NH}_4\text{-N}/\text{NO}_3\text{-N}$ and nitrogen conversion of the supplied fertilizer, and attempted to determine the reason for the difference in BER rate among the different CRF-application methods. Based on nitrogen concentration in xylem exudates, the uptake ratio of $\text{NH}_4\text{-N}/\text{NO}_3\text{-N}$ appeared to be lower under MF than under PF and TF. Therefore, the high $\text{NH}_4\text{-N}$ uptake under PF and TF could be the cause of Ca deficiency and increased incidence of BER. From these results, I finally investigated the applicability of the TF method to long-term forcing culture of tomato. Fruit yield under TF was similar to that under MF and LF. Furthermore, nutrient use efficiency for fruit production under TF was similar to that under MF and higher than LF. Moreover, substrates treated using TF may have high reusability.

In conclusion, I demonstrated the effectiveness of a simplified, laborsaving, and low-environmental-impact production system for long-term forcing tomato cultivation using a single basal application of CRF via root-proof capillary wick irrigation. Moreover, it was revealed that fertilizer use could be reduced by application of CRF in the system, because nutrients were utilized more efficiently for fruit production in plants grown with CRF than in those grown with LF. This finding is very important for environmental and resource conservation and for agricultural management. In addition, the tank-fertilization method of applying CRF, which was newly developed in this study, is important for other soilless culture systems because it is a laborsaving fertilization technique.

ヤーコンの新品種「アンデスの乙女」の育成

杉浦 誠・中西建夫¹・藤野雅丈¹・石川浩一²

Key words : ヤーコン, 新品種, アンデスの乙女, 多収性, 皮色

目 次

I 緒 言	59	3 塊根の糖含量調査	66
II 育成経過	59	IV 栽培適地および栽培上の留意点	67
III 特 性	60	V 育成従事者	67
1 形態的特性および生態的特性	60	VI 摘 要	67
2 系統適応性検定試験場所の試験成績および評価	60	引用文献	67
		Summary	69

I 緒 言

ヤーコン (*Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.) H. Robinson) はアンデス高原原産のキク科作物で、塊根を食用とする¹⁾。塊根には機能性を有するフラクトオリゴ糖が含まれ、その含有率は乾物の60~70%にも達する⁴⁾。わが国では、1984年にペルーA群系統が導入されて以来、ヤーコンは各地で栽培され、幾つかの産地が形成されてきている⁷⁾。しかし、塊根はサラダなどの生食だけでなく煮物や揚げ物などとしての有用性があり、フラクトオリゴ糖を多く含んでいるにもかかわらず栽培の広がりには緩やかである。その要因として、中南米の冷涼な気象の地域を原産地とするヤーコンは日本の気候に適応性が低いこと、塊根の収量の不安定性や塊根の亀裂(裂根)が多発することで外観品質が低下すること、また、栽培の拡大に伴い、消費者が要望する塊根の色や食味など、多様な特性を有する品種育成への対応が不十分であることが考えられている²⁾。近畿中国四国農業研究センター(以下当研究センター)では、これまでに「サラダオトメ」、「アンデスの雪」、

「サラダオカメ」という裂根が少なく多収な3品種を開発した^{3, 6)}。現在では導入当時のペルーA群系統に代わってこれらの栽培が広がってきているが、更なるヤーコンの普及のためには、新たな特産地の形成や拡大が不可欠であり、収量や品質の向上、消費者ニーズに応えられる多様な特性を持つ品種の育成が求められている。このような状況の中、新たに、塊根の皮色が赤紫色で多収な「アンデスの乙女」を育成したので、その育成経過と特性について報告する。

品種を育成するにあたり、系統適応性検定試験を快く引き受けていただいた北海道立花・野菜技術センター、北海道立北見農業試験場、長野県野菜花き試験場、ならびに、生産力検定試験実施にあたり便宜を図っていただいた愛媛県中予地方局産業振興課地域農業室久万高原農業指導班の各位に対し心から感謝申し上げます。また、多大な支援をいただいた当研究センター業務科職員および契約職員各位に対し心から感謝を申し上げます。

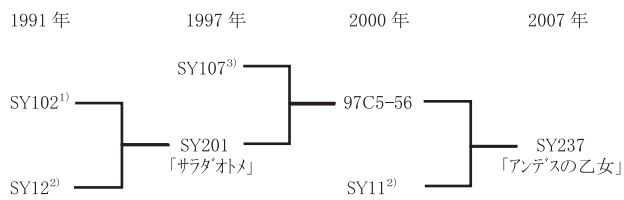
II 育成経過

収量や品質の向上および多様な形質を持つ品種の

(平成25年6月5日受付, 平成25年11月6日受理)
農研機構近畿中国四国農業研究センター
傾斜地園芸研究領域

¹ 元 農研機構近畿中国四国農業研究センター

² 現 農研機構野菜茶業研究所



第1図 「アンデスの乙女」の育成経過

- 1) 1991年導入のボリビア在来系統.
- 2) 1984以降にニュージーランドから導入されたペルーA群の1クローン.
- 3) 1992年, 国際バレイショセンターより導入.

作出を目標に育種に取り組んだ。国際バレイショセンターから導入した「SY107」と、日本初のヤーコン品種「SY201」（「サラダオトメ」）を1997年に交配し、その胚培養実生個体から「97C5-56」を得た（第1図）。更に変異の拡大を図るため、「97C5-56」とペルーA群の「SY11」を2000年に交配して得た胚培養実生個体から「00J4-32」を選抜した。この系統は2003年から2005年の系統選抜試験および2006年の生産力検定試験において、地上部の生育が旺盛であり、塊根は多収で裂根が少なく、皮色が既存品種にない赤紫色という特徴があったので、2007年に「SY237」の系統名を付した。2007年から北海道立花・野菜技術センター、北海道立北見農業試験場、長野県野菜花き試験場で系統適応性検定試験を実施し、2009年に概ね有望と判定されたため、「アンデスの乙女」と命名し、2011年3月に品種登録出願を行い、2014年2月に品種登録された（品種登録番号：第23007号）。

Ⅲ 特 性

1 形態的特性および生態的特性

第1表に育成地での生産力検定試験耕種概要を示す。育成地における生産力検定試験は、2006年から2009年の4カ年、愛媛県久万高原町にある愛媛県中予地方局産業振興課地域農業室久万高原農業指導班の圃場（標高500m, 黒ボク土壌）において、標準品種を「サラダオトメ」、対照品種を「SY11」として実施した。

第2表および第3表に育成地における特性調査および評価を示す。「アンデスの乙女」の草姿は中間型で草勢はやや強く、葉色は濃く（写真1）、開花

は「サラダオトメ」や「SY11」に比べ早い。「アンデスの乙女」の生育中期における地上部上部のアントシアンの着色度は「強」であり、同じ「強」である「サラダオトメ」や「SY11」に比べ更に広範囲で着色する。4カ年の茎長の平均は、「サラダオトメ」, 「SY11」がそれぞれ162cm, 157cmに対し、「アンデスの乙女」は179cmで長い傾向である。株あたりの茎数は4カ年の平均で、「サラダオトメ」, 「SY11」がそれぞれ8.5本, 7.2本に対し、「アンデスの乙女」は10.9本で多く、地上部重も2.09kg, 1.39kgに対し3.10kgで大きい（写真2）。また「アンデスの乙女」は株あたりの塊根数が14.5本で多く、塊根の総収量はaあたり542kgで、「サラダオトメ」, 「SY11」それぞれ176kg, 152kgに対し極めて多い。「アンデスの乙女」の塊根は平均1根重が「サラダオトメ」, 「SY11」それぞれ140g, 167gに対し206gで大きく、裂根率が5.9%で裂根も少ない。「アンデスの乙女」の塊根形状は滑らかな紡錘形で、揃いもよく、外観品質は良好である（写真3）。「アンデスの乙女」の塊根の収穫後の皮色は濃い赤紫色で、肉色は淡橙黄色である（写真4）。「アンデスの乙女」の塊根の糖度、食味は「サラダオトメ」と同程度である。前述のように「アンデスの乙女」は大型の塊根で揃いも良く、極めて多収であるため、青果用、加工用ともに有望と考えられ、総合評価は「優れる」とした。なおデータには示していないが、「アンデスの乙女」の塊根は、3月末までの室温貯蔵では腐敗もなく内部の褐変やス入りもほとんど認められなかったため、実用上十分な貯蔵性を有していると判断される。

2 系統適応性検定試験場所の試験成績および評価

北海道立花・野菜技術センター（北海道滝川町）、北海道立北見農業試験場（北海道北見市）、および長野県野菜花き試験場（長野県長野市）の3カ所において、標準品種を「サラダオトメ」、対照品種を「SY11」とし、北海道立花・野菜技術センターでは2007～2008年の2カ年、北海道立北見農業試験場および長野県野菜花き試験場では2007～2009年の3カ年において系統適応性検定試験を実施した。耕種概要は第4表のとおりで、結果を第5表、第6表に示す。

第1表 育成地の生産力検定試験での耕種概要

年度	仮植日	定植日	収穫日 ¹⁾	畝幅 (cm)	株間 (cm)	栽植密度 (株/m ²)	施肥量 (g/m ²)	試験区 (株×区)
2006	3月27日	5月11日	11月6日	110	50	1.82	15-15-15	4×6
2007	4月2日	5月11日	11月13日	110	50	1.82	15-15-15	4×6
2008	4月3日	5月28日	11月13日	110	50	1.82	15-15-15	4×6
2009	4月1日	5月11日	10月29日	110	50	1.82	15-15-15	4×6

注) 愛媛県中予地方局産業振興課地域農業室久万高原農業指導班の圃場(愛媛県久万高原町, 標高500m, 黒ボク土壌)において実施.

1) 収穫は初霜後に行った.

第2表 育成地における「アンデスの乙女」の生育及び収量

品種・系統名	年度	茎長 (cm)	茎数 (本/株)	地上部重 (kg/株)	草姿	草勢	葉色	アントシアン 着色	開花性	収量特性		
										塊根数 (個/株)	塊根重 (kg/株)	総収量 (kg/a)
アンデスの乙女	2006	164	10.0	3.08	—	—	—	—	2	12.9	3.19	580
	2007	178	11.5	3.09	中間	やや強	濃緑	強	1	14.6	3.15	572
	2008	167	9.9	3.11	中間	やや強	濃緑	強	1	11.6	1.94	353
	2009	190	12.2	3.11	中間	やや強	濃緑	強	0~2	18.9	3.65	663
	平均	179 a	10.9 a	3.10 a	中間	やや強	濃緑	強	1~2	14.5 a	2.98 a	542 a
サラダトメ	2006	130	8.3	1.56	—	—	—	—	0	5.3	0.74	134
	2007	160	9.5	2.44	立性	中	淡緑	強	0	8.7	1.41	257
	2008	153	7.8	2.01	立性	中	淡緑	強	0	2.9	0.31	56
	2009	200	8.7	2.36	立性	中	淡緑	強	0~1	8.9	1.40	256
	平均	162 a	8.5 b	2.09 b	立性	中	淡緑	強	0~1	6.4 b	0.97 b	176 b
SY11	2006	109	7.0	0.89	—	—	—	—	0	0.6	0.13	40
	2007	166	6.9	1.25	立性	中	緑	強	0~1	4.5	0.75	136
	2008	173	8.1	1.88	立性	中	緑	強	0	2.5	0.32	58
	2009	182	6.8	1.56	立性	中	緑	強	0~1	14.0	2.16	393
	平均	157 a	7.2 b	1.39 c	立性	中	緑	強	0~1	5.4 ab	0.84 b	152 b

注) 同一調査項目における平均値での同じアルファベットは, Tukey法により品種・系統間に5%水準で有意差がないことを示す.

各調査項目の調査基準. —は調査無し.

茎長: 収穫期における最長茎の地際部から最上節位までの長さ.

茎数: 収穫期における茎数.

地上部重: 収穫期における地上部新鮮重.

草姿: 生育中期(定植2~3ヶ月後)における草型で, 観察により立性, ヤヤ立性, 中間, ヤヤ開張性, 開張性の5段階に区分.

草勢: 生育中期(定植2~3ヶ月後)における繁茂の状態, 観察により弱, ヤヤ弱, 中, ヤヤ強, 強の5段階に区分.

葉色: 生育中期(定植2~3ヶ月後)における中位の葉の色で, 観察により淡緑, 緑, 濃緑の3段階に区分.

アントシアン着色: 生育中期(定植2~3ヶ月後)における上位の葉及び茎のアントシアン着色度で, 観察により無, 弱, 中, 強の4段階に区分.

開花性: 収穫期における開花状態で, 観察により0(未出蕾), 1(出蕾), 2(開花)の3段階に区分.

塊根: 収穫期における塊根数, 塊根重, a当たりの塊根重(総収量)で, 根重及び塊根総収量は新鮮重.

第3表 育成地における「アンデスの乙女」の塊根の特性及び評価

品種・系統名	年度	平均1根重 (g)	裂根率 (%)	形状	皮色	肉色	Brix (%)	食味評価	総合評価
アンデスの乙女	2006	247	11.1	紡錘	濃赤紫	淡黄	9.65	2.83	○
	2007	215	3.1	紡錘	濃赤紫	淡橙	7.93	2.50	○
	2008	166	1.4	紡錘	濃赤紫	淡黄	7.17	2.81	○
	2009	194	7.9	紡錘	濃赤紫	淡橙黄	7.54	2.32	○
	平均	206 a	5.9 a	紡錘	濃赤紫	淡橙黄	8.07 a	2.62	○
サラダオトメ	2006	140	40.7	紡錘	灰茶	黄白	9.77	3.00	
	2007	162	8.0	紡錘	灰茶	黄白	7.49	2.33	
	2008	101	43.4	長紡錘	灰茶	黄白	7.64	2.79	
	2009	158	29.2	短紡錘	灰茶	黄白	7.64	2.29	
	平均	140 b	30.3 b	紡錘	灰茶	黄白	8.14 a	2.60	
SY11	2006	222	58.8	紡錘	灰茶	淡黄	9.00	3.00	
	2007	168	54.4	紡錘	灰茶	淡黄	8.35	3.00	
	2008	125	69.0	紡錘	灰茶	淡黄	7.85	3.00	
	2009	153	76.5	紡錘	灰茶	淡黄	8.76	3.00	
	平均	167 ab	64.7 c	紡錘	灰茶	淡黄	8.49 a	3.00	

注) 同一調査項目における平均値での同ジアルファベットは、Tukey法により品種・系統間に5%水準で有意差がないことを示す。

各調査項目の調査基準. 空欄は調査無し.

平均1根重: 腐敗の無い100g以上の個体の平均新鮮重.

裂根率: 腐敗の無い100g以上の個体に占める亀裂の入った塊根数の割合.

形状: 観察により評価.

皮色: 塊根表面の色で、日本園芸作物標準色表に準拠.

肉色: 塊根内部の色で、日本園芸作物標準色表に準拠.

食味評価: 各調査年において11月に2回収穫を行い、各収穫時毎に、品種および系統それぞれ4回実施した評価の平均. パネラーは当研究センター職員4人で、収穫した塊根の皮を剥き、千切りにして生で食し、「SY11」を標準として、それに対し「1 (劣る)」～「3 (同等)」～「5 (優れる)」の5段階で評価.

総合評価: 生育特性、収量性、外観、食味評価を総合的に、○ (優れる)、△ (同等)、× (劣る) の3段階で評価.

北海道立花・野菜技術センターの結果では、「アンデスの乙女」は草勢が強く、収穫時点で開花が確認された。また、「サラダオトメ」や「SY11」に比べ、「アンデスの乙女」は茎長が長く、茎数が多く、地上部重が大きい。「アンデスの乙女」の塊根の1根重は「サラダオトメ」や「SY11」に比べ、同等からやや小さいが、塊根数が極めて多く、塊根の総収量は極めて高い。「アンデスの乙女」の塊根の規格率は「サラダオトメ」や「SY11」に比べ、同等からやや高い。「アンデスの乙女」の塊根の形状は紡錘形で、皮色は淡赤色であり、肉色はややオレンジ色がかかる淡橙色を示すものが多い。「アンデスの乙女」の塊根のBrixは低い、食味評価は「サラダ

オトメ」や「SY11」と同等と評価された。「アンデスの乙女」は、塊根の収量性が極めて高く、塊根の揃いが良いことが評価され、「SY11」よりも優れていると判定され、普及性については、皮色の評価が農協などの関係者の間で割れる場合があったが、最終的には有望と判定された。

北海道立北見農業試験場の結果では、「アンデスの乙女」は草勢がやや強く、収穫時点で開花が確認された。また、「アンデスの乙女」は「サラダオトメ」や「SY11」に比べ、茎長が長く、茎数が多く、地上部重が大きい。2008年は夏季の異常低温のために「アンデスの乙女」の初期生育が悪く、極端に塊根の収量が低かった。このため、2009年は低温対策



写真1 収穫直前の「アンデスの乙女」の立毛姿



写真2 収穫時の「アンデスの乙女」



写真3 「アンデスの乙女」の塊根



写真4 「アンデスの乙女」(左)と「サラダオトメ」(右)の塊根の比較

第4表 系統適応性検定試験場所の生産力検定試験での耕種概要

検定場所	年度	仮植日	定植日	収穫日	畝幅 (cm)	株間 (cm)	栽植密度 (株/m ²)	施肥量 (g/m ²)	試験区 (株×区)
北海道立花・野菜 技術センター	2007	4月2日	6月5日	10月22日	100	50	2.00	15-15-15	6×2
	2008	4月3日	6月4日	10月22日	100	50	2.00	15-15-15	10×2
北海道立北見農業 試験場	2007	4月2日	5月22日	10月11日	90	50	2.22	15-30-15	10×2
	2008	4月3日	6月9日	10月17日	90	50	2.22	15-30-15	10×2
	2009	4月1日	5月29日	10月20日	90	50	2.22	15-20-15	10×2
長野県野菜花き 試験場	2007	4月2日	5月24日	10月15日	140	60	1.19	10-10-8	7×2
	2008	4月3日	6月5日	10月27日	100	60	1.67	10-10-8	8×2
	2009	4月1日	6月9日	11月19日	130	52	1.48	15-10-5	6×2

第5表 系統適応性検定試験場所における「アンデスの乙女」の生育及び収量

検定場所	品種・ 系統名	年度	茎長 (cm)	茎数 (本/株)	地上部重 (kg/株)	草姿	草勢	開花性	収量特性			
									塊根数 (個/a)	総収量 (kg/a)	規格率 (%(w/w))	
北海道立 花・野菜技術 センター	アンデスの 乙女	2007	175	10.1	4.20	立性	強	0~2	3,683	325	30	
		2008	173	9.3	2.80	立性	強	1~2	3,620	395	35	
		平均	174	9.7	3.50	立性	強	0~2	3,652	360	33	
	SY11	2007	149	7.9	2.70	立性	中	0	1,967	152	26	
		2008	149	6.5	1.60	立性	中	0	2,520	314	36	
		平均	149	7.2	2.15	立性	中	0	2,244	233	31	
	北海道立北見 農業試験場	アンデスの 乙女	2007	158	5.4	1.70	立性	中	0	2,217	163	23
			2008	157	5.4	1.50	立性	中	0~1	3,000	362	15
			平均	158	5.4	1.60	立性	中	0~1	2,609	263	19
		サラダ'オトメ	2007	135	12.5	2.30	中間	やや強	0	2,712	501	57
2008			146	9.9	3.21	中間	やや強	2	881	127	50	
2009			200	5.9	3.27	中間	やや強	2	2,404	582	74	
平均		160	9.4	2.93	中間	やや強	0~2	1,999	403	61		
SY11		2007	126	6.0	1.87	中間	中	0	1,782	383	84	
		2008	132	7.7	2.48	中間	中	0	1,211	283	85	
		2009	184	3.9	2.04	中間	中	0	2,223	612	70	
平均	147	5.9	2.13	中間	中	0	1,739	426	80			
長野県野菜 花き試験場	アンデスの 乙女	2007	128	5.8	1.64	やや開張性	中	0	1,503	319	70	
		2008	123	8.8	2.72	中間	中	0	1,630	304	68	
		2009	200	3.8	1.69	中間	やや強	0	2,305	634	56	
	平均	150	6.1	2.02	中間	中	0	1,813	419	65		
	サラダ'オトメ	2007	129	6.6	2.26	やや立性	やや強	1~2	4,798	501	41	
		2008	171	8.2	3.24	中間	強	2	2,880	520	65	
		2009	184	8.6	2.90	立性	中	1	1,961	497	88	
	平均	161	7.8	2.80	やや立性	やや強	1~2	3,213	506	65		
	SY11	2007	122	7.0	1.56	立性	中	1	3,102	369	43	
		2008	147	5.3	1.33	立性	中	1	2,152	243	29	
2009		189	6.6	2.14	立性	強	1	1,223	375	80		
平均	153	6.3	1.68	立性	中	1	2,159	329	51			
SY11	2007	128	5.8	1.37	立性	やや強	1	4,780	376	30		
	2008	142	7.4	2.01	立性	中	0	1,537	291	51		
	2009	176	5.2	1.28	立性	やや強	0	1,309	351	54		
平均	149	6.1	1.55	立性	やや強	0~1	2,542	339	45			

注) 各調査項目の調査基準は第2表脚注参照。

規格率：収穫した塊根の中で腐敗、裂根、食害が無く、各検定地での出荷基準を満たしたものの総収量に対する重量比。

第6表 系統適応性検定試験場所における「アンデスの乙女」の塊根の特性及び評価

検定場所	品種・系統名	年度	平均1根重 (g)	形状	皮色	肉色	Brix (%)	食味評価	総合評価	
									対SY11	普及性
	アンデスの乙女	2007	160	紡錘	淡赤	白	4.8	3.0	○	×
		2008	209	紡錘	淡赤	淡橙	5.9	3.0	○	○
		平均	185	紡錘	淡赤	淡橙	5.4	3.0	○	○
北海道立 花・野菜技術 センター	サラダ*オトメ	2007	164	紡錘	白	灰白	5.7	3.0		
		2008	228	紡錘	白	灰白	7.3	3.0		
		平均	196	紡錘	白	灰白	6.5	3.0		
	SY11	2007	172	紡錘	白	灰白	6.7	3.0		
		2008	169	紡錘	白	灰白	8.4	3.0		
		平均	171	紡錘	白	灰白	7.6	3.0		
	アンデスの乙女	2007	185	紡錘	赤	淡橙	7.6	2.7	△	△
		2008	146	長紡錘	赤	淡橙	7.6	3.3	×	×
		2009	241	長紡錘	赤	淡橙	4.9	3.4	○	○
		平均	191	長紡錘	赤	淡橙	6.7	3.1	△~○	△~○
北海道立 北見農業 試験場	サラダ*オトメ	2007	215	長紡錘	白	灰白	8.3	3.0		
		2008	233	紡錘	白	灰白	8.9	3.0		
		2009	274	紡錘	白	灰白~微橙	5.6	3.2		
		平均	241	紡錘	白	灰白	7.6	3.1		
	SY11	2007	213	紡錘	白	淡橙	9.6	3.0		
		2008	188	紡錘	白	灰白	10.7	3.0		
		2009	272	紡錘	白	灰白	6.4	3.0		
		平均	224	紡錘	白	灰白	8.9	3.0		
	アンデスの乙女	2007	212	紡錘	赤紫	淡橙	8.4	3.6	△	
		2008	246	紡錘	赤紫	淡橙	8.7	3.0	○	
		2009	255	紡錘	淡赤紫	淡橙	7.8	3.7	○	
		平均	238	紡錘	赤紫	淡橙	8.3	3.4	○	
長野県野菜 花き試験場	サラダ*オトメ	2007	245	紡錘	白	灰白	10.4	3.8		
		2008	192	長紡錘	白	淡黄白	11.4	3.0		
		2009	305	やや短紡錘	淡灰黄	淡黄白	8.8	4.3		
		平均	247	紡錘	白	淡黄白	10.2	3.7		
	SY11	2007	203	紡錘	白	灰白	11.2	3.0		
		2008	280	紡錘	白	淡黄白	10.0	3.0		
		2009	267	紡錘	淡黄灰	淡黄橙	8.0	3.0		
		平均	250	紡錘	白	淡黄白	9.7	3.0		

注) 各調査項目の調査基準は第3表脚注参照.

普及性: ○ (有望), △ (要検討), × (見込み無し) の3段階で評価.

として地温を上昇させることにより初期生育を促進させるためにマルチ被覆を行い、初期生育の促進を図ったことで「アンデスの乙女」の収量性が向上した。「アンデスの乙女」の塊根の収量性は、「サラダオトメ」や「SY11」に比べ、同等から高いが、塊根の平均1根重が小さいため、塊根の規格率は同等から低い。「アンデスの乙女」の塊根の形状は長紡錘形で、皮色は赤色であり、肉色は淡橙色である。「アンデスの乙女」の塊根のBrixはやや低いが、食味評価は「サラダオトメ」と同等である。夏季異常低温であった2008年を除けば「アンデスの乙女」の収量性は「サラダオトメ」や「SY11」と同等以上であったが、北海道立花・野菜技術センターと同様に皮色の評価が割れ、「アンデスの乙女」の総合評価は、「SY11」と同等から有望と判定された。

長野県野菜花き試験場の結果では、「アンデスの乙女」は草勢が概ね「サラダオトメ」や「SY11」と同等からやや強く、収穫時点で開花が確認された。また、「サラダオトメ」や「SY11」に比べ、「アンデスの乙女」の莖長は同等から長く、莖数は同等から多く、地上部重が大きい。「アンデスの乙女」は裂根が極めて少ないため塊根の規格率が高く、収量も極めて多い。「アンデスの乙女」の塊根の形状は紡錘形で、皮色は赤紫色、肉色は淡橙色である。「アンデスの乙女」の塊根のBrixは低く、食味評価は「サラダオトメ」よりもやや劣っていたが、総合評価は収量性や地上部の大きさが評価され、有望との判定であった。

北海道立花・野菜技術センターおよび北海道立北見農業試験場の結果では、「アンデスの乙女」は「サラダオトメ」や「SY11」に比べ、塊根1個あたりの重量が小さく、育成地での結果に比べても小さかった。塊根は地中の莖から多く出現する。莖数や塊根数が多かった北海道立花・野菜技術センターおよび北海道立北見農業試験場の結果から、莖数の多さが塊根数を増加させたことが考えられ、また、育成地に比べ生育期間が短かったことにより塊根の肥大期間が短くなり、結果として「アンデスの乙女」の塊根1個あたりの重量が小さくなったことが考えられた。

以上の結果から、系統適応性検定試験を実施した3場所とも育成地における生産力検定試験と同様

に、「アンデスの乙女」は、地上部の生育が旺盛で開花が早いこと、莖長が長く、莖数が多いため地上部重が大きいこと、塊根の皮色が赤みを帯びていること、塊根1個あたりの重量は比較的小さいが単位面積あたりの塊根の数量が多いことから収量が多いこと、また塊根のBrixは「サラダオトメ」や「SY11」よりも低いが、食味評価は概ね同等であることから、総合評価は有望と判定された。

3 塊根の糖含量調査

「SY11」、「サラダオトメ」、「アンデスの雪」、「サラダオカメ」および「アンデスの乙女」について塊根の糖含量を測定した(第7表)。香川県善通寺市生野町にある当研究センターの圃場において、2012年4月13日に苗を植え付け、同年12月18日に収穫した新鮮重200g程度の塊根を用い、分析を(財)日本食品分析センターに依頼した。「アンデスの乙女」の塊根は乾物重あたりの糖含量が「サラダオカメ」、「アンデスの雪」と同等で多く、「サラダオトメ」や「SY11」よりも多かった。また、「アンデスの乙女」の塊根のフラクトオリゴ糖含量は全糖含量の85%を占め、「SY11」の69%よりもその比率が高かった。

第7表 育成地における「アンデスの乙女」の塊根の乾物率及び糖含量

品種・系統名	乾物率 (%)	糖 (mg/gDW)				全糖
		果糖	ブドウ糖	ショ糖	フラクトオリゴ糖	
アンデスの乙女	13.9	56	29	39	690	815
SY11	13.7	103	60	46	476	685
サラダオトメ	14.1	13	11	23	698	745
アンデスの雪	12.9	59	34	42	669	804
サラダオカメ	15.2	25	18	40	743	826

注) 以下の方法で、2012年香川県善通寺市で栽培した塊根を用いて分析を行った。

- 栽培条件は、畝間100cm、株間50cm、苗の定植日は2012年4月13日、収穫日は2012年12月18日、施肥は定植前にN、P、Kそれぞれ成分量でm²当たり15g施用した。
- 糖含量の測定は(財)日本食品分析センターに依頼した。全糖含量(全糖)は加水分解後にソモギー変法(グルコース換算)で、単糖類、2糖類及び標準物質のある重合度の低いフラクトオリゴ糖は50%アルコールで抽出後HPLCで分析した。ヤーコンには上記以外に重合度の大きいフラクトオリゴ糖しか可用性糖類は含まれていないので、全糖含量から単糖類と2糖類を除いた物をフラクトオリゴ糖含量とした。

Ⅳ 栽培適地および栽培上の留意点

香川県善通寺市の当研究センター圃場（海拔24 m）での試験において、最大葉の伸長の推移などから、ヤーコンの生育障害は日平均気温25℃以上の高温によって引き起こされることが推察されている⁴⁾。本報告で実施した標高500 mの愛媛県久万高原町での試験結果から、「アンデスの乙女」は「サラダオトメ」や「SY11」よりも株あたりの地上部の生育が良く、塊根の収量も高かったことから、それらよりも温暖地での栽培適応性が高い可能性が考えられるが、香川県善通寺市の当研究センター圃場において「アンデスの乙女」を2011年および2012年に栽培した結果、比較として植えた他の品種と同じように8月に枯死した（データ省略、なお2011年および2012年8月の日平均気温はそれぞれ28.3℃、29.0℃）。「アンデスの乙女」の温暖地での栽培適応性については検討する必要があるが、現段階では、「アンデスの乙女」は、これまで育成された品種と同様に、北海道や東北などの夏の涼しい地帯での栽培に適すると考えられる。しかし、北海道立北見農業試験場の結果から、夏季の異常低温に遭遇した場合は生育の極端な低下がみられることから注意が必要であり、収量をあげるためにはマルチにより生育促進を計ることが重要であることが推察された。また、温暖地での栽培においては、標高の高い所が適し、平坦地では半日陰地の活用や高温乾燥時における敷きわらや灌水が必要になる。また、虫害は少ないが、土壌伝染性病害に対する抵抗性は十分ではないと考えられるので、連作は極力避けるようにする。なお、種苗についてはすでに農研機構と許諾契約を締結した種苗業者など（許諾業者）から販売されている。種苗法によりヤーコンは許諾業者ではない生産者による自家増殖が禁止されているため、生産者は毎年、許諾業者から種苗を購入する必要がある。許諾業者については、農研機構のホームページ (<http://www.naro.affrc.go.jp/patent/breed/attention/attention1.html>) に掲載されているので、参照されたい。

Ⅴ 育成従事者

当品種の育成従事者は次のとおりである。
 中西建夫（1991年～2005年）
 藤野雅丈（1997年～2010年）
 中路純子（2000年～2010年）
 石川浩一（2006年～2011年）
 杉浦 誠（2009年～2011年）

Ⅵ 摘 要

収量や品質の向上、多様な形質を持つヤーコンの品種の作出を目標に育種に取り組み、「アンデスの乙女」を育成した。「アンデスの乙女」は、国際バレイショセンターから導入した「SY107」と日本初のヤーコン品種「サラダオトメ」を交配した後代（「97C5-56」）に、ペルーから導入した「SY11」を交配して得た個体から選抜した品種である。この品種の特徴は以下のとおりである。

1. 草姿は中間型で、葉色は濃い。茎長は「サラダオトメ」や「SY11」よりも長く、茎数が多く、地上部重が極めて大きい。
2. 株あたりの塊根数、塊根重が多く、塊根の収量が「サラダオトメ」や「SY11」よりも多い。
3. 塊根は滑らかな紡錘形であり、皮色は赤紫色で、肉色は淡橙黄色である。
4. 塊根における裂根の発生は「サラダオトメ」や「SY11」よりも少ない。
5. 塊根の糖度、食味は「サラダオトメ」と同程度であり、フラクトオリゴ糖含量は「SY11」よりも多い。

引用文献

- 1) Alfredo Grau and Julio Rea 1997. Yacon. Ed. Hermann, M. and J. Heller. Andean roots and tubers: Ahipa, arracacha, maca and yacon. IPGRI, Italy. 199 - 242.
- 2) 藤野雅丈 2001. わが国でのヤーコン栽培と今後の課題. 農及園76 (9) : 969 - 975.
- 3) 藤野雅丈・中西建夫・石原次郎・小野貞芳・土

- 井芳憲・杉浦 誠・富岡啓介 2008. ヤーコンの新品種「アンデスの雪」および「サラダオカメ」の育成. 近中四農研報 7 : 131 - 143.
- 4) 亀野 貞・川嶋浩樹・竹崎あかね 1996. ヤーコンの生育特性およびフラクトオリゴ糖含量. 園学雑 65 (別2) : 446 - 447.
- 5) 亀野 貞 1998. ヤーコンの生育特性と栽培適地. 四国農業試験場公開セミナー要旨 : 5 - 10.
- 6) 杉浦 誠・中西建夫・亀野 貞・土井芳憲・藤野雅丈 2007. ヤーコン新品種「サラダオトメ」の育成. 近中四農研報 6 : 1 - 13.
- 7) 月橋輝男・中西建夫 2004. 新特産シリーズ ヤーコン 健康効果と栽培・加工・料理. 農文協, 東京. 79 - 104.

