

BULLETIN  
OF THE  
NATIONAL INSTITUTE OF VEGETABLE  
AND TEA SCIENCE

野菜茶業研究所  
研 究 報 告

第 14 号  
平成 27 年 3 月



独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構（農研機構）

野菜茶業研究所

NATIONAL INSTITUTE OF VEGETABLE  
AND TEA SCIENCE (NIVTS)

National Agriculture and Food Research Organization (NARO)



野菜茶業研究所研究報告 第 14 号

所 長	小島 昭夫
編集委員長	荒木 陽一
編 集 委 員	吉田 建実
	坂田 好輝
	今田 成雄
	高市 益行
	瀨本 浩
	岡田 邦彦
	松尾 喜義

BULLETIN OF THE  
NATIONAL INSTITUTE OF VEGETABLE  
AND TEA SCIENCE  
No. 14

*Director General* Akio Kojima

**Editorial Board**

*Chairman* Yoichi Araki  
Tatemi Yoshida  
Yoshiteru Sakata  
Shigeo Imada  
Masuyuki Takaichi  
Hiroshi Hamamoto  
Kunihiko Okada  
Kiyoshi Matsuo

野菜茶研研報. 14  
Bull. Natl. Inst.  
Veg. & Tea Sci. No. 14

本研究報告から転載・複製する場合には、  
野菜茶業研究所の許可を得てください。

野菜茶業研究所研究報告

第 14 号

平成 27 年 3 月

目 次

単為結果性ナス品種 ‘あのみどり 2 号’ の育成経過とその特性

齊藤 猛雄・松永 啓・斎藤 新・吉田 建実・門馬 信二 ----- 1

Bar-Coded Split Tag (BStag) を用いた DNA マーカーのポストラベル条件の検討

小西 あや子・大山 暁男・柿崎 智博・宮武 宏治・山口 博隆  
布目 司・福岡 浩之 ----- 15

施設キュウリのハイワイヤー栽培における LAI 簡易推定

安 東赫・東出 忠桐・岩崎 泰永・河崎 靖・中野 明正 ----- 23

日蘭トマト品種の果実成分と収量性

安藤 聡・中野 明正・金子 壮・坂口 (横山) 林香  
東出 忠桐・畠中 誠・木村 哲 ----- 31

青枯病および疫病抵抗性を有する台木用トウガラシ品種 ‘L4 台パワー’ および ‘台ちから’ の  
育成経過とその特性

松永 啓・齊藤 猛雄・斎藤 新・吉田 建実・佐藤 隆徳  
坂田 好輝・門馬 信二 ----- 39

トマトのオランダ品種は日本品種に比べカルシウム吸収・移行活性が高い

中野 明正・安 東赫・東出 忠桐 ----- 57

施設園芸用ハウスの換気抑制を目的とした冷房における空気熱源ヒートポンプ、  
家庭用ヒートポンプおよび蓄熱槽利用型ヒートポンプの運転特性比較

岩崎 泰永・鈴木 真実・梅田 大樹・松尾 誠治・安 東赫・高市 益行 ----- 65

液肥の施用濃度および頻度の変更によるポット栽培したレタスの生育および収穫期の調節

佐々木 英和・中野 有加・岡田 邦彦 ----- 75



Bulletin  
of the  
National Institute of Vegetable  
and Tea Science  
No. 14 March 2015

---

Contents

Development of the Parthenocarpic Eggplant Cultivar ‘Anominori 2 go’ Takeo Saito, Hiroshi Matsunaga, Atsushi Saito, Tatemi Yoshida and Shinji Monma .....	1
Optimization of Post-Labeling Conditions for DNA Markers Using a Bar-Coded Split Tag (BStag) Ayako Konishi, Akio Ohyama, Tomohiro Kakizaki, Koji Miyatake, Hirotaka Yamaguchi, Tsukasa Nunome and Hiroyuki Fukuoka .....	15
Estimation of Leaf Area Index of Cucumbers ( <i>Cucumis sativus</i> L.) Trained on a High-Wire Dong-Hyuk Ahn, Tadahisa Higashide, Yasunaga Iwasaki, Yasushi Kawasaki and Akimasa Nakano .....	23
Characteristics of Taste Components and Fruit Yields of Dutch and Japanese Tomato Cultivars Akira Ando, Akimasa Nakano, So Kaneko, Rinka Sakaguchi-Yokoyama, Tadahisa Higashide, Makoto Hatanaka and Satoru Kimura .....	31
Development of <i>Capsicum</i> Rootstock Cultivars ‘L4 Dai-Power’ and ‘Daichikara’ with Resistance to Bacterial Wilt and <i>Phytophthora</i> Blight Hiroshi Matsunaga, Takeo Saito, Atsushi Saito, Tatemi Yoshida, Takanori Sato, Yoshiteru Sakata and Shinji Monma .....	39
Dutch Tomato Cultivar has Greater Sr Uptake and Is Likely to Have Higher Calcium Uptake and Transport Activity than Japanese Tomato Cultivar Akimasa Nakano, Dong-Hyuk Ahn and Tadahisa Higashide .....	57
Comparison of Three Heat Pumps for Greenhouse Cooling to Reduce Ventilation Yasunaga Iwasaki, Mami Suzuki, Hiroki Umeda, Seiji Matsuo, Dong-Hyuk Ahn and Masuyuki Takaichi .....	65
Control of the Growth and Harvest Time of Pot-cultured Lettuce ( <i>Lactuca sativa</i> L.) by Changing the Concentration and Application Frequency of Liquid Fertilizer Hidekazu Sasaki, Yuka Nakano and Kunihiko Okada .....	75



# 単為結果性ナス品種 ‘あのみりのり 2号’ の育成経過とその特性<sup>†</sup>

齊藤 猛雄・松永 啓・斎藤 新・吉田 建実\*・門馬 信二\*\*

(平成 26 年 7 月 11 日受理)

## Development of the Parthenocarpic Eggplant Cultivar ‘Anominori 2 go’

Takeo Saito, Hiroshi Matsunaga, Atsushi Saito, Tatemi Yoshida and Shinji Monma

### I 緒 言

促成作型, 半促成作型および寒冷地における露地作型等, 低温期のナス栽培においては, 着果および果実の肥大安定化のために着果促進剤処理や訪花昆虫が利用されている。しかしながら, 着果促進剤処理に要する労力は栽培に要する全労働時間の約 2 ~ 3 割を占めるほか (門馬, 1996; 玖波井ら, 2004), 訪花昆虫の利用は花粉形成に必要な最低温度の確保が前提であるとともに, その利用に当たっては種々の制約が必要で, 例えば, 広く使われるセイヨウオオマルハナバチの場合, 外来生物法に従い, 飛散防止用ネットの使用や使用済み巣箱の完全殺虫処理等が必要となる。これらの問題を根本的に解決するには, 着果促進処理を必要としない単為結果性ナスの開発が有効である。

単為結果性ナスについては, 1981 年にフランスで研究が開始され (Donzella ら, 2000), 日本で育種を開始した 1994 年にはヨーロッパではすでに複数の単為結果性ナス品種が発表されていた。しかしながら, それらは日本で導入品種として普及するには, 果皮色がうすい, 着花数が少ない等, 多くの問題を抱えていたことから, 筆者らは, 日本型の単為結果性ナス品種の育成に取り組み, ‘あのみりのり’ (2006 年 10 月 4 日命名登録 (なす農林交 4 号), 2009 年 3 月 19 日品種登録 (第 18149 号)) を育成した (齊藤ら, 2007; Saito ら, 2009)。<sup>†</sup> ‘あのみりのり’ は 2012 年の推定値で 41ha に普及しているものの,

一般的な市販品種よりも収量性が劣ること, 低温期に果形が細長くなりやすいこと等が指摘され, それらの改良が求められている。そこで, ‘あのみりのり 2号’ を育成したので, その経過と特性を報告する。

‘あのみりのり 2号’ の育成に関して, 野菜育成系統評価試験における特性検定試験の実施に当たっては愛知県農業総合試験場 (愛知農総試), 兵庫県立農林水産技術総合センター (兵庫農林水産技総セ) および宮崎県総合農業試験場 (宮崎総農試) の担当者各位に, 系統適応性検定試験の実施に当たっては新潟県農業総合研究所 (新潟農総研), 栃木県農業試験場 (栃木農試), 岡山県農業総合センター (岡山農総セ), 高知県農業技術センター (高知農技セ) および熊本県農業研究センター (熊本農研セ) の担当者各位に多大な御協力を頂いた。また, 農研機構野菜茶業研究所 (野菜茶研) 研究支援センター業務第 1 科の方々, 特に, 堀文明氏, 高士保弘氏, 荒木幸生氏, 上村敏彦氏, 山内克之氏, 泉哲朗氏および齊藤広志氏には育成品種および選抜系統の栽培管理等に多大な業務支援を頂いた。ここに記して感謝の意を表す。なお, 本品種を育成するにあたって 2006 ~ 2010 年度は農林水産省委託プロジェクト研究「低コストで質の良い加工・業務用農産物の安定供給技術の開発」により実施した。