A New Yacon Cultivar, ‘Andesu no Otome’

Makoto SUGIURA, Tateo NAKANISHI¹, Masatake FUJINO¹ and Koichi ISHIKAWA²

Key words: yacon, new cultivar, Andesu no otome, high yielding ability, epidermis color of the tuberous root

Summary

A new yacon cultivar, ‘Andesu no otome’, was released at Western Region Agricultural Research Center in 2011. We selected ‘Andesu no otome’ from lines made by a crossing on 2000 between ‘97C5-56’ and ‘SY11’. The line ‘97C5-56’ was selected from a crossing on 1997 between ‘SY107’ and ‘Sarada otome’. The line ‘SY11’ is a clone of the line introduced via New Zealand from Peru in 1984. The line ‘SY107’ was introduced to Japan from International Potato Center in 1992. ‘Sarada otome’ was the first breeding variety of yacon in Japan. The main characteristics of ‘Andesu no otome’ are as follows;

1. The plant type and the leaf color of ‘Andesu no otome’ are intermediate and dark green, respectively. The length of stem, the number of stems and the yield of the top of ‘Andesu no otome’ are superior to those of ‘Sarada otome’ and ‘SY11’.
2. The number of the tuberous roots and yielding ability of the tuberous root of ‘Andesu no otome’ are higher than those of ‘Sarada otome’ and ‘SY11’.
3. The shape of the tuberous root of ‘Andesu no otome’ is fusiform and smooth. The epidermis color and the flesh color of the tuberous root of ‘Andesu no otome’ are magenta and pale orange-yellow, respectively.
4. Occurrence of cracked tuberous roots of ‘Andesu no otome’ is lower than that of ‘Sarada otome’ and ‘SY11’.
5. Brix and evaluation value of eating quality test of ‘Andesu no otome’ are equal to those of ‘Sarada otome’. Content of fructoligosaccharides in the tuberous root of ‘Andesu no otome’ are higher than that of ‘SY11’.

Hillside Horticulture Research Division, NARO Western Region Agricultural Research Center

¹ Ex-NARO Western Region Agricultural Research Center

² NARO Institute of Vegetable and Tea Science

甘草抽出物のキュウリべと病および炭疽病に対する 発病抑制機作に関する研究

宮川久義・大野裕和¹

Key words : 甘草抽出物, キュウリべと病, キュウリ炭疽病, 発病抑制機作, グリチルレチン酸, フラボノイド類

目 次

I 緒 言	71	2 キュウリべと病に対する発病抑制効果	91
II 甘草抽出物 (MZ-1) のキュウリべと病に対する発病抑制効果	73	3 甘草刻の50%エタノール抽出液およびホワイトリカー抽出液に含まれる成分	92
1 MZ-1分画物の発病抑制効果	74	V キュウリ葉上でのフラボノイド類の動態および溶液の物理的安定性	92
2 フラボノイド類の発病抑制効果	76	1 キュウリ葉散布後のフラボノイド量の変化	93
3 グリチルリチン酸類の発病抑制効果	79	2 主要成分の混合溶液の物理的安定性	95
4 MZ-1のキュウリべと病に対する発病抑制機作	81	VI MZ-1のキュウリべと病に対する発病抑制効果 (圃場試験)	96
III MZ-1のキュウリ炭疽病に対する発病抑制効果	83	1 各種展着剤の発病抑制効果におよぼす影響	96
1 MZ-1分画物の発病抑制効果	83	2 グリチルレチン酸および油性甘草抽出物の発病抑制効果	97
2 フラボノイド類の発病抑制効果	84	VII 総合考察	99
3 グリチルリチン酸類の発病抑制効果	85	摘 要	101
4 主要成分の炭疽病菌胞子発芽抑制効果	87	謝 辞	102
5 キュウリ褐斑病に対するグリチルレチン酸の発病抑制効果	88	引用文献	102
IV 乾燥甘草根のエタノール抽出液の発病抑制効果	89	Summary	105
1 キュウリ炭疽病に対する発病抑制効果	89		

I 緒 言

カンゾウ (甘草, Licorice) とはユーラシア大陸の北緯 40 度周辺の乾燥地帯に野生するマメ科 (Leguminosae) カンゾウ (*Glycyrrhiza*) 属の多年草である。高さ 1 ~ 3 m で茎の下部は木質化し、ス

トロン (根茎) が伸びて茎を出して増殖する。6 月頃レンゲに似た淡紫色の花が咲き、豆果は茶褐色で種子が数個生じる^{28, 49)}。その根および根茎 (ストロン) を乾燥したものは、古代から東洋および西洋で生薬として供されている⁴⁹⁾。わが国においても日本薬局方 (第十六改正)¹⁴⁾ に掲載されており、漢方指定処方⁷⁾ の 7 割以上に配合される主要な生薬の一つ

である。Glycyrrhiza属植物は約30種知られているが、主として利用されているのは、主要な薬効成分であるグリチルリチン酸を含有する *G. glabra* Linné (ヨウカンゾウ)、*G. inflata* Batalin (チョウカンゾウ)、*G. uralensis* Linné (ウラルカンゾウ) の3種である^{49, 54)}。甘草に含まれるサポニンの一種、グリチルリチン酸には、抗炎症作用、鎮咳作用、抗アレルギー作用、抗腫瘍作用などの薬理活性が知られている^{49, 54)}。また、グリチルリチン酸は砂糖の約200倍の甘味を有し、食品、特に醤油、味噌、漬け物などに広く使用されている。これらサポニン成分は水溶性であるため、水や熱水で抽出できる⁴⁹⁾。

一方アルコールなどの有機溶媒で抽出される抽出物(以下油性甘草抽出物)には多くのフラボノイドが含まれている。主要なものはリクイリチン、イソリクイリチンなどである。このリクイリチン、イソリクイリチンおよびそれらのアグリコンであるリクイリチゲニンおよびイソリクイリチゲニンは上記3種類の甘草に共通して含まれるが⁴⁹⁾、それ以外に種特異的なフラボノイド成分があり、*G. glabra*ではグラブリジン⁴⁰⁾、*G. inflata*ではリコカルコンA⁴⁰⁾、*G. uralensis*ではグリシクマリン¹⁾などが知られている。甘草フラボノイドには抗酸化作用、抗菌作用、抗変異原作用などの生理活性が知られている^{43, 49, 50, 51)}。

上述のグリチルリチン酸を主成分とする抽出物、フラボノイドを主成分とする抽出物はいずれも消費者庁の定める食品添加物リストの中の「既存添加物名簿収載品リスト」⁴⁷⁾に掲載されている。

2003年度に近畿中国四国農業研究センター(以下当研究センター)と丸善製薬株式会社との間で「甘草抽出物の作物病害に対する防除機作の解明」に関

する共同研究を実施した。本研究では、甘草根およびストロンから工業的にグリチルリチン酸を抽出製造する過程で得られたフラボノイド類を高含量で含む甘草抽出物³⁷⁾を主な研究対象とした。この甘草抽出物は、黄褐色粉末でわずかに柑橘系の芳香を有し、「甘草抽出物MZ-1」と名付けられた(以下MZ-1, 写真1)。研究の端緒になったのは、予備的にこのMZ-1の水溶液を露地のトマト、キュウリに散布したところ、無散布区で枯死葉(病名不詳)が生じた状況でも、散布区では健全であったこと、またキュウリ葉から単離した数種糸状菌(未同定)の培地上での菌糸生育をMZ-1が抑制したことである。そこで、糸状菌に起因する野菜類の茎葉病害防除にMZ-1が有効ではないかと考え、研究を開始した。

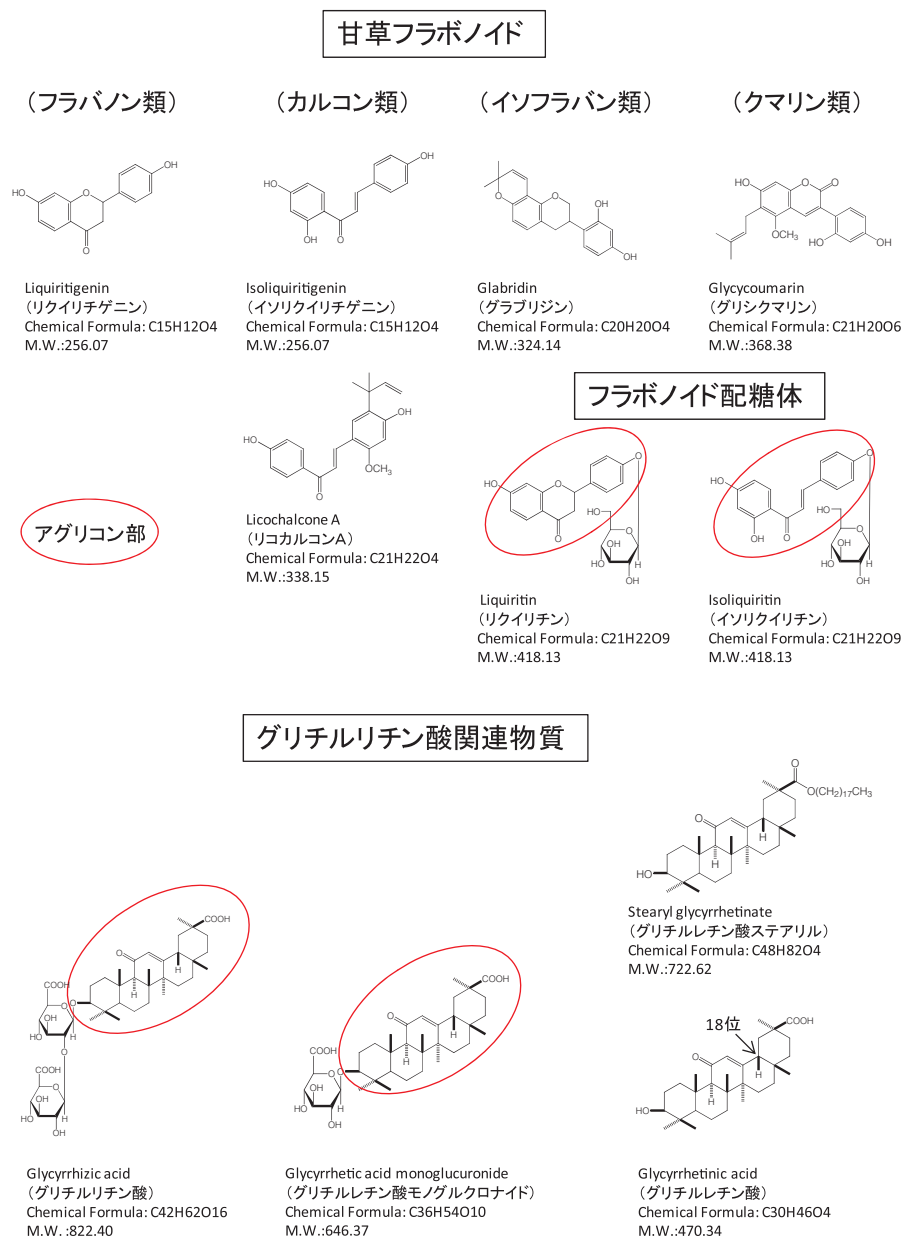
MZ-1が15種類の植物病原糸状菌に100 μ g/mL~1,000 μ g/mLの濃度で抗菌性を示し、キュウリ、トマト、ピーマンの数種の茎葉病害に対してポット試験で高い発病抑制効果を有することを確認した¹⁸⁾。得られた成果の一部については、論文、学会発表および商業誌などに報告した^{16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24)}。さらに、これらの知見にもとづき、特許2件^{37, 38)}(共同出願)を取得した。キュウリ、トマト、ピーマンなどの病害に関する研究のほかにも共同研究を実施し、イネばか苗病、いもち病、ごま葉枯病などの水稻種子伝染性病害に対するMZ-1の種子消毒効果、イチゴ炭疽病菌に対する抗菌検定など多岐にわたって研究を行ってきた。

本論文は、キュウリべと病および炭疽病を対象にしてMZ-1に含まれる各フラボノイドおよびグリチルリチン酸などの主要成分の抗菌活性および発病抑制効果、MZ-1を用いた圃場試験、市販生薬の甘草刻からの抽出液の病害発病抑制効果などを中心とした研究結果をとりまとめたものである。

本論文では混乱を避けるため、原植物は「カンゾウ」と記載し、収穫したカンゾウの製品は「甘草」と言葉を使い分けて記述する。甘草抽出物については、日本薬局方¹⁴⁾では「カンゾウエキス」、既存添加物リスト⁴⁷⁾では「カンゾウ抽出物」と表記されているが、本論文では「甘草抽出物」と記述する。また、甘草に含まれる甘味成分についてはグリチルリチンまたはグリチルリチン酸の両方の呼び名があるが、本論文ではグリチルリチン酸を用いる。甘草



写真1 供試した甘草抽出物MZ-1



第1図 本研究で供試した主要物質の構造式、分子量などの一覧

抽出物に含まれるフラボノイド類、グリチルリチン酸関連物質など本論文で使用する主要物質の構造式、分子量などは第1図に示した。

II 甘草抽出物 (MZ-1) のキュウリべと病に対する発病抑制効果

前報¹⁸⁾で報告したように、MZ-1の1,000 μ g/mL (0.1%)液をキュウリに散布・風乾後にキュウリべと病菌 (*Pseudoperonospora cubensis* (Berk. & M.A. Curtis) Rostowzew) を接種しても、べと病

病斑が発生せず、高い発病抑制効果があることが分かった。MZ-1は甘草根からフラボノイド類が高含量になる製法で精製されているが³⁷⁾、フラボノイド類のほか、グリチルリチン酸なども含有しているため¹⁸⁾、疎水性の違いによりMZ-1をカラムクロマトグラフィーで分画し、ポット試験により各分画物の発病抑制効果を検討してMZ-1のどの成分がべと病の発病抑制効果に関与しているか明らかにした。なお、キュウリべと病菌は絶対寄生菌で培地上で人工培養できないため、*in vitro*での菌糸伸長抑制試験は行わなかった。

1 MZ-1分画物の発病抑制効果

1) 材料および方法

(1) 供試植物および処理, 病原菌接種方法

キュウリ品種; 「つや太郎」(タキイ種苗) を供試し, 直径9cmの黒ポリポットに播種し, 本葉1~2枚の幼苗を素焼鉢(直径15cm, 高さ13cm)に移植してガラス温室で栽培した. 培土には市販園芸培土(商品名: タキイ花と野菜の土)を使用した. 播種約1ヶ月後の本葉が5~6枚出葉した時期に供試した.

散布処理するMZ-1などの溶液の調整方法や濃度は個別に記載したが, 病原菌の接種試験では共通して1処理区にキュウリ4鉢を供試し, 供試溶液を株の全葉の表裏に滴り落ちる程度にコンプレッサーとガラス製小型噴霧器を用いて噴霧した. 供試薬液の散布量は原則として4株で200mLとしたが, 植物体が小さい場合は, 150mLあるいは120mLに散布量を減らした. 対照は蒸留水散布とした.

グリチルレチン酸などのトリテルペン類, イソリクイリチゲニンなどのフラボノイド類は水に不溶性なので, 99%エタノール(以下EtOH)に溶解後に, 蒸留水で希釈した. 例えば, 最終濃度が1,000 μ g/mL(0.1%)の場合では99%EtOHで50倍(w/v)溶液を作製し, 散布直前に蒸留水でさらに20倍希釈した. これは希釈直後は懸濁状態であるが, 時間が経過すると, 凝集・沈殿するためである.

供試薬液を散布して風乾後(散布4~6時間後)にキュウリべと病菌(*P. cubensis*)を接種した. 供試菌は当研究センター内圃場で採取した分離株である. キュウリ苗に継代接種して保存中の菌株を鉢植えキュウリに接種し, 病斑形成させた罹病葉を水洗後, ポリ容器内で25 $^{\circ}$ C湿度100%で1日間保ち新たに生じた分生子(遊走子嚢)を供試した. 絵筆を用いて蒸留水で葉上の分生子を洗い落とし, 4重ガーゼで濾過した. 分生子液は蒸留水で希釈し, 分生子濃度を約1,500個/mLとした. 蒸留水は氷冷したものを用い, 分生子液も接種終了時まで氷冷した. これは, 接種時まで遊走子が放出されることを抑制するためである. この分生子液をキュウリ4株で50mL(試験により40mLの時もある)噴霧し, 直ちに大型透明ポリ袋(90cm \times 120cm)に入れて密閉し, 25 $^{\circ}$ C・照明有りの条件下で2日間保湿した. 以

後ガラス室で栽培し, 接種8~10日後に発病調査した. 調査は各葉位別に全葉の病斑数を目視調査し, 4株の平均値, 標準誤差を算出した. 多発生して病斑が融合したときは, 下記基準で全葉を発病程度別に調査して発病度を算出した.

A(発病程度4): 葉の病斑面積率50%以上

B(発病程度3): 同25%以上50%未満

C(発病程度2): 同5%以上25%未満

(概ね病斑が1葉に20~30個)

D(発病程度1): 同5%未満

(概ね病斑が1葉に10個以下)

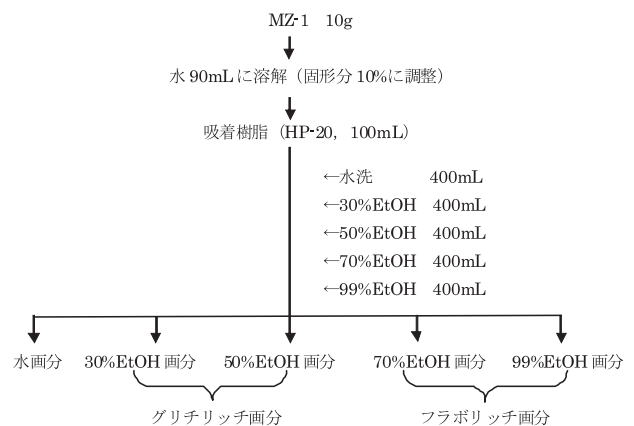
E(発病程度0): 病斑無し

発病度 = $\sum i P_i / 4n \times 100$ (i: 発病程度数値, P_i : 発病程度iの葉数, n: 1株の調査全葉数)

反復試験の統計処理にはOMS出版の「エクセル統計Ver.3」のアドインソフトStatcel3を用いた. 病原菌の接種は4株まとめて行ったので, 反復無しの試験では誤差線記載および統計検定を行わなかった.

(2) MZ-1の成分分析およびその分画物の発病抑制効果

MZ-1などに含まれるグリチルリチン酸およびリクイリチン, イソリクイリチンなどのフラボノイド含量の分析は, 特許公報記載の方法³⁷⁾によりHPLC分析を行った. 比較対照に甘草熱水抽出物および甘草粉末を供試した. 甘草熱水抽出物とは甘草根の熱水抽出液を乾燥させた褐色粉末で食品甘味料



第2図 甘草抽出物MZ-1の分画方法

第1表 MZ-1, 甘草熱水抽出物および甘草粉末に含まれるグリチルリチン酸およびフラボノイド含量

	MZ-1		甘草熱水抽出物	甘草粉末
	10ロットの範囲	Lot.20040605		
グリチルリチン酸	8.0~13.0	9.7	6.0~9.0	2.0~3.0
リクイリチン	4.0~ 8.0	4.1	1.0~3.0	0.2~0.6
イソリクイリチン	1.0~ 3.0	1.6	0.2~0.5	0.0~0.1
リクイリチゲニン	0.5~ 2.0	1.2	0.1~0.3	0.0~0.1
イソリクイリチゲニン	0.5~ 2.0	1.2	0.05~0.2	0.0~0.05
フラボノイド類の合計	6.0~15.0	8.1	1.0~3.0	0.2~0.6

表中の単位は%, 各々10ロットの分析結果を示した。

注) MZ-1は上記フラボノイド類の他, リコカルコンAを0.2~1.0%含有。また, グリチルリチン酸のアグリコンであるグリチルレチン酸を0.9%含有。

として市販されている。また甘草粉末とは甘草の根茎を乾燥後粉碎したもので, 甘味料として漬物などに使用される⁴⁸⁾。

第2図に示したように, MZ-1 10gを蒸留水90mLに溶解して吸着樹脂(ダイヤイオンHP-20; 三菱化学(株)製)を100mL充填したカラムクロマトを用い, 蒸留水, 30%, 50%, 70%および99% EtOH各400mLで分画した。このうち, 30%および50% EtOH分画物をまとめて乾燥粉末化したものをグリチリッチ画分(グリチルリチン酸が多く含まれる画分), 70%および99% EtOH分画物をまとめて乾燥粉末化したものをフラボリッチ画分(フラボノイドが多く含まれる画分)と略称する。フラボリッチ画分は70% EtOHに溶解したあと, 蒸留水で20倍希釈して1,000 μ g/mL (0.1%)とした。グリチリッチ画分およびMZ-1は直接蒸留水に溶解し0.1%とした。これらを鉢植えキュウリ4株に噴霧し, 風乾後にべと病菌液を噴霧接種した。試験は4回反復した。なお, 以下のキュウリに対する接種検定では原則としてMZ-1 (Lot. 20040605)を供試した。

2) 結果および考察

(1) MZ-1に含まれる成分について

第1表にMZ-1に含まれるグリチルリチン酸およびリクイリチン, イソリクイリチンなどのフラボノイド含量を示した。MZ-1などの甘草抽出物は天然物由来のため, 成分量に若干の変動があり, 第1表ではLot. 20040605およびそれを含む10ロットの濃度範囲のデータを示した。甘草熱水抽出物および甘草粉末と比較すると, 各フラボノイド含量が高い。なお, 一般に甘草根中ではフラボノイドは配糖体で

第2表 MZ-1の分画物に含まれるグリチルリチン酸およびフラボノイド含量

	MZ-1	グリチリッチ画分	フラボリッチ画分
グリチルリチン酸	11.0	18.0	0
リクイリチン	5.9	8.4	0
イソリクイリチン	1.9	0.5	0.03
リクイリチゲニン	4.3	1.3	15.07
イソリクイリチゲニン	2.2	0	12.47

表中の単位は%。

注) 本実験で用いたMZ-1は製造初期のもので, 第1表に示す品質管理の確立した現在のMZ-1と若干成分量が異なる。

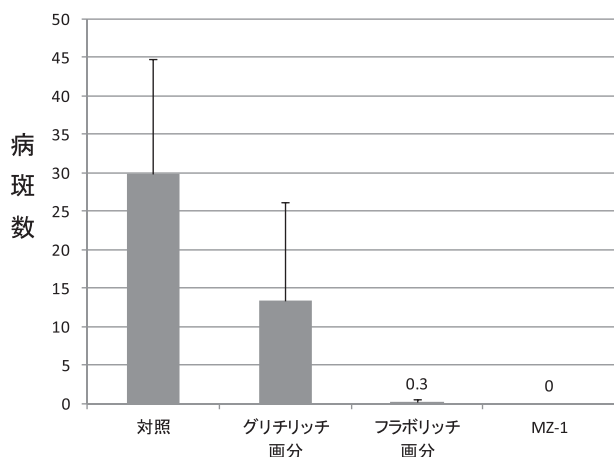
存在するが, 製造過程で加熱などによりアグリコンが生成されると考えられる。また, 本研究で供試したMZ-1は原料カンゾウ種(*G. inflata*)に特異的なフラボノイドであるリコカルコンAを含んでいる。Haraguchi et al.⁶⁾によると, *G. inflata*にはリコカルコンA, B, CおよびDの4種類が存在し, 糸状菌(*Mucor pusillus* Lindt)に対する抗菌活性はリコカルコンAが最も高かった。

(2) MZ-1分画物の発病抑制効果

次に, 分画に供試したMZ-1およびMZ-1の各画分に含まれるグリチルリチン酸およびフラボノイド類の含量を第2表に示した。フラボリッチ画分にはグリチルリチン酸が含まれず, リクイリチゲニン, イソリクイリチゲニンが多く含まれ, 配糖体はほとんど含まれていない。一方, グリチリッチ画分はその逆で, グリチルリチン酸が多く, フラボノイド(アグリコン)は少ない。なお供試したMZ-1は製造初期(2002年頃)のもので, 品質管理が確立した第1表に示すMZ-1とはフラボノイド含量が一部異なる。

4回の接種試験のうち1回は激発して, 発病程度別の調査であったため, 病斑数のデータのある3回

の試験の平均を第3図に示した。この試験ではフラボリッチ画分およびMZ-1では3回の試験とも、ごくわずかのべと病しか発生せず、高い発病抑制効果を認めた。なお、対照区の試験間の変動が大きいため、Tukey-Kramer法の検定で有意差は示せなかった。一方、グリチリッチ画分にも程度は低いが対照に比べ発病抑制効果が認められた。写真2にMZ-1散布処理後にべと病菌を接種した時の発病抑制効果を示した。



第3図 MZ-1分画物のキュウリべと病発病抑制効果

各物質供試濃度：1,000 $\mu\text{g}/\text{mL}$ ，エラーバーは標準誤差。反復間の変動が大きいため処理間に有意差はなかった (Tukey-Kramer法)。

なお、病斑数が少ない場合は、無発病と区別するためデータを記載した。

以下の図でも同じ。

2 フラボノイド類の発病抑制効果

1) 材料および方法

(1) 試験1

前節の試験でフラボリッチ画分に発病抑制効果を認めたため、MZ-1に含まれるフラボノイド類の発病抑制効果について検討した。MZ-1に含まれるリクイリチン、イソリクイリチンおよびそれらのアグリコンであるリクイリチゲニンおよびイソリクイリチゲニンを供試した。MZ-1 (100 g) をHP-20カラムクロマトでEtOH濃度を段階的に上昇させて溶出させ、4分画を得た。このうち50%EtOH + 70%EtOH溶出部をODSカラムクロマト (40%メタノールで溶出、以下MeOH) で3分画した。フラクション1をSiO₂カラムクロマト (クロロホルム：MeOH = 5：1) で分画して得られた粗分画について再結晶を行い、リクイリチンを得た。フラクション2より同様にイソリクイリチンを得た。99%EtOH溶出部をODSカラムクロマト (60%MeOH) で分画して得られた粗分画から再結晶によりイソリクイリチゲニンを得た。また、ODSカラムクロマト (40%MeOH) で得られた粗分画からリクイリチゲニンを得た。これらのフラボノイドは標品とTLCおよび¹³C-NMRデータの比較により同定した。

試験1としてリクイリチン、イソリクイリチン、リクイリチゲニンおよびイソリクイリチゲニンについて発病抑制効果を検討した。イソリクイリチン、リクイリチゲニンおよびイソリクイリチゲニンについては99%EtOHに溶解したあと、蒸留水で20倍希釈して100 $\mu\text{g}/\text{mL}$ とした。リクイリチンは50%EtOHに溶解したあと、蒸留水で20倍希釈し100 $\mu\text{g}/\text{mL}$ と



写真2 MZ-1のキュウリべと病に対する発病抑制効果

(MZ-1の処理濃度：1,000 $\mu\text{g}/\text{mL}$)

した。MZ-1は直接蒸留水に溶解し100 $\mu\text{g}/\text{mL}$ とした。これらをキュウリ4株に噴霧し、風乾後にべと病菌を接種した。試験は2回反復した。なお、以後の試験では比較対象のMZ-1濃度は、陽性対象として効果が確実に確認できる1,000 $\mu\text{g}/\text{mL}$ とした。一部試験で供試フラボノイド濃度が100 $\mu\text{g}/\text{mL}$ の場合、MZ-1も同濃度に設定した場合もあるが、例外もあり厳密には区別していない。

(2) 試験2

試験1で効果の高かったイソリクイリチゲニンおよびリクイリチゲニンにMZ-1に含まれるリコカルコンAを加え、MZ-1を対照にして試験した。リコカルコンAおよびイソリクイリチゲニンはともにカルコン骨格²⁸⁾(第1図)を持つ黄色のフラボノイドである。前述の3種フラボノイドは99%EtOHに溶解後、蒸留水で20倍希釈して100 $\mu\text{g}/\text{mL}$ とした。この試験は2回反復した。

(3) 試験3

試験3として*G. glabra*に特異的なフラボノイドであるグラブリジン(丸善製薬精製品、第1図)を加え、上述の5種のフラボノイドと発病抑制効果を比較した。リクイリチン以外のフラボノイドは99%EtOHに溶解後、蒸留水で20倍希釈して100 $\mu\text{g}/\text{mL}$ とした。この試験ではリクイリチンは70%EtOHに溶解後、蒸留水で20倍希釈した。その他は試験1, 2と同様である。ただし、MZ-1のみ濃度を1,000 $\mu\text{g}/\text{mL}$ とした。

(4) 試験4

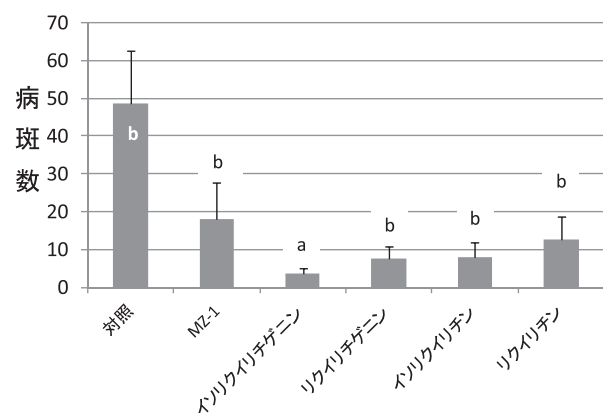
試験4としてカンゾウ以外の植物に含まれるフラボノイドの発病抑制効果を検討した。イソリクイリチゲニンと同じカルコン骨格を持つカーサミン、リクイリチゲニンと同じフラバノン骨格²⁸⁾(第1図)を持つヘスペリジン、ナリンゲニンおよびその配糖体ナリンギンを供試した。これらはいずれも市販試験薬(和光純薬製)を供試した。ナリンゲニンおよびナリンギンは99%EtOHに溶解後、蒸留水で20倍希釈して100 $\mu\text{g}/\text{mL}$ とした。カーサミンは蒸留水に溶解して100 $\mu\text{g}/\text{mL}$ としたが、ヘスペリジンは水、99%EtOHのいずれにも溶解しなかったため、蒸留水懸濁液の状態でも供試した。対照のMZ-1のみ濃度は1,000 $\mu\text{g}/\text{mL}$ とした。野方³²⁾によると、ナリンギンおよびヘスペリジンはカンキツに多く含まれるフ

ラボノイドで、仮にこれらに強い発病抑制効果があれば、通常廃棄されているカンキツ果汁搾汁残渣などが病害防除素材になると考えたためである。

2) 結果および考察

(1) 試験1

2回の試験の平均を第4図に示した。供試したフラボノイドは配糖体およびアグリコンとも発病抑制効果があり、特にイソリクイリチゲニンの効果が大きく、対照とTukey-Kramer法の検定で5%有意差が認められた。また配糖体よりアグリコンの方が効果が高い傾向であった。一般に健全植物ではフラボノイド類はpost-inhibitins⁸⁾(感染後に化学変化して抗菌活性化するもの)として不活性な配糖体として液胞に貯蔵されており、これが病原菌の侵入やエリシター処理によりグリコシダーゼの酵素作用で抗菌活性を有するアグリコンに変わることがよく知られている¹³⁾。これは細菌に対するデータであるが、Puupponen-Pimiä *et al.*⁴²⁾はフィンランドベリーから抽出した多数のフェノール物質の抗菌活性を調査した。その中でQuercetinとその配糖体Isoquercitrinの細菌に対する抗菌活性を比較すると、Quercetinの方が抗菌活性が高いことを示した。配糖体の方がアグリコンより分子量が大きく、同じ100 $\mu\text{g}/\text{mL}$ であってもモル濃度が低いことは考慮しなければならないが、本論文の引用文献^{1, 6, 7, 12, 27, 40, 42)}では各物質の抗菌活性を $\mu\text{g}/\text{mL}$ で比較しているため、本論文でもそれに従った。



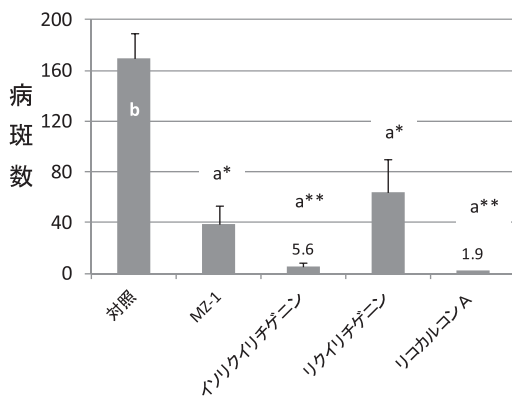
第4図 MZ-1に含まれるフラボノイドのキュウリべと病発病抑制効果

各物質供試濃度：100 $\mu\text{g}/\text{mL}$ ，異なる英字間には5%有意差あり(Tukey-Kramer法)。

なお、MZ-1の効果は各フラボノイド単独よりやや劣ったが、これはMZ-1に含まれる4種フラボノイド含量の合計は最も多いもので15%であるため(第1表)、MZ-1と各フラボノイド類とを同一濃度(100 $\mu\text{g}/\text{mL}$)で供試した場合は発病抑制効果が劣ると考えられた。

(2) 試験2

2回の反復の平均を第5図に示した。対照とMZ-1、リクイリチゲニンとの間には5%有意差、対照とイソリクイリチゲニン、リコカルコンAとの間にはTukey-Kramer法で1%有意差があったが、リクイリチゲニンの効果はやや劣った。なお、リクイリチ

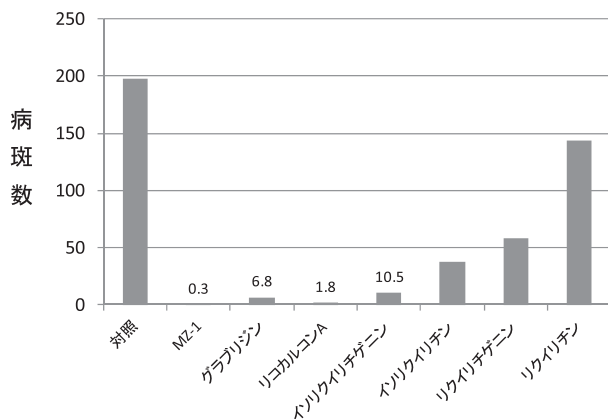


第5図 イソリクイリチゲニン、リクイリチゲニンおよびリコカルコンAのキュウリペと病発病抑制効果

各物質供試濃度：100 $\mu\text{g}/\text{mL}$ ，異なる英字間には有意差あり(Tukey-Kramer法)。

a*：対照とMZ-1，リクイリチゲニン間には5%有意差，

a**：対照とイソリクイリチゲニン，リコカルコンA間には1%有意差あり。



第6図 グラブリジンおよびMZ-1に含まれるフラボノイド類のキュウリペと病発病抑制効果

各物質供試濃度：100 $\mu\text{g}/\text{mL}$ ，ただしMZ-1のみ1,000 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 。

ゲニンは、マメ科植物のアルファルファ (*Medicago sativa* Linné)，コマツブウマゴヤシ (*M. lupulina* Linné) が病原糸状菌 (*Helminthosporium carbonum* Ullstrup) の感染を受けたときに生成されるファイトアレキシンとして報告があり⁹⁾，抗菌活性を有すると考えられる。

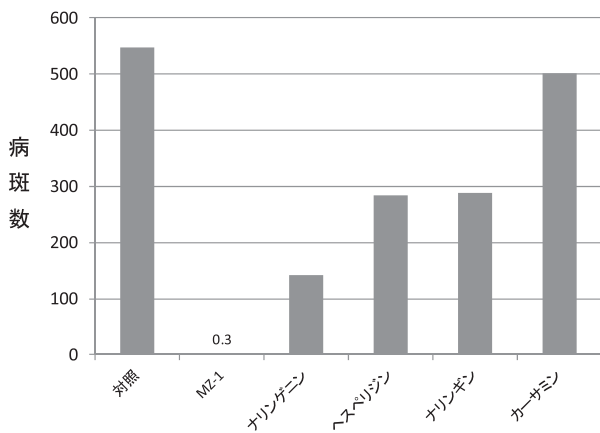
(3) 試験3

第6図に結果を示した。グラブリジンはリコカルコンA，イソリクイリチゲニンと同様に100 $\mu\text{g}/\text{mL}$ で高い発病抑制効果を示した。Okada *et al.*⁴⁰⁾によると、リコカルコンAとグラブリジンのグラム陰性細菌(2種)に対する抗菌活性(*in vitro*でのMIC値)は同等であるが、酵母類および糸状菌(各2種)に対しグラブリジンは7.81~31.3 $\mu\text{g}/\text{mL}$ のMIC値を示すのに対し、リコカルコンAはいずれも>250 $\mu\text{g}/\text{mL}$ であった。このことから考えると、植物病原糸状菌に対してもグラブリジンの方が高い抗菌活性を示すことが想定されるが、試験3ではともに同等の高い発病抑制効果を示した。べと病菌は分類学上クロミスタ界(卵菌門)に属し、Okada *et al.*⁴⁰⁾が供試した糸状菌(*M. pusillus*, *Aspergillus niger* Tiegh)は菌界(接合菌門、子囊菌門)に属するなど両者は分類学的、形態的に大きく異なる³⁵⁾ことが影響していると考えられる。

また試験1と同様、イソリクイリチゲニン、リクイリチゲニンとその配糖体を比較するとアグリコンであるイソリクイリチゲニン、リクイリチゲニンの方が発病抑制効果が高かった。この試験ではMZ-1は1,000 $\mu\text{g}/\text{mL}$ で試験したため、第4図、第5図に比べ発病抑制効果が高かった。なお、配糖体のリクイリチゲニンの発病抑制効果は試験1に比べるとやや低かったが、この試験では対照区の発病程度が高かったことなどの要因も考えられる。

(4) 試験4

第7図に結果を示した。ナリンゲニン、ヘスペリジンおよびナリンギンは供試濃度100 $\mu\text{g}/\text{mL}$ で試験したが、ナリンゲニンでは病斑数が対照の約1/4、ヘスペリジンおよびナリンギンでは約1/2となり発病抑制効果が見られたが、カーサミンはほとんど効果がなかった。MZ-1は濃度1,000 $\mu\text{g}/\text{mL}$ で試験したため、ほとんど発病しなかった。アグリコンのナリンゲニンの方が配糖体より効果が高いのは、イソリ



第7図 カンキツなどに含まれるフラボノイド類のキュウリべと病発病抑制効果

各物質供試濃度：100 μ g/mL，ただしMZ-1のみ1,000 μ g/mL.

クイリチゲニンおよびリクイリチゲニンの場合と同じであった。

Padmavati *et al.*⁴¹⁾によるとナリンゲニンはイネの白葉枯病菌 (*Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae* (Ishiyama) Swings *et al.*) の生育抑制，いもち病菌 (*Pyricularia oryzae* Cavara) の孢子発芽阻害作用があったが，紋枯病菌 (*Rhizoctonia solani* J.G. Kühn) には抗菌活性を認めなかった。なお，直接比較は行っていないが，第6図，第7図のMZ-1の相対比較から考えると，ナリンゲニンのキュウリべと病の発病抑制効果はグラブリジン，リコカルコンAより劣ると考えられる。

3 グリチルリチン酸類の発病抑制効果

前節の試験ではMZ-1のグリチルリチン酸を含む画分(グリチルリッチ画分)にも弱いながら発病抑制効果が認められたため，グリチルリチン酸類の発病抑制効果について試験した。

1) 材料および方法

(1) 試験1

供試物質は，グリチルリチン酸，グリチルリチン酸二カリウム(以下グリチルリチン酸K2)，グリチルリチン酸二ナトリウム(以下グリチルリチン酸Na2)およびグリチルレチン酸(グリチルリチン酸のアグリコン)について発病抑制効果を調査した。これらの物質はいずれも甘草根およびMZ-1に含まれているが，試験には市販試薬(和光純薬製)を供

試した。

まず，これらの供試濃度を1,000 μ g/mLとした試験を行った。試験は2回に分けて行い，まずMZ-1，グリチルリチン酸，グリチルリチン酸K2，グリチルリチン酸Na2について試験した。次に，MZ-1，グリチルリチン酸，グリチルレチン酸について試験した。グリチルリチン酸およびグリチルレチン酸は99% EtOHで溶解後，散布直前に蒸留水で20倍希釈して1,000 μ g/mLとした。なお，グリチルレチン酸は蒸留水で20倍希釈すると白濁した。その他の物質および対照のMZ-1は蒸留水に溶かして1,000 μ g/mLとした。散布・風乾後にべと病菌を接種した。

(2) 試験2

試験1で供試した物質の濃度を100 μ g/mLに下げた試験を行った。この試験は2回反復した。なお，グリチルレチン酸は99% EtOHに可溶であるが，蒸留水で希釈すると100 μ g/mLでも薄く白濁した。

また，天然甘草およびMZ-1には含まれないが，グリチルレチン酸の誘導体であるグリチルレチン酸ステアリル(第1図)についても参考のため比較試験を行った(反復無し)。グリチルレチン酸ステアリルはグリチルレチン酸の脂溶性を向上させるためステアリルアルコールをエステル結合した合成品で，化粧品に汎用されている。いずれも99% EtOHに溶解後，100 μ g/mLに調整した。

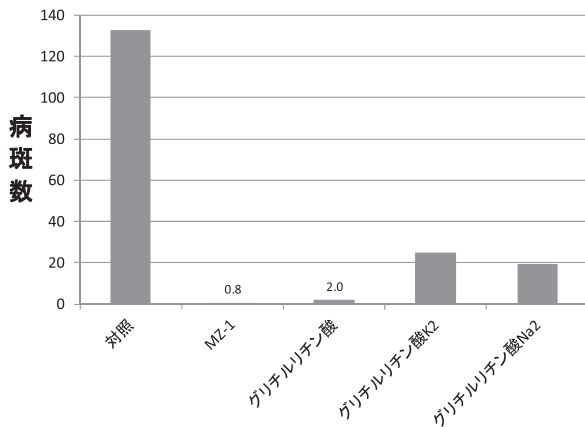
(3) 試験3

グリチルレチン酸はテルペン類の中でも5環性トリテルペンに分類されるが，グリチルレチン酸以外の5環性トリテルペンも発病抑制効果を有するか試験した。供試した物質は，オレアノール酸，ヘテラゲニン，ウルソール酸およびヘコゲニンである。これらは丸善製薬精製品を供試した。いずれも99% EtOHに溶解後，散布直前に蒸留水で20倍希釈して100 μ g/mLとした。

2) 結果および考察

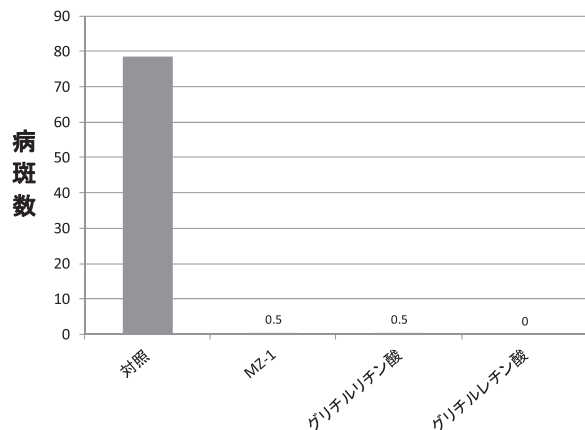
(1) 試験1

第8図，第9図に結果を示した。MZ-1およびグリチルリチン酸は1,000 μ g/mLで高い発病抑制効果を認め，ほとんど病斑が発生しなかった。グリチルリチン酸のK塩，Na塩はやや劣ったが，発病抑制効果が認められた。また，グリチルレチン酸はグリチル



第8図 グリチルリチン酸およびそれらの塩類のキュウリベと病発病抑制効果

各物質供試濃度：1,000 μ g/mL



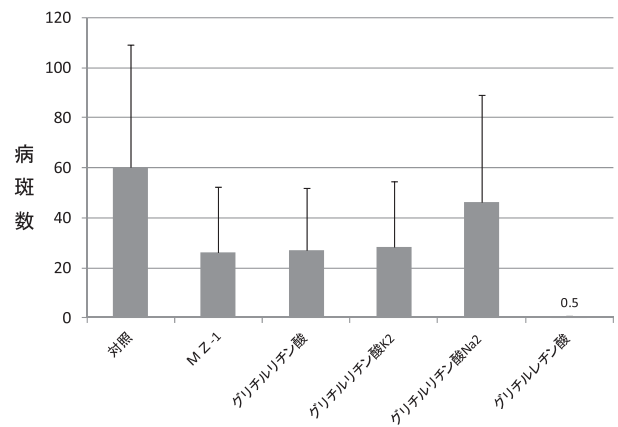
第9図 グリチルリチン酸およびグリチルレチン酸のキュウリベと病発病抑制効果

各物質供試濃度：1,000 μ g/mL

リチン酸と同等の高い発病抑制効果を示した。グリチルリチン酸はMZ-1のグリチリッチ画分に約18%含まれているが(第2表), 第3図に示したように, 当画分によるべと病の発病抑制効果が低い。しかし, 第3図では当画分の1,000倍希釈液であるため, グリチルリチン酸濃度は約180 μ g/mLとなり, 第8図の1,000 μ g/mLより低いことが原因と考えられる。

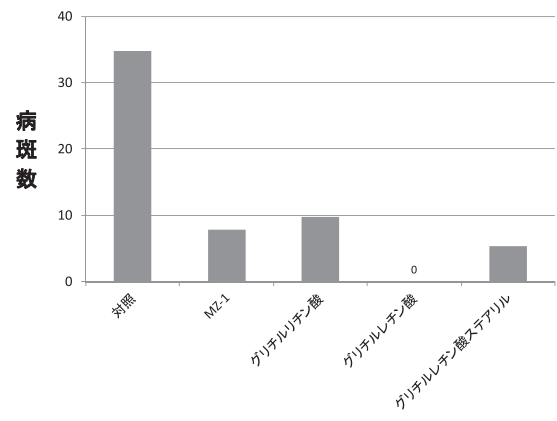
(2) 試験2

供試濃度を100 μ g/mLとした試験について, 2回の試験の平均を第10図に示した。2回の試験で同じ傾向であったが, グリチルレチン酸を除き変動が大きいため, Tukey-Kramer法の検定で有意差は認められなかった。試験1に比べ供試濃度が1/10のため, MZ-1, グリチルリチン酸およびそのK塩,



第10図 グリチルリチン酸とその塩類およびグリチルレチン酸のキュウリベと病発病抑制効果

各物質供試濃度：100 μ g/mL。反復間で同じ傾向であるが, 反復間の変動が大きいため, 有意差なし (Tukey-Kramer法)。

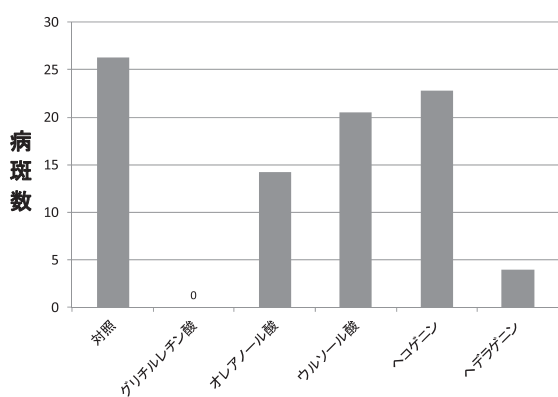


第11図 グリチルレチン酸およびグリチルレチン酸ステアarylのキュウリベと病発病抑制効果

各物質供試濃度：100 μ g/mL

Na塩は発病抑制効果が低かったが, グリチルレチン酸は100 μ g/mLでも非常に高い発病抑制効果を示した。グリチルレチン酸はMZ-1に約0.9%含まれており(第1表), MZ-1の発病抑制効果に寄与していると考えられる。

第11図にグリチルレチン酸ステアarylを供試した結果(反復無し)を示した。この試験では, 対照区の発病程度がやや低かったが, グリチルレチン酸は全く病斑が生じなかったのに対し, グリチルレチン酸ステアarylはグリチルリチン酸と同程度の病斑が生じ, グリチルレチン酸ステアarylの防除活性はグリチルレチン酸に劣ると考えられた。なお, グリチルレチン酸ステアarylの分子量は722.6でグリチルリチン酸(同822.4)より小さいが, グリチルレ



第12図 グリチルレチン酸および各種5環性トリテルペンのキュウリべと病発病抑制効果

各物質供試濃度：100 $\mu\text{g}/\text{mL}$

チン酸（同470.3）よりは大きい。グリチルレチン酸の効果が高いのは、単にモル濃度の違いなのか、抗菌性に関与する官能基が保護されているのかについては検討を要する。以上、第10図、第11図の結果から、グリチルレチン酸は100 $\mu\text{g}/\text{mL}$ の濃度で高い発病抑制効果を示すと考えられた。

(3) 試験3

結果を第12図に示した。本試験でもグリチルレチン酸は全く病斑が生じず、ヘデラゲニンはオレアノール酸、ウルソール酸、ヘコゲニンに比べると発病抑制効果が高かった。しかし、グリチルレチン酸に比べるとこれらの物質の発病抑制効果は劣った。このようにグリチルレチン酸は供試した5環性トリテルペンの中では発病抑制効果が高い物質と考えられる。なお、オレアノール酸はテンサイ、オリーブ葉、リンゴ皮、チョウジの芽、ウルソール酸はリンゴ、サクランボの果実および葉、ヘデラゲニンはウコギ科のセイヨウキズタ (*Hedera helix* Linné) およびムクロジ属植物 (*Sapindus* sp.)、ヘコゲニンはリュウゼツラン科の *Agave deserti* Engelm. に含まれる物質である¹¹⁾。

4 MZ-1のキュウリべと病に対する発病抑制機作

1) 材料および方法

(1) 遊走子接種に対するMZ-1の発病抑制効果

上述の接種試験では、べと病菌の分生子液を供試してきた。しかし、キュウリべと病菌は分生子が発芽して放出された遊走子が泳動後、キュウリ葉上で被嚢胞子となり、ここから発芽管を出して気孔侵入

する⁵³⁾。このためMZ-1は遊走子接種に対しても効果があるのか明らかにするため、MZ-1 (1,000 $\mu\text{g}/\text{mL}$) を噴霧・風乾後に病斑より採取直後の分生子液と採取後常温で約90分静置して遊走子が泳動状態となった遊走子液を接種して発病抑制効果を比較した。

(2) MZ-1のべと病菌の遊走子放出への影響

MZ-1が分生子接種で発病抑制効果を示す機作として、分生子から遊走子の放出過程を抑制するか否か検討した。まず、MZ-1の最終濃度が1,000 $\mu\text{g}/\text{mL}$ となるように、べと病菌分生子液（約500個/ mL ）とMZ-1水溶液 (2,000 $\mu\text{g}/\text{mL}$) を等量混合した胞子液1 mLを小型試験管に入れ、20 $^{\circ}\text{C}$ 24時間後に分生子の状態を顕微鏡観察した。なお、MZ-1の2,000 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 水溶液では、含有物の微結晶が生じて顕微鏡観察に支障を来すことがあったため、孔径0.45 μm のメンブランフィルターで濾過したMZ-1溶液も同時に供試した。対照は蒸留水と胞子液の等量混合とした。次に、同様の試験をMZ-1の最終濃度が10,000 $\mu\text{g}/\text{mL}$ (1%)、1,000 $\mu\text{g}/\text{mL}$ (0.1%) および100 $\mu\text{g}/\text{mL}$ (0.01%) となるようにして実施した。この試験ではフィルター濾過は行わなかった。

(3) MZ-1のべと病菌遊走子におよぼす影響

MZ-1が泳動しているべと病菌遊走子の動きに影響をおよぼすか調査した。病斑より採取したべと病菌分生子胞子液を室温で約90分静置して分生子より放出された遊走子が活発に動いている遊走子液を供試した。この遊走子液とMZ-1を各々50、250、500および2,500倍に希釈した液とを等量混合し、MZ-1の最終濃度を各々10,000、2,000、1,000、200 $\mu\text{g}/\text{mL}$ とした。この混合液を50 μl ずつ窪み付きスライドグラスに滴下して、遊走子の運動状況に変化が生じるか観察した。

(4) べと病菌感染後のMZ-1の発病抑制効果

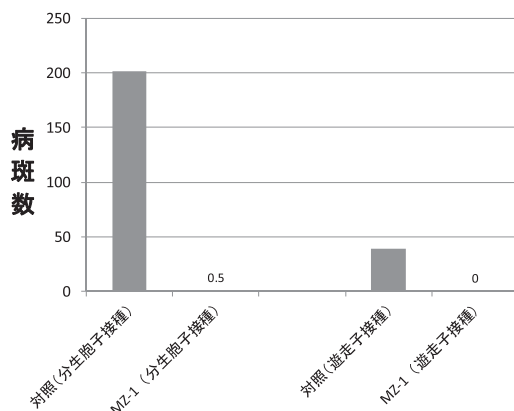
これまでは、MZ-1散布・風乾後にべと病菌を接種する方法で検定したが、順序を逆にして、べと病菌感染後の発病抑制効果について検討した。まず、キュウリにべと病菌分生子液を噴霧接種し、全体をポリ袋で覆って保湿し25 $^{\circ}\text{C}$ の部屋に置いた。接種6時間後、12時間後および24時間後にポリ袋を開けてMZ-1の1,000 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 液を噴霧し再度ポリ袋を閉じて保湿した。接種後2日間保湿した。

2) 結果および考察

(1) 遊走子接種に対するMZ-1の発病抑制効果

供試した採取直後の分生子液は分生子濃度が約550個/mLであったが、氷冷しても接種時には少数の遊走子が放出され、約55個/mLの遊走子が観察された。原⁵⁾によると、分生子1個からは6～8個遊走子が放出されるので、推定では約550個/mLの分生子のうち、約8個/mLの分生子から遊走子が放出されたことになる。

一方、常温静置後の孢子液ではほとんどすべての分生子から遊走子が放出され、分生子は空の状態、多数の遊走子が盛んに泳動していた。それらを接種した試験結果を第13図に示したが、MZ-1は分生子のほか、遊走子接種でも発病を抑制した。なお、第13図では対照区で遊走子接種の病斑数が分生子接種に比べ少なかった。本試験以外に遊走子接種した際も対照区でほとんど病斑が生じないこともあった(データ省略)。キュウリべと病菌の遊走子が分生子



第13図 分生子および遊走子接種に対するMZ-1の発病抑制効果

MZ-1濃度：1,000 μ g/mL

の乳頭突起部分の孔から放出される際には柔軟に変形すること⁵³⁾から、遊走子は柔らかいと考えられ、ガラス製噴霧器で加圧噴霧することで遊走子が損傷し結果として病斑形成が少なくなった可能性もある。

(2) MZ-1のべと病菌の遊走子放出への影響

MZ-1の最終濃度を1,000 μ g/mL (0.1%)とした試験では、対照区では観察したすべての分生子(50～60個)で分生子が発芽して遊走子が放出され、空になった分生子のみであったが、MZ-1の1,000 μ g/mL区では分生子に細胞質が詰まった未発芽分生子のみであった。またフィルター濾過したMZ-1の1,000 μ g/mL区でも同様に未発芽の分生子のみであった。

次に最終濃度を10,000 μ g/mL, 1,000 μ g/mLおよび100 μ g/mLとした試験でも各濃度とも、発芽した空の分生子は見あらず、未発芽孢子のみであった(写真3, 10,000 μ g/mLについては写真省略)。一方、対照区ではほぼすべての分生子が発芽して、細胞質が空になっていた。このことから、MZ-1は分生子から遊走子が放出される過程を阻害すると考えられた。

(3) MZ-1のべと病菌遊走子におよぼす影響

MZ-1濃度が1,000 μ g/mLおよび200 μ g/mLの溶液中では、数分以内に遊走子は運動を停止した。通常、鞭毛は泳動中は激しく動くため顕微鏡観察できないが、運動を停止すると長さの異なる2本の鞭毛が明確に観察できるようになった。さらに数分経つと、遊走子自体が崩壊して形態が不明になった。一方、対照のMZ-1無添加区では遊走子の動きに変化はなく、活発に運動していた。なお、MZ-1が低濃度の1,000 μ g/mLおよび200 μ g/mLで運動停止したため、高濃度の10,000 μ g/mLおよび2,000 μ g/mLでの変化

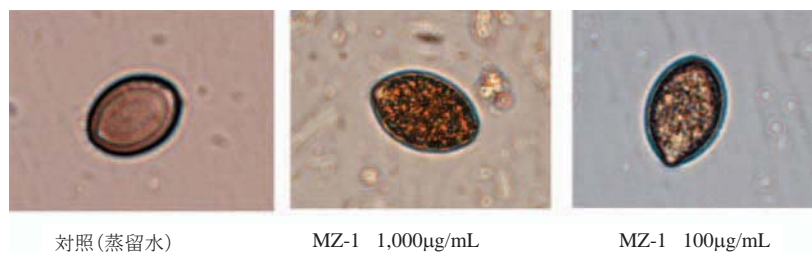


写真3 MZ-1の1,000 μ g/mL, 100 μ g/mL液中でのべと病菌分生子発芽阻害効果

20 $^{\circ}$ C 24時間後の状態, 対照: 分生子から遊走子が放出され細胞質が空になっている。
MZ-1処理: 細胞質が詰まっており未発芽であることを示す。

については観察を省略した。

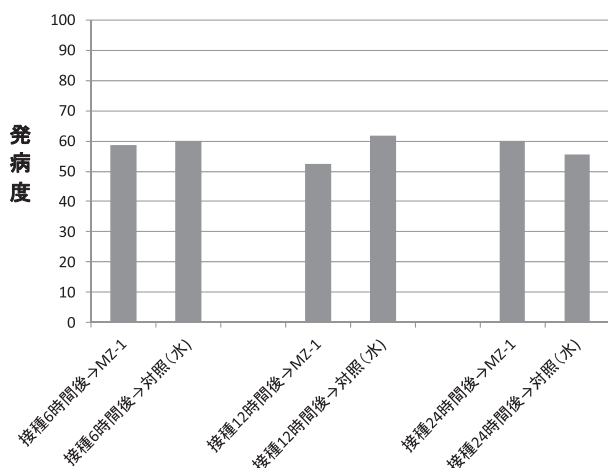
(4) べと病菌感染後のMZ-1の発病抑制効果

この試験では発病程度が高かったため、各葉を発病程度別に調査し、発病度を算出した。

べと病菌接種後にMZ-1を噴霧した場合、接種6時間後で既にMZ-1の発病抑制効果はほとんど認められなかった(第14図)。

反復無しの試験であるが、接種6時間後ではMZ-1と対照がほぼ同等、接種12時間後ではMZ-1がやや低く、接種24時間後ではMZ-1がやや多い結果となり、一定の傾向は認められなかった。接種6時間後にはMZ-1と対照がほぼ同等だったことから、接種6時間以降のMZ-1処理には発病抑制効果がないと判断した。

キュウリべと病の伝染環は以下のとおりである。米山⁵³⁾によるとキュウリべと病菌の耐久器官である卵胞子については1933年以降日本国内で確認されておらず、キュウリが栽培されていない期間の生存場所については不明な点が多いが、第一次伝染により葉裏に形成された分生子は、成熟すると空気中に飛散してキュウリの葉に付着する。そこに水滴があると発芽して遊走子を放出する。また原⁵⁾によると、キュウリべと病菌分生子は適温の水の中では30～60分で2本の鞭毛を有する6～8個の遊走子を放出する。この遊走子は30～60分で鞭毛を失い、球形の被囊胞子となる。被囊胞子は約1時間後に発芽・伸長し、キュウリ葉の気孔から侵入感染する。



第14図 分生子接種後にMZ-1を処理した場合のキュウリべと病の発病抑制効果

MZ-1濃度：1,000 μ g/mL

MZ-1は分生子から遊走子の放出過程の阻害、遊走子の運動停止と崩壊を引き起こし、キュウリ葉への感染を防止すると考えられる。しかし、接種6時間以降の感染後には発病抑制効果が認められなくなる。

Ⅲ MZ-1のキュウリ炭疽病に対する発病抑制効果

前報¹⁸⁾では以下のように報告した。まず、PDA培地上でのウリ類炭疽病菌 (*Colletotrichum orbiculare* (Berk.) Arx) の菌糸伸長抑制率はMZ-1濃度1,000 μ g/mLで71%、100 μ g/mLで11%であった。MZ-1が1,000 μ g/mLの場合、炭疽病菌の孢子発芽率は0.3% (対照98.8%) に抑制された。鉢植えキュウリにMZ-1の10,000 μ g/mL (1%) 液散布・風乾後に炭疽病菌を接種した場合、病斑数は対照区の3%に抑制された。このようにキュウリ炭疽病に対してもMZ-1は効果が高かった。そこで、キュウリべと病と同様にMZ-1の主要成分の発病抑制効果を調査した。

1 MZ-1分画物の発病抑制効果

1) 材料および方法

(1) 供試植物および処理、病原菌接種方法

キュウリ炭疽病についてもべと病と同様の方法でMZ-1の主要成分の発病抑制効果を検討した。供試品種、栽培条件、供試作物ステージ、供試株数、MZ-1、フラボノイド、グリチルリチン酸などの散布量、接種する炭疽病菌孢子液の量などもキュウリべと病の試験と同じである。

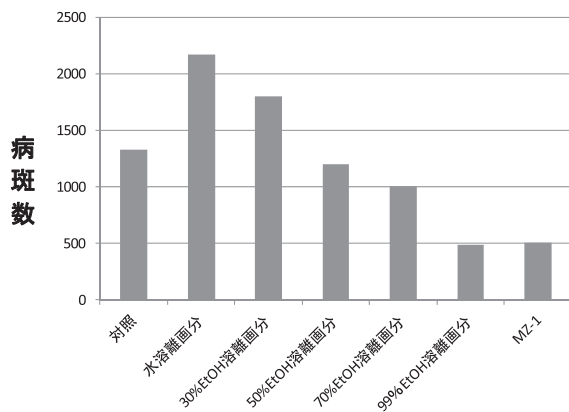
供試したウリ類炭疽病菌 (*C. orbiculare*) は京都大学大学院農学研究科植物病理学研究室分譲の菌株(104-T株)で、PDA培地(ニッスイ製)での培養菌そうを約5mm角に切り、滅菌した50%グリセリン溶液中で-80℃で冷凍保存した。この保存菌株をPDA培地に移植して25℃5～6日培養し、生じたオレンジ色の孢子塊を滅菌ニクロムループを使って水冷蒸留水で洗い出し、4重ガーゼで濾過した。水冷蒸留水で希釈し、孢子濃度を約1,000個/mLに調整し、孢子発芽を抑制するため接種終了時まで孢子液は水冷した。

(2) MZ-1分画物の発病抑制効果

第1図に準じて、MZ-1 10gを水90mLに溶解し、

第3表 MZ-1のEtOH溶離画分に含まれるフラボノイドおよびグリチルリチン酸の含量

	固形物重量 (g)	リクイリチン (%)	イソリクイリチン (%)	リクイリチゲニン (%)	イソリクイリチゲニン (%)	リコカルコンA (%)	グリチルリチン酸 (%)
水溶離画分	3.23	1.43	0.04	0	0	0	29.22
30%EtOH溶離画分	2.69	8.02	0.98	0	0	0	6.37
50%EtOH溶離画分	1.92	10.99	8.44	1.50	0.06	0	0
70%EtOH溶離画分	0.99	0	0.10	3.95	5.38	2.04	0
99%EtOH溶離画分	0.65	0	0	0	1.21	5.75	0



第15図 MZ-1の各溶離画分のキュウリ炭疽病発病抑制効果

各物質供試濃度：100 μ g/mL，ただしMZ-1のみ1,000 μ g/mL。

吸着樹脂（ダイヤイオンHP-20，100mL）に通し，水および30%～99%EtOH各300mLで疎水性の違いにより分画した．第1図と異なる点は，溶離EtOHの量である．各溶離画分を凍結乾燥後，各画分の固形量およびグリチルリチン酸含量，フラボノイド類含量をHPLCで分析した．HPLC条件は特許公報記載³⁷⁾の方法によった．水抽出および30%～99%EtOH抽出物（各20mg）をそれぞれ蒸留水，30%～99%EtOH 10mLに溶解したあと，キュウリに散布直前に蒸留水190mLを加えて濃度100 μ g/mLとした．キュウリに散布し，風乾後に炭疽病菌を接種した．比較対照のMZ-1は1,000 μ g/mL水溶液を噴霧した．

2) 結果および考察

(1) MZ-1分画物の発病抑制効果

各画分に含まれるグリチルリチン酸およびフラボノイド類の含量を第3表に示した．溶離EtOH濃度が高くなると，グリチルリチン酸およびフラボノイド配糖体が減少し，またフラボノイドアグリコンの

含量が高まった．特に99%EtOH溶離画分ではリコカルコンAの濃度が高くなった．

発病抑制効果との関係は第15図に示した．溶離EtOH濃度の上昇とともに発病抑制効果が高まる傾向であった．水溶離および30%～70%EtOH溶離画分では100 μ g/mLの濃度では，ほとんど発病抑制効果が見られないか，逆に促進した．99%EtOH溶離画分（100 μ g/mL）およびMZ-1（1,000 μ g/mL）はともに対照の1/2以下に病斑が減少し，発病抑制効果が認められた．

2 フラボノイド類の発病抑制効果

1) 材料および方法

(1) 試験1

前節の試験で，フラボノイド含量の高い画分ほど発病抑制効果が高くなったため，MZ-1に含まれる各フラボノイドおよび*G. glabra*に含まれるグラブリジンを生試して炭疽病発病抑制効果を検定した．使用したフラボノイド類はキュウリべと病の試験に用いたものと同じである．各フラボノイド類の供試濃度は100 μ g/mLとした．試験は2回反復した．MZ-1のみ1,000 μ g/mLとした．

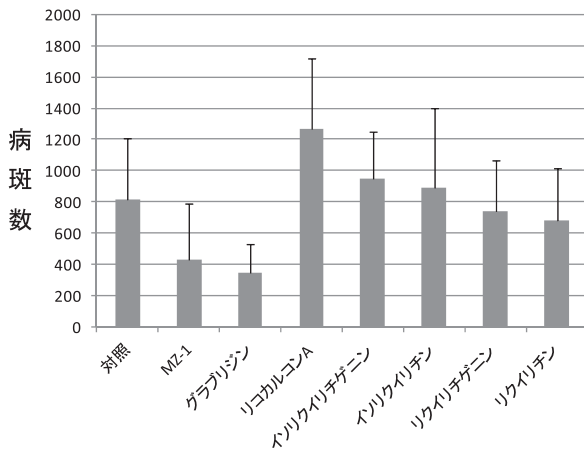
(2) 試験2

さらにべと病の試験同様，カンゾウ以外の植物に含まれるフラボノイドの発病抑制効果を検討した．ヘスペリジン，ナリンゲニン，その配糖体のナリンギンおよびカーサミンを生試した．各フラボノイドの溶解および希釈方法はべと病の試験と同じで，濃度100 μ g/mLとした．MZ-1のみ1,000 μ g/mLとした．

2) 結果および考察

(1) 試験1

結果を第16図に示した．2反復間で同じ傾向であったが，反復間の変動が大きいので，Tukey-Kramer



第16図 グラブリジンおよびMZ-1に含まれるフラボノイド類のキュウリ炭疽病発病抑制効果

反復間で同じ傾向であるが、反復間の変動が大きいため有意差なし (Tukey-Kramer法)。

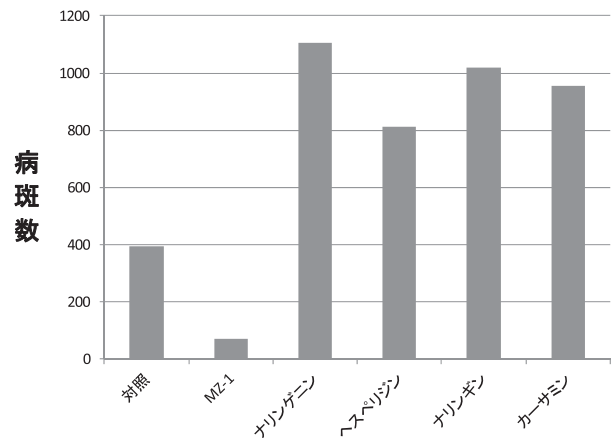
各物質供試濃度：100 μ g/mL，ただしMZ-1のみ1,000 μ g/mL。