### II 育成経過

1994 年にイタリア野菜試験場の Dr. Giuseppe

〒 514-2392 三重県津市安濃町草生 360

野菜育種・ゲノム研究領域

\* 茶業研究監

\*\* 元野菜茶業研究所長

† 本報告の一部は 2014 年度園芸学会春季大会で講演した。

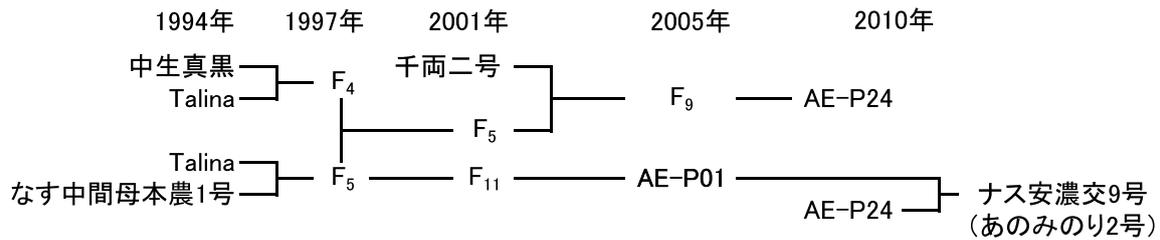


図-1 ‘あのみり2号’の育成系統図

Leonardo Rotino を通じて導入したナス F<sub>1</sub> 品種 ‘Talina’ を単為結果性の育種素材とした。‘Talina’ は、ヨーロッパの Sluis & Groot 社が育成した単為結果性品種で、イタリアで広く栽培されていた。生育がやや晩生、葉や茎に毛じが多く、茎および果実のへたは緑色で、果皮は赤紫色、日本の主要品種と比較して分枝性および着花数は少ない傾向にあった。1994年に‘Talina’と日本型ナス品種・系統間の F<sub>1</sub> を作出し、1995年以降に F<sub>2</sub> 世代を展開し、以後、単為結果性と果実形質等について選抜を繰り返した。その結果、‘中生真黒’を母親、‘Talina’を父親として交雑した後代、‘Talina’を母親、‘なす中間母本農1号’を父親として交雑した後代、およびそれら後代系統間で交雑した自殖後代を‘千両二号’に交雑した後代で単為結果性を含む諸形質が優れ、植物体・果実の諸特性が実用的に固定した系統を育成した。2005年以降にこれら固定系統間の F<sub>1</sub> 組合せの特性を検定した結果、種子親 ‘AE-P01’ と花粉親 ‘AE-P24’ の F<sub>1</sub> を育種目標にかなう組合せとして選抜し、‘ナス安濃交9号’と系統名を付した(図-1)。2011～2013年にわたり野菜育成系統評価試験を実施した結果、‘ナス安濃交9号’は高い単為結果性を有し、先行して発表した‘あのみり’よりも収量性や果形等の諸形質が優れたことから、実用品種として有望と判断された。‘ナス安濃交9号’は、2014年に‘あのみり2号’として品種登録出願された(品種登録出願番号第29067号、2014年3月28日)。なお、‘AE-P01’は、‘Talina’、‘中生真黒’および‘なす中間母本農1号’を交雑した後代から選抜して育成した品種で2009年3月19日に品種登録された(品種登録第18151号)。また、‘AE-P24’は‘Talina’、‘中生真黒’、‘なす中間母本農1号’および‘千両二号’を育種素材として交雑した後代から選抜した品種で2014年に品種登録出願された(品種登録出願番号第29068号、2014年3月28日)。

### III 品種特性

#### 1 育成地における試験成績

##### a 単為結果性

育成地で実施した単為結果性を確認するための特性検定試験の概要を表-1に示す。野菜茶業研究所内の圃場で実施し、促成作型ではビニールハウスを、露地普通作型では露地圃場を使用した。供試土壌は沖積土(非火山灰性黒ボク土)で、前作はエンバクの均一栽培とした。10a当たりの成分量でNを20kg、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>を17または16kgおよびK<sub>2</sub>Oを20または19kgをロング424-100(全農)またはロング413-100(全農)(2013年度のみ)で施用するとともに炭酸苦土石灰を100kgおよび過磷酸石灰を133または137kgを施用した。‘あのみり2号’、単為結果性の‘あのみり’(株式会社日本農林社)および非単為結果性の‘千両二号’(タキイ種苗株式会社)を供試し、2010年7月30日に播種し、9月24日にビニールハウス内へ定植した。各品種・系統につき1区3株、2反復、うね間120cm、株間80cmで定植し、自根栽培の1文字3本仕立て、側枝は果実収穫後に1～2芽切り戻し剪定を行い、着果促進処理は行わずに栽培した。10月4日～11月12日に開花した花を観察し、その後、正常に肥大した果実数、石ナス果の着生数等を調査し、単為結果性を判定した。同様の試験を2011年8月2日播種、9月27日ビニールハウス内へ定植で実施した。また、2012年3月24日播種、5月23日露地圃場へ定植で実施した場合は、6月18日～7月13日に適宜、各株について約5花を開花前に除雄し、その後、無種子で正常に肥大した果実数、石ナス果の着生数等を調査し、単為結果性を判定した。

2010および2011年度は促成作型において低温期の着果・肥大性を確認することによって、2012年度は露地普通作型において開花前に柱頭切除した花数に対して、その後正常に肥大した果実数の割合を算出することによって、単為結果性の有無を判定した。非単為結果性の

表－1 育成地における単為結果性検定試験の概要

試験年度	作型	播種日	定植日	うね間 (cm)	株間 (cm)	整枝法	検定方法
2010	促成	7/30	9/24	120	80	3本仕立て	低温期の着果・肥大性(10/4～11/12)
2011	促成	8/2	9/27	120	80	3本仕立て	低温期の着果・肥大性(11/25～1/8)
2012	露地普通	3/24	5/23	120	80	3本仕立て	柱頭除去(6/18～7/13)

検定方法の( )内の期間に開花した花について調査した。

表－2 育成地における単為結果性検定試験の結果

品種名	試験 年度	調査 株数	株あたり 調査花数	開花数に対する割合(%)			正常果が肥大した 株の割合(%)	判定
				正常果	石ナス果	落花		
あのみり2号	2010	6	9.2	100.0	0.0	0.0	100.0	○
	2011	7	10.4	91.5	1.4	7.0	100.0	○
	2012	24	5.3	35.2	0.0	64.8	75.0	○
あのみり	2010	6	8.8	90.9	2.1	7.0	100.0	○
	2011	6	10.3	64.5	4.7	30.8	100.0	○
	2012	8	5.8	14.6	0.0	85.4	75.0	○
千両二号	2010	6	14.8	0.0	78.2	21.8	0.0	×
	2011	3	13.0	0.0	25.6	74.4	0.0	×
	2012	8	5.0	0.0	0.0	100.0	0.0	×

着果したものの正常に大きくならず小さいままで硬い果実を石ナス果とした。

判定は、単為結果性ありを○、なしを×とした。

いずれの品種・系統も着果促進処理を行わなかった。

表－3 育成地における適応性検定試験の概要

試験年度	作型	台木の品種名	播種日	定植日	うね間 (cm)	株間 (cm)	栽植本数 (株/a)	整枝法	収穫期間
2009	促成	台太郎	8/3	9/28	120	80	104	1文字3本	10/15 ～ 6/28
2010	露地普通	自根	3/23	5/17	120	80	104	1文字3本	6/17 ～ 7/26
	促成	台三郎	7/30	9/24	120	80	104	1文字3本	10/4 ～ 3/14
2011	露地普通	台三郎	3/18	5/31	120	80	104	1文字3本	6/22 ～ 9/15
	促成	台三郎	8/2	9/27	120	80	104	1文字3本	10/14 ～ 6/29
2012	露地普通	台三郎	3/24	5/23	120	80	104	1文字3本	6/14 ～ 9/24
	促成	台三郎	8/1	9/20	120	80	104	1文字3本	11/5 ～ 6/28
2013	露地普通	台三郎	3/21	5/22	120	80	104	1文字3本	6/11 ～ 9/13

2012年度の促成作型における‘あのみり2号’は、発芽状況が悪く9月28日の定植となった。

‘千両二号’では正常果が得られない条件下で、‘あのみり2号’は促成作型(2010および2011年度)では100.0および91.5%、露地普通作型(2012年度)では35.2%の花が正常果へと肥大した(表－2)。いずれの数値も同じ条件における‘あのみり’を上回っており、‘あのみり2号’は、実用上十分な単為結果性を有することが明らかになった。

#### b 収量性および植物体等の特性

生産力検定試験は促成作型および露地普通作型で実施した(表－3)。野菜茶業研究所内の圃場で実施し、促成作型ではビニールハウスを、露地普通作型では露地圃場を使用した。供試土壌、前作および施肥量は特性検定試

験と同様である。‘あのみり2号’、‘あのみり’および‘千両二号’を供試した。促成作型では2009年8月3日に播種し、9月28日にビニールハウス内へ定植した。各品種・系統につき1区3株、2反復、うね間120cm、株間80cmで定植し、自根栽培の1文字3本仕立て、側枝は果実収穫後に1～2芽切り戻し剪定を行い、着果促進処理は行わずに栽培した。植物体および果実の諸特性ならびに収量を調査した。同様の試験を2010年7月30日播種、9月24日定植、2011年8月2日播種、9月27日定植、2012年8月1日播種および9月20日定植で実施した。なお、低温時は温風暖房機で加温し、暖房開始温度は15℃とした。また、露地普通作型では2010年度は3月23日播種、5月17日定植、2011年度は3月18日

表-4 育成地における適応性検定試験の結果

作型	試験年度	品種名	株数	着果促進処理の有無	1株当たり商品果数	1果重(g)	果長(mm)	果径(mm)	果長/果径	果形	光沢	評価
促成	2009	あのみり2号	6	無	157.0	—	—	—	—	極良	良	○
		あのみり	6	無	125.8	—	—	—	—	中	極良	
		千両二号	6	有	129.5	—	—	—	—	良	中	
	2010	あのみり2号	6	無	58.3	—	—	—	—	極良	良	○
		あのみり	6	無	57.5	—	—	—	—	中	極良	
		千両二号	3	有	53.3	—	—	—	—	良	中	
	2011	あのみり2号	7	無	96.9	136.6	164.1	52.8	3.11	極良	良	○
		あのみり	6	無	85.5	112.8	163.5	46.5	3.52	中	極良	
		千両二号	3	有	142.3	115.0	160.2	50.0	3.20	良	中	
		千両二号	3	無	45.3	—	—	—	—	—	—	
	2012	あのみり2号	20	無	120.3	—	—	—	—	極良	良	○
		あのみり	8	無	113.0	—	—	—	—	中	極良	
千両二号		4	有	147.3	—	—	—	—	良	中		
露地普通	2011	あのみり2号	8	無	36.5	—	—	—	—	極良	良	○
		あのみり	8	無	30.3	—	—	—	—	中	極良	
		千両二号	8	無	37.3	—	—	—	—	良	中	
	2012	あのみり2号	24	無	55.3	132.7	141.9	54.1	2.62	極良	良	○
		あのみり	8	無	50.6	152.7	158.0	54.9	2.88	中	極良	
		千両二号	8	無	63.4	107.3	146.2	48.9	2.99	良	中	
	2013	あのみり2号	24	無	66.3	163.2	153.3	57.2	2.68	極良	良	○
		あのみり	8	無	60.9	159.3	163.3	53.9	3.03	中	極良	
		千両二号	8	無	74.4	126.6	150.3	51.7	2.91	良	中	

着果促進処理は、日産トマトーン4-CPA液剤(日産化学工業株式会社)50倍希釈液を開花当日の花に処理した。収穫した果実のうち、商品として販売できない不良果を除いた果実の数を商品果とした。評価は‘あのみり’と比較して、優れる(○)、同等(△)、劣る(×)とした。