法の検定で有意差が認められなかった。

グラブリジンでは病斑数が対照の約1/2となり発病抑制効果を示したが、リコカルコンA、イソクイリチゲニン、リクイリチゲニンなどのフラボノイド類には発病抑制効果が認められなかった。このようにグラブリジンには発病抑制効果が認められるが、リコカルコンAなどのフラボノイド類には100 μ g/mLの濃度では、発病抑制効果が認められなかった点は2回の反復とも同じであった。Okada *et al.*⁴⁰⁾によると、グラブリジンは糸状菌 (*A. niger*) に対し31.3 μ g/mLのMIC値を示すのに対し、リコカルコンAは>250 μ g/mLとなっている。ウリ類炭疽病菌も *A. niger* もともに、子囊菌門に属する糸状菌であるため、リコカルコンAを100 μ g/mLで処理しても、発病抑制効果が認められなかったと考えられる。

(2) 試験2

第17図に結果を示したが、供試したヘスペリジンなどの各フラボノイドは100 μ g/mLの濃度では、炭疽病に対し全く発病抑制効果がなかった。前述の試験1と合わせて考えると、グラブリジンは別として、リコカルコンA、イソクイリチゲニン、リクイリチゲニンなどのフラボノイド類あるいはカンキツに含まれるフラボノイド類を100 μ g/mL濃度でキュウリ葉に散布しても、炭疽病発病抑制効果が望めないと考えられた。



第17図 MZ-1およびカンキツなどに含まれるフラボノイド類のキュウリ炭疽病発病抑制効果

各物質供試濃度：100 μ g/mL，ただしMZ-1のみ1,000 μ g/mL。

3 グリチルリチン酸類の発病抑制効果

べと病の試験と同様に、グリチルリチン酸類の炭疽病発病抑制効果を検定した。

1) 材料および方法

(1) 試験1

べと病の試験と同様に、MZ-1に含まれるグリチルリチン酸およびグリチルレチン酸ならびに参考としてグリチルリチン酸の関連物質について検討した。供試物質はグリチルリチン酸、グリチルレチン酸のほか、グリチルレチン酸モノグルクロナイド (第1図)、グリチルレチン酸ステアリル (後者の2種は丸善製薬精製品) を供試した。グリチルレチン酸はグリチルリチン酸に結合している2分子のグルクロン酸がすべて除かれたアグリコンであるが、グリチルレチン酸モノグルクロナイドとは2分子のグルクロン酸から1分子のみを加水分解で除いたもので、MGGRと略称する。非常に甘味が強く、グリチルリチン酸の約5倍、蔗糖の約940倍の甘味を有する物質である²⁶⁾。グリチルレチン酸ステアリルはキュウリべと病の試験で用いたものと同じである。いずれも天然の甘草根やMZ-1には含まれていない。各物質は99% EtOHに溶解後、散布直前に蒸留水で20倍に希釈して100 μ g/mLとした。MZ-1は蒸留水に溶かして100 μ g/mLとした。キュウリに散布・風乾後に炭疽病菌を接種した。この試験は2回反復した。

(2) 試験2

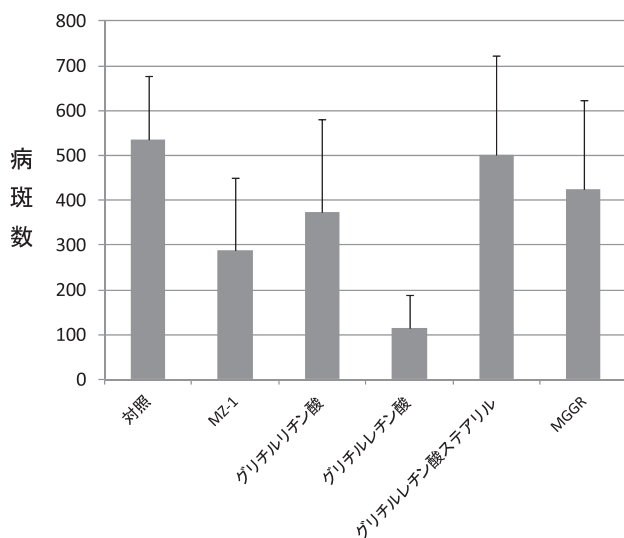
べと病の試験と同様にグリチルレチン酸以外の5

環性トリテルペンの発病抑制効果について試験した。べと病の試験で供試したオレアノール酸、ウルソール酸、ヘコゲニンのほか、参考として18- α グリチルレチン酸（シグマアルドリッチ製）も供試した。グリチルレチン酸には環系骨格の18位の炭素-水素結合（第1図）の向きが異なる α 、 β の立体異性体がある。これまで供試してきたグリチルレチン酸は18- β グリチルレチン酸のことで、甘草に含まれるグリチルリチン酸のアグリコンである。本論文では特に断らない限り“グリチルレチン酸”とは18- β グリチルレチン酸を意味する。一方、18- α グリチルレチン酸は天然甘草根には含まれず、アルカリ処理によって合成される⁵⁴。これはMZ-1には含まれていないが、主に化粧品に使用される物質である。各物質は99%EtOHに溶解後、散布直前に蒸留水で20倍に希釈して100 μ g/mLとした。なお、この試験ではべと病の試験で供試したヘデラゲニンは供試しなかった。

2) 結果および考察

(1) 試験1

試験結果を第18図に示した。グリチルレチン酸が最も発病抑制効果が高く、同じ100 μ g/mLのMZ-1



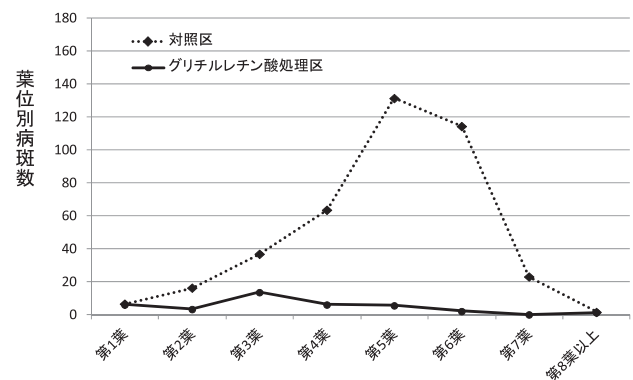
第18図 グリチルリチン酸およびグリチルレチン酸などのキュウリ炭疽病発病抑制効果

反復間で同じ傾向であるが、反復間の変動が大きいため、有意差なし (Tukey-Kramer法)。

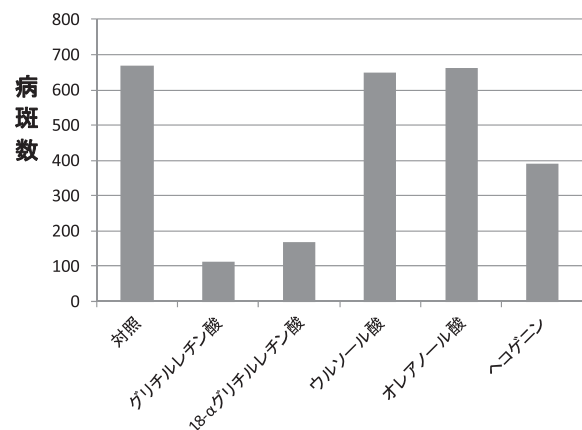
各物質供試濃度: 100 μ g/mL, MGGR: グリチルレチン酸モノグルクロナイド。

に優る傾向であった。グリチルリチン酸およびその誘導体には発病抑制効果はみられるものの、グリチルレチン酸に比べるとその程度は低かった。Naidu et al.²⁷ はワタの病原糸状菌 (10種類) に対するグリチルレチン酸およびグリチルリチン酸の *in vitro* の抗菌検定 (濃度1,000 μ g/mL) を行い、供試した10種糸状菌ともグリチルレチン酸の方が阻止円が大きかった。また、細菌 (*Staphylococcus epidermidis* Winslow & Winslow) に対するデータであるが¹²、MIC値はグリチルリチン酸が400 μ g/mLであるのに対し、グリチルレチン酸は12.5 μ g/mLと大幅に低く、抗菌性が高かった。

この試験で、グリチルレチン酸散布処理区での葉位別病斑数を第19図に示したが、第1葉から最上葉まで対照区に比べ常に病斑数を低く抑制していた。特に、接種時に頂葉であった第5葉、第6葉で



第19図 グリチルレチン酸処理キュウリにおける葉位別の炭疽病病斑数



第20図 グリチルレチン酸および5環性トリテルペンのキュウリ炭疽病発病抑制効果

各物質供試濃度: 100 μ g/mL

は対照区で1枚あたり病斑数が100個以上発生したが、グリチルレチン酸散布区ではほとんど病斑が生じなかった。

(2) 試験2

試験結果を第20図に示した。反復無しの試験であるが、グリチルレチン酸およびその立体異性体の18- α グリチルレチン酸にもグリチルレチン酸と同程度の発病抑制効果が認められた。その他のトリテルペン類の発病抑制効果は概して低くウルソール酸、オレアノール酸には発病抑制効果が認められなかった。

4 主要成分の炭疽病菌孢子発芽抑制効果

これまではフラボノイド類、グリチルリチン酸類の発病抑制効果について鉢植えキュウリを用いたポット試験で検定してきた。一方、*in vitro*での抗菌検定法として、孢子発芽試験法⁵²⁾がある。そこで、本法でフラボノイド類、グリチルリチン酸類の孢子発芽阻害による抗菌検定を行った。

1) 材料および方法

(1) 試験1

リコカルコンA、イソリクイリチゲニン、リクイリチゲニン、イソリクイリチン、リクイリチン、グリチルレチン酸、グリチルリチン酸Na2のキュウリ炭疽病菌孢子発芽阻害効果を検定した。検定濃度は100 μ g/mLとした。グリチルリチン酸Na2以外の各物質は、99%EtOHに溶解して10,000 μ g/mL(1%)の原液を作製した。グリチルリチン酸Na2は50%EtOHに溶解して1%原液を作製した。

次にPDA培地で形成させた炭疽病菌孢子を蒸留水に懸濁した孢子液4.95mLと上記各物質の原液0.05mLを混合して、各物質の最終濃度を100 μ g/mLとした。

検定液に含まれるEtOHが孢子発芽に影響をおよぼす可能性があるため、対照①として溶媒の99%EtOH、対照②として50%EtOH、対照③として蒸留水を各々0.05mLと孢子液4.95mLと混合した区を設定した。各対照区のEtOH濃度は順に1%、0.5%および0%である。

この孢子液をスライドグラスに20 μ Lずつ3カ所滴下し、100%湿度を保って25 $^{\circ}$ C 24時間後に発芽率

調査を行った。1カ所につき100~120個の孢子を調査した。本菌孢子は発芽直後に付着器を形成するため、付着器形成孢子を発芽孢子とした。

(2) 試験2

次に、試験1で孢子発芽阻止効果の高かったリコカルコンA、イソリクイリチゲニンおよびグリチルレチン酸について、濃度を50 μ g/mLおよび10 μ g/mLに下げて試験した。試験方法などは試験1と同じであるが、対照には試験1の③蒸留水を供試した。

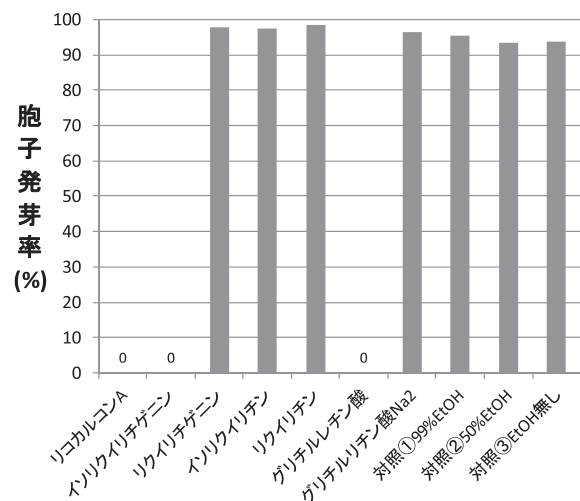
2) 結果および考察

(1) 試験1

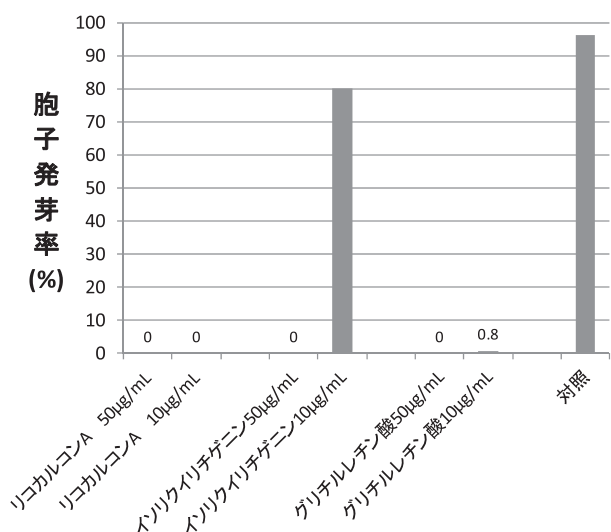
検定濃度を100 μ g/mLとした場合、リコカルコンA、イソリクイリチゲニンおよびグリチルレチン酸では孢子発芽を完全に阻止した(第21図)。一方、それ以外のフラボノイド、グリチルリチン酸、グリチルリチン酸Na2では対照区と発芽率がほぼ同じで、発芽阻止効果はなかった。また①、②、③の対照区間には発芽率の差が無く、溶媒のEtOHが0%~1%の濃度では孢子発芽に影響はないと判断した。

(2) 試験2

検定濃度50 μ g/mLではリコカルコンA、イソリクイリチゲニンおよびグリチルレチン酸とも孢子発芽を完全に阻止した(第22図)。しかし、検定濃度10 μ g/mLではリコカルコンAおよびグリチルレチ



第21図 MZ-1に含まれるフラボノイド類およびグリチルリチン酸類のウリ類炭疽病菌孢子発芽阻害効果
各物質供試濃度：100 μ g/mL



第22図 リコカルコンA, イソリクイリチゲニンおよびグリチルレチン酸のウリ類炭疽病菌孢子発芽阻害効果

ン酸はほぼ完全に発芽阻害したが、イソリクイリチゲニンでは阻止効果が低かった。このことから、キュウリ炭疽病菌孢子発芽阻害効果が特に高いものはリコカルコンAおよびグリチルレチン酸と考えられる。

前述したように、リコカルコンAの100µg/mL溶液をキュウリ葉に散布・風乾後に炭疽病菌を接種した場合は全く発病抑制効果がなかった。リコカルコンAはほとんど水に溶けないが、散布・風乾後に葉面に水滴(菌液)が付着してその中にリコカルコンAが溶け込む場合と*in vitro*でEtOH溶解後に水希釈した液の場合とでは状況が異なると考えられる。さらに*in vitro*での10µg/mL以下の濃度での発芽阻害試験などを行って、べと病菌の方がより低濃度のリコカルコンAに対して感受性が高いのかなどを調べる必要がある。

5 キュウリ褐斑病に対するグリチルレチン酸の発病抑制効果

前節の試験で明らかにしたように、キュウリべと病およびキュウリ炭疽病に対し、グリチルレチン酸の100µg/mL液散布は高い発病抑制効果を示したため、グリチルレチン酸のキュウリ褐斑病に対する発病抑制効果および抗菌活性を検討した。

1) 材料および方法

(1) 発病抑制効果

グリチルレチン酸を99%EtOHに溶解し、蒸留水で20倍希釈して100µg/mLとした溶液をキュウリに散布した。対照は蒸留水散布とした。風乾後、キュウリ炭疽病菌およびキュウリ褐斑病菌(*Corynespora cassiicola* (Berkeley & M.A. Curtis) C.T. Wei, MAFF 237272) 孢子液を噴霧し、25℃2日間保湿した。接種8日後に病斑数を調査した。

なお、キュウリ褐斑病菌は炭疽病菌と同様にPDA培地で25℃培養して得られた孢子懸濁液の孢子濃度を約300個/mLに調整して供試した。

(2) 菌糸伸長抑制効果

寒天培地上でのキュウリ炭疽病菌、キュウリ褐斑病菌に対するグリチルレチン酸、グリチルレチン酸および参考としてグリチルレチン酸ステアリルを供試して菌糸伸長抑制効果を調査した。各物質20mgを2mLの99%EtOHに溶解し、加熱融解後約50℃まで冷却したPDA培地200mLに添加し(最終濃度100µg/mL)、シャーレに20mLずつ分注した。対照には2mLの99%EtOHをPDA培地に添加した。中央に各菌の菌そうディスク(径5mm)を置き、25℃で培養した。培養5日後および8日後に、菌そう直径を測定しディスク径を差し引いて、菌糸伸長量(mm)を算出し、対照区に対する伸長量の比率(%)を算出した。各試験区シャーレ5枚を供試した。

2) 結果および考察

(1) 発病抑制効果

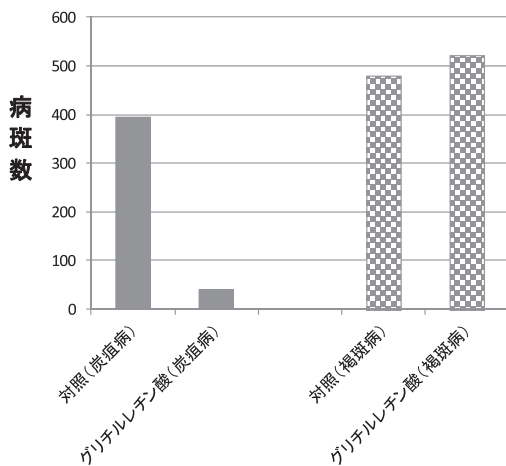
結果を第23図に示した。キュウリ炭疽病では、第18図と同様にグリチルレチン酸は高い発病抑制効果を示したが、キュウリ褐斑病に対しては100µg/mLの濃度では発病抑制効果が認められなかった。

(2) 菌糸伸長抑制効果

培養8日後に調査した結果を第24図に示した。キュウリ褐斑病に対しては、グリチルレチン酸は菌糸伸長を約1/2に抑制し、グリチルレチン酸も同等の抑制効果があった。一方、キュウリ炭疽病に対しては、グリチルレチン酸の抑制率は約20%にとどまり、グリチルレチン酸には効果がなかった。これは前述の発病抑制効果と逆の結果になった。なお、

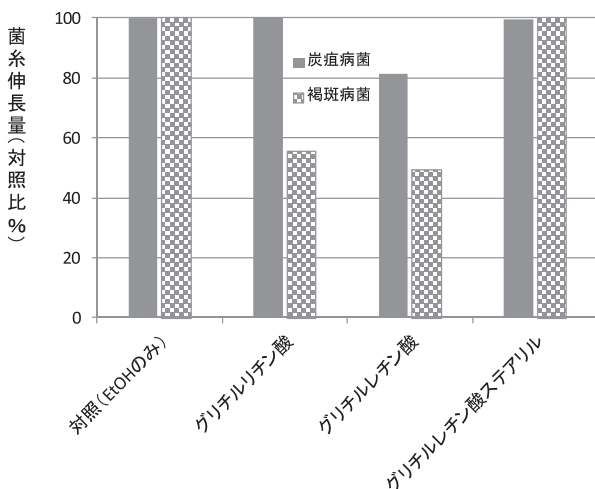
いずれの菌に対しても、グリチルレチン酸ステアリルは抗菌活性がなかった。このようにポット試験と *in vitro* の試験結果に違いがあるが、今後前節の試験と同様に炭疽病菌のほかに褐斑病菌の孢子発芽阻害効果を調べて検討する必要がある。

グリチルレチン酸 100 μ g/mL の炭疽病菌孢子発芽阻害（第21図）と菌糸伸長抑制効果（第24図）を比較すると、孢子発芽は100%抑制しているのに、菌糸伸長は約20%しか抑制していない。一般に寒天培地で抗菌検定を行う場合、抗菌力に影響する因子として、薬剤の溶解度、培地組成および培地への生体成分添加の影響が指摘されている⁵²⁾。グリチル



第23図 グリチルレチン酸のキュウリ炭疽病および褐斑病に対する発病抑制効果

各物質供試濃度：100 μ g/mL



第24図 グリチルレチン酸のウリ類炭疽病菌およびキュウリ褐斑病菌に対する菌糸伸長抑制効果

各物質供試濃度：100 μ g/mL

レチン酸のように水で希釈した場合、白濁するものは、細かい粉体のような状態で培地上に存在するのでグリチルレチン酸分子と菌体の接触の点から見ると接触効率が低い。また、培地の pH あるいは PDA 培地に含まれるジャガイモ煎汁のような生体成分も影響を与える可能性が指摘されている⁵²⁾。これらのことから炭疽病菌孢子発芽阻害と菌糸伸長抑制効果が一致しなかったと考えている。

Ⅳ 乾燥甘草根のエタノール抽出液の発病抑制効果

Ⅱ、Ⅲの各章では甘草根から工業的に抽出した甘草抽出物 MZ-1 について試験した。一方、甘草の根および根茎の乾燥品を数 mm に裁断したもの（以下甘草刻；写真4）は日本薬局方の生薬として市販されている。一般には、甘草刻を水で煮詰めて滓を濾した煎汁を服用する。効果・効能は激しい咳、咽喉痛の緩解である²⁸⁾。この甘草刻の EtOH などによる抽出液のキュウリ炭疽病およびべと病に対する発病抑制効果を試験し、あわせて抽出成分を MZ-1 と比較して、甘草刻抽出液の病害防除剤として利用の可否を検討した。

1 キュウリ炭疽病に対する発病抑制効果

1) 材料および方法

(1) 試験1

以下の試験では市販の甘草刻（小林漢方製造）を供試した。甘草刻（Lot. 602010）25 g に対し、99% EtOH、50% EtOH および蒸留水 100 mL を加え



写真4 甘草刻の外観

て室温で2日間浸漬後に4重ガーゼで濾過した液を抽出液とした。ここで、99%EtOHは主にフラボノイドのような油溶性成分抽出を目的とし、50%EtOHは油溶性および水溶性の両方の成分の抽出を目的とした。また、甘草刻25gに蒸留水100mLを加えて1時間沸騰水中で湯煎した熱水抽出液も作製した。抽出後は99%EtOHおよび50%EtOH抽出液は4℃保存、蒸留水抽出液および熱水抽出液は冷凍保存した。

これらの抽出液を蒸留水で10倍あるいは100倍希釈後、鉢植えキュウリに散布し、風乾後炭疽病菌を接種した。試験1、2および3では供試キュウリ数は各処理区3株とし、3株あたり希釈液150mLを散布し、炭疽病菌胞子懸濁液を50mL噴霧接種した。なお、100倍希釈液散布の試験は2回反復した。

(2) 試験2

試験1で4重ガーゼで濾過した抽出液は保存中にタンパク質あるいは多糖類と考えられる沈殿物が生じたが、キュウリへの散布試験の際はこの沈殿物も攪拌して散布した。しかし、後述するように特に常温水抽出液の10倍希釈液散布では対照より発病が促進されるなど不自然な結果であった。そこで、この沈殿物が発病抑制効果を阻害していることが考えられたため、各抽出液をさらに濾紙(アドバンテックNo.2)で濾過した液について試験した。99%EtOH、50%EtOHおよび常温水抽出液について、濾紙濾過液の10倍希釈液を供試した。

(3) 試験3

一般農家で甘草刻からEtOHで自家抽出して使用することを想定すると、99%EtOHは入手が難しいため、梅酒用ホワイトリカー(アルコール度数35)に浸漬して抽出することを試みた。甘草刻50gを市販の梅酒用ホワイトリカー200mLに20日間浸漬後、濾紙で濾過した。この試験ではLot. 602010およびLot. 902002の2種の甘草刻を供試した。なお、アルコール度数が低いため浸漬日数を20日とした。各抽出液の100倍希釈液を散布・風乾後に炭疽病菌を接種した。

2) 結果および考察

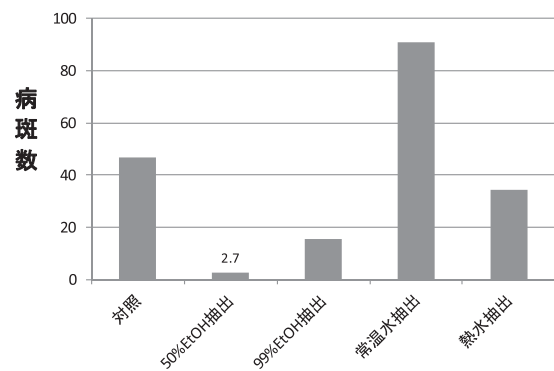
(1) 試験1

a. 甘草刻抽出液の10倍希釈液の発病抑制効果

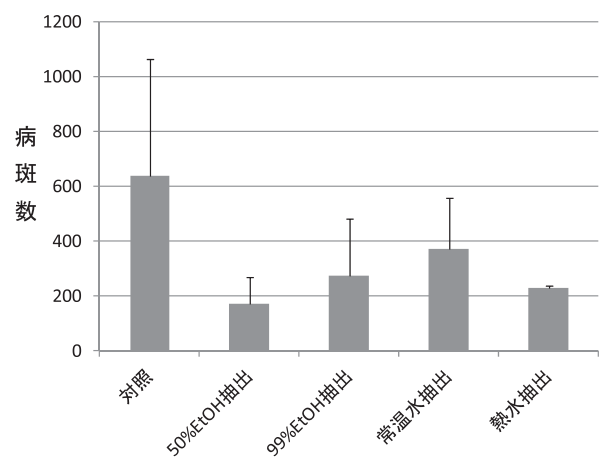
結果を第25図に示した。50%EtOH抽出液の発病抑制効果が最も高く99%EtOH抽出液の效果に優った。一方、常温水抽出および熱水抽出では効果が劣り、特に常温水抽出では逆に発病が促進された。

b. 甘草刻抽出液の100倍希釈液の発病抑制効果

結果を第26図に示した。100倍希釈液散布でも、50%EtOH抽出液、99%EtOH抽出液および熱水抽出液では病斑数が対照の半分以下となり発病抑制効果が認められたが、常温水抽出液の效果は劣った。希釈率が100倍になっているので、各抽出液とも10倍希釈時より発病抑制効果が劣ると考えられるが、第25図のように常温水抽出液で発病が促進される



第25図 甘草刻抽出液のキュウリ炭疽病発病抑制効果
この試験では4重ガーゼで濾過した抽出液の10倍希釈液を供試。



第26図 甘草刻抽出液のキュウリ炭疽病発病抑制効果
反復間で同じ傾向であるが、反復間の変動が大きいため、有意差なし(Tukey-Kramer法)。
この試験では4重ガーゼで濾過した抽出液の100倍希釈液を供試。

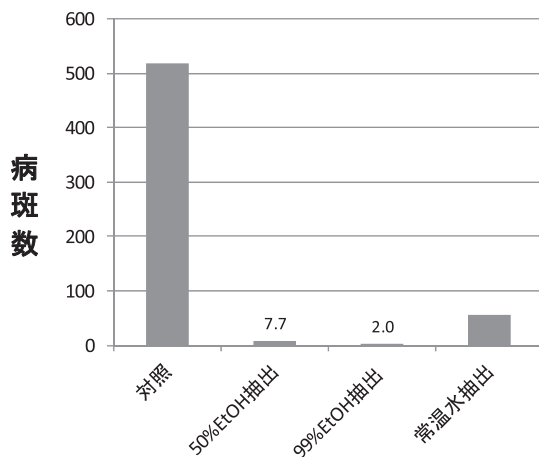
ことはなかった。

(2) 試験 2

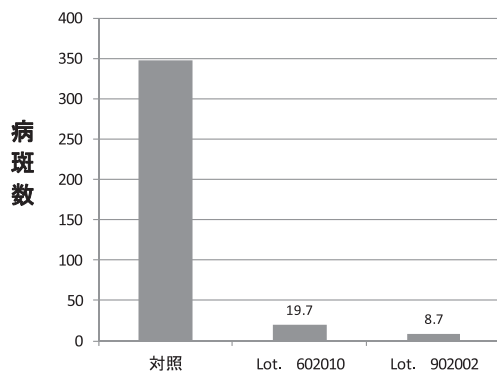
濾紙で再濾過した抽出液（10倍希釈）のキュウリ炭疽病発病抑制効果を第27図に示した。濾紙濾過液の方が、試験1での4重ガーゼ濾過液（10倍希釈）に比べ発病抑制効果が高まった。99%EtOH抽出液および常温水抽出液はともに効果が高くなり、特に常温抽出液でガーゼ濾過液との差が大きかった。濾過後の濾紙には不溶性の残渣が残っていたので、それが発病抑制効果を阻害していると考えられるが、残渣については分析していない。なお、この結果を踏まえ以後の試験では濾紙濾過した抽出液を供試した。

(3) 試験 3

結果を第28図に示した。ホワイトトリカーで抽出



第27図 甘草刻抽出液のキュウリ炭疽病発病抑制効果
この試験では濾紙濾過した抽出液の10倍希釈液を供試。



第28図 甘草刻のホワイトトリカー抽出液のキュウリ炭疽病病抑制効果

この試験では濾紙濾過した抽出液の100倍希釈液を供試、甘草刻は2種のロットを使用。

した2種のロット抽出液の100倍希釈液はいずれも対照に比べ高い発病抑制効果を示した。

2 キュウリべと病に対する発病抑制効果

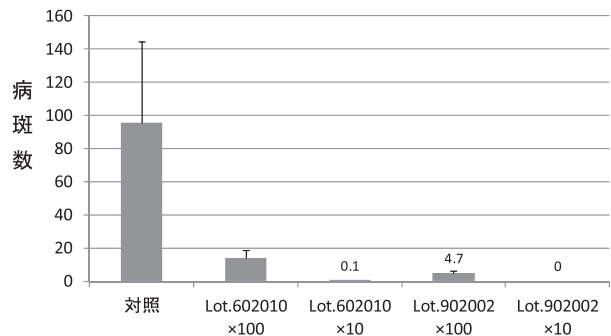
1) 材料および方法

上述のキュウリ炭疽病の試験に供試したホワイトトリカー抽出液とは別に、甘草刻（Lot. 602010およびLot. 902002）50gをホワイトトリカー200mLに20日間浸漬後に濾紙濾過して得られた抽出液のキュウリべと病に対する発病抑制効果を検定した。各抽出液とも10倍および100倍希釈液を供試した。べと病の試験では各区ともキュウリ4株を供試し、試験は3回反復した。3回の試験のうち、1回では比較対照にMZ-1（1,000 μ g/mL）の散布区を追加した。

2) 結果および考察

3回の試験の平均を第29図に示した。なお、第29図には示していないが、MZ-1（1,000 μ g/mL）を追加供試した試験では、MZ-1の病斑数0個に対し対照は193.5個であった。

各ロットのホワイトトリカー抽出液の10倍希釈液およびMZ-1（1,000 μ g/mL）ではほとんどべと病の病斑が生じなかった。各ロットのホワイトトリカー抽出液の100倍希釈液では、病斑が生じたが、対照に比べると明らかに減少した。このように、甘草刻のホワイトトリカー抽出液のキュウリべと病に対する発病抑制効果を確認した。



第29図 甘草刻のホワイトトリカー抽出液のキュウリべと病発病抑制効果

この試験では濾紙濾過した抽出液を供試、希釈倍率は図中に記載した。反復間の変動が大きいため処理間に有意差なし（Tukey-Kramer法）。甘草刻は2種のロットを使用。

3 甘草刻の50%エタノール抽出液およびホワイトトリカー抽出液に含まれる成分

1) 材料および方法

上述の甘草刻 (Lot. 602010) の50%EtOH抽出液および甘草刻 (Lot. 902002) のホワイトトリカー抽出液に含まれるグリチルリチン酸およびリクイリチゲニン, イソリクイリチゲニンなど4種のフラボノイド類の成分量を分析した. 濾紙 (アドバンテックNo. 2) による濾過液を減圧濃縮後, 真空凍結乾燥した固形物を分析した. 抽出液の分析は特許公報記載の方法³⁷⁾で行った. 比較対照にMZ-1 (Lot. 050902) を供試した.

2) 結果および考察

分析結果を第4表に示した. なお, 第4表には示していないが, 50%EtOH抽出液に含まれる固形物の重量は抽出液重量の10.1%, ホワイトトリカー抽出液では6.98%で, 50%EtOH抽出液の方がより多くの固形物成分が抽出された.

次に固形物に含まれるグリチルリチン酸は各々10.92%, 11.40%で比較対照のMZ-1の12.2%と比較すると同程度であった (第4表). なお, 甘草刻抽出液にはMZ-1に含まれているグリチルレチン酸は含まれていなかった. 表中の数値から計算すると, フラボノイド類 (4種類) のグリチルリチン酸に対する比率は, 甘草刻の50%EtOH抽出液, ホワイトトリカー抽出液とも約40%であったが, MZ-1では約

67%であり, MZ-1の方がフラボノイド類を高含量で含むことが確認された. なお, 供試した甘草刻の抽出液の分析では *G. uralensis* に特異的に含まれるフラボノイドのグリシクマリニン (第1図) が検出されたため, カンゾウ種は *G. uralensis* と特定された.

さらに各抽出液の固形物含量から10倍希釈時のグリチルリチン酸およびフラボノイド濃度 (ppm) を算出し, MZ-1の100, 500, 1,000倍液と比較した (第4表). 10倍希釈時のグリチルリチン酸およびフラボノイド (4種) については50%EtOH抽出液の方が, ホワイトトリカー抽出液より濃度が高かった. したがって, ホワイトトリカー抽出液より50%EtOH抽出液の方が発病抑制効果は高いと考えられる.

キュウリべと病に対する試験ではMZ-1の1,000倍液と甘草刻のホワイトトリカー抽出液の10倍液がほぼ同程度に高い効果を示したが, グリチルリチン酸および4種のフラボノイド含量はMZ-1の方が1/5~1/3程度低い. しかし, MZ-1にはグリチルレチン酸およびリコカルコンAが含まれており, II章の結果を考えると, これらの物質が発病抑制効果を示したため, MZ-1の1,000倍液の効果が高かったと考えられる.