播種、5月31日定植、2012年度は3月24日播種、5月23日定植、2013年度は3月21日播種、5月22日定植とし、促成作型と同様の試験を実施した。

促成作型で着果促進処理を行わなかった場合(2011年度)、『千両二号』では1株当たり商品果数が約45個と十分な収量が得られなかったが、『あのみり2号』では約97個と十分な収量が得られたことから(表-4)、『あのみり2号』は『あのみり』と同様に低温期でも着果促進処理なしで栽培可能であることが明らかになった。促成作型における『あのみり2号』の収量性は、着果促進処理した『千両二号』よりも劣る傾向にあったが『あのみり』を上回った。また、果形においても『あのみり2号』は『あのみり』よりも優れた。これらのことから、『あのみり2号』の促成作型への適応性は『あのみり』よりも優れると判断された。ただし、果皮の光沢については、『あのみり』が優れていた。露地普通作型においても、概ね促成作型と同様の傾向がみられ、『あのみり2号』の露地普通作型への適応性は『あのみり』よりも優れると判断された。また、促成作型において『あのみり』は果径が細くなる傾向が強かったが、『あのみり2号』ではそのよう

なことはなく安定的にボリュームある果実の生産が可能であった。なお、2010年度の促成作型で全体的に収量が少なかったのは、青枯病またはネコブセンチュウによる被害が激しく、3月中旬で試験を終了したためである。

促成作型における諸特性を表-5~7に示す。『あのみり2号』の胚軸は紫色を帯び、その程度は中程度であった(表-5)。第1花開花日、花の大きさ、花色、着花数および収穫開始日は『あのみり』や『千両二号』と同等であった。葉は『あのみり』や『千両二号』よりも大きい傾向にあり、草姿は『千両二号』よりも立性で『あのみり』と同等であった(表-6)。果形は長卵形で『あのみり』よりも太短く『千両二号』と同等、果皮色およびへたは黒紫色であった(表-7)。花こん部は『あのみり』よりも小さく『千両二号』と同等であった。果皮の光沢は、『千両二号』よりも優れるが『あのみり』よりも劣った。

露地普通作型における諸特性を表-8~10に示す。露地普通作型においても諸特性は概ね促成作型の場合と同様であった。すなわち、『あのみり2号』の胚軸は紫色を帯び、その程度は中程度であった(表-8)。第1花開花日は『千両二号』よりも遅く『あのみり』と

表－5 促成作型における‘あのみり2号’の諸特性(1)

試験年度	品種名	胚軸のアントシアニン		第1花 開花日	花径		第2花房 花数	第3花房 花数	収穫 開始日
		有無	程度		(mm)	花色			
2009	あのみり2号	有	中	10/4	—	紫	—	—	10/22
	あのみり	有	中	10/19	—	紫	—	—	11/4
	千両二号	有	中	10/2	—	紫	—	—	11/1
2010	あのみり2号	有	中	—	—	紫	—	—	10/13
	あのみり	有	中	—	—	紫	—	—	10/14
	千両二号	有	中	—	—	紫	—	—	10/12
2011	あのみり2号	有	中	10/2	45.3	紫	1.0	1.0	10/23
	あのみり	有	中	10/3	47.8	紫	1.2	1.0	10/23
	千両二号	有	中	9/26	47.8	紫	1.0	1.0	10/19
2012	あのみり2号	有	中	9/29	51.8	紫	—	—	10/31
	あのみり	有	中	9/9	56.5	紫	—	—	10/10
	千両二号	有	中	9/18	50.4	紫	—	—	10/11

2010年度の‘あのみり’および‘千両二号’は7/30播種, ‘あのみり2号’は8/9播種.

表－6 促成作型における‘あのみり2号’の諸特性(2)

試験年度	品種名	草丈 (cm)	地際から第1花 までの長さ		葉の 葉長 (cm)	茎の 切れ込み (mm)	葉の 太さ (mm)	葉縁 の 波形	茎の 色	茎の 黒紫 程度	茎の 毛じ	草姿	分枝 角度
			(cm)	(cm)									
2009	あのみり2号	139.2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	あのみり	129.2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	千両二号	153.3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2010	あのみり2号	138.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	あのみり	143.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	千両二号	156.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2011	あのみり2号	144.9	—	23.3	—	—	中	帯紫	濃	やや多	立性	—	
	あのみり	141.3	—	22.4	—	—	中	帯紫	濃	やや多	立性	—	
	千両二号	153.2	—	21.7	—	—	中	帯紫	濃	やや少	中	—	
2012	あのみり2号	121.1	34.3	27.8	8.9	14.3	—	—	—	—	—	53.1	
	あのみり	138.6	34.3	20.2	5.8	15.7	—	—	—	—	—	54.6	
	千両二号	151.4	35.1	20.3	1.9	13.2	—	—	—	—	—	55.0	

2010年度の‘あのみり’および‘千両二号’は7/30播種, ‘あのみり2号’は8/9播種.

表－7 促成作型における‘あのみり2号’の収穫果の主な特性(2011年)

品種名	果形	花こん部 の大きさ	果実先端 の形	果皮の 光沢	へたの			へた下の 紫色程度	果皮色
					大きさ	棘の多少	紫色程度		
あのみり2号	長卵	小	丸	やや強	中	中	濃	中	黒紫
あのみり	中長	やや大	丸	強	中	中	濃	中	黒紫
千両二号	長卵	小	やや尖	中	中	中	濃	中	黒紫

表－8 露地普通作型における‘あのみり2号’の諸特性(1)

試験年度	品種名	胚軸のアントシアニン		第1花 開花日	花径		第2花房 花数	第3花房 花数	収穫 開始日
		有無	程度		(mm)	花色			
2010	あのみり2号	有	中	5/28	—	紫	1.7	2.2	6/14
	あのみり	有	中	5/29	—	紫	1.8	2.2	6/13
	千両二号	有	中	5/27	—	紫	2.3	1.4	6/17
2011	あのみり2号	有	中	5/31	40.8	紫	1.6	1.6	6/20
	あのみり	有	中	5/29	42.6	紫	1.1	1.8	6/20
	千両二号	有	中	5/28	44.1	紫	1.0	1.0	6/20
2012	あのみり2号	有	中	6/1	43.1	紫	1.3	1.8	6/16
	あのみり	有	中	6/3	45.1	紫	1.3	1.4	6/19
	千両二号	有	中	5/28	44.5	紫	1.0	1.3	6/14
2013	あのみり2号	有	中	5/27	40.6	紫	1.1	1.7	6/13
	あのみり	有	中	5/27	47.8	紫	1.3	1.6	6/13
	千両二号	有	中	5/24	46.8	紫	1.0	1.3	6/17

表-9 露地普通作型における‘あのみり2号’の諸特性(2)

試験年度	品種名	草丈 (cm)	地際から第1花 までの長さ (cm)	葉長 (mm)	葉の 切れ込み (mm)	茎の 太さ (mm)	葉縁 の 波形	茎の 色	茎の 黒紫 程度	茎の 毛じ	草姿	分枝 角度
2010	あのみり2号	141.5	21.7	160.8	—	—	—	—	—	—	—	—
	あのみり	156.2	21.8	164.2	—	—	—	—	—	—	—	—
	千両二号	141.2	17.1	151.7	—	—	—	—	—	—	—	—
2011	あのみり2号	171.3	—	146.9	—	—	中	帯紫	中	やや多	立性	—
	あのみり	165.8	—	145.0	—	—	中	帯紫	中	やや多	立性	—
	千両二号	162.6	—	145.6	—	—	中	帯紫	中	やや少	中	—
2012	あのみり2号	169.5	24.1	164.3	2.5	15.5	中	帯紫	濃	多	立性	65.4
	あのみり	156.5	24.2	172.1	5.0	15.8	中	帯紫	極濃	多	立性	71.4
	千両二号	154.3	18.8	145.9	1.5	13.6	弱	帯紫	濃	少	中	86.3
2013	あのみり2号	143.6	23.1	140.5	2.2	17.2	中	帯紫	濃	多	立性	61.9
	あのみり	132.8	21.6	129.3	3.1	16.5	中	帯紫	濃	多	立性	58.1
	千両二号	135.6	19.9	130.0	1.5	14.5	中	帯紫	濃	少	中	56.4

表-10 露地普通作型における‘あのみり2号’の収穫果の主な特性

試験年度	品種名	果形	花こん部 の大きさ	果実先端 の形	果皮の 光沢	へたの			果皮色	
						大きさ	棘の多少	紫色程度		へた下の 紫色程度
2012	あのみり2号	長卵	中	丸	強	中	やや少	濃	淡	黒紫
	あのみり	長卵	やや大	丸	極強	中	やや少	濃	淡	黒紫
	千両二号	長卵	やや小	やや尖	やや強	中	やや少	濃	淡	黒紫
2013	あのみり2号	長卵	中	丸	強	中	少	濃	淡	黒紫
	あのみり	長卵	大	丸	極強	中	少	濃	淡	黒紫
	千両二号	長卵	小	丸	やや強	中	少	濃	淡	黒紫



図-2 ‘あのみり2号’ (中央3本), ‘千両二号’ (左2本) および ‘あのみり’ (右2本) の収穫果 (2012年7月23日撮影)



図-3 ‘あのみり2号’ (中央), ‘千両二号’ (左) および ‘あのみり’ (右) の草姿 (2012年8月13日撮影)

表－11 特性検定地における試験概要

検定場所	試験年度	単為結果性			青枯病				半枯病・半身萎凋病			
		播種日	定植日	検定方法	播種日	定植日	調査日	接種方法	播種日	接種日	調査日	接種方法
愛知農総試	2011	8/5	—	柱頭除去	—	—	—	—	—	—	—	—
	2012	8/16	—	柱頭除去	—	—	—	—	—	—	—	—
兵庫農総試	2011	—	—	—	5/16	6/15	7/13	汚染圃場	5/16	6/14	7/13	浸根接種
	2012	—	—	—	5/16	6/20	7/10	汚染圃場	5/16	6/22	7/26	浸根接種
	2013	—	—	—	5/10	6/10	7/5	汚染圃場	5/10	6/11	6/25	浸根接種
宮崎農総試	2011	6/24	7/11	柱頭除去	—	—	—	—	—	—	—	—
	2012	6/22	7/3	除雄	—	—	—	—	—	—	—	—
	2013	5/8	5/22	除雄	—	—	—	—	—	—	—	—

半枯病および半身萎凋病については野菜茶研から分譲した菌株を用いて実施した。

表－12 特性検定地における単為結果性検定結果

品種名	試験年度	愛知農総試				宮崎農総試				
		処理 花数	単為結果率 (%)	落花率 (%)	石ナス果率 (%)	判定	処理 花数	単為結果率 (%)	落花率 (%)	判定
あのみり2号	2011	72	92.7	7.3	0.0	○	53	20.8	79.2	○
		111	98.2	1.8	0.0	○				
	2012	61	90.3	8.1	1.6	○	115	58.3	37.4	○
		58	94.6	5.4	0.0	○				
2013	—	—	—	—	—	85	50.6	49.4	○	
あのみり	2011	68	96.6	3.4	0.0	—	55	16.4	83.6	—
		100	98.1	1.0	1.0	—				
	2012	62	65.0	31.7	3.3	—	122	67.2	31.1	—
		60	92.6	7.4	0.0	—				
2013	—	—	—	—	—	98	41.8	54.1	—	
千両二号	2011	75	2.3	14.8	82.9	—	122	0.0	100.0	—
		98	1.1	38.0	60.9	—				
	2012	71	1.4	5.8	92.9	—	196	3.6	83.2	—
		66	0.0	37.9	62.1	—				
2013	—	—	—	—	—	138	0.0	100.0	—	

愛知農総試の2カ年および宮崎農総試の2011年度は柱頭切除，宮崎農総試の2012および2013年度は除雄。  
愛知農総試の各年度の上段および下段の数値は，それぞれ12月および3月に柱頭切除した結果。  
単為結果株率 = 単為結果性を示した株数 / 除雄した株数。  
判定は単為結果性がある(○)または，ない(×)。

同等で，花の大きさは‘あのみり’や‘千両二号’よりもやや小さかった。花色，着花数および収穫開始日は‘あのみり’や‘千両二号’と同等であった。草丈，葉長および茎径は‘千両二号’よりも大きく‘あのみり’と同等で，草姿は‘千両二号’よりも立性で‘あのみり’と同等であった(表－9)。果形は長卵形で‘あのみり’よりも太短く‘千両二号’と同等，果皮色およびへたは黒紫色であった(表－10)。花こん部は‘あのみり’よりも小さく‘千両二号’と同等であった。果皮の光沢は，‘千両二号’よりも優れるが‘あのみり’よりも劣った。

## 2 特性検定試験場所における試験成績

各特性検定地で実施した特性検定試験の概要を表－11に示す。

### a 単為結果性

単為結果性の対照品種として‘あのみり’，非単為結果性の対照品種として‘千両二号’を供試した。開花前に柱頭除去または除雄し，その後に正常肥大した果実数を調査し，単為結果率を算出した。

単為結果性検定試験の結果を表－12に示す。愛知農総試では2011年は20株を供試して72花以上を開花前に柱頭切除し，その後に正常肥大した果数を計数して単為結果率を算出したところ，‘千両二号’の約1～2%に対して‘あのみり2号’は約93～98%であり，高い単為結果性を有することが明らかになった。2012年も2011年と同様に試験して単為結果率を算出したところ，‘千両二号’では約0～1%とほとんど単為結果が観察されなかったのに対して‘あのみり2号’では約90～94%が単為結果し，高い単為結果性を有することが

表-13 特性検定地（兵庫農林水産技総セ）における病害抵抗性検定結果

品種名	試験年度	青枯病			半枯病			半身萎凋病		
		発病株率(%)	発病指数	判定	発病株率(%)	発病指数	判定	発病株率(%)	発病指数	判定
あのみのもり2号	2011	100.0	98.8	×	42.1	15.8	×	84.2	44.7	×
	2012	100.0	100.0	×	60.0	40.0	×	70.0	37.5	×
	2013	100.0	99.2	×	93.1	54.3	×	15.6	5.5	△
あのみのもり	2011	100.0	100.0	×	25.0	16.3	△	94.7	55.3	×
	2012	95.0	95.0	×	50.0	38.8	×	80.0	55.0	×
	2013	96.8	96.0	×	100.0	52.0	×	15.4	6.7	△
千両二号	2011	85.0	77.5	×	100.0	83.8	×	80.0	58.8	×
	2012	85.0	77.5	×	90.0	71.3	×	70.0	43.8	×
	2013	87.5	72.7	×	100.0	83.9	×	23.3	14.2	△
台太郎	2011	5.0	3.8	○	0.0	0.0	○	40.0	10.0	△
	2012	0.0	0.0	○	0.0	0.0	○	40.0	10.0	△
	2013	18.8	11.7	○	40.6	16.4	△	23.3	8.3	△
耐病VF	2011	20.0	13.8	×	0.0	0.0	○	50.0	12.5	△
	2012	40.0	22.5	×	0.0	0.0	○	30.0	7.5	△
	2013	43.8	26.6	×	0.0	0.0	○	6.7	2.5	△

各品種・系統とも各病害につき19～20個体を供試した。  
 発病指数 =  $\sum$ 各個体の発病程度/総個体数 $\times 25$ , 発病程度は1:外部病徴なし～4:枯死で評価した。  
 判定は抵抗性がある(○), 再検討を要する(△), 抵抗性がない(×)。

明らかになった。‘あのみのもり’と比較すると、単為結果率はやや高い傾向にあった。

宮崎総農試では2011～2013年に各30株を供試して53花以上を開花前に柱頭切除または除雄し、その後正常肥大した果数を計数して単為結果率を算出したところ、‘千両二号’ではほとんど単為結果が観察されなかったのに対して‘あのみのもり2号’では約21～58%が単為結果し、高い単為結果性を有することが明らかになった。‘あのみのもり’と比較すると、単為結果率はやや高い傾向にあった。なお、宮崎総農試における単為結果率が愛知農総試の場合よりも概ね低かったのは、前者が盛夏期のポット栽培による試験結果であったのに対し、後者では促成作型による試験結果であったためと思われる。

#### b 青枯病・半枯病・半身萎凋病抵抗性

青枯病抵抗性検定については抵抗性品種として‘台太郎’（タキイ種苗株式会社）、罹病性品種として‘千両二号’および‘耐病VF’（タキイ種苗株式会社）を、半枯病抵抗性検定については抵抗性品種として‘台太郎’および‘耐病VF’、罹病性品種として‘千両二号’を、半身萎凋病抵抗性検定については抵抗性品種として‘耐病VF’、罹病性品種として‘千両二号’および‘台太郎’を供試した。青枯病菌については検定地である兵庫農林水産技総セにおいて発生している菌株とし、半枯病菌および半身萎凋病菌については野菜茶研から分譲した菌株を用いた。検定法は汚染圃場検定または幼苗検定とした（表-11）。

‘あのみのもり2号’は試験年次、検定場所を通じて、青枯病、半枯病および半身萎凋病に対する抵抗性は‘あのみのもり’と同様、すなわち、罹病性であった（表-13）。

#### c 検定場所の判定

‘あのみのもり2号’について、愛知農総試および宮崎総農試からは‘あのみのもり’よりも単為結果性が高いことから品種候補として有望であるとの判定を、兵庫農林水産技総セからは青枯病、半枯病および半身萎凋病に対する抵抗性はもたないとの判定を得た。

### 3 系統適応性検定試験場所における試験成績

#### a 検定場所と試験設計の概要

日本全国の種々の作型において栽培されつつある単為結果性品種‘あのみのもり’を標準品種とし、‘あのみのもり2号’の評価を行った。その概要を表-14および15に示す。なお、新潟県では‘耐病VF’へ、栃木県では‘アカナス’（タキイ種苗株式会社）へ、岡山農総セおよび高知農技セでは‘台太郎’へ、熊本農研セでは‘トナシム’（タキイ種苗株式会社）へ接ぎ木して試験した。

#### b 果実特性および収量性

‘あのみのもり2号’は‘あのみのもり’と比較して、商品果率が高く、1果重は同等または重く、果形は良好で、果皮色および光沢は同等であった（表-16）。露地普通作型で実施した新潟農総研および岡山農総セでは‘あのみのもり’よりも収量が多く、‘千両二号’と同等であっ

表－14 系統適応性検定地における試験概要（1）

検定場所	作型	試験年度	播種日	定植日	うね間 (cm)	株間 (cm)	栽植本数 (株/a)	整枝法	収穫期間
新潟農総研	露地普通	2011	3/4	5/19	180	60	92.6	V字6本	6/13～10/21
		2012	3/1	5/17	180	60	92.6	V字6本	6/12～10/19
		2013	3/7	5/28	180	60	92.6	V字6本	6/11～10/10
栃木農試	半促成	2011	1/18	3/31	180	30	185.0	V字2本	5/2～7/31
岡山農総セ	露地普通	2011	3/14	5/16	220	55	82.6	V字3本	6/22～10/18
		2012	3/13	5/21	220	60	75.8	V字3本	6/15～10/19
		2013	3/15	5/17	200	80	62.5	V字4本	6/7～10/25
高知農技セ	促成	2011	7/15	9/14	162	55	110.0	主枝3本	10/19～3/31
		2012	7/13	9/9	163	55	111.0	主枝3本	10/5～3/29
熊本農研セ	促成	2011	7/22	9/7	200	70	71.4	U字4本	10/6～5/31
		2012	8/3	9/18	200	70	71.4	U字4本	10/15～3/29

表－15 系統適応性検定地における試験概要（2）

検定場所	作型	試験年度	台木の 品種名	施肥量 (kg/a)				土壌の種類	試験規模
				N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	堆肥		
新潟農総研	露地普通	2011	耐病VF	3.8	4.2	4.6	200	砂壤土	5株×3反復
		2012	耐病VF	2.6	4.2	3.4	200	砂壤土	5株×3反復
		2013	耐病VF	2.6	4.2	3.4	200	砂壤土	5株×2反復
栃木農試	半促成	2011	アカナス	2.0	2.0	1.2	100	表層多腐植質 黒ボク土	10株×2反復
岡山農総セ	露地普通	2011	台太郎	6.0	4.0	5.3	0	花崗岩崩積砂 壤土	5株×3反復
		2012	台太郎	5.7	4.0	5.3	450	花崗岩崩積砂 壤土	5株×3反復
		2013	台太郎	5.4	3.8	5.0	0	花崗岩崩積砂 壤土	5株×3反復
高知農技セ	促成	2011	台太郎	2.4	2.6	1.8	120	灰色低地土	5株×3反復
		2012	台太郎	2.7	3.3	2.3	100	灰色低地土	4株×2反復
熊本農研セ	促成	2011	台太郎	7.0	8.5	7.0	200	厚層多腐植質 黒ボク土	4株×4反復
		2012	トナシム	7.0	8.5	7.0	200	厚層多腐植質 黒ボク土	3株×2反復