V キュウリ葉上でのフラボノイド類の動態および溶液の物理的安定性

II, IIIの各章ではMZ-1をキュウリ葉に散布・風

第4表 甘草刻の50%EtOH抽出液およびホワイトトリカー抽出液とMZ-1の成分比較

試料	甘草刻		MZ-1	甘草刻		MZ-1		
	50%EtOH抽出物	ホワイトトリカー抽出物	Lot. 050902	50%EtOH抽出液10倍希釈	ホワイトトリカー抽出液10倍希釈	100倍希釈	500倍希釈	1,000倍希釈
単位	%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
グリチルリチン酸	10.92	11.40	12.20	1102.9	795.7	1220.0	244.0	122.0
グリチルレチン酸	0	0	0.79	0	0	79.0	15.8	7.9
フラボノイド類 (4種類合計)	4.30	4.57	8.15	434.3	318.1	818.0	163.6	81.8
リクイリチン	3.10	1.96	4.82	313.1	136.5	482.0	96.4	48.2
イソリクイリチン	0.59	0.33	1.97	59.6	23.1	197.0	39.4	19.7
リクイリチゲニン	0.45	1.86	0.70	45.5	129.5	70.0	14.0	7.0
イソリクイリチゲニン	0.16	0.42	0.66	16.2	29.0	66.0	13.2	6.6
リコカルコンA	0	0	0.86	0	0	86.0	17.2	8.6

注) %とは, 乾燥固形物中における重量%で示す.

乾燥後（4～6時間後）に病原菌を接種して検定してきた。しかし、MZ-1散布後の日数の経過とともに、フラボノイドなどの成分が分解するなどして減少することが考えられるので、MZ-1散布後の葉面におけるフラボノイド類の残存量、および散布されたMZ-1の成分が上位葉に移行するか否かを調査した。

一方、Ⅱ、Ⅲの各章では各フラボノイドやグリチルレチン酸などは各物質単独でキュウリ葉に散布して防除効果を検定してきたが、MZ-1はこれらの物質が混在した状態である。各物質単独と混合状態では、水溶液の物理的安定性が異なるかについて試験した。

1 キュウリ葉散布後のフラボノイド量の変化

1) 材料および方法

MZ-1の10,000 μ g/mL（1%）水溶液を鉢植えキュウリ（品種：つや太郎、播種1ヶ月後）20鉢に1.5 L 散布した。キュウリは本葉が第4葉まで完全展葉し、第5葉が第4葉の半分程度の大きさで、第6葉が3～4 cm 出葉した状態であった。風乾後（約4時間後）、MZ-1散布および無散布のキュウリから第3葉を任意に各5枚ずつ採取した。さらに散布3日後および7日後にMZ-1散布キュウリの第3葉を任意に5枚採取した。いずれも採取後-80℃のフリーザーで保存した。

次に、MZ-1散布後に散布葉から上位の葉にMZ-1の成分が移行するか否かを調査した。鉢植えキュウリの第5葉以上の上位葉をポリ袋で覆い、MZ-1が付着しないようにした。また、根からの吸収移行を防ぐため、キュウリ茎の地際部周囲にラップをかぶせて、土壌に散布されないようにした。このように処置したキュウリ7鉢の第1葉から第4葉までにMZ-1の1%液500mLを散布した。風乾後、ポリ袋などは除去した。散布2日後に、MZ-1散布、無散布のキュウリの第5葉を任意に5枚採取し、-80℃で保存した。

-80℃で保存したキュウリ葉は液体窒素で凍結後、真空凍結乾燥を行った。凍結乾燥葉に50% EtOHを加え、2時間加熱還流を行い、抽出を行った。得られた抽出物は100mLの蒸留水に懸濁させた後、予め調整したSep-Pakに通導させ、MeOHで溶出させてフラボノイド画分を得た。フラボノイド画分を50% MeOH溶液（2 mL）に溶解させたものを

をHPLC分析用サンプルとした。

（HPLC条件） HPLC装置：HP-1100 series HPLC system（Agilent Technologies）

カラム：YMC Pack ODS-A（4.6 mm \times 150 mm, YMC）温度：40℃, 流速：1.0 mL/min

移動相：A（1%トリフルオロ酢酸（TFA）水溶液）、B（アセトニトリル（MeCN）） A：B 90：10 \rightarrow 40：60 40minのリニアグラジエント、検出：ダイオードアレイ検出器（DAD：280, 350nm）、注入量20 μ L

以下6種類の試験試料および対照のMZ-1の7種類を用意した。

a. MZ-1散布後の経時変化をみる試験

- A：対照葉（MZ-1無散布）
- B：MZ-1散布当日採取葉
- C：MZ-1散布3日後採取葉
- D：MZ-1散布7日後採取葉

b. MZ-1の上部移行をみる試験

- E：対照（MZ-1無散布）の上位葉
- F：MZ-1散布2日後の上位葉

対照サンプル：MZ-1の1%（w/v）液、葉と同様にSep-pak処理を行いHPLCサンプルとした。

2) 結果および考察

分析に供試した各試料の生重量、乾燥重量、抽出物重量、フラボノイド画分重量などを第5表に示した。

次に、DAD（350nm）分析のHPLCチャートの一部を第30図に示した。対照サンプル（MZ-1）との比較で、B～Dサンプル中にMZ-1に含まれるリクイリチゲニン、イソリクイリチゲニンおよびリコカ

第5表 分析に供試した各試料の乾燥重量、抽出物重量およびフラボノイド画分重量

試料区分	生重量	凍結乾燥重量	抽出に使用した重量	抽出物重量	フラボノイド画分重量
A	29.73	3.17	1.01	0.24	0.01
B	30.01	3.27	1.00	0.29	0.01
C	32.65	3.82	1.00	0.28	0.02
D	33.57	6.14	1.01	0.17	0.01
E	25.23	4.21	1.00	0.24	0.01
F	27.39	3.73	1.00	0.22	0.03

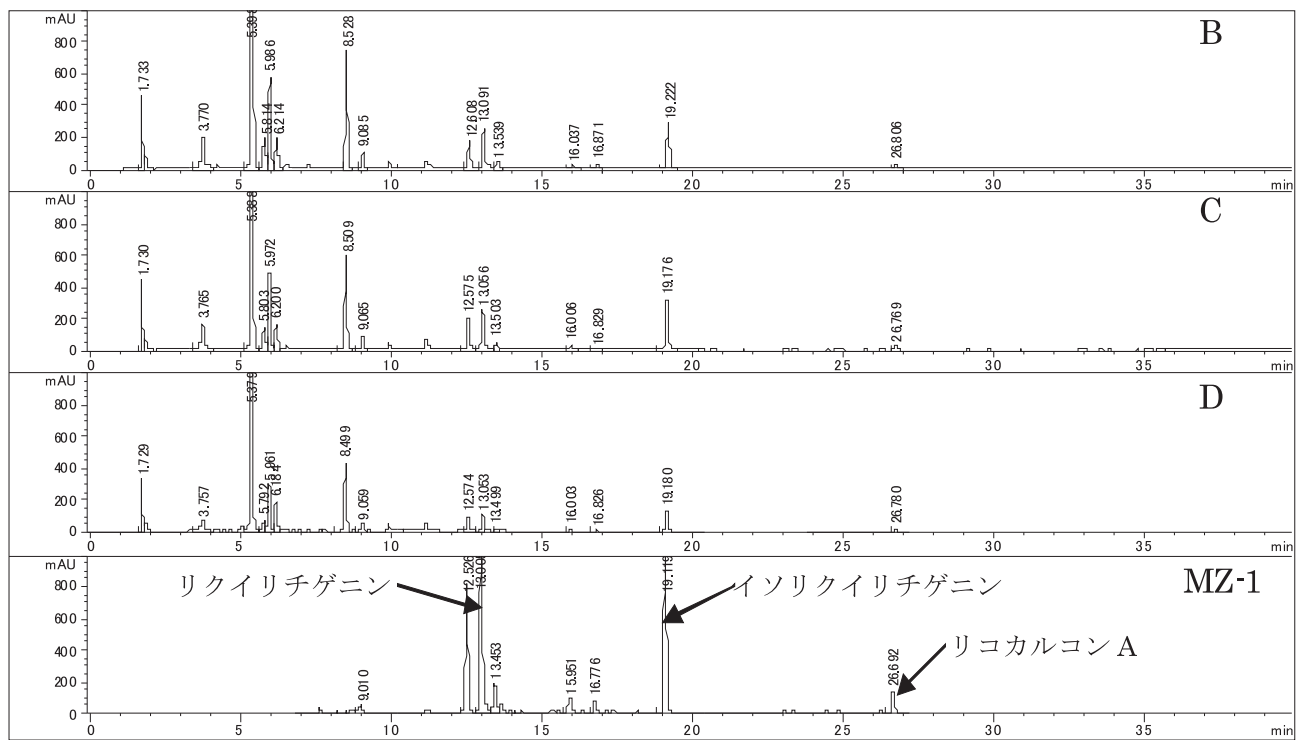
注) 表中の単位はg、A～Fについては本文参照。

ルコンAのピークが確認できた。このようにして、A～Fサンプルのキュウリ葉に含まれているリクイリチゲニン、イソリクイリチゲニンおよびリコカルコンAの保持時間およびピーク面積を第6表に示した。

MZ-1にはリクイリチゲニン、イソリクイリチゲニンおよびリコカルコンAなどのフラボノイド類が含まれている。MZ-1無散布葉 (A, E) にはこれらの化合物と同じ保持時間にはピークが検出されず (図は省略)、MZ-1 散布葉 (B, C, D) でこれら

のピークが検出された。このことより、MZ-1は散布後7日目までは、キュウリ葉表面もしくは内部に存在していることが確認された。ピーク面積は散布3日後までは散布当日と変わらないが、7日後になると半分以下に減少した。

上部移行を見る試験ではMZ-1散布2日後の上位葉 (第5葉) にはリクイリチゲニン、イソリクイリチゲニンおよびリコカルコンAのピークは検出されなかった。このことからMZ-1のフラボノイドが直接上位葉に移行することはないと考えられる。



第30図 HPLCによるMZ-1散布当日 (B)、散布3日後 (C)、散布7日後 (D) のキュウリ葉からのフラボノイドの検出

最下段は対照サンプルのMZ-1、縦軸単位：mAU、横軸単位：分。

第6表 MZ-1を散布処理したキュウリ葉サンプルのHPLC分析結果

試料区分	リクイリチゲニン		イソリクイリチゲニン		リコカルコンA	
	保持時間 (分)	ピーク面積	保持時間 (分)	ピーク面積	保持時間 (分)	ピーク面積
A	-	-	-	-	-	-
B	13.091	1821.1	19.222	2029.2	26.806	254.1
C	13.056	1962.4	19.176	2265.6	26.769	229.5
D	13.053	842.0	19.180	924.3	26.780	72.0
E	-	-	-	-	-	-
F	-	-	-	-	-	-

注) ピーク面積はピークの高さを時間軸方向に積分した値で、単位を持たない相対値。
- : 検出せず、A～Fについては本文参照。

2 主要成分の混合溶液の物理的安定性

Ⅱ, Ⅲの各章では各フラボノイドおよびグリチルレチン酸などは水に不溶性のため, 99% EtOH 溶液を水で希釈して100 $\mu\text{g}/\text{mL}$ として供試してきた. しかし, 水で希釈すると薄い白濁状態 (黄色フラボノイドでは黄濁) になり, 10分以上経過すると凝集・沈殿した. 一方, MZ-1にはこれらフラボノイドおよびグリチルレチン酸が含まれている. MZ-1は50% EtOHには完全に溶解するが, 水溶液にしても完全に透明にはならないものの, 凝集・沈殿することなく安定している. そこで, フラボノイドおよびグリチルレチン酸などを混合することで溶液の物理的安定性が変化するか試験した.

1) 材料および方法

(1) 試験1

イソリクイリチゲニンおよびグリチルレチン酸を99% EtOHに溶解して, 2,000 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 溶液を作製した. この溶液各1 mLに蒸留水19mLを加え, 各物質単独で100 $\mu\text{g}/\text{mL}$ とした. 一方, 各溶液を1 mLずつ混合し, 蒸留水18mLを加えて両物質の100 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 混合液を作製した. これらの溶液を静置して物理的安定性を目視で調査した.

(2) 試験2

まず, グリチルレチン酸の2,000 $\mu\text{g}/\text{mL}$ (99% EtOH 溶液) を蒸留水で20倍希釈して100 $\mu\text{g}/\text{mL}$ とした (①). 次に, グリチルレチン酸の20,000 $\mu\text{g}/\text{mL}$

(99% EtOH 溶液) を蒸留水で200倍希釈して100 $\mu\text{g}/\text{mL}$ とした (②). さらにグリチルレチン酸の20,000 $\mu\text{g}/\text{mL}$ (99% EtOH 溶液) とグリチルレチン酸の20,000 $\mu\text{g}/\text{mL}$ (99% EtOH 溶液) を等量混合し蒸留水で200倍希釈して各々が100 $\mu\text{g}/\text{mL}$ とした (③). この, ①, ②, ③の溶液の物理的安定性を目視で調査した. ここで, ②, ③で20,000 $\mu\text{g}/\text{mL}$ (99% EtOH 溶液) を200倍希釈したのは, 希釈液中に含まれるEtOH濃度を下げるためである. すなわち, ①では希釈液中に含まれる溶媒のEtOH濃度は5%であるが, ②, ③では0.5%となる.

2) 結果および考察

(1) 試験1

写真5に示したように, 蒸留水で希釈したイソリクイリチゲニンおよびグリチルレチン酸の100 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 溶液は10分以内に凝集・沈殿した. 一方, 両者の混合希釈液は希釈直後には薄い黄濁状態になるが, 5~6時間経過しても, 凝集して沈殿を生ずることはなかった. イソリクイリチゲニンとグリチルレチン酸が混合された微粒子では表面電荷が強まって粒子間の反発力が増して凝集しにくくなったことも考えられるが, ゼータ電位の測定など詳細な解析が必要と考えられる.

(2) 試験2

写真6に示したように, 蒸留水で希釈したグリチルレチン酸の100 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 溶液 (①) は試験1と同様



写真5 グリチルレチン酸とイソリクイリチゲニンを混合した場合の溶液の物理的安定性

左端: グリチルレチン酸 (2,000 $\mu\text{g}/\text{mL}$ in 99% EtOH) 1 mL とイソリクイリチゲニン (2,000 $\mu\text{g}/\text{mL}$ in 99% EtOH) 1 mL の混合液に蒸留水18mLを加えた.

中央: グリチルレチン酸 (2,000 $\mu\text{g}/\text{mL}$ in 99% EtOH) 1 mL に蒸留水19mLを加えた.

右端: イソリクイリチゲニン (2,000 $\mu\text{g}/\text{mL}$ in 99% EtOH) 1 mL に蒸留水19mLを加えた.

(いずれも試験開始約6時間後)

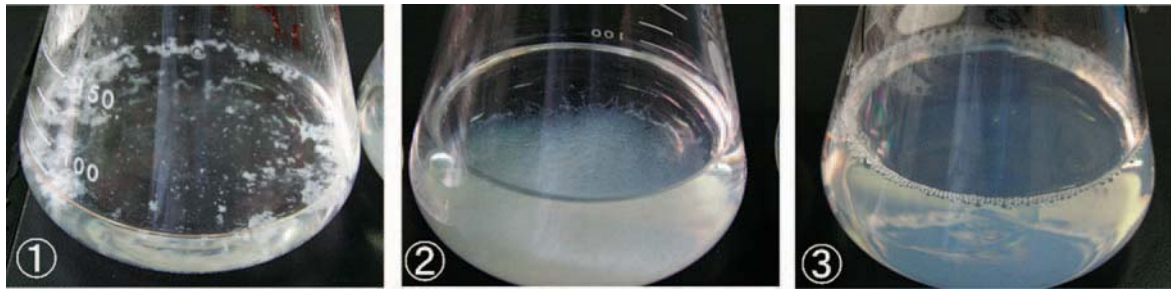


写真6 グリチルレチン酸とグリチルリチン酸を混合した場合の溶液の物理的安定性

- ①グリチルレチン酸 (2 mg/mL in 99% EtOH) を蒸留水で20倍希釈。
 ②グリチルレチン酸 (20mg/mL in 99% EtOH) を蒸留水で200倍希釈。
 ③グリチルレチン酸 (20mg/mL in 99% EtOH) とグリチルリチン酸 (20mg/mL in 99% EtOH) を混合後に蒸留水で200倍希釈。(いずれも試験開始約18時間後)

10分以内に凝集・沈殿した。また、溶媒のEtOH濃度を①の1/10の0.5%とした②でも、グリチルレチン酸溶液は薄く白濁し、①のように急速ではないが次第に凝集し、1時間ほどで容器の底に沈殿した。一方、グリチルリチン酸と混合した③では希釈直後の懸濁状態を保持し、試験開始18時間後でもその状態を保持した。なお、ここには示していないが、グリチルリチン酸は99%EtOHに溶解した後、蒸留水で希釈して100 μ g/mLとしても、全く白濁しないため、③で白濁したのはグリチルレチン酸に起因するものと考えている。グリチルレチン酸とグリチルリチン酸の混合液における懸濁状態の安定化にはグリチルリチン酸のサポニンとしての機能が関わっていることが想定される。

このことから、MZ-1はグリチルリチン酸、グリチルレチン酸、フラボノイド類の混合物のため、水溶液中で各成分が凝集・沈殿することなく安定した状態を保つと考えられる。したがって散布液の安定性を考えると各物質単独で使用するより、MZ-1のような混合物であることが有利と考えられる。

VI MZ-1のキュウリべと病に対する発病抑制効果 (圃場試験)

II章ではポット試験でMZ-1のキュウリべと病に対する発病抑制効果を明らかにしたが、露地圃場における発病抑制効果および展着剤の影響について試験した。

1 各種展着剤の発病抑制効果におよぼす影響

1) 材料および方法

試験地場所は広島県福山市西深津町6-12-1, 当研究センターのC-2圃場で、露地栽培とした。元肥として2006年4月19日、有機肥料(福山野菜有機189号; N:P:K=10:8:9, 130kg/10a), 苦土重焼燐(P:Mg=35:4.5, 20kg/10a)を施肥し、追肥は行わなかった。キュウリ品種は「つや太郎」(タキイ種苗)を用い、3月28日に播種、4月26日に定植した。定植時、殺虫剤(アセフェート粒剤)を株元に散布した。株間75cm, 畝間3m, 4畝のマルチ栽培とし、約200株定植した。本試験では散布時の隣接畝へのドリフト防止のため、畝間を広く取った。

試験は1区10株の3反復とした。5月15日, 22日, 29日および6月6日の4回MZ-1の100倍液(10g/L)を肩掛け噴霧器で散布した。散布量はキュウリの生育とともに増量し、初回散布で1区10株あたり1L, 最終散布で2.3Lであった。いずれも十分な量であった。

MZ-1の100倍液単独散布のほか、展着剤としてペタンV(展着剤には一般名がないので商品名で表記する, 以下同じ: 1,000倍), アプローチBI(1,000倍), 新グラミン(10,000倍)を添加した区を設定した。なお、ペタンVはパラフィン系固着剤, アプローチBIおよび新グラミンは非イオン系界面活性剤である。

第1回散布後の5月18日にキュウリべと病の初発を確認した。最終散布7日後の6月13, 14日に各区キュウリの全株全葉(約60枚/株)について日

本植物防疫協会編集の「野菜等殺菌剤圃場試験法(2004年3月)」²⁹⁾の方法により発病調査を行い、発病葉率および発病度を算出した。発病葉率および発病度はアークサイン変換後 Tukey-Kramer の多重検定を行った。散布後目視で毎日茎葉観察を行い葉害の有無を調査した。

2) 結果および考察

結果を第7表に示した。本試験では露地試験のためキュウリべと病が自然発生し、最終的には中発生となった。散布当日の降雨はなかったが、5月15日から6月14日までの間の総雨量は66.5mmで1日に10mm以上の降雨があった日は計3日であった。発病葉率、発病度とも、MZ-1単独区は展着剤加用区および無処理区と Tukey-Kramer 法で5%有意差がみられた。したがって、甘草抽出物(MZ-1)に展着剤を加用することで防除価が低下すると考えられた。なお、発病度の多重比較検定の手法は研究者によって異なるが、本論文では中島ら³⁹⁾に従い Tukey-Kramer 法で検定した。

MZ-1にはグリチルリチン酸などのサポニン類が含まれていて、それ自身展着剤的作用がある。サポニンの効果はキュウリ葉表面にまんべんなく被膜を作ってMZ-1を付着させ、発病抑制効果を高めると考えられる。本試験で展着剤を添加してかえって防除価が下がった原因として、MZ-1にさらにアプローチBIあるいは新グラミンを加えることにより展

着効果が増大し、被膜層が薄くなり発病抑制効果を下げるものと考えられる。一方、ペタンVはパラフィン系固着剤であり、一般に耐雨性を向上させるが、パラフィンを懸濁するため高濃度の界面活性剤が含まれており、上記と同様の理由により防除価が下がったと考えられる。いずれにせよ、MZ-1への展着剤添加は不要と考えられる。

なお、いずれの試験区でも葉害の発生は認められなかった。

2 グリチルレチン酸および油性甘草抽出物の発病抑制効果

II章の試験で、MZ-1に含まれるグリチルレチン酸およびフラボノイド類の発病抑制効果をポット試験で明らかにした。そこで、これら物質の効果を圃場試験で検証した。

1) 材料および方法

試験地場所は前節の試験と同じ圃場である。元肥として2007年7月10日、定植する畝跡(長さ45m×巾1m、4本)のみに有機肥料(福山野菜有機189号)および乾燥牛糞堆肥各1袋(20kg)を施用した。キュウリ品種：北進の市販種苗を供試した。マルチ栽培とし、7月12日に、株間70cm、畝間3mで約200株定植した。前節の試験と同様アセフェート粒剤を株元散布した。1区10株の3反復とし、8月2日、9日、17日および23日の4回、下記溶

第7表 MZ-1に各種展着剤を混用した場合のキュウリべと病発病抑制効果

	反復	発病葉率 (%)	平均	発病度	平均	防除価	
						(発病葉率)	(発病度)
MZ-1(100倍)	I	21.1	16.0	5.5	4.1	73	86
	II	13.9		3.5			
	III	12.9		3.2			
MZ-1(100倍) +ペタンV(1000倍)	I	7.1	21.2	2.2	6.2	65	79
	II	37.8		11.7			
	III	18.6		4.7			
MZ-1(100倍) +アプローチBI(1000倍)	I	27.1	29.6	7.3	9.2	51	68
	II	48.8		17.0			
	III	13.0		3.2			
MZ-1(100倍) +新グラミン(1000倍)	I	34.7	23.7	10.2	6.7	60	77
	II	15.8		4.4			
	III	20.5		5.4			
無処理	I	61.3	59.8	25.9	29.1		
	II	77.4		50.3			
	III	40.6		11.2			

注) 発病葉率、発病度ともアークサイン変換後 Tukey-Kramer 法で多重比較検定した。異なる英字間には5%有意差あり。

液を散布した。散布量はキュウリの生育に応じて散布日ごとに0.5 Lずつ増量し、1区10株あたり初回は2.5 L、最終回は4 L散布した。前節の結果を受けて展着剤は使用しなかった。

(散布溶液)

- ①油性甘草抽出物製剤 500倍 (V/V)
 ②MZ-1 500倍 (W/V)
 ③グリチルレチン酸 5,000倍 (W/V)
 ④(対照薬剤) TPN水和剤(商品名:ダコニール1000フロアブル) 1,000倍 (V/V)

この試験ではMZ-1の濃度を500倍としたが、これはMZ-1のコストを考慮して、使用量の少ない散布で効果があるか試験したためである。また、油性甘草抽出物とは、*G. glabra*よりアルコール系の溶媒で抽出したもので、グラブリジンが高含量に含まれるが、リクイリチゲニンとイソリクイリチゲニンの含量はグラブリジンの約1/100である(丸善製薬社内データ)。リコカルコンAはカンゾウ種が異なるため含まれていない。グリチルレチン酸は製造過程で除かれており、グリチルレチン酸も含有しない。したがって主要抗菌成分はグラブリジンのみである³⁸⁾。油性甘草抽出物製剤とはこの油性甘草抽出物を乳化剤を用いて製剤化したもので、製剤中に油性甘草を約9%、抗菌成分としてグラブリジンを約1%含む

製剤³⁸⁾で、食品の日持ち向上剤として市販されている¹⁰⁾。

一方、グリチルレチン酸の5,000倍液散布では和光純薬製の試薬を50倍量(w/v)の99% EtOHで溶解後、散布直前に水道水で100倍希釈した。

最終散布7日後の8月30、31日に各区キュウリの全株全葉(約60枚/株)について前節の方法²⁹⁾により発病調査を行い、発病葉率および発病度を算出した。散布後目視で毎日茎葉観察を行い葉害の有無を調査した。統計検定の方法は前節と同じである。

2) 結果および考察

第8表に結果を示した。第1回散布前には発病を認めなかったが、第2回散布時にはTPN水和剤以外の処理区では一部の株でべと病が発生していた。最終的に無処理区の発病葉率が54.5%、発病度が20.1となり中発生であった。多重比較検定の結果、発病葉率、発病度とも、油性甘草抽出物製剤、MZ-1、グリチルレチン酸の間には有意差が無かったが、無処理間とはTukey-Kramer法で有意差があった。MZ-1、グリチルレチン酸は無処理区と1%有意差、油性甘草抽出物製剤は無処理と5%有意差であった。なお、対照のTPN水和剤は防除値97と高い発病抑制効果を示した。散布当日の降雨はなかったが、

第8表 MZ-1、油性甘草抽出物製剤およびグリチルレチン酸のキュウリべと病発病抑制効果

	反復	発病葉率 (%)	平均	発病度	平均	防除値	
						(発病葉率)	(発病度)
油性甘草抽出物製剤	I	24.8	32.2	11.7	12.3	41	39
	500倍 II	42.7		16.4			
	III	29.0		8.9			
MZ-1	I	22.6	25.6	10.3	9.5	53	53
	500倍 II	26.8		9.3			
	III	27.4		9.0			
グリチルレチン酸	I	13.4	23.4	4.4	7.8	57	61
	5,000倍 II	26.9		8.7			
	III	29.8		10.4			
TPN水和剤	I	2.0	1.9	0.5	0.5	97	97
	1,000倍 II	1.4		0.4			
	III	2.2		0.7			
無処理	I	57.8	54.5	21.5	20.1		
	II	51.9		17.6			
	III	53.7		21.2			

注) 発病葉率、発病度ともアークサイン変換後Tukey-Kramer法で多重比較検定した。異なる英字間にはTukey-Kramer法で1%有意差あり。ただし、油性甘草と無処理間のみ5%有意差。

8月1日から8月30日までの間の総雨量は18.0mmと少雨であった。

MZ-1の500倍散布では、発病度から算出した防除価が53であった。前節の試験ではMZ-1の100倍液を供試したため防除価が86と高かったが、本試験では500倍液散布のため、防除価が低くなったと考えられる。グリチルレチン酸散布では防除価61でMZ-1よりやや効果が優った。一方、油性甘草抽出物製剤では防除価39と効果が劣った。いずれの試験区でも薬害の発生はなかった。

II章のポット試験ではグリチルレチン酸、グラブリジンとも100 μ g/mLの散布濃度でべと病の発生をほぼ完全に抑制できた。グリチルレチン酸の5,000倍液は200 μ g/mLに相当し、ポット試験の濃度100 μ g/mLより高い。一方、また油性甘草抽出物製剤500倍液中のグラブリジン濃度は約20 μ g/mLとポット試験の濃度100 μ g/mLより低いため、グリチルレチン酸の5,000倍液の方が油性甘草抽出物製剤500倍液より防除価が高くなったと考えられる。第1表より推定すると、MZ-1の500倍液中のグリチルレチン酸含量は約18 μ g/mLであるが、その他イソクイリチゲニン、リクイリチゲニン、リコカルコンAなどのフラボノイドも含むため、それらの複合効果で、油性甘草抽出物製剤より効果が優ったと考えられる。

Ⅶ 総合考察

前報¹⁸⁾の結果では、MZ-1の1,000 μ g/mL散布でもキュウリべと病は全く病斑が生じなかったのに対し、炭疽病ではMZ-1の10,000 μ g/mL散布でも病斑数は0にならず対照区の3%の病斑が生じた。また褐斑病ではMZ-1の10,000 μ g/mL散布でも病斑が対照区の約20%生じた。このことから、MZ-1の発病抑制効果はべと病>炭疽病>褐斑病の順と考えられた。このことをMZ-1に含まれるフラボノイド類、グリチルレチン酸などの個別の発病抑制効果から考察する。まず、べと病に対しフラボノイドのリコカルコンA、イソクイリチゲニン、リクイリチゲニンは100 μ g/mL液のキュウリ葉散布で高い発病抑制効果を示したのに対し(第5図)、炭疽病ではこれらのフラボノイドには発病抑制効果が認められな

った(第16図)。次にグリチルリチン酸、グリチルレチン酸にはべと病に対する発病抑制効果があり、特にグリチルレチン酸は100 μ g/mLでも高い発病抑制効果が認められた(第9, 10, 11図)。一方、炭疽病に対してもグリチルレチン酸は100 μ g/mLで発病抑制効果を認めたが、べと病ほど完全に抑制できるものではなかった(第18図)。また、褐斑病に対するフラボノイド類の発病抑制効果は検討していないが、グリチルレチン酸100 μ g/mL液の散布による発病抑制効果は認められなかった(第23図)。このようにMZ-1の発病抑制効果はフラボノイド類およびグリチルレチン酸の発病抑制効果により説明できると考えられる。

甘草根にはグリチルリチン酸およびフラボノイド類が含まれるが、とりわけフラボノイド類の臨床系、食品系の微生物に対する抗菌活性については多くの報告があり、グラブリジン、リコカルコンAなどの抗菌活性が高いことは広く知られている^{1, 6, 40, 51, 54)}。グリチルレチン酸については抗炎症作用、抗アレルギー作用といった薬効作用が高く^{28, 49)}、多くの医薬品、医薬部外品に使われている。一方、抗菌作用については、Kim *et al.*¹²⁾は臨床系の微生物(細菌3種、酵母類3種)に対するグリチルレチン酸の抗菌活性を*in vitro*で検定した結果、細菌2種に抗菌性を認め、グリチルレチン酸はDNA合成阻害作用が大きいと報告した。しかし、臨床系、食品系でのグリチルレチン酸の抗菌作用の利用は体臭抑制効果のある制汗剤など一部にとどまっている⁴⁾。

一方、植物病原菌に関してはNaidu *et al.*²⁷⁾はワタ(*Gossypium* sp.)の病原菌(細菌3種、糸状菌10種)に対するグリチルリチン酸、グリチルレチン酸およびグラブリジンの抗菌活性を*in vitro*で濃度1,000 μ g/mLで検定した。阻止帯の大きさ(mm)は供試菌すべてでグリチルリチン酸が小さかった。グリチルレチン酸とグラブリジンの比較では、糸状菌10種中8種、細菌3種中3種でグラブリジンが大きかったと報告した。

これらはいずれも*in vitro*での結果であるが、本研究ではキュウリべと病および炭疽病に対し、ポット試験でグリチルレチン酸は濃度100 μ g/mLで発病抑制効果を示した。これまでも各種薬用植物の抽出液の植物病原糸状菌に対する*in vitro*の抗菌活性

を検定した報告はあるが^{3, 46)}, 宮川・大野²⁴⁾は*in vitro*の抗菌活性とポット試験による生物検定の結果は必ずしも相関しないことを明らかにしており, 実用化を考えるとポット試験で効果を判定することが望ましい. 本研究でポット試験でグリチルレチン酸がキュウリべと病および炭疽病に高い発病抑制効果を持つことを確認した意義は大きいと考える.

本研究ではイソリクイリチゲニン, リクイリチゲニン, グリチルレチン酸といったアグリコンの方がそれぞれの配糖体より発病抑制効果が高かった. これらの物質はカンゾウの植物体の中では大部分が配糖体で存在しているが, MZ-1の製造過程で加熱などによりこれらのアグリコンが生成されることが考えられる. 一般に植物自身の病原菌に対する感染防御機構の一つに, post-inhibitins⁸⁾と定義される抗菌性物質群がある. これは配糖体として存在する抗菌性物質のように, 官能基をグリコシドなどで保護しそれ自体が植物組織を損傷しないような形で蓄えられていて, 感染後に加水分解酵素により糖が遊離するなどの単純な変化で抗菌活性化し感染防御に役立つものである^{8, 13)}. MZ-1では製造過程においてアグリコンが生成され, 病害発病抑制効果が高まったと考えられる.

Schuster *et al.*⁴⁵⁾はカンゾウ (*G. glabra*) の葉, 小枝の乾燥粉末 200 g を 96% EtOH で抽出し, 400 mL に濃縮した液 (成分含量不明) を希釈して散布し, トマトおよびジャガイモの疫病 (病原: *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary), キュウリべと病 (病原: *P. cubensis*), キュウリうどんこ病 (病原: *Podosphaera xanthii* (Castagne) Braun & Shishkoff), コムギうどんこ病 (病原: *Blumeria graminis* (D.C.) Speer f. sp. *tritici* Marchal), インゲンマメさび病 (病原: *Uromyces appendiculatus* (Per.) Link), トマト灰色かび病 (病原: *Botrytis cinerea* Per.) に対する発病抑制効果を調べた. その結果, キュウリべと病およびインゲンマメさび病, トマトおよびジャガイモの疫病で高い発病抑制効果を示したが, キュウリうどんこ病, トマト灰色かび病では全く効果がなかったと報告した. さらに, Scherf *et al.*⁴⁴⁾は上記のカンゾウの抽出液をガラス温室内で栽培したキュウリに7日間隔で散布した結果, 対照区で発病が急増した7週目以降でもべと病に対する高

い発病抑制効果を確認した.

一方, Mbega *et al.*¹⁵⁾は84種類の植物の熱水抽出液をトマト種子に処理してトマト斑点細菌病 (病原: *Xanthomonas perforans* Jones *et al.*) に対する細菌増殖抑制および発病抑制を調べた結果, カンゾウ (*G. uralensis*) を含む13種類の植物抽出液で細菌増殖を完全に抑制し, 発病を100%抑制したと報告している. このようにカンゾウの抽出液は植物病害防除素材として有望と考えられる.