た。半促成作型で実施した栃木農試および促成作型で実施した高知農技セおよび熊本農研セでは、‘あのみり’よりも収量が多かったものの、‘式部’（株式会社渡辺採種場）、‘千両二号’、‘筑陽’（タキイ種苗株式会社）および‘土佐鷹’（岡田ら、2007）よりも劣った。いずれの作型および試験地においても‘あのみり’よりも収量は高かった。

### c 検定場所における総合判定

各検定場所における‘あのみり2号’の一般特性および総合評価を表－17および18に示す。

‘あのみり2号’について、新潟農総研からは、‘あのみり’と比較し、果実の光沢はやや劣ったが、総収量および商品果収量ともに多く、商品果率も高かったことから有望との判定を、‘千両二号’と比較した場合も、総収果数は少なかったが商品果率が高く、商品果収量

や果実の光沢も優れていたこと等から有望との判定を得た。また、栃木農試からは、‘あのみり’と比較し、収穫果数および収量性が優れ、生育特性および果実特性等が同等であったことから有望との判定を得た。ならびに、岡山農総セからは、‘あのみり’と比較して収量が多く、果形も良好で、上物率も高く、3年間の試験を通じて同様の傾向がみられたことから、有望との判定を得た。‘千両二号’および‘筑陽’との比較においても、いずれの品種に対しても果形が良好で上物率が高いこと、初期の収量性および果実品質に特に優れ、着果促進処理の必要性がないことから、有望との判定を得た。さらに、3年間の成績にはややばらつきがあったが、単価の高い初期（6～7月上旬）の収量が増加する特性は試験期間を通してみられたため、初期収量を重視する産地や生産者に対して優位性が期待できると考えられるとのコメントを得た。さらに、高知農技セからは、‘あのみり’と比較して可

表-16 系統適応性検定地における検定結果

検定地	試験年度	作型	品種名	総収量				着果促進処理	商品果率	果重	果形	光沢	評価標準対比
				前期 (%)	中期 (%)	後期 (%)	総計 (kg/a)						
新潟農総研	2011	露地普通	あのみのり2号	27.2	47.2	25.6	947	無	高	重	良	良	○
			あのみのり	27.3	47.9	24.7	811	無	中	やや重	中	極良	
			千両二号	35.1	46.7	18.1	924	無	中	中	中	中	
	2012	露地普通	あのみのり2号	18.8	47.8	33.4	950	無	高	重	良	良	○
			あのみのり	22.6	46.5	30.9	820	無	高	やや重	良	極良	
			千両二号	23.6	44.0	32.4	952	無	中	中	良	中	
	2013	露地普通	あのみのり2号	14.0	42.3	43.7	966	無	高	重	良	良	○
			あのみのり	13.1	43.7	43.2	759	無	高	やや重	中	極良	
			千両二号	15.1	39.4	45.5	935	無	中	中	中	中	
栃木農試	2011	半促成	あのみのり2号	19.6	36.1	44.3	571	無	高	重	良	良	○
			あのみのり	19.9	36.4	43.8	528	無	高	やや重	良	良	
			式部	17.3	30.1	52.6	625	有	低	中	良	中	
岡山農総セ	2011	露地普通	あのみのり2号	22.7	48.1	29.2	1043	無	高	やや重	良	良	○
			あのみのり	24.9	48.5	26.6	979	無	中	やや重	中	良	
			千両二号	20.3	49.8	29.9	933	有	低	中	中	良	
	2012	露地普通	あのみのり2号	30.0	48.6	21.4	951	無	高	やや重	良	良	○
			あのみのり	29.6	45.9	24.5	843	無	中	やや重	中	良	
			千両二号	23.0	49.5	27.6	976	有	中	中	中	良	
	2013	露地普通	あのみのり2号	24.5	40.5	34.9	1060	無	高	やや重	良	良	○
			あのみのり	25.9	37.2	36.9	941	無	中	やや重	中	良	
			千両二号	21.7	43.8	34.5	1049	有	中	中	中	良	
高知農技セ	2011	促成	あのみのり2号	34.9	25.5	39.6	557	無	高	やや重	良	良	△
			あのみのり	34.9	24.1	40.9	493	無	中	やや重	中	良	
			土佐鷹	40.0	25.3	34.7	887	有	高	中	良	良	
2012	促成	あのみのり2号	35.5	27.5	37.0	858	無	高	やや重	良	良	○	
		あのみのり	34.4	24.6	40.9	786	無	中	やや重	中	良		
		土佐鷹	38.8	29.5	31.6	1006	有	高	中	良	良		
熊本農研セ	2011	促成	あのみのり2号	21.9	33.9	44.1	1251	無	高	やや重	良	良	○
			あのみのり	23.4	30.5	46.0	1009	無	中	中	中	中	
			筑陽	22.1	24.5	53.4	1281	有	高	やや重	良	中	
	2012	促成	あのみのり2号	10.7	32.7	56.5	651	無	高	やや重	良	良	○
			あのみのり	10.5	30.2	59.3	581	無	中	中	中	中	
			筑陽	9.8	34.3	55.9	797	有	高	やや重	良	中	

着果促進処理は、日産トマトーン4-CPA液剤(日産化学工業株式会社)50倍希釈液を開花当日の花に処理した。  
 ‘あのみのり’を標準品種とした。  
 評価は優れる(○), 同等(△), 劣る(×)。

販果収量は、やや多い程度であるが、上物率が高く果実品質が高いことから、有望との判定を得た。なお、‘土佐鷹’との比較では、可販果収量が少ないことおよび節間が長く施設における摘心栽培には不向きと考えられることから、高知農技セにおける普及性は低いとの判定を得た。最後に、熊本農研セからは、‘あのみのり’と比較して、収量性および果実品質で優れるため有望との判定を、‘筑陽’と比較すると、収量性が低いことから熊本県における普及性は低いとの判定を得た。

#### 4 協定研究場所における試験成績

##### a 試験場所と試験設計の概要

品種登録出願後の早期普及を図るため、単為結果性ナ

ス品種の栽培経験が豊富な埼玉県農林総合研究センター(埼玉農林総研セ)と2011年から3年間、協定研究を実施した。この研究の一環として、‘あのみのり’および当該地域における主要品種である‘式部’と‘あのみのり2号’について諸形質の比較を行った。なお、‘ヒラナス’および‘台太郎’へ接ぎ木して試験した(表-19および20)。

##### b 果実特性および収量性

‘あのみのり’と比較して、商品果収量、A品果率および果形が良好で、1果重、果皮色および光沢は同等であった。‘式部’と比較した場合、商品果収量は劣るものの、A品果率は同等またはやや優る傾向にあった(表

表－17 系統適応性検定試験における ‘あのみり2号’ の一般形質および総合評価（‘あのみり’ 対比）

検定場所	試験年度	接ぎ木の難易	草勢			収量				上物率	1果重	果形	果皮色	へた色	果実光沢	総合評価
			前期	中期	後期	前期	中期	後期	総計							
新潟農総研	2011	B	B	B	B	A	A	A	A	B	A	A	B	B	C	A
	2012	B	B	B	B	B	B	B	A	B	A	A	B	B	C	A
	2013	B	B	B	B	A	A	A	A	B	A	A	B	B	C	A
栃木農試	2011	—	B	B	B	A	A	A	A	B	A	B	B	B	B	A
岡山農総セ	2011	B	B	B	B	B	A	A	A	A	B	A	B	B	B	A
	2012	B	B	B	B	A	A	B	A	A	B	A	B	B	B	A
	2013	B	B	B	B	B	A	B	A	A	B	A	B	B	B	A
高知農技セ	2011	B	B	B	B	B	B	B	B	A	B	A	A	B	B	B
	2012	B	B	B	B	B	A	B	A	A	B	A	A	B	B	A
熊本農研セ	2011	B	B	B	B	A	A	A	A	A	B	A	A	B	A	A
	2012	B	B	B	B	A	A	A	A	A	B	A	B	B	A	A
評価のまとめ	A	0	0	0	0	6	9	6	10	7	4	10	3	0	2	10
	B	10	11	11	11	5	2	5	1	4	7	1	7	11	6	1
	C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0

A:優れる, B:同等, C:劣る.

表－18 系統適応性検定試験における ‘あのみり2号’ の一般形質および総合評価（参考品種対比）

検定場所	試験年度	接ぎ木の難易	草勢			収量				上物率	1果重	果形	果皮色	へた色	果実光沢	総合評価	
			前期	中期	後期	前期	中期	後期	総計								
新潟農総研	2011	B	A	A	A	C	B	A	B	A	A	A	B	B	A	B	
	2012	B	A	B	B	C	B	C	C	A	A	A	B	B	A	A	
	2013	B	A	A	A	C	B	C	C	A	A	A	B	B	A	A	
栃木農試	2011	—	A	A	A	C	C	C	C	A	A	B	B	B	A	C	
岡山農総セ	2011	B	A	B	B	A	A	A	A	A	A	A	B	B	B	A	
	2012	B	A	C	C	A	B	C	B	A	A	A	B	B	B	A	
		B	A	C	C	A	C	C	C	A	A	A	B	B	B	A	
2013	B	A	C	C	A	B	B	B	A	A	A	B	B	B	A		
	高知農技セ	2011	B	A	B	A	C	C	C	C	B	A	B	C	B	B	C
		2012	B	A	B	A	C	C	B	C	A	A	B	B	C	B	C
熊本農研セ	2011	B	A	A	A	B	A	C	B	A	C	A	A	B	A	C	
	2012	B	A	A	A	B	C	C	C	A	C	A	B	B	A	C	
評価のまとめ	A	0	12	5	7	4	2	2	1	11	10	9	1	0	6	6	
	B	11	0	4	2	2	5	2	4	1	0	3	9	11	6	1	
	C	0	0	3	3	6	5	8	7	0	2	0	1	1	0	5	

A:優れる, B:同等, C:劣る.

新潟農総研および岡山農総セは‘千両二号’対比, 栃木農試は‘式部’対比, 高知農技セは‘土佐鷹’対比, 熊本農研セおよび2012年岡山農総セの下段は‘筑陽’対比.

表－19 協定研究場所における試験概要 (1)

試験場所	作型	試験年度	播種日	定植日	うね間 (cm)	株間 (cm)	栽植本数 (株/a)	整枝法	収穫期間
埼玉農林総研セ	半促成	2011	11/4	2/15	125	60	170	3本	4/1~6/30
		2012	11/5	2/27	125	60	170	3本	4/1~7/10

表－20 協定研究場所における試験概要 (2)

試験場所	作型	試験年度	台木品種名	施肥量 (kg/a) N	試験規模
埼玉農林総研セ	半促成	2011	ヒラナス 台太郎	2.7	8株 x 2反復
		2012	ヒラナス 台太郎	2.7	8株 x 2反復

表-21 協定研究地における試験結果

試験地	試験年度	作型	品種名	台木	着果促進処理	商品果収量		果重	果形	果皮色	光沢	評価標準対比
						総計(kg/a)	A品果率(%)					
埼玉農総研セ	2011	半促成	あのみのもり2号	ヒラナス	無	539	82	重	極良	黒紫	良	○
				台太郎	無	758	84					
			あのみのもり	ヒラナス	無	492	73	やや重	中	黒紫	良	
				台太郎	無	564	72					
			式部	ヒラナス	有	641	82	中	良	黒紫	中	
				台太郎	有	806	77					
	2012		あのみのもり2号	ヒラナス	無	491	64	重	極良	黒紫	良	○
				台太郎	無	661	76					
			あのみのもり	ヒラナス	無	539	72	やや重	中	黒紫	良	
				台太郎	無	600	68					
			式部	ヒラナス	有	650	64	中	良	黒紫	中	
				台太郎	有	734	70					

‘あのみのもり’を標準品種とした。

A品果率 = A品果数/収穫果数。

評価は‘ヒラナス’台木と‘台太郎’台木の場合を総合的に判断し、優れる(○)、同等(△)、劣る(×)。

— 21). なお、台木として‘ヒラナス’より‘台太郎’を用いた方が収量性は高かった。着果促進処理を行わずに栽培した‘あのみのもり2号’は、着果促進処理を行った‘式部’よりも収量性が低かったものの、実用上十分な水準の収量性を示した。

## 5 用途、適応作型、適応地帯等

用途は、生食、調理および加工用である。また、‘あのみのもり’が北海道から鹿児島県までの全国各地の種々の作型で栽培されている実績があることから‘あのみのもり2号’も全国各地における種々の作型で栽培可能と判断される。なお、栃木県および岡山県では現地における試作が始まっている。

## 6 栽培上の留意点

種々の作型において栽培可能で、いずれの作型においても‘あのみのもり’よりも収量性は高いが、着果促進処理した市販品種よりも収量が劣る場合がある。栽培管理は、‘あのみのもり’と同様、粗放的な管理で省力栽培が可能であるが、‘あのみのもり’と比較すると、やや整枝労力を要する。したがって、収量性よりも省力性を嗜好する生産者には‘あのみのもり’が適し、‘あのみのもり’の収量性では物足りない生産者には‘あのみのもり2号’が適すると思われる。

## IV 考察

2006年に育成(2009年品種登録)された単為結果性ナス品種‘あのみのもり’の推定普及面積は26ha(2009

年)、37ha(2010年)および41ha(2012年)と漸増している(筆者推定値)。生産者や普及担当者等との意見交換によると、栽培の省力性と果実品質への評価が高く、その高評価が普及面積の増加傾向を維持していると思われる。一方、‘あのみのもり’を試作したものの、本格的導入に至らなかった事例について、その理由を確認すると、低収量性を指摘する回答が多かった。また、‘あのみのもり’の生産者からは低温期に果形が細長くなりやすいとの指摘も多かった。そこで、単為結果性という長所を保ちつつ、これら問題点を解決するために、‘あのみのもり’よりも収量性が高く、環境条件による果形の変化が少ない品種の育成に取り組んだ。

‘中生真黒’、‘Talina’および‘なす中間母本農1号’を素材として‘あのみのもり’の育成過程で得た単為結果性固定系統10点(AE-P01, 02, 03, 05, 06, 08, 10, 11, 12および14)および上述の3品種に加えて‘千両二号’を素材として育成した単為結果性固定系統8点(AE-P21, 22, 23, 24, 25, 26, 27および28)を得、これら固定系統間で多数の組合せの一代雑種(F<sub>1</sub>)を試交系統として作出した。収量性および果実形質を中心に評価し、それらの中で実用品種として最も有望であった‘あのみのもり2号’を選抜した。

‘あのみのもり2号’と‘あのみのもり’は、いずれも‘AE-P01’を片親としている。したがって、‘あのみのもり2号’が‘あのみのもり’よりも収量性および果形の安定性が高いのは、もう一方の片親である‘AE-P24’の特性によると思われる。‘AE-P24’の育成過程では、‘千両二号’が交雑されていることから、‘千両二号’に由来する特性が影響した可能性が高いと考えられる。

単為結果性の遺伝については、‘あのみり2号’の片親である‘AE-P01’と姉妹系統である‘AE-P03’を用いた遺伝解析試験が行われ、正常に肥大する単為結果性には少なくとも2つ以上の遺伝子が関与していると推察された(齊藤ら, 2004, 2005)。また、‘LS1934’と‘AE-P03’を両親とした解析集団および‘中生真黒’と‘AE-P03’を両親とした解析集団を用いたQTL解析が実施され、第3染色体および第8染色体上にQTLが認められている(Miyatakeら, 2012)。単為結果性の選抜には、開花期まで植物体を養成し、除雄や柱頭切除後の果実肥大を観察する必要があることから時間と熟練を要するため、単為結果性に連鎖したDNAマーカーは単為結果性ナス育種上、非常に有用である。現在、当研究領域では、単為結果性に連鎖したDNAマーカーを利用したマーカー選抜育種を実施している。

ナス科野菜の国内における単為結果性の実用品種育成に目を向けると、トマトでは訪花昆虫の利用や着果促進処理を不要とするために‘ラークナファースト’(菅原ら, 1995)、『ルネッサンス’(菅原ら, 2002)および‘パルト’(株式会社サカタのタネ)等が育成され、現場への普及が進みつつある。ナスでは2005年に高知県内限定ではあるものの、国内初の単為結果性品種として‘はつゆめ’(松本ら, 2007)が育成された。また、前述のように野菜茶研が‘あのみり’(齊藤ら, 2007)を、愛知県と野菜茶研が‘とげなし輝楽’(穴井ら, 2009年)を、佐賀県が‘佐賀N1号’(木下ら, 2011年)を、福岡県と野菜茶研が‘省太’(古賀ら, 2013年)を育成する等、単為結果性ナス育種は活気を帯びている。これら単為結果性品種を用いた場合の省力性は、例えば‘あのみり’については「単為結果性ナス品種「あのみり」を利用した省力的ナス栽培マニュアル」(日本施設園芸協会, 2010)に示されている。今後は、よりいっそう単為結果性ナス品種の開発およびこれら品種を用いた栽培法の開発が進むと思われる。

なお、当研究領域ではナス近縁種の細胞質由来する雄性不稔系統を見出したので(Saitoら, 2009)、単為結果性との複合化により、完全に無種子で高品質な省力的品種の育成にも取り組んでいる。

## V 摘 要

1) ‘あのみり2号’は、‘AE-P01’(2009年3月19日品種登録第18151号)を種子親、‘AE-P24’を花粉親とした一代雑種で2014年に品種登録出願された(品

種登録出願番号第29067号, 2014年3月28日)。「AE-P01」は、イタリアから導入したナス品種‘Talina’を単為結果性の育種素材とし、‘中生真黒’および‘なす中間母本農1号’を交雑した後代から選抜して育成した品種である。また、‘AE-P24’は‘Talina’、‘中生真黒’、‘なす中間母本農1号’および‘千両二号’を育種素材として交雑した後代から選抜した品種で2014年に品種登録出願された(品種登録出願番号第29068号, 2014年3月28日)。

2) ‘あのみり2号’は、高い単為結果性を有するため、正常果の割合が高く、低温期である促成作型において、着果促進処理を行わなくても商品果の生産が可能である。

3) ‘あのみり2号’は、‘あのみり’よりも1株当たりの商品果数が多く、収量性が高い。また、‘あのみり2号’の1果重は‘千両二号’よりも重く、‘あのみり’とほぼ同等である。

4) ‘あのみり2号’の果実は長卵形で美しく、栽培する環境条件等による果形の変化が‘あのみり’よりも少ない。

5) 着果促進処理が不要で、側枝の伸長がゆるやかなため、栽培の省力化が可能である。‘あのみり’と同様、全国の種々の作型で栽培可能である。

## 引用文献

- 1) 穴井尚子・久野哲志・田中哲司・番喜宏・榊原政弘・山下文秋・矢部和則・齊藤猛雄・吉田建実・松永啓・佐藤隆徳・斎藤新・山田朋宏(2009): 単為結果性ととげなし性を併せ持つ「試交05-3」の育成。愛知農総試研報., 41, 67-75.
- 2) Donzella, G., A. Spena and G. L. Rotino (2000): Transgenic parthenocarpic eggplants: superior germplasm for increased winter production. *Mol. Breed.*, 6: 79-86.
- 3) 木下剛仁・石橋泰之・西美友紀・中島寿亀(2011): 単為結果性を有する長ナス新品種‘佐賀N1号’の育成。園学研., 10別1, 148.
- 4) 古賀武・下村克己・末吉孝行・三井寿一・浜地勇次・齊藤猛雄・松永啓・斎藤新(2013): 単為結果性ナス新品種‘省太’の育成。福岡農総試研報., 32, 52-58.
- 5) 玖波井邦昭・松島貴則(2004): 花粉媒介昆虫と天敵を利用した施設ナス栽培体系の経営的評価。高知農技セ研報., 13, 1-12.
- 6) 松本満夫・岡田昌久・小松秀雄・石井敬子・宮崎清宏・猪野亜矢(2007): 単為結果性ナス‘はつゆめ’の育成。高知農技セ研報., 16, 53-58.
- 7) Miyatake, K., T. Saito, S. Negoro, H. Yamaguchi, T. Nunome, A. Ohyama and H. Fukuoka (2012): Development of selective markers linked to a major QTL for parthenocarpy in eggplant (*Solanum melongena* L.). *Theor. Appl. Genet.*, 124, 1403-1413.
- 8) 門馬信二(1996): 単為結果性ナスの特性と今後の利用。施設