なお, 一般にキュウリ栽培ではべと病, 炭疽病以外にうどんこ病が問題になる. 本研究の過程で, べと病などの試験目的でMZ-1を散布したキュウリに無散布区と同様にうどんこ病が発生することがあった (目視観察のみ). また, 上述のSchuster *et al.*⁴⁵⁾の結果を考えると, MZ-1はキュウリうどんこ病に対しては発病抑制効果が低いと考えられる.

2002年の農薬取締法改正で, 農薬の製造・使用などの規制が強化されたことを受けて, 「原材料に照らし農作物など, 人畜および水産動植物に害をおよぼすおそれがないことが明らかなもの」として農林水産大臣および環境大臣が特定農薬 (以下, 通称である「特定防除資材」とする) に指定したものは農薬登録を不要とする制度が新設された³⁴⁾. 2011年2月には特定防除資材の指定の検討対象となる資材が35資材に絞り込まれ, 甘草抽出物は「甘草 (マメ科カンゾウ)」として含まれている³⁴⁾. 特定防除資材 (特定農薬) 指定のための評価に関する指針³³⁾には「防除価などが無処理区と比較して半分を超える効果を示す2例以上の試験結果が認められ, 具体的な防除価などの数値の目安は以下のとおりであること. ア. 防除価が50以上であること」と定められている. 本研究で行った圃場試験では, キュウリべと病に対し, MZ-1の防除価50以上の試験例を2例示すことができた. さらにMZ-1は公的機関での発病抑制効果を判定するため2008年度より一般社団法人日本植物防疫協会の新農薬実用化試験で試験された^{30, 31)}. イチゴ炭疽病では2008年, 2009年に3例, オウトウ灰星病では2009年に1例, 公立農業試験場において試験を実施した. いずれも化学農薬に比べると効果はやや低い実用性有りの判定を受けている. MZ-1などの甘草抽出物は今後, 農水省・環境省合同の審議会で審議され, これらの試験

例も評価の対象になると考えられる。しかし、2003年に3種類（食酢、重曹、地場天敵）の特定防除資材が指定されて以降10年が経過した2013年6月現在も新たな追加指定が行われていないのが現状である。

MZ-1は農業以外にも、水産分野でも利用されている。MZ-1に含まれるグリチルリチン酸はブリ稚魚の連鎖球菌症に対する抵抗性を増強し²⁾、また養殖ヒラメにMZ-1を投与することで、ヒラメ血清の溶血活性、白血球の貪食活性で評価した非特異的生態防御能が増加することが認められ、さらに細菌による感染症であるエドワジラエ病に対する抗病性が向上したと報告されたことから²⁵⁾、MZ-1は養殖魚用の混合飼料として2007年より販売されている³⁶⁾。このようにMZ-1は水産分野で先行して実用化されている。

今後原料調達の関係でMZ-1のような甘草抽出物の製造に*G. glabra*を使用することも考えられ、その場合はリコカルコンAが含まれなくなる。しかし、波多野ら⁷⁾によれば、リクイリチン、イソリクイリチン、リクイリチゲニンおよびイソリクイリチゲニンは*G. inflata*、*G. glabra*および*G. uralensis*の根茎に広く含まれており、その含量にも大きな差異がないため、原料が*G. glabra*に変わっても同じ製法であれば甘草抽出物中のこれらフラボノイド含量に大きな変化がないと考えられる。同様にグリチルレチン酸はグリチルリチン酸のアグリコンであるが、これは製造過程で配糖体のグリチルリチン酸から生成されたものであり、同じ製法であればカンゾウ種が変わってもその含量に大きな変化がないと考えられる。

摘 要

本研究は甘草根よりフラボノイド類が高含量となるように抽出・精製した抽出物（MZ-1）の数種野菜類の茎葉病害に対する発病抑制機作を明らかにするため実施した。キュウリべと病および炭疽病を対象としてMZ-1に含まれる各フラボノイドおよびグリチルレチン酸などの各種成分のポット試験による発病抑制効果および*in vitro*での抗菌活性の調査、市販の乾燥生薬（甘草刻）からの抽出液およびMZ-

1の発病抑制効果と成分含量の比較、キュウリにMZ-1散布した後の植物体上でのフラボノイド成分含量の変化、圃場試験による発病抑制効果の確認などを通じて、発病抑制機作に関するいくつかの知見を得た。それらを要約すると以下のとおりである。

1. MZ-1を疎水性の違いから分画すると、70%ないし99% EtOH溶離画分（油性画分）にべと病、炭疽病に対する発病抑制効果が認められた。油性画分に含まれる主要成分のうち、べと病に対し発病抑制効果の高いフラボノイドはイソリクイリチゲニンおよびリコカルコンAであった。一方、炭疽病に対しては試験した濃度ではこれらフラボノイドの発病抑制効果は低かったが、イソリクイリチゲニンおよびリコカルコンAは炭疽病菌胞子発芽を強く阻害した。
2. 油性画分に含まれるトリテルペンのグリチルレチン酸にはべと病および炭疽病に高い発病抑制効果が認められた。また、グリチルレチン酸は炭疽病菌の胞子発芽を強く阻害した。なお、グリチルレチン酸の配糖体のグリチルリチン酸の効果は低かった。
3. MZ-1はべと病菌分生子から遊走子の放出過程を阻害し、遊走子の運動停止および崩壊を引き起こすためべと病の発病抑制効果を示すと考えられるが、べと病菌がキュウリに感染した後では発病抑制効果が認められなかった。
4. 甘草生薬の甘草刻の50% EtOHおよびホワイトリカー抽出液などにもべと病、炭疽病に対する発病抑制効果が認められた。MZ-1と比較すると、MZ-1にはグリチルレチン酸、リコカルコンAおよびイソリクイリチゲニンがより高濃度で含まれていた。
5. MZ-1をキュウリ葉に散布後3日後まではイソリクイリチゲニン、リクイリチゲニンおよびリコカルコンAの付着量は変わらなかった。また、MZ-1散布葉から上位葉へのこれらフラボノイドの移行は認められなかった。
6. イソリクイリチゲニンとグリチルレチン酸を混合した場合、あるいはグリチルレチン酸とグリチルリチン酸を混合した場合は、水で希釈しても凝集・沈殿が生じず物理的に安定していた。
7. MZ-1のべと病防除効果を圃場試験で調査した

結果, 100倍液散布で防除価86であった。散布の際には展着剤は防除効果を阻害するため不要である。

8. 本研究で供試した甘草抽出物MZ-1はカンゾウ種 *G. inflata* を原料にしたものである。

謝 辞

本研究を行うにあたり, 当研究センター水田作研究領域病虫害研究グループリーダー竹原利明氏, 元主任研究員井上博喜氏(現:九州沖縄農業研究センター)ならびに当研究センター業務第1科職員の方々には研究の実施および圃場試験で協力と支援をいただいた。当研究センター契約職員松岡礼子氏および中井とし江氏にはキュウリなどの検定植物の栽培管理, 各種寒天培地の調整などを担当していただいた。また, 丸善製薬株式会社甘草研究所所長田村幸吉氏, 商品開発部部长山本正次氏および企画・知財部チーフ小西正敏氏には協力と助言をいただくとともにHPLC分析を行っていただいた。ここに各位に対して深甚なる感謝の意を表する。なお, 本研究の一部はJSTシーズ発掘試験の支援を受けて実施した。

引用文献

- 1) Demizu, S., K. Kajiyama, K. Takahashi, Y. Hiraga, S. Yamamoto, Y. Tamura, K. Okada and T. Kinoshita 1988. Antioxidant and antimicrobial constituents of licorice: isolation and structure elucidation of a new benzofuran derivative. *Chem. Pharm. Bull.* 36 (9): 3474 - 3479.
- 2) 枝広知新・浜口雅巳・楠田理一 1990. ブリ稚魚の連鎖球菌症に対するグリチルリチン投与の影響. *水産増殖* 38 (3): 239 - 243.
- 3) 藤井義晴・古河 衛・早川嘉彦・菅原和夫・渋谷知子・浅川征男 1989. 薬用植物からの他感作用候補物質の検索. *雑草研究* 34 (別): 89 - 90.
- 4) 後藤佳子・伴 和佳・井上和郎 2011. β -グリチルレチン酸の *Corynebacterium xerosis* に対する抗菌作用とその応用. *日本薬学会年会要旨集*. 131st (3): 210.
- 5) 原 摂祐 1932. 実験作物病理学(養賢堂, 東京) 瓜類の病害(べと病). 790 - 791.
- 6) Haraguchi, H., K. Tanimoto, Y. Tamura, K. Mizutani and T. Kinoshita 1998. Mode of antibacterial action of retrochalcones from *Glycyrrhiza inflata*. *Phytochemistry*. 48 (1): 125 - 129.
- 7) 波多野力・福田寿之・劉 延澤・野呂忠敬・奥田拓男 1991. 甘草のフェノール性成分(第4報)甘草のフェノール成分と基原植物の関係, 並びに各種甘草エキスのXanthine Oxidase及びMonoamine Oxidaseに対する阻害効果. *薬学雑誌* 111 (6): 311 - 321.
- 8) Ingham, J. L. 1973. Disease resistance in higher plants The concept of pre-infectious and post-infectious resistance. *Phytopath. Zeit.* 78: 314 - 355.
- 9) Jeffery, B. H. and B. Herbert Eds. 1993. *Phytochemical Dictionary*. Taylor & Francis. London UK. 379.
- 10) 北條 寛 2003. 甘草油性抽出物製剤「サンリコリスA」の抗菌活性. *月刊フードケミカル* 2003 (6): 116 - 122.
- 11) 化学大辞典編集委員会編 1963. *化学大事典*, 共立出版社, 東京. 1: 809, 2: 204 - 205, 8: 336 - 337.
- 12) Kim, H. K., Y. Park, H. N. Kim, B. H. Choi, Y. G. Jeong, D. G. Lee and K. Hahm 2002. Antimicrobial mechanism of β -glycyrrhetic acid isolated from licorice, *Glycyrrhiza glabra*. *Biotechnology Letters*. 24: 1899 - 1902.
- 13) 小林昭雄 1997. オリゴ糖によって誘導される罹病抵抗反応. 市原耿民・上野民夫編, *植物病害の化学*. 学会出版センター, 東京. 124 - 133.
- 14) 厚生労働省 2011. 第十六改正日本薬局方(日本薬局方電子版), <http://jpdbs.nihs.go.jp/jp16/>
- 15) Mbega, E. R., C. N. Mortensen, R. B. Mabagala and E.G. Wulff 2012. The effect of plant extracts as seed treatments to control bacterial leaf spot

- of tomato in Tanzania. J. Gen. Plant Pathol. 78: 277 - 286.
- 16) 宮川久義・山本正次・大野裕和 2005 a. 甘草抽出精製物の数種野菜類茎葉病害に対する発病抑制効果について (講要). 日植病報 71: 60.
- 17) ———・————— 2005 b. 油性甘草抽出物の数種野菜類茎葉病害に対する発病抑制効果について (講要). 日植病報 71: 245.
- 18) ———・大野裕和 2007. 甘草抽出物を用いた野菜類茎葉病害の防除に関する研究. 近中四農研報 6: 55 - 69.
- 19) ——— 2007. 甘草抽出物による糸状菌病害の抑制. 農業技術大系 (土壤施肥編, 第5 - 1巻, 追録18号). 畑+216の65: 27 - 31.
- 20) ———・大野裕和 2007. 甘草抽出精製物のキュウリべと病に対する発病抑制効果について (講要). 日植病報 73: 64.
- 21) ———・————— 2008. 各種薬草類抽出液の抗菌活性とキュウリ炭疽病に対する発病抑制効果について (講要). 日植病報 74: 185.
- 22) ——— 2009. 農作物病害防除への新たな甘草抽出物 (甘草抽出物 MZ-1) の利用. フードリサーチ 2009 (11): 36 - 39.
- 23) ——— 2011. カンゾウ, 植物病原菌に抗菌性有り. 現代農業2011 (6): 138 - 139.
- 24) ———・大野裕和 2011. 野菜病害に対する生薬抽出液の抗菌活性と生物検定による評価. 九病虫研会報 57: 38 - 44.
- 25) 三吉泰之・河原栄二郎・福田 穰 2009. ヒラメの非特異的生態防御能に及ぼす甘草抽出物経口投与の影響. 大分県水試調研報 2: 1 - 4.
- 26) 水谷健二・田村幸吉 1995. 高甘味物質グリチルレチン酸モノグルクロナイド (MGGR) の開発とその癌予防効果. バイオインダストリー 12 (4): 40 - 49.
- 27) Naidu, K. C., R. Lalam and V. Bobbarala 2009. Antimicrobial agents from *Rubia cordifolia* and *Glycyrrhiza glabra* against phytopathogens of *Gossypium*. International Journal of Pharm Tech Research. 1 (4): 1512 - 1518.
- 28) 日本薬学会編 2004. 薬学生・薬剤師のための知っておきたい生薬100. 東京化学同人, 東京. 18 - 19, 136 - 140.
- 29) 日本植物防疫協会 2004. 野菜等殺菌剤圃場試験法, <http://www.jpapa.or.jp/test/data/yasaikin.pdf>
- 30) 日本植物防疫協会 2009. 平成20年度新農薬実用化試験成績CD版 (平成21年3月).
- 31) 日本植物防疫協会 2010. 平成21年度新農薬実用化試験成績CD版 (平成22年3月).
- 32) 野方洋一 2005. カンキツ果実の機能性成分の検索とその有効利用に関する研究. 近中四農研報 5: 19 - 84.
- 33) 農林水産省 2003. 特定防除資材 (特定農薬) 指定のための評価に関する指針 (PDF版), http://www.maff.go.jp/j/nouyaku/n_tokutei/pdf/sisin_bessi.pdf
- 34) 農林水産省農薬対策室 2011. 特定農薬 (特定防除資材) の検討の現状について. 植物防疫 65: 37 - 39.
- 35) 大木 理 2007. 植物病理学. 東京化学同人, 東京. 43 - 59.
- 36) 大野裕和 2009. 魚類の免疫学的診断マニュアルの作成と活用. 福山大学社会連携研究推進事業公開講座資料, <http://www.fukuyama-u.ac.jp/rcosr/suishin/report/09/pj2/pj2theme3.pdf>
- 37) ———・宮川久義 2010. 特許4621867号 (平22. 11. 12), 植物病害防除剤及びその製造方法並びに農薬及び肥料, (丸善製薬株式会社, (独) 農業・食品産業技術総合研究機構).
- 38) ———・山本正次・宮川久義 2011. 特許4769921号 (平23. 7. 1), 植物病害防除剤及び農薬, (丸善製薬株式会社・(独) 農業・食品産業技術総合研究機構).
- 39) 中島 隆・富村健太・吉田めぐみ 2006. コムギ赤かび病防除薬剤の耐雨性の評価. 九病虫研会報 52: 33 - 37.
- 40) Okada, K., Y. Tamura, M. Tamamoto, Y. Inoue, R. Takagaki, K. Takahashi, S. Demizu, K. Kajiyama and T. Kinoshita 1989. Identification of antimicrobial and antioxidant constituents from licorice of Russian and Xinjiang origin. Chem. Pharm. Bull. 37 (9): 2528 - 2530.
- 41) Padmavati, M., N. Sakthivel, K. V. Thara and

- A. R. Reddy 1977. Differential sensitivity of rice pathogens to growth inhibition by flavonoids. *Phytochemistry*. 46 (3): 499 – 502.
- 42) Puupponen-Pimiä, R., L. Nohynek, C. Meier, M. Kähkönen, M. Heinonen, A. Hopia and K. Oksman-Caldentey 2001. Antimicrobial properties of phenolic compounds from berries. *J. Applied Microbiology*. 90: 494 – 507.
- 43) Sato, J., S. Kawai, W. Hashimoto, K. Murata, K. Goto and F. Nanjo 2001. Identification of an antifungal substance derived from the oil-based extract of licorice. *Biocontrol Science*. 6 (2): 113 – 118.
- 44) Scherf, A., C. Schuster, P. Marx, U. Gärber, S. Konstantinidou-Doltsinis and A. Schmitt 2010. Control of downy mildew (*Pseudoperonospora cubensis*) of greenhouse grown cucumbers with alternative biological agents. *Comm. Appl. Biol. Scxi. Ghent University*. 75 (4) 540 – 554.
- 45) Schuster, C., S. Konstantinidou-Doltsinis and A. Schmitt 2010. *Glycyrrhiza glabra* extract protects against phytopathogenic fungi. *Comm. Appl. Biol. Scxi. Ghent University*. 75 (4) 513 – 540.
- 46) 関崎春男 1995. 薬用植物の植物病原菌に対する抗菌活性. *Natural Medicines*. 49 (1): 97 – 103.
- 47) 消費者庁 2010. 既存添加物名簿収載品リスト, 平成22年10月20日, 消食表第377号 消費者庁次長通知, 別添1.
- 48) 食品と科学社 2003. 天然物便覧 (15版). 食品と科学社, 東京. 408.
- 49) 田村幸吉 2005. カンゾウの新しい用途. *防菌防黴* 33 (3): 127 – 136.
- 50) ——— 2008. 植物エキスの利用による食品の日持ち向上. *防菌防黴* 36 (3): 183 – 191.
- 51) 築山良一・桂 晴美・古林万木夫 2002. カンゾウ油性抽出物に含まれるリコカルコンAの抗菌活性と日持ち向上剤への利用. *食品と開発* 37 (6): 59 – 61.
- 52) 上杉康彦 1981. 抗菌活性測定法, 農薬実験法 No.2 殺菌剤編. 深見順一, 上杉康彦, 石塚皓造, 富沢長次郎編, ソフトサイエンス社, 東京. 37 – 62.
- 53) 米山伸吾 2005. ベと病, 図説 野菜の病気と害虫. 米山伸吾・根本 久・上田康郎・都築司幸著, 農文協, 東京. 102 – 112.
- 54) 吉川展司・伊藤 眞 2012. 甘草およびその成分 (グリチルリチン酸等) について. *FFIジャーナル* 217: 38 – 46.

Studies on The Mechanism of Cucumber Downy Mildew and Anthracnose Disease Suppression by Licorice Extract

Hisayoshi MIYAGAWA and Hirokazu OHNO¹

Key words: licorice extract, cucumber downy mildew, cucumber anthracnose, disease suppression, glycyrrhetic acid, flavonoids

Summary

Licorice is widely used as a raw material of pharmaceutical, cosmetic, and food additives. It is known that the constituents of licorice have both antioxidant and antimicrobial activities. In our previous study, we reported the disease control effect of some foliar fungal diseases of vegetables through the application of the purified licorice extract, previously called fravolicorice. In this study, we aimed to elucidate the control mechanism of the licorice extract against cucumber downy mildew and anthracnose disease.

The extract, commercially named MZ-1, is a yellowish powder manufactured by including a large amount of flavonoids during the extraction process of glycyrrhizic acid from the licorice root.

1. MZ-1 was fractionated using column chromatography (stepwise elution with ethanol [EtOH]) into 5 fractions. The 99% EtOH-soluble fractions showed high disease suppressive effects against cucumber downy mildew and anthracnose, as assessed using a potted cucumber plant. Among the major flavonoids included in the 99% EtOH-soluble fraction, isoliquiritigenin and licochalcone A mediated the high disease suppression effect against cucumber downy mildew. Conversely, these flavonoids showed no inhibitory effect against anthracnose at the same test concentrations, but strongly inhibited the fungal spore germination.
2. Glycyrrhetic acid included in the above-mentioned fraction showed high control effect against downy mildew and anthracnose and also strongly inhibited fungal spore germination in anthracnose. However, the control effect of glycyrrhizic acid, which is a glycoside of glycyrrhetic acid, was low.
3. MZ-1 inhibited zoospore release from the conidia of downy mildew, stopped zoospore movements, and caused the collapse of zoospores. However, MZ-1 showed no disease suppressive effect when used after 6 h since the conidia of the downy fungus was inoculated into the cucumber plant.
4. The 50% EtOH-soluble extract of herbal licorice showed suppressive effects against downy mildew and anthracnose. MZ-1 contained a high concentration of licochalcone A, isoliquiritigenin and glycyrrhetic acid compared with the above extracts.
5. Up to 3 days after the spraying of MZ-1, no change in the level of flavonoids was observed in the cucumber leaves. Moreover, the flavonoids were not detected in the leaves above the treated leaves 2

Lowland Crops Research Division, NARO Western Region Agricultural Research

¹ Maruzen Pharmaceuticals Co., Ltd.

days after the treatment.

6. An ethanol mixture of isoliquiritigenin and glycyrrhetic acid diluted with water was physically stable, showing no coagulation and precipitation. Similarly, an ethanol mixture of glycyrrhizic acid and glycyrrhetic acid was physically stable after dilution with water.
7. The preventive value of MZ-1 against downy mildew was 86 when cucumber plants in a field were sprayed using a 100-fold dilution of MZ-1. A spreading agent slightly inhibited the effect of MZ-1.
8. The results were obtained using MZ-1 extracted from *Glycyrrhiza inflata*. When the raw material was changed from *G. inflata* to *G. glabra*, the extracted made by the same process as MZ-1 did not include licochalcone A. However, such extracts include glycyrrhetic acid and other flavonoids such as isoliquiritigenin. Therefore, the control effect would not be less.

硝子率が低く精麦品質が優れる早生・多収の裸麦新品種 「ハルヒメボシ」の育成

高橋飛鳥・吉岡藤治・柳沢貴司¹・長嶺 敬²・高山敏之¹・土井芳憲³・
松中 仁⁴・藤田雅也¹・土門英司⁵・杉浦 誠⁶・伊藤昌光⁷

Key words : 裸麦, 新品種, 多収, 硝子率, 精麦品質, 味噌

目 次

I 緒 言	107	2 愛媛県における生育, 収量, 品質試験成績	120
II 育成経過	108	3 愛媛県における採用理由	121
III 特性の概要	108	V 考 察	122
1 形態的特性	108	VI 適地と栽培上の留意点	122
2 生態的特性	114	VII 命名の由来と育成従事者	122
3 品質特性	114	VIII 摘 要	123
4 味噌加工適性	116	引用文献	123
IV 配付先における成績	116	Summary	126
1 奨励品種決定調査成績	116		

I 緒 言

国産大麦は、精麦・味噌・麦茶業界の実需者から生産拡大と安定供給が求められている。特に裸麦については、販売予定数量に対して購入希望数量が上回っている状況が続いているが⁸⁾、作付面積は、2010年産が4,720ha、2011年産が5,130ha、2012年産が4,970haとほぼ横ばい傾向にあり^{9, 10)}、生産拡大が強く求められている。

一方で、大麦は用途に応じた高品質な原料が求められるため、品質評価基準に基づくランク区分が定められており、生産者の収益性を確保するためには用途ごとに定められた品質評価項目の基準値を達成

することが必要である。

1991年、2001年にそれぞれ育成された裸麦品種である「イチバンボシ」⁵⁾と「マンネンボシ」¹⁾は、両品種合わせて全国の裸麦の8割以上の作付面積を占めている⁸⁾。いずれの品種も安定多収で精麦特性が優れており、主に味噌や麦ご飯の原料として用いられている。しかし、近年、品質ランク区分の評価項目のうち、硝子率の基準値(50%以下)あるいは許容値(60%以下)を達成できなくなっていることが問題となっている。硝子率が高いと精麦白度が低くなる傾向があり⁶⁾、精麦品質に影響を及ぼすため、産地や実需者から低硝子率品種の育成が強く求められている。

また1957年に育成された「ヒノデハダカ」²⁾は、

(平成25年7月12日受付, 平成25年11月28日受理)
農研機構近畿中国四国農業研究センター
作物機能開発研究領域

¹ 現 農研機構作物研究所

² 現 農研機構中央農業総合研究センター

³ 元 農研機構近畿中国四国農業研究センター

⁴ 現 農研機構九州沖縄農業研究センター

⁵ 現 農業生物資源研究所

⁶ 現 農研機構近畿中国四国農業研究センター
傾斜地園芸研究領域

⁷ 元 四国農業試験場

一部の実需者から生産要望があり、現在でも愛媛県今治地域で麦味噌原料として約70ha作付けされているが、収量性が低いことから、代替品種の育成が要望されている。

2012年に育成された「ハルヒメボシ」は、硝子率が低く、精麦品質が優れる早生・多収の六条裸麦品種であり、2013年10月に愛媛県で奨励品種に採用された。この品種の普及により、高品質な裸麦の安定供給および生産拡大が期待される。

本品種の育成において、特性検定試験、系統適応性検定試験、奨励品種決定調査などを担当された関係府県農業試験場の各位および現地試験栽培にご協力いただいた農家や農業団体の関係者に謝意を表す。また愛媛県での品種採用に大きく寄与した、農林水産省「新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業」の研究課題の中で、栽培特性と精麦・味噌加工適性の評価を実施された各機関に謝意を表す。麦味噌醸造試験を実施していただき、データの転載を快諾していただいた東京農業大学・醸造科学科の東和男講師に厚く御礼申し上げる。最後に、長年にわたり育成現場で多大な支援をいただいた当研究センター業務支援センター職員各位および契約職員各位に対し心から感謝申し上げます。

なお、本品種育成にあたって、2010年度からは農林水産省委託プロジェクト「水田の潜在能力発揮等による農地周年有効活用技術の開発」の研究経費を用いた。

II 育成経過

「ハルヒメボシ」は、1994年度（年度は播種年度：以下同じ）に四国農業試験場（現・近畿中国四国農業研究センター四国研究センター、香川県善通寺市、以下「育成地」とする）において、早生・強稈・縞萎縮病強を育種目標として、「四R系1350（後の「マンネンボシ）」を母、「四R系1311」と「四R系1324」のF1を父として人工交配を行い、集団育種法により選抜・固定を図ってきたものである。「ハルヒメボシ」の系譜を第1図に、形態的および生態的特性を第1表に、選抜および育成経過を第2表に示す。

1995年6月から温室で雑種第1代（F1）を世代

促進栽培し、1995～1997年度に集団養成（F2～F4）を行った。1998年度に穂別系統（F5）から栽培性を基準に選抜を行い、1999年度（F6）より「四R系2260」として生産力検定試験に供試するとともに系統の選抜と固定を図った。その結果、生産力検定予備試験において成績が良好であったため、2001年度（F8）から生産力検定本試験に供試するとともに、系統適応性検定試験および特性検定試験に供試した。これら一連の試験で早生・多収で品質が優良であり、有望系統と判断されたことから、2003年度（F10）より「四国裸110号」の系統名を付して奨励品種決定調査に供試した結果、硝子粒の発生割合が少なく、原麦および精麦白度が高い高品質の早生・多収系統として評価された。また、味噌醸造試験においても、既存品種と同等の加工適性を示した。これらを受けて、愛媛県の奨励品種である味噌原料の「ヒノデハダカ」および「マンネンボシ」の一部代替としての普及が見込まれたため、2012年3月28日に「ハルヒメボシ」として品種登録出願を行った（出願番号：第26868号）。出願時の世代は、雑種第18代（F18）である。

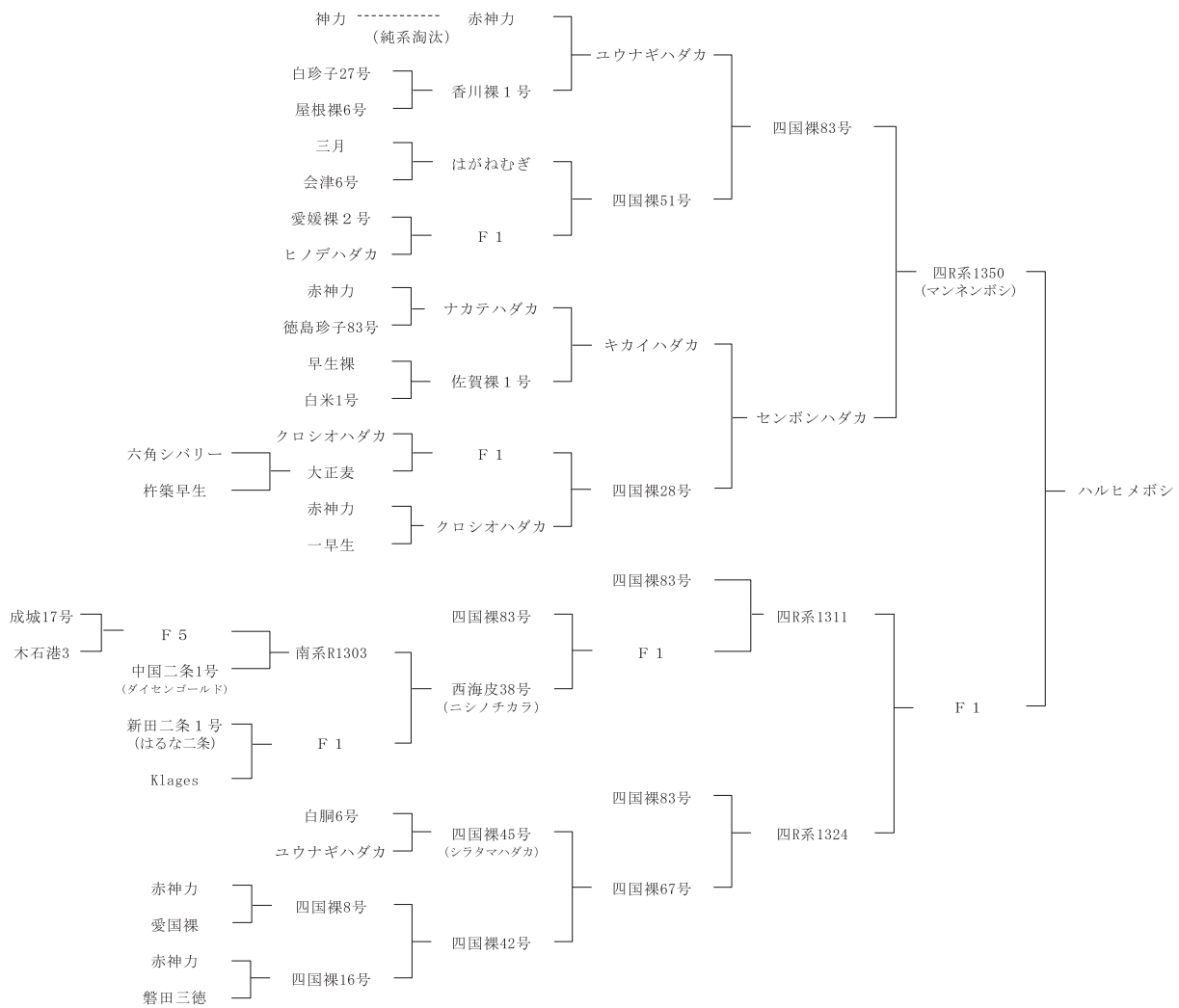
III 特性の概要

「ハルヒメボシ」の主な特徴は、硝子率が低く、精麦品質が優れ、穂長が長く、多収で、中折れの発生が少ないことである。

大麦種苗特性分類調査報告書（（社）農林水産技術情報協会、1980年3月）に基づく特性概要は第3表、種苗法における農林水産植物種類別審査基準（2012年4月版）に基づく特性は第4表のとおりである。また、育成地における主な特性は以下のとおりである。

1 形態的特性

渦性で稈性の六条裸麦である。叢性は“中”，株の開閉は“やや閉”，稈の細太は“やや細”，稈長は“中”で「イチバンボシ」と同程度である。「イチバンボシ」と比べて穂数は少ないが、穂長は“やや長”で長い。粒着の疎密は“中”，芒長は「マンネンボシ」に近い“やや長”で、「イチバンボシ」より長い。粒形は“中”で、粒の大小は“やや大”である。



第1図 「ハルヒメボシ」の系譜

第1表 「ハルヒメボシ」およびその親の特性

(1) 形態的特性

品種名・系統名	叢性	株の開閉	稈長	穂長	稈の細太	条性	並渦性	皮裸性
四R系1350 (マンネンボシ) (母)	やや匍匐	やや閉	中	中	中	六条	渦	裸
四R系1311 (父の母)	中	やや閉	やや短	中	中	六条	渦	裸
四R系1324 (父の父)	中	やや閉	中	やや長	中	六条	渦	裸
ハルヒメボシ	中	やや閉	中	やや長	中	六条	渦	裸

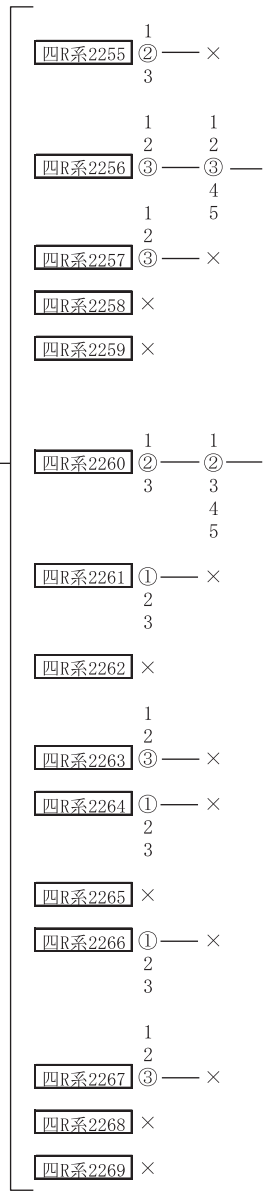
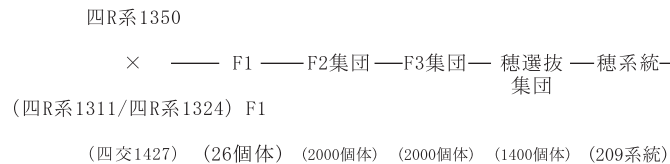
(2) 生態的特性

品種名・系統名	播性程度	出穂期	成熟期	穂発芽性	耐倒伏性	うどんこ病	赤かび病	縞萎縮病
四R系1350 (マンネンボシ) (母)	IV	やや早	やや早	やや難	強	やや弱	中	やや強
四R系1311 (父の母)	—	やや早	早	—	強	やや弱	—	—
四R系1324 (父の父)	—	早	早	—	やや強	やや弱	—	—
ハルヒメボシ	IV	早	早	難	やや強	やや弱	中	やや強