- 園芸, 38, 30-33.
- 9) 岡田昌久・松本満夫・和田敬・小松秀雄・高橋昭彦・橋本和泉・新田益男 (2007): 促成栽培用ナス品種‘土佐鷹’の育成. 高知農技研報., 16, 39-44.
  - 10) Saito, T., T. Yoshida, S. Monma, H. Matsunaga, T. Saito, A. Saito and T. Yamada (2009): Development of the parthenocarpic eggplant cultivar ‘Anominori’. *Jpn. Agric. Res. Q.*, 43, 123-127.
  - 11) 齊藤猛雄・吉田建実・門馬信二・松永啓・佐藤隆徳・斎藤新・山田朋宏 (2007): 単為結果性ナス品種‘あのみり’の育成経過とその特性. 野菜茶研報., 6, 1-11.
  - 12) 齊藤猛雄・宮武宏治・斎藤新・山田朋宏・福岡浩之 (2004): ナス単為結果性の評価法. 育学研., 6別2, 248.
  - 13) 齊藤猛雄・吉田建実・森下昌三 (2005): 育種面からみた省力・快適化への研究戦略. 野菜茶研集報., 2, 29-35.
  - 14) Saito, T., H. Matsunaga, A. Saito, A. Hamato, T. Koga, T. Suzuki and T. Yoshida (2009): A novel source of cytoplasmic male sterility and a fertile restoration gene in eggplant (*Solanum melongena* L.) lines. *J. Jpn. Soc. Hort. Sci.*, 78, 425-430.
  - 15) 菅原眞治・坂森正博・青柳光昭 (1995): 温室トマトへの単為結果性因子の導入 (第3報) 単為結果性トマト新品種‘ラクナファースト’の育成. 愛知農総試研報., 27, 167-173.
  - 16) 菅原眞治・榎本真也・大藪哲也・矢部和則・野口博正 (2002): 完熟収穫型単為結果性トマト品種‘ルネッサンス’の育成経過と特性. 愛知農総試研報., 34, 37-42.
  - 17) (社)日本施設園芸協会 (2010): 単為結果性ナス品種「あのみり」を利用した省力的ナス栽培マニュアル. (<http://www.jgha.com/files/houkokusho/21/anominori.pdf>)

## Development of the Parthenocarpic Eggplant Cultivar ‘Anominori 2 go’

Takeo Saito, Hiroshi Matsunaga, Atsushi Saito, Tatemi Yoshida and Shinji Monma

### Summary

The set and growth of eggplant fruits can be improved by using pollinator insects or by treating flowers with phytohormones. These techniques can be costly and labor-intensive. Parthenocarpic cultivars offer the most cost-effective solution to improving fruit set and growth under suboptimal conditions. ‘Anominori 2 go’, a parthenocarpic eggplant cultivar developed at the NARO Institute of Vegetable and Tea Science in 2011, is an F<sub>1</sub> hybrid between two parthenocarpic inbred lines, ‘AE-P01’ and ‘AE-P24’. ‘AE-P01’ was selected from a cross between ‘Talina’ (a commercial parthenocarpic F<sub>1</sub> hybrid that is widely grown in Italy) and ‘Nasu Chukanbohon no 1 go’ (a Japanese parental line). ‘AE-P24’ was developed from selective crossing of ‘Nakate Shinkuro’ (a Japanese traditional cultivar), ‘Talina’, ‘Nasu Chukanbohon no 1 go’, and ‘Senryo nigo’ (a commercial F<sub>1</sub> hybrid that is widely grown in Japan). ‘Anominori 2 go’ produces commercial yields without phytohormone treatment; yields are higher than those of ‘Anominori’, another parthenocarpic cultivar developed at our institute.

Accepted: July 11, 2014

Vegetable Breeding and Genome Division  
360 Kusawa, Ano, Tsu, Mie, 514-2392 Japan

## Bar-Coded Split Tag (BStag) を用いた DNA マーカーのポストラベル条件の検討

小西 あや子\*・大山 暁男\*\*・柿崎 智博・宮武 宏治  
山口 博隆・布目 司・福岡 浩之

(平成 26 年 8 月 15 日受理)

## Optimization of Post-Labeling Conditions for DNA Markers Using a Bar-Coded Split Tag (BStag)

Ayako Konishi, Akio Ohyama, Tomohiro Kakizaki, Koji Miyatake,  
Hirotaka Yamaguchi, Tsukasa Nunome and Hiroyuki Fukuoka

### I 緒 言

DNA マーカーを利用した選抜技術は、多数の優良形質を集積する必要がある作物育種の現場において、選抜の効率化、省力化さらには早期選抜による育種年限短縮のための重要な手法の一つである。効果的に DNA マーカー選抜を行うためには、操作が簡便でアレル変異の検出力が高く汎用性に優れた DNA マーカー、特に SSR などの PCR ベースマーカーを多数用意する必要がある。SSR マーカーの多型を検出するには、電気泳動による PCR 増幅産物サイズの識別が必要になるが、育成現場においては栽培種内それも系譜が似る系統同士の交雑も日常的である。このような非常に近い系譜間の交雑においてはアレルサイズの多型が極めて小さいことが多く、識別には蛍光 DNA シーケンサ等の解像力の高い分析装置の使用が前提となる。しかしながら、蛍光 DNA シーケンサを用いた増幅サイズの識別においては、可視化のための増幅産物の蛍光標識も別途必要になる。予めプライマーを標識しておく方法は従来から広く用いられているが (Guichoux ら 2011)、全てのマーカー (プライマー) を標識するための初期投資が莫大になりがちである。こ

れを解決するための低コスト化手法が幾つか考案されている。PCR 反応の増幅産物に後から蛍光標識するポストラベル法については Iwahara ら (1995) や Inazuka ら (1996,1997) によって報告されており、これらは蛍光プライマーの作成経費を削減できる手法として有用であるが、蛍光標識を行う際に非常に手間がかかる。一方、ユニバーサルプライマーを利用したポストラベル法は forward プライマーにユニバーサルプライマーを付加したものの、reverse プライマー、および蛍光標識したユニバーサルプライマーの 3 つのプライマーを用いた PCR を行うことで増幅産物が標識される方法であり、解析時の手間と経費を削減するために極めて有用である。これまでに Oettinger ら (1995)、Neilan ら (1997)、Schuelke (2000) が単一のユニバーサルプライマーと一種類の蛍光色素を用いたポストラベル法を報告しているが、似通ったサイズの増幅産物については同時に解析を行えないことから、一度に解析を行うマーカー数には限りがある。また、Missiaglia ら (2006) は複数のユニバーサルプライマーおよび複数の蛍光標識を PCR に用い、増幅産物を混合して分析を行ったが、1 つの反応で複数マーカーを用いた多型分析 (マルチプレックス PCR) を行うことは難しいとしている。一方、Guo ら (2003) は 2 つのユニバーサルプライ

〒 514-2392 三重県津市安濃町草生 360

野菜育種・ゲノム研究領域

\* 京都府農林水産技術センター生物資源研究センター

\*\* 野菜生産技術研究領域

マーにそれぞれ異なる蛍光標識をすることで、ポストラベルによるマルチプレックス PCR を可能とした。この手法の発展型として Shimizu ら (2011) が報告した bar-coded split tag (BStag) を利用した 1 チューブ多重ポストラベル法は、ユニバーサルプライマーとしての BStag 配列を付加したプライマーおよび同じ BStag 配列に対し蛍光標識したプライマーを混合して PCR を行う手法であり、通常の増幅反応に引き続き標識のための少数回の PCR を行うことで手間なくポストラベルができる。また、BStag 配列は特異性が高いため、1 つのチューブ内で複数のプライマーを用いた PCR の後、異なる蛍光色素で標識した BStag で増副産物を別個に標識することにより容易にマルチプレックス PCR ができることも大きな特徴である。本研究では、この手法を行う上で問題となる非特異の増幅産物を削減する方法および 1 反応で用いる最適プライマー数について検討を行った。

本研究は 2012 年 11 月まで野菜茶業研究所に依頼研究員として在籍した期間に行った研究であり、ご支援を頂いた野菜育種・ゲノム研究領域の諸氏ならびに宮崎県総合農業試験場の杉田亘博士に深く感謝いたします。

## II 材料および方法

### 1 植物材料

トウガラシ ‘京都万願寺 2 号’、‘S3586’、ナス ‘AE-P03’、トマト系統 ‘GMRF10-009’、キュウリ ‘CSPMR1’、メロン ‘AR5’、ネギ ‘夏扇 4 号’ およびイチゴ ‘中間母本 2 号’ の若い葉を採取し、DNA 抽出の材料とした。

### 2 植物体からの DNA の抽出

植物体の若葉約 50mg に対し DNeasy Plant Mini Kit (QIAGEN 社) の buffer AP1 400ul を加え、マルチビーズショッカー (安井器械) を用いて室温条件で破碎し、DNeasy Plant Mini Kit (QIAGEN 社) の添付プロトコルに基づき抽出した。抽出した DNA を Picogreen (invitrogen 社) で染色した後、プレートリーダー (ARVO MX, Perkin Elmer 社) で吸光度 (485nm/535nm) を測定し、定量した。

### 3 PCR 条件

PCR の酵素として、Shimizu ら (2011) で用いられている酵素 (KAPA 2G FAST, KAPA BIOSYSTEMS 社) と同一メーカーの Multiplex PCR 用酵素 (KAPA 2G FAST Multiplex Mix, KAPA BIOSYSTEMS 社) を供試した。PCR 溶液の組成は表-1 のとおりとした。PCR にはサーマルサイクラー (Gene Amp PCR System 9700, Applied Biosystem 社) を用いた。また、PCR の温度条件は表-2 のとおりである。蛍光標識されていないプライマーによる PCR 増幅産物は、2% アガロースゲル電気泳動を行った後 Et-Br (10 $\mu$ l/l) で染色し、目視でバンドを確認した。蛍光標識された PCR 増幅産物は、希釈後にホルムアミドおよびサイズマーカー (Gene-Scan-500LIZ Size Standard, Applied Biosystems) を加え、蛍光 DNA シーケンサ (3730 DNA Analyzer, Applied Biosystems) で泳動した。増幅産物の長さは GeneMapper ver.3.7 (Applied Biosystems) で解析した。