注) 育成地 (香川県善通寺市) における調査結果。

第2表 「ハルヒメボシ」の選抜および育成経過

播種年度	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	
世代	交配	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
供試								
系統群数		26	2000	2000	1400	209	15	9
系統数		個体	個体	個体	個体	穂系統	45	45
選抜							9	2
系統群数							9	2
系統数							9	2
個体数	26	2000	2000	1400	209	15	45	10
	粒	粒	粒	粒	穂			
生産力検定試験	予備試験						予備 畦立て条播 (標肥)	予備 畦立て条播 (標肥)
	本試験							
系統適応性検定試験								
特性検定試験								
奨励品種決定調査								
備考	四交1427	世代促進	集団	集団	穂選抜 集団	穂別系統	四R系2260	



注) 特性検定試験, 系統適応性検定試験, 奨励品種決定調査の欄の数字は試験実施場所数を示す。

第3表 特性概要

項目番号	項目	ハルヒメボシ	イチバンボン (標準品種)	マンネンボシ (比較品種)	ヒノデハダカ (比較品種)
		階級 (区分)	階級 (区分)	階級 (区分)	階級 (区分)
形態的形質					
I-1-1	叢性	5 (中)	5 (中)	6 (やや匍匐)	5 (中)
I-1-2	株の開閉	4 (やや閉)	4 (やや閉)	4 (やや閉)	3 (閉)
I-1-3	並渦性	8 (渦)	8 (渦)	8 (渦)	8 (渦)
I-2-1	稈長	5 (中)	5 (中)	5 (中)	4 (やや短)
I-2-2	稈の細太	4 (やや細)	4 (やや細)	5 (中)	4 (やや細)
I-2-4	稈のワックスの多少	7 (多)	6 (やや多)	7 (多)	5 (中)
I-3-2	葉色	5 (中)	7 (濃)	8 (極濃)	4 (やや淡)
I-3-3	葉鞘のワックスの多少	6 (やや多)	6 (やや多)	7 (多)	5 (中)
I-4-2	穂長	6 (やや長)	5 (中)	5 (中)	5 (中)
I-4-3	粒着の疎密	5 (中)	5 (中)	5 (中)	5 (中)
I-4-4	穂の抽出度	5 (中)	5 (中)	5 (中)	5 (中)
I-4-5	条性	8 (六条)	8 (六条)	8 (六条)	8 (六条)
I-4-6	穂の下垂度	3 (直)	3 (直)	3 (直)	3 (直)
I-5-1	芒の有無・多少	5 (中)	5 (中)	5 (中)	5 (中)
I-5-2	芒長	6 (やや長)	5 (中)	6 (やや長)	5 (中)
I-5-3	芒の粗滑	7 (粗)	7 (粗)	7 (粗)	7 (粗)
I-6-1	ふの色	2 (黄)	2 (黄)	2 (黄)	3 (黄褐)
I-7-1	粒の形	5 (中)	5 (中)	4 (やや円)	5 (中)
I-7-2	粒の大小	6 (やや大)	6 (やや大)	6 (やや大)	5 (中)
I-7-3	粒の色	3 (黄褐)	3 (黄褐)	3 (黄褐)	3 (黄褐)
I-8-1	千粒重	6 (やや大)	6 (やや大)	6 (やや大)	5 (中)
I-8-2	リットル重	6 (やや大)	6 (やや大)	6 (やや大)	6 (やや大)
I-9-1	原麦粒の見かけの品質	4 (中の上)	4 (中の上)	4 (中の上)	5 (中の中)
I-9-2	原麦白度	6 (やや高)	6 (やや高)	6 (やや高)	5 (やや低)
生態的形質					
II-1	播性	4 (IV)	5 (V)	4 (IV)	6 (VI)
II-2	茎立性	5 (中)	5 (中)	6 (やや晩)	4 (やや早)
II-3-1	出穂期	3 (早)	3 (早)	4 (やや早)	4 (やや早)
II-3-2	成熟期	3 (早)	3 (早)	4 (やや早)	3 (早)
II-4-1	粳・糯の別	2 (粳)	2 (粳)	2 (粳)	2 (粳)
II-4-2	皮裸性	8 (裸)	8 (裸)	8 (裸)	8 (裸)
II-4-3	脱ぶ性	7 (易)	7 (易)	7 (易)	7 (易)
II-5	穂発芽性	3 (難)	3 (難)	4 (やや難)	3 (難)
II-6	脱粒性	3 (難)	3 (難)	3 (難)	3 (難)
II-7	耐倒伏性	4 (やや強)	4 (やや強)	3 (強)	4 (やや強)
II-8-4	耐凍上性	7 (弱)	7 (弱)	7 (弱)	7 (弱)
II-9	収量性	7 (多)	7 (多)	7 (多)	6 (やや多)
II-10-1	粒質	3 (粉質)	3 (粉質)	3 (粉質)	3 (粉質)
II-10-2	精麦歩留	5 (中)	5 (中)	5 (中)	5 (中)
II-10-3	精麦白度	8 (極大)	8 (極大)	7 (大)	4 (やや小)
II-12-1	縮萎縮病抵抗性	4 (やや強)	3 (強)	4 (やや強)	6 (やや弱)
II-12-2	赤かび病抵抗性	5 (中)	5 (中)	5 (中)	5 (中)
II-12-3	うどんこ病抵抗性	6 (やや弱)	5 (中)	6 (やや弱)	6 (やや弱)

注)「大麦種苗特性分類調査報告書」((社)農林水産技術情報協会, 昭和55年3月)に基づく特性.

標準品種・比較品種は、「マンネンボシ」の参考成績書に記された階級を使用した.

第4表 UPOV 基準による特性分類表

形質 番号	UPOV	記号	形質	ハルヒメボシ		イチバンボシ (標準品種)	
				階級	(状態)	階級	(状態)
1	1 (*)	QN	草姿	5	(中)	5	(中)
3	2 (*)	QL	葉鞘の毛の有無	1	(無)	1	(無)
4	3, 4 (*)	QN	止葉の葉耳のアントシアニン着色の強弱	3	(弱)	3	(弱)
5	5	QN	植物体の反曲した止葉の多少	3	(少)	3	(少)
6	6	QN	止葉の葉鞘表面のろう質の多少	5	(中)	5	(中)
7	7 (*)	QN	出穂期	3	(早)	3	(早)
8	8, 9 (*)	QN	芒の先端のアントシアニン着色の強弱	3	(弱)	3	(弱)
9		QL	開閉花受粉性	1	(開花受粉性)	1	(開花受粉性)
10	10 (*)	QN	穂のろう質の多少	3	(少)	3	(少)
11	11	QN	穂の向き	1	(立)	1	(立)
12	12 (*)	QN	草丈	3	(短)	3	(短)
13	13 (*)	QL	穂の条数	2	(3以上)	2	(3以上)
14	14	PQ	穂の形	5	(平行)	5	(平行)
15	15 (*)	QN	穂の粒着の粗密	5	(中)	5	(中)
16	16	QN	穂の長さ	6	(やや長)	5	(中)
17	17 (*)	QN	芒の長さ	5	(中)	5	(中)
18	18	QN	穂軸の長さ	3	(短)	3	(短)
19	19	QN	穂軸の曲がりの強弱	3	(弱)	3	(弱)
22	21	QN	穀粒に比べて中央小穂の芒を含む護穎の長さ	1	(短)	1	(短)
23	22 (*)	PQ	穀粒の小穂軸の毛の型	1	(短)	1	(短)
24	23 (*)	QL	穀粒の稃の有無	1	(無)	1	(無)
25	24	QN	穀粒の外穎のアントシアニン着色の強弱	3	(弱)	3	(弱)
26	25	QN	穀粒の外穎背面内側面の脈沿いの突起の多少	3	(少)	3	(少)
27	26 (*)	QL	穀粒の縦溝の毛の有無	1	(無)	1	(無)
28	27	QL	穀粒の鱗皮の着き方	1	(正面)	1	(正面)
29	28	QN	穀粒の糊粉層の色	1	(白色)	1	(白色)
33	29 (*)	PQ	播性	1	(秋播性)	1	(秋播性)

注) 種苗法における農林水産植物種類別審査基準(2012年4月版)に基づく特性。

(*)は必須形質, QLは質的形質, QNは量的形質, PQは擬似的量的形質。

千粒重は“やや大”，容積重は“やや大”，原麦白度は“やや高”，原麦粒の見かけの品質は“中の上”で，いずれも「イチバンボシ」並である（第5表，写真1，写真2）。

2 生態的特性

播性の程度は“Ⅳ”で，茎立性は“中”である。出穂期および成熟期は「イチバンボシ」と同程度の“早”である。脱ぶ性は“易”，穂発芽性は“難”である。耐倒伏性は“やや強”，中折れ耐性は“強”で，「イチバンボシ」と同等であり，「ヒノデハダカ」より優れる（第5表，第6表，写真3）。

収量性は「イチバンボシ」と同様の“多”である。育成地では，「イチバンボシ」より多収で，2004～2010年度のドリル播栽培では平均で約1割多収だった（第5表）。

縞萎縮病抵抗性は“やや強”で，育成地では「ヒノデハダカ」より発病程度が小さかった（第5表）。うどんこ病は“やや弱”，赤かび病抵抗性は総合的に判断して“中”で（第6表），黄化症状は「イチ

バンボシ」と同程度に出にくい（第5表）。

3 品質特性

品質特性を第7表，第8表，第9表に示した。粒質は「イチバンボシ」と同様の“粉質”である。穀粒硬度は「イチバンボシ」よりやや高く，「マンネンボシ」と同程度である。60%歩留搗精に要する時間は「イチバンボシ」よりやや長い。精麦白度は「イチバンボシ」より高く，砕粒率は「イチバンボシ」よりも低い。硝子率は，「イチバンボシ」や「マンネンボシ」よりも低く，この傾向は目視法と硝子率判定器（Kett社：RN-840）のいずれの場合でも，また，硝子率が高くなりやすい多肥栽培でも（データ略）同様であった。

タンパク質含量は「イチバンボシ」と同程度で，「マンネンボシ」および「ヒノデハダカ」より低い。

細胞壁多糖で機能性成分である水溶性食物繊維のβ-グルカンの含量は「イチバンボシ」よりやや多い。

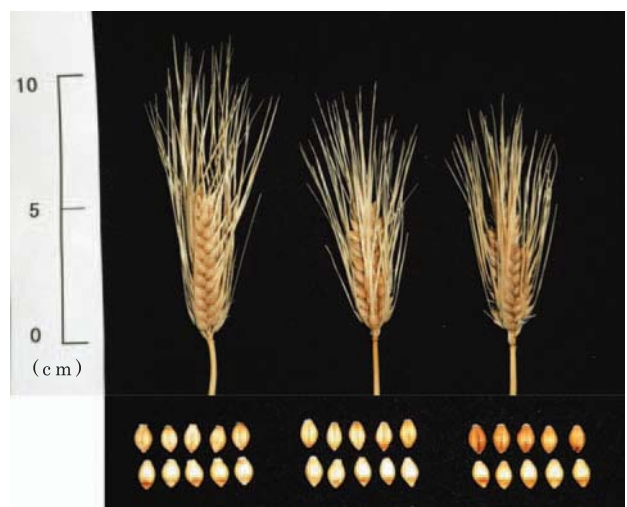
60%搗精麦の色相はL*値（明るさ）が高く，a*値（赤み）が低い。

炊飯麦の色相に関わるポリフェノール含量やプロアントシアニジン含量は「イチバンボシ」と同程度であり，保温による色相の変化も同程度であるが，炊飯直後および保温後の色相は「イチバンボシ」よりやや優れる。炊飯麦の官能検査による評価では，「イチバンボシ」と比べて香りや硬さ，粘り，味はほぼ同等で，白さはやや優れる。



ハルヒメボシ イチバンボシ ヒノデハダカ

写真1 「ハルヒメボシ」の株草姿



ハルヒメボシ イチバンボシ ヒノデハダカ

写真2 「ハルヒメボシ」の穂と粒

第5表 生育および収穫物調査成績

(1) 生育調査成績

栽培様式	品種名	出穂期 (月・日)	成熟期 (月・日)	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本/m ²)	倒伏 程度	圃場での発病程度		
								萎縮病	うどんこ病	黄化症状
全面全層播 標肥	ハルヒメボシ	3.31	5.14	84	5.6	467	0.0	0.2	0.7	0.0
	イチバンボシ	3.31	5.14	85	4.8	608	0.3	0.2	0.2	0.0
	マンネンボシ	4.02	5.16	85	4.4	507	0.0	0.0	0.3	0.0
	ヒノデハダカ	3.31	5.12	78	4.6	545	0.3	1.2	0.3	2.0
全面全層播 多肥	ハルヒメボシ	4.01	5.14	88	5.7	522	0.0	0.0	1.3	0.0
	イチバンボシ	4.01	5.15	88	4.8	711	1.7	0.0	0.3	0.0
	マンネンボシ	4.01	5.13	83	4.7	568	0.7	1.3	0.7	1.8
	ヒノデハダカ	4.01	5.13	83	4.7	568	0.7	1.3	0.7	1.8
ドリル播 標肥	ハルヒメボシ	4.06	5.19	79	5.9	400	0.4	0.1	2.5	0.4
	イチバンボシ	4.06	5.19	79	5.2	440	0.6	0.2	1.6	0.3
	マンネンボシ	4.08	5.21	80	5.1	437	0.2	0.0	1.1	0.1
	ヒノデハダカ	4.05	5.18	79	5.1	433	1.0	0.9	1.2	0.5
ドリル播 多肥	ハルヒメボシ	4.06	5.19	80	6.0	415	0.6	0.0	1.8	0.2
	イチバンボシ	4.05	5.19	80	5.2	507	0.6	0.1	0.9	0.2
	マンネンボシ	4.07	5.21	81	5.1	464	0.3	0.0	1.2	0.2
	ヒノデハダカ	4.05	5.18	80	5.2	458	1.3	0.9	1.2	0.4

(2) 収穫物調査成績

栽培様式	品種名	子実重 (kg/a)	対標準 比率 (%)	容積重 (g/L)	千粒 重 (g)	整粒 歩合 (%)	整粒重 の対標準 比率 (%)	原麦特性					
								外観 品質	粒色	粒大	粒形	粒質	原麦 白度 (%)
全面全層播 標肥	ハルヒメボシ	59.9	116	813	29.0	96.8	117	2.7	3.0	3.3	2.8	3.0	14.8
	イチバンボシ	51.7	100	820	28.9	96.3	100	2.5	3.0	3.3	3.2	3.0	14.6
	マンネンボシ	49.8	96	811	30.2	99.3	99	3.0	3.0	3.3	2.5	3.0	13.9
	ヒノデハダカ	38.0	74	815	26.3	96.3	74	3.3	3.1	3.0	3.1	3.0	12.9
全面全層播 多肥	ハルヒメボシ	67.5	136	814	28.1	95.8	127	2.7	3.0	3.3	2.7	3.0	14.6
	イチバンボシ	54.0	100	810	27.6	94.1	100	2.8	3.0	3.0	3.2	3.0	14.3
	マンネンボシ	48.9	95	816	26.9	97.5	94	3.3	3.2	3.0	3.0	3.0	12.9
	ヒノデハダカ	48.9	95	816	26.9	97.5	94	3.3	3.2	3.0	3.0	3.0	12.9
ドリル播 標肥	ハルヒメボシ	63.2	112	803	32.9	98.7	112	2.8	3.1	3.0	2.8	2.6	15.2
	イチバンボシ	56.5	100	814	34.2	98.9	100	2.8	3.1	3.1	3.0	2.7	14.5
	マンネンボシ	57.0	101	810	33.5	99.3	101	2.8	3.1	3.0	2.3	2.8	13.6
	ヒノデハダカ	55.1	97	803	30.6	99.5	98	3.4	3.4	2.8	3.0	2.6	12.9
ドリル播 多肥	ハルヒメボシ	63.4	115	804	32.8	98.4	108	2.8	3.1	3.1	2.7	2.7	15.1
	イチバンボシ	58.4	100	814	33.7	98.6	100	2.8	3.1	3.1	3.0	2.8	14.3
	マンネンボシ	56.2	96	806	33.4	99.2	97	2.9	3.1	3.1	2.5	3.0	13.6
	ヒノデハダカ	52.5	95	800	30.5	99.2	91	3.4	3.5	2.9	3.0	2.8	12.8

注) 全面全層播は育成地における2001～2003年度の平均値，ドリル播栽培は育成地における2004～2010年度の平均値。耕種概要は付表1を参照。

倒伏および発病程度は0(無)～5(甚)の6段階評価。

容積重は2006年度まではリットル重測定器で，2007年度からは穀粒容積重計(ブラウエル式)で測定。

整粒歩合算出時の篩い目は2.0mmとした。

外観品質は1(上)～5(下)，粒大は1(小)～5(大)，粒形は1(円)～5(長)，粒質は1(粉状質)～5(硝子質)の5段階評価。

粒色は0(白)，1(淡黄)，2(黄)，3(黄褐)，4(褐)，5(赤褐)，6(赤)，7(赤紫)，8(紫)，9(濃紫)の10段階評価。

第6表 特性検定試験成績

(1) 病害抵抗性検定試験成績

品種名	オオムギ縞萎縮病								うどんこ病 抵抗性	赤かび病 抵抗性		
	I型		II型	III型	I+III型	IV型	V型	—				
	実施場所	栃木	作物研	作物研	栃木	栃木	栃木	山口				愛媛
	試験年度	2001-2006	2009	2007-2009	2005-2007	2008-2010	2007	2002-2010	2001	2002-2010	2004, 2005, 2007, 2008	2002-2010
ハルヒメボシ	判定	中	極強	極強	やや弱	弱	中	中	極強	やや弱	弱	やや強
イチバンボシ (標準)	判定	中	極強	極強	やや強	やや強	極強	強	極強	中	やや弱	やや強

(2) 諸障害耐性および播性検定試験成績

品種名	実施場所	凍上 抵抗性	耐湿性	播性	中折れ 耐性	穂発芽性
		長野	三重	育成地	育成地	育成地
		試験年度	2002, 2003, 2005, 2008-2010	2002, 2003, 2005, 2008-2010	2002-2010	2002-2010
ハルヒメボシ	判定	弱	中	IV	強	難
イチバンボシ (標準品種)	判定	弱	中	V	強	難
マンネンボシ (比較品種)	判定	-	-	IV	強	やや難
ヒノデハダカ (比較品種)	判定	-	-	V	中	難

注) 得られた結果の累年成績から総合的に判定した。

オオムギ縞萎縮病：モザイク病斑の発症程度と被害程度から総合的に判定した。

うどんこ病：株全体の発病程度を0（発病無）～6（極甚）までの7段階の罹病指数で判定した。

赤かび病：人工接種のポット検定・圃場検定での発病程度で判定した。

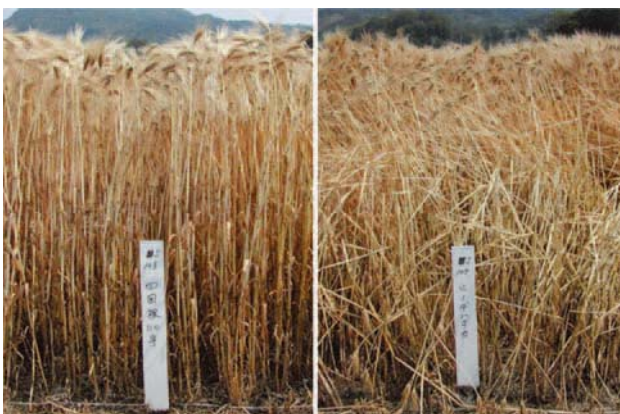
凍上抵抗性：越冬株率を参考に判定した。

耐湿性：湛水区と無処理区の収量，千粒重より判定。

播性：2月下旬より約10日ごとに6回播種，出穂状況により判定した。

中折れ耐性：成熟後の稈の折れ込みの程度を調査した。

穂発芽性：摘穂した穂を雨濡れ処理して発芽率から判定した。



ハルヒメボシ

ヒノデハダカ

写真3 「ハルヒメボシ」の中折れ程度

(写真提供：愛媛県農林水産技術研究所)

4 味噌加工適性

東京農業大学・醸造科学科（東和男講師）で麦味噌の醸造試験を実施した^{3, 4)}。「ハルヒメボシ」の麦麴の各酵素活性は既存品種と同程度だったが，総合糖化力と白度は高かった（第10表）。また，味噌特性（第11表）や，熟成過程の味噌の明度，固さおよび成分の推移は既存品種と同程度であったことから（第2図），「ハルヒメボシ」は十分な味噌加工適性を有すると判断された。

IV 配付先における成績

1 奨励品種決定調査成績

第12表に奨励品種決定調査配付先の概評一覧を

第7表 原麦および精麦品質

品種名	原麦				60%搗精			60%搗精麦			色相		
	硝子率(%)		タンパク質含量(%)	穀粒硬度(HI)	時間(秒)	精麦白度(%)	砕粒率(%)	β-グルカン含量(%)	プロアントシニン含量(μg/g)	ポリフェノール含量(mg/g)	明るさ(L*)	赤み(a*)	黄み(b*)
	目視	硝子率判定器											
試験年度	2004-2010	2010, 2011	2009-2011	2005-2010	2004-2010	2004-2010	2005-2010	2004-2010	2004-2008	2004-2009	2007-2010		
ハルヒメボシ	15.5	48.1	8.7	64.3	660	48.6	3.1	5.9	52.0	0.23	84.6	1.5	16.3
イチバンボシ	33.6	65.6	8.8	58.5	627	45.5	13.1	4.6	51.9	0.27	81.9	2.2	15.4
マンネンボシ	35.2	66.4	9.5	65.2	626	42.9	4.1	5.5	52.4	0.28	81.6	2.3	17.6
ヒノデハダカ	30.2	54.6	9.5	58.8	744	43.4	6.3	5.1	38.7	0.22	80.5	2.7	17.0

注) 育成地におけるドリル播標肥栽培生産物の平均値。

耕種概要は付表1, 調査項目の解説は付表2を参照。

第8表 炊飯麦の色相(2007-2010年度)

品種名	炊飯直後			70°C18h保温後			70°C18h保温後-炊飯直後		
	明るさ(L*)	赤み(a*)	黄み(b*)	明るさ(L*)	赤み(a*)	黄み(b*)	明るさ(ΔL*)	赤み(Δa*)	黄み(Δb*)
ハルヒメボシ	75.8	1.3	12.3	67.4	4.7	12.7	-8.5	+3.5	+0.4
イチバンボシ	74.4	1.4	12.1	65.9	4.8	12.5	-8.5	+3.4	+0.4
マンネンボシ	75.4	1.3	14.1	67.6	4.6	13.5	-7.9	+3.3	-0.6
ヒノデハダカ	73.6	1.5	13.4	66.6	4.1	12.7	-7.0	+2.6	-0.7

注) 育成地におけるドリル播標肥栽培生産物の平均値。

耕種概要は付表1, 調査項目の解説は付表2を参照。

第9表 炊飯麦の官能検査(2004-2009年度)

品種名	白さ	香り	硬さ	粘り	味
	+:白い -:黒い	+:好き -:嫌い	+:柔らかい -:硬い	+:多い -:少ない	+:美味しい -:まずい
ハルヒメボシ	+0.4	0.0	-0.1	+0.1	+0.1
イチバンボシ (標準)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
マンネンボシ	+0.3	0.0	-0.1	0.0	+0.1
ヒノデハダカ	-0.2	0.0	0.0	-0.1	0.0

注) 育成地におけるドリル播標肥栽培生産物の平均値。

耕種概要は付表1, 調査項目の解説は付表2を参照。

第10表 麦麴特性

品種名	精麦白度(%)	蒸し麦		麴		酵素力価(Units/麴g)			
		ポリフェノール(μg/g)	白度(%)	グルコサミン(mg/g)	白度(%)	プロテアーゼ(pH3)	プロテアーゼ(pH6)	α-アミラーゼ	総合糖化力
ハルヒメボシ	32.9	365	19.8	4.2	29.8	300	272	1067	28
イチバンボシ	28.1	423	17.9	3.9	26.8	296	288	1132	23
マンネンボシ	30.4	255	18.9	4.1	28.8	237	228	983	24
ヒノデハダカ	28.7	329	18.2	4.3	24.6	271	265	1024	19

注) 育成地における2007年度のドリル播標肥栽培の生産物を用いた。

試験・分析は東京農業大学・醸造科学科の東和男講師が実施⁴⁾。

第11表 麦味噌特性

品種名	水分 (%)	塩分 (%)	対水食塩濃度 (%)	全窒素 (%)	水溶性窒素 (%)	ホルモール窒素 (%)	蛋白溶解率 (%)	蛋白分解率 (%)	全糖 (%)	直接還元糖 (%)	糖分解率 (%)	pH	アルコール (%)	明度 Y (%)	固さ 応力 (Pa) $\times 10^4$
ハルヒメボシ	53.4	10.3	16.2	1.39	0.80	0.38	57	27	22.8	19.0	84	4.8	0.07	18.2	1.4
イチバンボシ	53.1	10.7	16.8	1.41	0.78	0.34	55	24	22.5	19.2	85	4.8	0.10	13.4	1.0

注) 育成地における2006年度のドリル播標肥栽培の生産物を用いた。

試験・分析は東京農業大学・醸造科学科の東和男講師が実施³⁾。分析項目の説明は以下のとおり。

全窒素 (%)：蛋白質～アミノ酸までのすべての窒素。理論的には仕込み期間中は無変動

水溶性窒素 (%)：アミノ酸・ペプチドなどの低分子化された可溶性の窒素成分 (旨味などの向上)

ホルモール窒素 (%)：アミノ酸由来の窒素 (旨味・酸味・甘味・苦味など鋭敏に味覚に関与)

蛋白溶解率 (%)：水溶性窒素/全窒素 $\times 100$

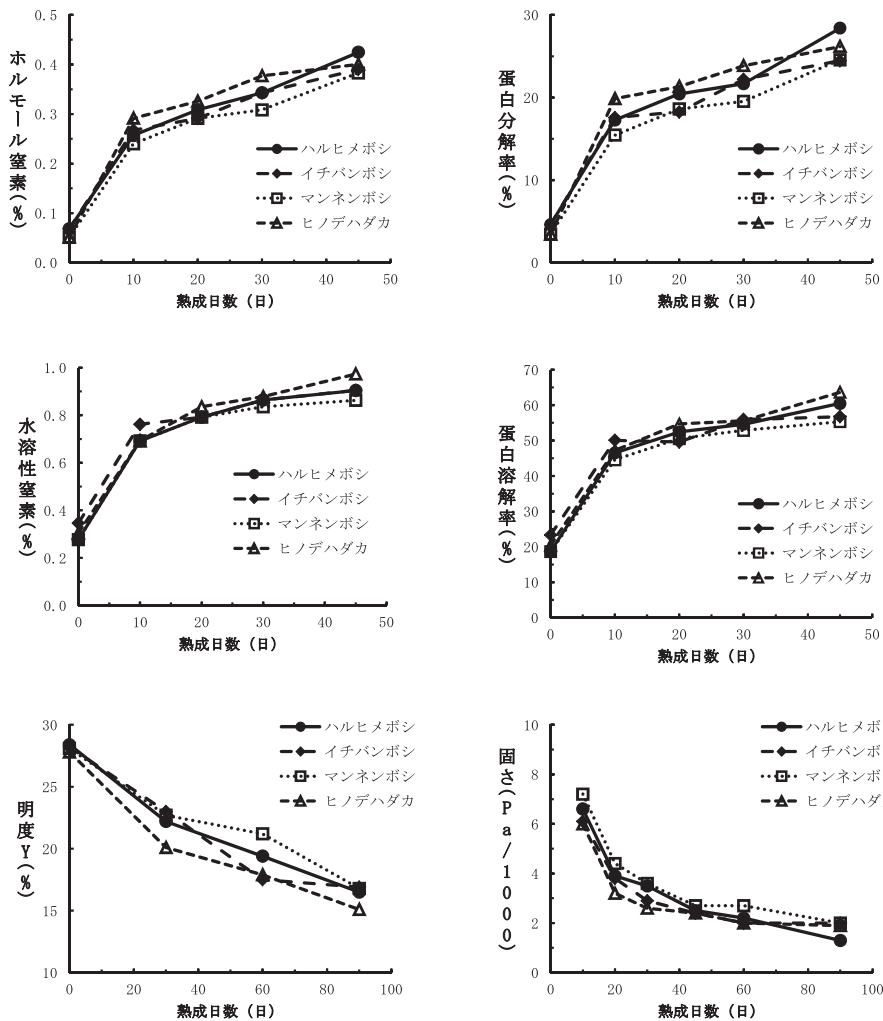
蛋白分解率 (%)：ホルモール窒素/全窒素 $\times 100$

直接還元糖 (%)：グルコースが中心。

糖分解率 (%)：直接還元糖/全糖 $\times 100$

明度 Y (%)：CIE測色法による味噌の明るさ指標 (高いほど明るい)

固さ (Pa)：味噌の固さを応力で示す。



第2図 味噌醸造特性

注) 育成地における2007年度のドリル播標肥栽培の生産物を用いた。

試験・分析は東京農業大学・醸造科学科の東和男講師が実施⁴⁾。

分析項目の説明は第11表の注を参照。

第12表 配付先概評一覧

試験場所	栽培条件	試験年度	有望度	対標準比率 (%)	試験種類	標準品種	概評	
埼玉	条播 標肥	2003	△	91	予	イチバンボシ	少収, 良質, 整粒歩合やや劣る	
		2004	△※	108	予	イチバンボシ	やや早生, 多収, 整粒歩合並, 良質	
		2004	△	92	予	イチバンボシ	やや早熟, 低収, 穂数極少	
兵庫	耕起散播 標肥	2005	△	95	予	イチバンボシ	同熟, やや低収, 穂数少, 品質劣る, やや小粒	
		2006	※	218	予	イチバンボシ	ごく早熟, やや長程, 穂数多	
岡山	全耕ドリル播 標肥	2004	△	103	予	イチバンボシ	ほぼ同熟, 同稈長, 穂数やや少, ほぼ同収, 品質同程度	
		2005	△○	93	予	イチバンボシ	やや晩熟, やや短程, 穂数少, やや少収, 良質	
	条播 標肥	2006	△	113	予	イチバンボシ	2日程度晩熟, 短程, 穂数やや少, 多収で見かけの品質劣る	
		2007	△	108	予	イチバンボシ	イチバンボシより2日程度早熟, やや多収, 品質やや良	
		2008	○△	95	予	イチバンボシ	1日晩熟, 穂数少, やや少収, 品質やや劣る	
山口	広幅不耕起 標肥	2009	※	106	予	イチバンボシ	2日早熟, 長程, 穂数少, やや多収, やや小粒, 品質同程度	
		2004	○	121	予	イチバンボシ	イチバンボシより2日早熟, 穂数やや少ないが長穂で極多収, 外観品質優れる	
	ドリル播 標肥	2005	△	107	本	イチバンボシ	1日早熟, 少穂だが極めて長穂でやや多収, 遅れ穂多く熟れムラ大, 容積重は軽い, 充実, 粒揃い良好で外観品質は優れる	
		2006	※	113	本	イチバンボシ	1日早熟, 凍霜害多, 倒伏は少ない, 少穂だが長穂で多収, ヤケは少ないが粒揃い悪く品質は並	
徳島	畦立条播 標肥	2005	-	103	本	イチバンボシ	ドリル播きでは2日早熟, 収量, 外観品質とも不耕起広幅播より優れる	
		2006	-	91	本	イチバンボシ	ドリル播きでは少穂で低収だが, 発芽極めて悪く, 穂数, 収量は参考に留まる	
		2003	△	106	予	イチバンボシ	ほぼ同熟, やや多収, 同質	
香川	全面全層播 標肥	2004	△	71	予	イチバンボシ	やや晩熟, やや劣質	
		2005	※	132	予	イチバンボシ	ほぼ同熟, 多収	
		2003	○	98	予	イチバンボシ	出穂・成熟やや早い, やや長程, 外観品質やや良	
	多肥	2004	○	108	本	イチバンボシ	出穂・成熟やや早, 穂数少ないが長穂で収量多, 外観品質同等	
		2005	○	99	本	イチバンボシ	出穂・成熟同, 穂数少ないが長穂で収量同, 外観品質やや劣る, 耐倒伏性強	
		2006	×	108	本	イチバンボシ	出穂・成熟やや早, 穂数少ないが長穂で収量やや多, 外観品質同, 耐倒伏性強	
愛媛	全面全層播 標肥	2004	-	96	本	イチバンボシ	出穂・成熟やや早, 穂数少ないが長穂で収量同等, 外観品質同等	
		2005	-	98	本	イチバンボシ	-	
		2006	-	133	本	イチバンボシ	-	
		2003	○△	96	予	イチバンボシ	早生, 中収, やや大粒, 精麦白度高い	
		2004	△	91	本	イチバンボシ	早生, 少収, (早播きでは早生の早で中収), 外観品質やや劣る	
		2005	△	101	本	イチバンボシ	早生, 中収, 外観品質中	
	ドリル播 標肥	2006	-	115	本	イチバンボシ	-	
		2007	-	110	本	マンネンボシ	-	
		2008	-	108	本	マンネンボシ	-	
		2009	-	96	本	マンネンボシ	-	
福岡豊前	畦立条播 標肥	2010	-	99	本	マンネンボシ	-	
		2005	-	83	本	イチバンボシ	-	
		2006	○△	130	本	イチバンボシ	早生, 多収, 外観品質中, 中折れ耐性やや強	
		2007	○	104	本	マンネンボシ	早生の早, 多収, 外観品質中, 中折れ耐性やや強, 精麦白度高い	
佐賀	畦立条播 標肥	2008	○	106	本	マンネンボシ	早生の早, やや多収, 外観品質良, 中折れ耐性やや強, 精麦白度高い	
		2009	△	94	本	マンネンボシ	早生の早, やや低収	
		2010	◎	128	本	マンネンボシ	早生, 多収, 中程, やや小粒, 倒伏少, 外観品質良	
		2004	×	92	予	イチバンボシ	低収	
		2004	△	107	予	イチバンボシ	多収だが, 品質やや劣る	
		2005	△	122	予	イチバンボシ	熟期は「イチバンボシ」並, やや小粒だが多収, 品質は並	
長崎	畦立条播 標肥	2006	△	105	予	イチバンボシ	熟期は「イチバンボシ」並, やや多収で品質は並	
		2007	○	106	予	イチバンボシ	短程だが穂長は長い, 多収で良質である,	
		条播 標肥	2008	※	127	予	イチバンボシ	六条裸, 熟期は「イチバンボシ」並, 穂が長く穂数が多いためかなり多収, 品質やや劣る
			2004	△	124	予	イチバンボシ	多収, 品質良, 赤かびやや多, 継続
熊本	畦立4条播 標肥	2005	△	100	予	イチバンボシ	収量並, 品質並, 倒伏強, 赤かびやや多, 継続	
		2004	×	127	予	イチバンボシ	多収, 耐病性やや劣る, 品質劣る	
		2004	△	100	予	イチバンボシ	成熟期2日早い, 収量やや低い	
大分	畦立条播 標肥	2005	×	94	予	イチバンボシ	出穂期2日遅く, 成熟期1日遅い, 収量やや低い	
		2004	△	110	予	イチバンボシ	早生, 穂数やや少ないが, 穂長やや長く多収, 粒揃い指標よりわずかに劣る	
大分	畦立条播 標肥	2005	×	90	予	イチバンボシ	早生, 穂長やや長いと穂数少なく収量指標より劣る	

注) ◎:極有望 ○:有望 △:再検討 ×:打ち切り ※:特性把握につき打ち切り. 数字は標準品種に対する収量比率(%).
試験種類は「予」は予備試験, 「本」は本試験.

示す。西日本を中心に高品質の早生・多収系統としての評価を得た。千粒重および整粒歩合がやや低いという指摘はあるものの、収量性については有望視された。

2 愛媛県における生育、収量、品質試験成績

愛媛県農林水産研究所における生育および収穫物調査成績の結果を第13表に示す。標準品種である「マンネンボシ」と比較すると、「ハルヒメボシ」は以下の特徴がある。出穂期は2日、成熟期は1日早い早生である。稈長は同程度で、穂長は1cm長い。

第13表 愛媛県における生育および収穫物調査成績

品種名	播種様式	出穂期 (月・日)	成熟期 (月・日)	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本/m ²)	倒伏 程度	整粒 重 (kg/a)	同左対 標準比 (%)	屑麦 率 (%)	容積 重 (g/L)	千粒 重 (g)	原麦 白度 (%)	精麦 白度 (%)	搗精 歩留 (%)	原麦 外観 品質	等級
ハルヒメボシ	ドリル播	3.31	5.19	84	6.0	377	0.5	56.6	106	4.9	803	34.3	12.6	43.9	64.0	4.2	1.3
マンネンボシ	ドリル播	4.02	5.20	84	5.0	387	0.7	53.4	100	2.8	818	35.0	10.9	40.7	60.5	4.1	1.4
ヒノデハダカ	ドリル播	4.02	5.20	87	4.4	485	2.0	54.6	102	4.3	819	30.6	10.6	37.6	65.5	4.3	1.6

注) 2005～2006年度および2008～2010年度の平均値。倒伏の程度は0(無)～5(甚)の6段階評価。

整粒は2.0mm篩上、屑麦は2.0mm篩下。容積重は穀粒容積重計(ブラウエル式)で測定。

白度は光電白度計(Kett社:C-300)で測定、搗精は佐竹式グレイテストミルTM-05(砥石:粒度#36,回転数:1040rpm)、搗精時間は「マンネンボシ」が60%になる時間。

原麦外観品質:1(上上),2(上下),3(中上),4(中中),5(中下),6(下)。

等級検査は、愛媛農政事務所で行い、1(1等),2(2等),3(等外)とした。

第14表 愛媛県現地試験における生育および収穫物調査成績

(1) 「イチバンボシ」または「マンネンボシ」との比較

試験地	品種名	試験 年度	出穂期 (月・日)	成熟期 (月・日)	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本/m ²)	倒伏	病害の発生程度			整粒 重 (kg/a)	同左対 標準比 (%)	屑麦率 (%)	容積重 (g/L)	千粒重 (g)	原麦 外観 品質	等級
									うどん こ病	赤かび 病	倒伏							
西条市 (神戸)	ハルヒメボシ	2004-2006	4.07	5.21	82	5.9	360	1.7	1.0	0.0	42.7	98	9.3	782	32.1	4.3	1.7	
	イチバンボシ		4.06	5.22	81	5.2	438	1.3	1.0	0.0	43.4	100	6.9	803	32.2	3.5	1.3	
西条市 (小松町)	ハルヒメボシ	2004-2006	4.05	5.24	74	6.0	336	0.0	0.0	0.0	35.0	82	9.0	762	32.0	5.0	2.0	
	イチバンボシ		4.05	5.25	78	5.3	437	0.0	0.0	0.0	42.5	100	7.2	797	32.0	4.2	1.5	
	ハルヒメボシ	2007-2009	4.07	5.22	82	6.0	479	0.0	1.0	0.0	51.0	99	5.0	822	34.0	4.0	1.0	
	マンネンボシ		4.08	5.25	86	5.3	420	0.0	1.0	0.0	51.3	100	1.9	831	35.3	3.3	1.0	
松前町	ハルヒメボシ	2004-2006	4.07	5.21	69	5.5	224	0.0	0.0	0.0	34.0	86	3.0	790	34.8	5.2	1.7	
	イチバンボシ		4.07	5.22	73	4.7	349	0.0	0.0	0.0	39.6	100	2.1	799	34.3	3.8	1.2	
	ハルヒメボシ	2007-2009	4.02	5.22	75	4.9	342	0.3	0.0	0.0	40.2	156	4.4	805	34.6	4.3	1.0	
	マンネンボシ		4.03	5.23	76	4.4	274	0.3	0.0	0.0	25.8	100	2.4	826	34.3	3.5	1.0	
大洲市	ハルヒメボシ	2004-2006	4.04	5.24	86	6.1	577	2.2	0.0	0.0	51.9	91	12.9	782	31.5	3.5	1.3	
	イチバンボシ		4.05	5.24	84	5.4	524	0.7	0.0	0.0	57.0	100	6.5	797	32.3	2.8	1.0	
	ハルヒメボシ	2007	4.04	5.22	82	6.1	402	0.5	0.0	0.0	64.3	122	6.7	832	35.6	4.0	-	
	マンネンボシ		4.05	5.23	88	5.8	217	1.0	0.0	0.0	52.7	100	6.0	835	34.5	4.3	-	
今治市	ハルヒメボシ	2009	3.31	5.13	81	6.3	414	0.0	0.0	0.0	54.7	-	2.7	833	34.0	3.0	1.0	
	マンネンボシ		4.04	5.19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

(2) 「ヒノデハダカ」との比較

試験地	品種名	試験 年度	出穂期 (月・日)	成熟期 (月・日)	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本/m ²)	倒伏	病害の発生程度			整粒 重 (kg/a)	同左対 対照比 (%)	屑麦率 (%)	容積重 (g/L)	千粒重 (g)	原麦 外観 品質	等級
									うどん こ病	赤かび 病	倒伏							
西条市 (小松町)	ハルヒメボシ	2008-2009	4.08	5.24	82	5.9	476	0.0	1.5	0.0	51.9	89	4.7	821	34.5	3.5	1.0	
	ヒノデハダカ		4.06	5.24	92	5.1	534	5.0	1.0	0.0	58.7	100	2.8	821	30.8	3.5	1.0	
松前町	ハルヒメボシ	2008-2009	4.01	5.21	69	4.7	272	0.0	0.0	0.0	32.5	101	3.6	813	35.5	3.5	1.0	
	ヒノデハダカ		3.31	5.21	70	4.3	271	0.0	0.0	0.0	32.3	100	0.7	832	35.0	4.0	1.0	
今治市	ハルヒメボシ	2009	3.31	5.13	81	6.3	414	0.0	0.0	0.0	54.7	107	2.7	833	34.0	3.0	1.0	
	ヒノデハダカ		4.02	5.15	87	5.2	454	1.0	0.0	0.0	51.0	100	1.1	840	30.1	3.0	1.0	

注) 試験年度の平均値を示した。調査項目の説明は第13表の注を参照。

第15表 実需者による味噌醸造試験成績

品種名	吸水特性 (%)			醸造時の麦の水分変化 (%)			大規模試験醸造			味噌特性		
	(60%精麦・20℃浸漬)			搬入後	浸漬後	出麹	麴の取り扱い	白度 (W)	水溶性窒素 (%)	全窒素 (g/100g)	水溶性窒素 (g/100g)	pH
	60分	120分	180分									
ハルヒメボシ	33.7	44.4	50.7	6.9	34.6	25.1	良好	39	0.9	1.17	0.68	5.3
マンネンボシ	33.3	43.4	49.4	8.3	33.8	25.7	良好	42	0.9	1.15	0.65	5.2
ヒノデハダカ	35.3	46.0	51.4	—	—	—	良好	—	—	—	—	—

注) 実用技術開発事業「多角的アプローチによる加工需要にマッチするはだか麦新栽培体系の開発」において、愛媛県現地試験2010年度の生産物を、県内S社で試験醸造した。

分析は愛媛県食品産業技術センターで実施。分析項目の説明は第11表の注を参照。

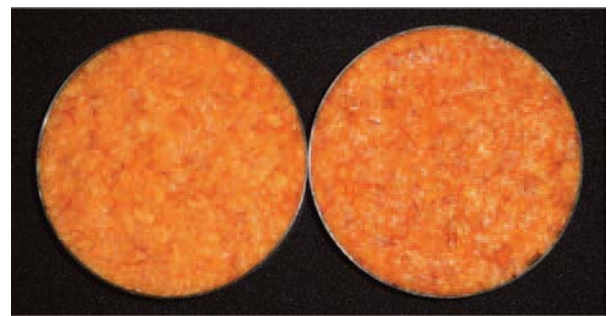
穂数および倒伏程度は同程度である。整粒重は6%多く、容積重および千粒重はやや軽い。原麦白度および精麦白度は高く、一定時間搗精時の歩留は高い。また、「ヒノデハダカ」と比較すると、出穂期は2日、成熟期は1日早い早生である。稈長はやや短く、穂長は1.6cm長い。穂数は少ないが、耐倒伏性が優れる。整粒重は約4%多く、容積重はやや軽く、千粒重は重い。原麦白度は高く、精麦白度はかなり高い。一定時間搗精時の歩留はやや低い。

現地試験における調査成績を第14表に記す。「ハルヒメボシ」は、出穂期および成熟期は「マンネンボシ」より早く、「イチバンボシ」と同程度の早生である。穂長は「マンネンボシ」および「イチバンボシ」より長い。穂数は「マンネンボシ」より多く、「イチバンボシ」より少ない。整粒重は「イチバンボシ」より少～同程度、「マンネンボシ」より同程度～多い。「ヒノデハダカ」との比較では、稈長は同程度～短く、穂長は長く、穂数は同程度～少ない。容積重は同程度～軽く、千粒重は同程度～重い。成熟期は同程度で、出穂期および整粒重は産地によって傾向が異なる。

実需者による味噌醸造試験結果を第15表に示す。味噌加工適性および味噌醸造特性は、既存品種と同程度で、味噌のL* (明るさ) は高かった (第3図)。

3 愛媛県における採用理由

愛媛県における裸麦の主産地である平野部では、現在、奨励品種である「ヒノデハダカ」、「マンネンボシ」が作付けされている。1957年採用の「ヒノデハダカ」は、麦味噌や醬 (ひしお) などの特定用途向けで今治地区を中心に70ha程度栽培されている。しかし、「ヒノデハダカ」は稈質が弱く、倒伏や成



	ハルヒメボシ	既存商品
明るさ (L*)	49.3	44.4
赤み (a*)	14.5	16.3
黄色み (b*)	42.4	41.4

第3図 麦味噌の外観および色相

注) 実用技術開発事業「多角的アプローチによる加工需要にマッチするはだか麦新栽培体系の開発」において、県内S社で試作した。「ハルヒメボシ」の味噌は愛媛県現地試験2007年度生産物を原料として製造した。既存商品は同社の商品である。調査項目の解説は付表2を参照。

熟期以降の中折れが発生し易いなど栽培上の問題点が多く、安定多収な品種への転換が必要となっている。また、「マンネンボシ」は2001年に採用され、愛媛県裸麦栽培面積の約90%を占めており、主力品種となっているが、「ヒノデハダカ」とともに、近年、硝子率の高いことが問題になっている。愛媛県産裸麦の硝子率は2010年に75%となり、その後も高く推移している。硝子率が50%以上になると品質評価によるランク区分が低くなり、生産物価格が下がるため、生産意欲を下げる原因にもなっている。

以上のことから、愛媛県産裸麦の安定生産と生産拡大を図るために、「ヒノデハダカ」および「マンネンボシ」の一部代替として、早生多収、低硝子率、高白度の六条裸麦「ハルヒメボシ」を奨励品種に採

用した。「ハルヒメボシ」は2012年度の栽培面積は11haであり、今後もさらなる作付け拡大が期待される。「ハルヒメボシ」が普及することで、栽培上の問題点が解決されるとともに、硝子率上昇による品質の低下が改善され、実需者が求める高品質裸麦の安定生産と生産拡大に繋がることが期待される。

V 考 察

「ハルヒメボシ」は「イチバンボシ」、「マンネンボシ」および「ヒノデハダカ」より硝子率が低いことが大きな特徴の一つである(第7表)。胚乳が粉状質を呈し、硝子率が低くなる形質としては、モチ性や破碎デンプン粒変異(fractured starch granule)が報告されている¹²⁾が、「ハルヒメボシ」はそのどちらでもない。また、硝子率はタンパク質含量または窒素含有率との間に有意な正の相関が認められており^{6, 7, 11)}、「ハルヒメボシ」は、「マンネンボシ」や「ヒノデハダカ」よりタンパク質含量が低いために硝子率が低いと考えられる。一方、「ハルヒメボシ」は「イチバンボシ」より硝子率は低い、タンパク質含量は同程度である(第7表)。山口らは「マンネンボシ」を材料として、硝子率は、種子比重や澱粉粒間の空隙の少なさに反映される胚乳組織の充密程度と関係があることを示しており¹³⁾、「ハルヒメボシ」の硝子率の低さには、タンパク質含量以外の要因が影響を及ぼしている可能性があり、今

後の研究による要因の解明が待たれる。

「ハルヒメボシ」は「イチバンボシ」より1割程度多収の早生で(第5表)、硝子率も低いため(第7表)、農家の収益性が確保されると考えられる。また、精麦品質が良く(第7表)、味噌加工適性も既存品種と同等であることから(第10表、第11表、第2図、第15表、第3図)、「ハルヒメボシ」は農家が求める安定多収と実需者からの用途別加工適性に応じた高品質への要求の双方に応えられられる。現時点で普及が見込まれている愛媛県に限らず、今後は裸麦の産地に広く普及することが期待される。

VI 適地と栽培上の留意点

1. 関東以西の温暖な平坦地に適する。
2. II型以外のオオムギ縞萎縮ウイルスには抵抗性ではないため、オオムギ縞萎縮病が多発する土壌での作付けを避ける。
3. うどんこ病と赤かび病には強くないため、適期防除を行う。

VII 命名の由来と育成従事者

麦畑で“春”に美しく穂をなびかせる様子と粒の白さから“姫”をイメージし、また輝く“星”になるような普及を願って「ハルヒメボシ」と名付けた。

第16表 「ハルヒメボシ」の育成従事者

播種年度	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
世代	交配																
	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13	F14	F15	F16	F17
試験名	交配	集団	集団	穂選	穂別	予検	予検	生検	生検	生検	生検	生検	生検	生検	生検	生検	生検
担当者	世促																
	養成	養成	養成	養成	養成	養成	養成	養成	養成	養成	養成	養成	養成	養成	養成	養成	養成
	世促	養成	養成	養成	養成	養成	養成	養成	養成	養成	養成	養成	養成	養成	養成	養成	養成
担当者	現所属																
吉岡 藤治	●● 現在員																
高橋 飛鳥	● 現在員																
柳澤 貴司	● 作物研																
長嶺 敬	● 中央農研(北陸)																
高山 敏之	● 作物研																
土井 芳憲	● 元・近中四農研																
松中 仁	● 九州沖縄農研																
藤田 雅也	● 作物研																
土門 英司	● 農業生物資源研																
杉浦 誠	● 近中四農研(四国)																
伊藤 昌光	● 元・四国農試																

上記のほか、近畿中国四国農業研究センター・研究支援センター・業務第2科職員が従事した。

漢字で表記する必要がある場合は「春姫星」、アルファベットの場合は「Haruhimeboshi」とする。

「ハルヒメボシ」の育成従事者は第16表のとおりである。

Ⅷ 摘 要

「ハルヒメボシ」は「四R系1350（後のマンネンボシ）」を母とし、「四R系1311」と「四R系1324」のF1を父として四国農業試験場（現・近畿中国四国農業研究センター四国研究センター）において人工交配し、集団育種法で育成した六条裸麦品種である。2012年3月に種苗法に基づく品種登録出願を行い、2013年10月に愛媛県で奨励品種に採用された。特性の概要は以下のとおりである。

1. 出穂期および成熟期は「イチバンボシ」, 「ヒノデハダカ」と同程度で, 「マンネンボシ」より2~3日早い早生種である。
2. 「ヒノデハダカ」よりオオムギ縮萎病の被害程度が少なく, 耐倒伏性が優れ, 成熟期以降の稈の中折れも発生しにくい。穂発芽耐性は「イチバンボシ」および「ヒノデハダカ」並で, 「マンネンボシ」より強い。
3. 穂数は少ないが, 穂長が長く, 育成地では「イチバンボシ」, 「マンネンボシ」および「ヒノデハダカ」より多収である。
4. 原麦白度が高く, 硝子率が低い。60%搗精時間は「イチバンボシ」および「マンネンボシ」よりやや長い, 「ヒノデハダカ」より短い。精麦白度が高く, 砕粒率が低く, 精麦品質が優れる。
5. 麦麴の各酵素活性は「イチバンボシ」, 「マンネンボシ」および「ヒノデハダカ」と同程度で, 総合糖化力と白度は高い。熟成過程の味噌の明度, 固さおよび成分の推移, 味噌特性は既存品種と同等で, 十分な味噌加工適性を有すると判断される。

引用文献

- 1) 土井芳憲・藤田雅也・松中 仁・高山敏之・伊藤昌光・石川直幸・片山 正・神尾正義・土門

英司・杉浦 誠 2003. 耐倒伏高品質裸麦新品種「マンネンボシ*」の育成. 近中四農研研究報告 2: 1-12.

*現在は「マンネンボシ」として登録されている。

- 2) 花房堯士・水沼永吉・尾崎八郎・宮崎 進・土井和正・真壁仁太郎・野津原 通・小村泰治 1957. 稗麦新品種「ヒノデハダカ」について. 鳥取農試研報 2: 14-24.
- 3) 東 和男・富田 陽・観音堂 博・石川泰斗・吉岡藤治 2008. 麦味噌の熟成に及ぼす大麦(2007年産)の影響. 日本醸造協会誌 103(10): 803.
- 4) 東 和男・天正彩子・古屋加奈・吉岡藤治・柳澤貴司 2009. 麦味噌の熟成に及ぼす大麦(2008年産)の影響. 日本醸造協会誌 104(10): 811.
- 5) 伊藤昌光・石川直幸・土門英司・土井芳憲・片山 正・神尾正義・加藤一郎・吉川 亮・堤忠宏 1995. 裸麦の新品種「イチバンボシ」の育成. 四国農試報 59: 109-121.
- 6) 管 益次郎・片山 正 1963. 裸麦の品質に関する研究 第4報 品種の原麦・精麦諸形質における相関関係について. 四国農試報 8: 135-139.
- 7) 久保田基成・桑原達雄・井ノ口明義 1991. 大麦の精麦特性と千粒重, 硝子率, タンパク質含量およびアミロース含量の関係. 北陸作報 26: 89-92.
- 8) 農林水産省 2012. 水陸稲・麦類・大豆奨励品種特性表 平成23年度版第2部. 麦類. http://www.library.maff.go.jp/GAZO/60002690/60002690_03.pdf
- 9) ——— 2013 a. 平成23年産作物統計(普通作物・飼料作物・工芸農作物)全国累年統計表. 2. 麦類. はだか麦 <http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?lid=000001087011> (2013年1月10日公表)
- 10) ——— 2013 b. 平成24年産作物統計(普通作物・飼料作物・工芸農作物)統計表. 2. 麦類. (全国農業地域別・都道府県別) —はだか麦 <http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List>.

do?lid=000001106532

(2013年3月19日公表)

- 11) 塔野岡卓司・河田尚之・吉岡藤治・乙部千雅子
2010 a. 黒ボク土がオオムギの精麦品質に及ぼす影響—灰色低地土水田と黒ボク土畑におけるオオムギ精麦品質の差異—. 日作紀 79 (3): 296 - 307.
- 12) 塔野岡卓司・河田尚之・藤田雅也・吉岡藤治・乙部千雅子
2010 b. 黒ボク土におけるオオムギ精麦品質の改良—粉状質胚乳を呈するデンプン変異形質の有用性—. 日作紀 79 (3): 308 - 315.
- 13) 山口憲一・辻田 泉・長嶺 敬・池田達哉
2010. はだか麦‘マンネンボシ’の硝子率には原麦タンパク質と種子比重が関与する. 日作紀 81 (別2): 22 - 23.
- 14) 全国米麦改良協会 麦の販売予定数量及び購入希望数量. <http://www.zenkokubeibaku.or.jp/mugi/jyukyuu/jyukyuu3.pdf>

付表1 育成地における生産力検定試験の耕種概要

試験年度	試験の種類	栽培様式	播種期 (月・日)	1区面積 (㎡)	区制	播幅 (cm)	条間 (cm)	播種量 (g/m ²)	基肥(kg/10a)			追肥(kg/10a)		追肥時期 (月・日)	
									N	P	K	N	K		
1999	予検	畦立て条播	標肥	11.22	3.85	1	-	70	5	6.0	6.0	6.0	2.0	2.0	2.09
2000	予検	畦立て条播	標肥	11.22	3.85	2	-	70	5	6.0	6.0	6.0	2.0	2.0	2.09
2001	本検	全面全層播	標肥	11.20	8.55	2	150	-	12	6.0	6.0	6.0	3.0	3.0	1.31
		全面全層播	多肥	11.20	8.55	2	150	-	12	9.0	9.0	9.0	3.0	3.0	1.31
2002	本検	全面全層播	標肥	11.19	8.55	2	150	-	12	6.0	6.0	6.0	3.0	3.0	2.03
		全面全層播	多肥	11.19	8.55	2	150	-	12	9.0	9.0	9.0	3.0	3.0	2.03
2003	本検	全面全層播	標肥	11.19	8.55	2	150	-	12	6.0	6.0	6.0	3.0	3.0	1.29
		全面全層播	多肥	11.19	8.55	2	150	-	12	9.0	9.0	9.0	3.0	3.0	1.29
2004	本検	6条ドリル播	標肥	11.25	4.95	2	-	15	8	6.0	6.0	6.0	3.0	3.0	1.28
		6条ドリル播	多肥	11.25	4.95	2	-	15	8	9.0	9.0	9.0	3.0	3.0	1.28
2005	本検	6条ドリル播	標肥	11.21	4.95	2	-	15	8	6.0	6.0	6.0	3.0	3.0	2.13
		6条ドリル播	多肥	11.21	4.95	2	-	15	8	9.0	9.0	9.0	3.0	3.0	2.13
2006	本検	6条ドリル播	標肥	12.05	4.95	2	-	15	8	6.0	6.0	6.0	3.0	3.0	2.13
		6条ドリル播	多肥	12.05	4.95	2	-	15	8	9.0	9.0	9.0	3.0	3.0	2.13
2007	本検	6条ドリル播	標肥	11.21	4.95	2	-	15	8	6.0	6.0	6.0	3.0	3.0	2.01
		6条ドリル播	多肥	11.21	4.95	2	-	15	8	9.0	9.0	9.0	3.0	3.0	2.01
2008	本検	6条ドリル播	標肥	11.25	4.95	2	-	15	8	6.0	6.0	6.0	3.0	3.0	2.06
		6条ドリル播	多肥	11.25	4.95	2	-	15	8	9.0	9.0	9.0	3.0	3.0	2.06
2009	本検	6条ドリル播	標肥	11.20	4.95	2	-	15	8	6.0	6.0	6.0	3.0	3.0	2.09
		6条ドリル播	多肥	11.20	4.95	2	-	15	8	9.0	9.0	9.0	3.0	3.0	2.09
2010	本検	6条ドリル播	標肥	11.25	4.95	2	-	15	8	6.0	6.0	6.0	3.0	3.0	2.21
		6条ドリル播	多肥	11.25	4.95	2	-	15	8	9.0	9.0	9.0	3.0	3.0	2.21

付表2 品質特性の評価項目の解説

項目	調査方法または調査基準
硝子率	目視および硝子率判定器 (Kett社: RN-840) で測定. 原麦100粒の横断面の粒質が, 硝子質 (硬質) 部分が70%以上の粒に係数=1, 30~70%の中間質粒に係数=0.5, 30%以下の粉状質 (軟質) 粒に係数=0を与え, それぞれの係数に粒数を乗じた合計で算出.
穀粒硬度	Single Kernel Characterization System 4100 (perten社) による計測値 (HI: Hardness Index)
タンパク質含量	近赤外分光分析装置Infratec 1241 (FOSS社) により測定. 水分13.5%換算.
搗精方法	佐竹式グレインテストミルTM-05 (砥石: 粒度 #36, 硬度P, 回転数: 1000rpm)にて搗精. 供試量 200g.
搗精時間	供試原麦の重量の60%まで搗精するのに要した時間.
精麦白度	搗精麦を光電白度計 (Kett社: C-300) にて測定.
砕粒率	搗精麦10g中の欠損した麦の重量比.
β-グルカン含量	McCleary法 (メガザイム社キット) により測定.
プロアントシアニジン含量	DMACA法で測定し, 乾物あたりのカテキン当量で示した.
ポリフェノール含量	プルシアンブルー法 (2009年はFolin-Denis法) で測定し, 乾物あたりのカテキン当量で示した.
色相	分光測色計 (ミノルタ社CM-3500d) でL*, a*, b*の値を測定した.
炊飯麦試験	60%搗精麦に水を加えてオートクレーブ (105℃10分) した後, 分光測色計 (ミノルタ社CM-3500d) で測定し, 炊飯直後の色相とした. 測定後のシャーレを70℃18時間加熱して冷却後, 同様に測定し, 保温後色相とした. 炊飯後と保温後との色相の差を褐変の指標とした.
炊飯麦の官能検査	60%搗精麦を炊飯器で炊飯し, 100%麦ごはんを試食. 2003~2009年のパネラー数は, それぞれ13, 15, 14, 12, 11, 14, 9. イチバンボシを標準 (0) として以下の各項目について+2~-2の5段階の評価. 白さ (+が白く-が黒い), 香り (+が好ましく-が嫌い), 硬さ (+が柔らかく-が硬い), 粘り (+が多く-が少ない), 味 (+が美味しく-が不味い).

A New Hull-less Barley Cultivar ‘Haruhimeboshi’ with Low Grassiness and Good Pearling Quality

Asuka TAKAHASHI, Toji YOSHIOKA, Takashi YANAGISAWA¹, Takashi NAGAMINE², Toshiyuki TAKAYAMA¹, Yoshinori DOI³, Hitoshi MATSUNAKA⁴, Masaya FUJITA¹, Eiji DOMON⁵, Makoto SUGIURA⁶ and Masamitsu ITO⁷

Key words: hull-less barley, cultivar, high yield, grassiness, pearling quality, miso

Summary

In 2012, ‘Haruhimeboshi’ was registered as a new six-rowed hull-less barley cultivar. It was bred using a bulk breeding method, and derived from a three-way cross (Yon-R-Kei 1350 [later registered as ‘Mannenboshi’]// Yon-R-Kei 1311/Yon-R-Kei 1324 F1) at Shikoku National Agricultural Experiment Station (currently NARO Western Region Agricultural Research Center). The main characteristics of ‘Haruhimeboshi’ were as follows:

1. Compared to ‘Ichibanboshi’ and ‘Hinodehadaka’, ‘Haruhimeboshi’ showed similar heading and maturity dates. The heading and maturity dates of ‘Haruhimeboshi’ were normally 2-3 days earlier than those of ‘Mannenboshi’.
2. The spike length and number of spikes of ‘Haruhimeboshi’ were greater and fewer, respectively, than those of ‘Ichibanboshi’. In the breeding station, the yield of ‘Haruhimeboshi’ was higher than that of ‘Mannenboshi’, ‘Ichibanboshi’ and, ‘Hinodehadaka’.
3. The grain grassiness and the color of the pearled grains of ‘Haruhimeboshi’ were lower and whiter, respectively, than those of ‘Ichibanboshi’, ‘Mannenboshi’ and ‘Hinodehadaka’. The ratio of broken grains in ‘Haruhimeboshi’ was lower than that in ‘Ichibanboshi’ and ‘Hinodehadaka’.
4. On the basis of the results of the enzyme activity of koji and the whiteness and hardness of miso, ‘Haruhimeboshi’ had a good processing quality of miso.
5. ‘Haruhimeboshi’ was well adapted for growing in the flat areas of Central and Western Japan, and it was released as a recommended (authorized) variety in Ehime Prefecture in 2013.

Crop Breeding and Food Functional Components Research Division, NARO Western Region Agricultural Research Center

¹ NARO Institute of Crop Science

² NARO Agricultural Research Center

³ Ex-NARO Western Region Agricultural Research Center

⁴ NARO Kyushu Okinawa Agricultural Research Center

⁵ National Institute of Agrobiological Sciences

⁶ Hillside Horticulture Research Division, NARO Western Region Agricultural Research Center

⁷ Ex-Shikoku National Agricultural Experiment Station

近畿中国四国農業研究センター研究報告 第13号

平成26年 3月14日 印刷

平成26年 3月14日 発行

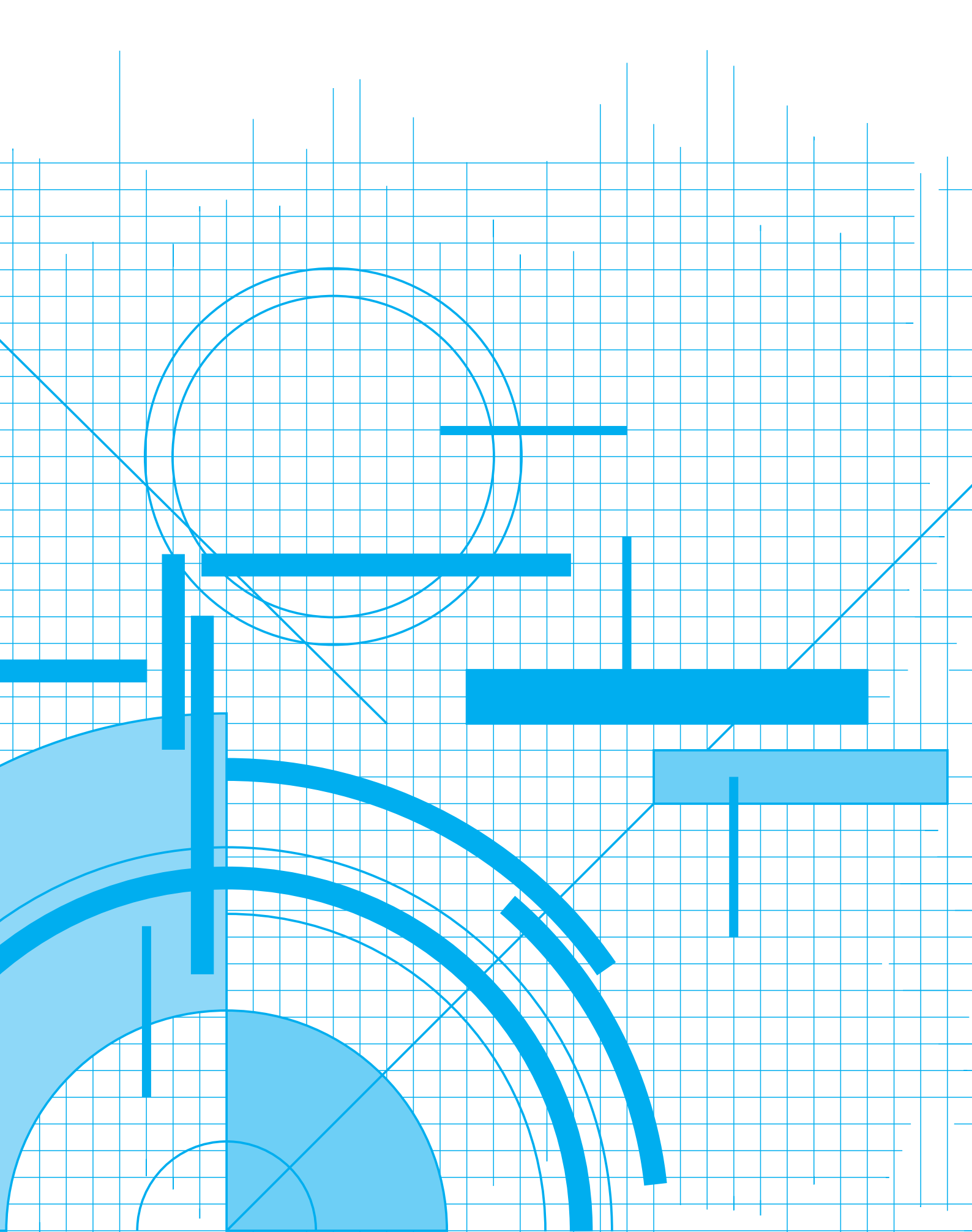
発行所 独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構
近畿中国四国農業研究センター

〒721-8514 広島県福山市西深津町6-12-1

発行者 尾 関 秀 樹

印刷所 株式会社 デルタプリント

〒732-0802 広島市南区大州 2丁目12-15



農研機構は、独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構のコミュニケーションネーム（通称）です。