表-1 酵素毎の PCR 溶液

KAPA 2G FAST <sup>a</sup>		KAPA 2G FAST Multiplex Mix	
鋳型 DNA	10ng <sup>b</sup>	鋳型 DNA	10ng <sup>b</sup>
KAPA 2G Buffer A	1x	KAPA 2G FAST Multiplex Mix	1x
dNTP	0.2mM	BStag プライマー ミックス <sup>c</sup>	3pmol
MgCl <sub>2</sub>	0.5mM	蒸留水	up to 10 $\mu$ l
BStag プライマー ミックス <sup>c</sup>	3pmol		
又は BStag プライマー	0.5pmol		
KAPA 2G FAST	0.1U		
蒸留水	up to 10 $\mu$ l		

a Shimizuら(2011)

b Shimizuら(2011)の溶液では2.5ngであったが、酵素毎の推奨鋳型DNA量(KAPA 2G FAST:  $\leq$ 100ng KAPA2G FAST Multiplex Mix:4~100ng)を参考に10ngに変更した

c BStag プライマー ミックス

forward プライマー + BStag 0.5pmole

reverse プライマー 2pmole

蛍光標識した BStag 0.5pmole

表-2 PCR の温度条件

A <sup>a</sup>		B <sup>b</sup>		C <sup>b</sup>		D <sup>b</sup>				
94°C	3分	94°C	3分	94°C	3分	94°C	3分			
94°C	20秒	} x30	94°C	20秒	} x30	94°C	20秒	} x30		
54°C	30秒		62°C	60秒		60°C	30秒		60°C	30秒
62°C	30秒		72°C	60秒		72°C	60秒		72°C	30秒
94°C	20秒	} x3	94°C	20秒	} x3	94°C	20秒	} x3		
49°C	10秒		49°C	10秒		49°C	10秒		49°C	10秒
72°C	5秒		72°C	5秒		72°C	5秒		72°C	5秒
72°C	10分		72°C	10分		72°C	10分			

a Shimizuら(2011)

b 酵素毎の推奨温度条件を参考に条件を設定

KAPA 2G FAST(アニーリング:72°C 10秒, 伸長:72°C 1~15秒/kb)

KAPA 2G FAST Multiplex Mix(アニーリング:60°C 30秒, 伸長:72°C 15~90秒)

表-3 供試した BStag プライマーの配列

番号	名称	塩基配列
BS01	F9TCG	CTAGTATGAGGACTCG
BS02	F9AGC	CTAGTATCAGGACAGC
BS03 <sup>a</sup>	F9GAC	CTAGTATCAGGACTAC
BS04	F9CTG	CTAGTATGAGGACCTG
BS05	F9TGC	CTAGTATGAGGACTGC
BS06	F9ACG	CTAGTATCAGGACACG
BS07	F9CAG	CTAGTATCAGGACCAG
BS08 <sup>a</sup>	F9GTC	CTAGTATGAGGACGTC
BS09	F9CAC	CTAGTATGAGGACCAC
BS10 <sup>a</sup>	F9TAC	CTAGTATCAGGACTAC
BS11	F9AAG	CTAGTATGAGGACAAG
BS12	F9ACC	CTAGTATGAGGACACC
BS13 <sup>a</sup>	F9GCC	CTAGTATTAGGACGCC
BS14	F9TCC	CTAGTATCAGGACTCC
BS15 <sup>a</sup>	F9CCG	CTAGTATTAGGACCCG
BS16	F9CGC	CTAGTATAAGGACCGC
BS17 <sup>a</sup>	F9AGG	CTAGTATTAGGACAGG
BS18	F9ATG	CTAGTATCAGGACATG
BS19	F9GTG	CTAGTATAAGGACGTG
BS20	F9TTG	CTAGTATCAGGACTTG

a Shimizuら(2011)

#### 4 供試したプライマー

BStag プライマーには, Shimizu ら (2011) が報告した 6 種類に加え合計 20 種類を供試した (表-3)。また, そのうち 4 種類の BStag の 5' 末端に蛍光標識を付加したプライマー (BS08:FAM, BS10:NED, BS17:PET, BS20:VIC), およびトウガラシに特異的なプライマー配列に 4 種類の BStag を付加したプライマー (表-4) を供試した。

### III 結 果

#### 1 汎用性の高い BStag プライマーの検索

20 種類の BStag プライマーと 7 種類の植物由来 DNA を組合せ, Shimizu ら (2011) の反応条件 (表-2, A) で PCR を行い, 非特異の増幅産物を比較した。供試した DNA により非特異産物が増幅されにくい BStag プライマーが異なったが, BS08, BS10, BS20 の 3 つは 7 種類すべての植物由来 DNA で非特異産物が増幅されなかった (表-5, 図-1)。

#### 2 BStag を利用した多重ポストラベル法における PCR の温度条件の検討

トウガラシ '京都万願寺 2 号' の DNA および蛍光標識した BStag, トウガラシに特異的な BStag プライマーミックスを供試し, PCR の温度条件を検討した。PCR 溶液は Shimizu ら (2011) と同様にした (表-1, KAPA 2G FAST)。温度条件は Shimizu ら (2011) の条件を基に酵素供給元の推奨温度に従って設定した。表-2 の A ~ D の温度条件では, A で最も非特異の増幅産物が多かった。A の温度条件で多くの非特異産物が増幅されたプライマーでも, B または C に温度条件を変えることで非特異産物の増幅が抑えられた。しかし, B の温度条件では目的とする増幅産物も増幅しにくくなる傾向が見られた (表-6, 図-2)。

表-4 供試したプライマーの配列

名称	塩基配列 <sup>a</sup>
ge204F-BS08	<u>CTAGTATGAGGACGTC</u> AGACAGGTTATTAAGAGAGGTCTGGA
ge204R	GTTTAACTTTCAGCCAACCTAAACCCAA
ge104F-BS10	<u>CTAGTATCAGGACTAC</u> GAGTCATGTTGGAGCCACTT
ge104R	GTTTCTAAAGGAGAATCTTTTAATGAAGG
ge258F-BS17	<u>CTAGTATTAGGACAGGAT</u> CACCAAGGCTACAACCCTCCTA
ge258R	GTTTGAAGGTATAGGTCCCAAGGGGAT
ge246F-BS20	<u>CTAGTATCAGGACTTG</u> ATTTCAACTCGACACGATTCACCA
ge246R	GTTTAAGGAAGGTCGAATGAACGCATAA
es709F-BS08	<u>CTAGTATGAGGACGTC</u> ATACTATTGGCACCAAGTTCAGGC
es709R	GTTTGCAGAGAAGACTCACCAGTCCTAGC
ge095F-BS10	<u>CTAGTATCAGGACTAC</u> GACAAAAATACCCTTATCACAC
ge095R	GTTTAATCAAACATGTAAGATACG
ge267F-BS17	<u>CTAGTATTAGGACAGGAT</u> GGAAGGGAGAAATGAGGGATCT
ge267R	GTTTCACGTTGAGTGAGGGTATCCAGTG
es762F-BS20	<u>CTAGTATCAGGACTTG</u> AGGATGTTATTCTTCAACGTTGGCT
es762R	GTTTCCTGGACTTTTTCCAGTACCTGC
ge266F-BS08	<u>CTAGTATGAGGACGTC</u> AACGACATCACTCACAGACAATCG
ge266R	GTTTGGAGTGAAGCTGGTGATGCTTTTT
ge041F-BS10	<u>CTAGTATCAGGACTAC</u> ATGTAGAGAGGGATGGTGAAAGCC
ge041R	GTTTAAGAGACCACACCGAACAAGAAGC
es741F-BS17	<u>CTAGTATTAGGACAGGAT</u> AGGGAAGCGGAAACTTGAAGAG
es741R	GTTTCCAGGGTGATATCAAAGCCCT
es734F-BS20	<u>CTAGTATCAGGACTTG</u> ATGGAGCACCATACTCAAACAACC
es734R	GTTTACATCTCCCGACTGAAACTCCG
HpmsE016F-BS20	<u>CTAGTATCAGGACTTG</u> CCAAGTTCAGGCCCAGGAGTAA
HpmsE016R	GTTTGCAGAGAAGACTCACCAGTCC
es728F-BS08	<u>CTAGTATGAGGACGTC</u> ATCGAACACTCGCACACTTCTCT
es728R	GTTTGGTGCATCTCCGCTTAGTGTTA
es737F-BS10	<u>CTAGTATCAGGACTAC</u> ACAACCTCACCTACTCAATGGATGG
es737R	GTTTGAGACCTTCTTCGAATCGGTTTCA
PM32F-BS17	<u>CTAGTATTAGGACAGGCT</u> ACTAGCTACACTCCCACA
PM32R	GTTTCGGTGGAGCCTCCTCT
es742F-BS08	<u>CTAGTATGAGGACGTC</u> AGCGCAAGAAGAAAGGAGGTAAGG
es742R	GTTTCCCCTCCTCTTCAAATCATCC
HpmsE072F-BS17	<u>CTAGTATTAGGACAGGGCT</u> CATCAACCCACCTTCATCA
HpmsE072R	GTTTGCCTTGTCCGAGTAGGGAAG
es738F-BS17	<u>CTAGTATTAGGACAGGAG</u> CTCGCAATTTCACTTCAGTTAC
es738R	GTTTGCCTAGGGAGGAGCGATAGAGAA
PM6F-BS10	<u>CTAGTATCAGGACTAC</u> CACGCCAAGAAAATCATCTCC
PM6R	GTTTCAGAGATGGAGACCTGAGC
es732F-BS08	<u>CTAGTATGAGGACGTC</u> AGATGGGATGCAAGAGTTTCATGT
es732R	GTTTCCCACGTTATACCATCCAGGTTGT
Hpms2-21F-BS20	<u>CTAGTATCAGGACTTG</u> TTTTTCAATTGATGCATGACCGATA
Hpms2-21R	GTTTGTCAATTTGTCATTGATTTGG

a 下線部分: BStag配列

### 3 BStag を利用した多重ポストラベル法に使用する酵素およびプライマー数の検討

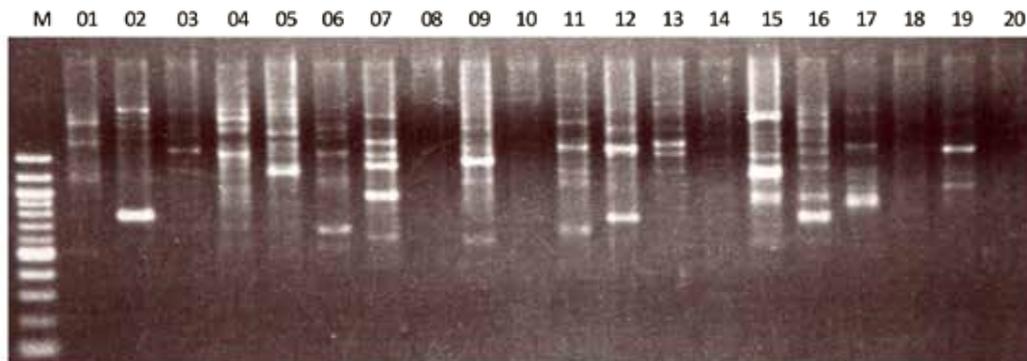
トウガラシの DNA およびトウガラシに特異的なプライマーの BStag プライマーミックスを供試して, KAPA 2G FAST (反応温度: 表-2, A) と KAPA 2G FAST

Multiplex Mix (表-2, C) の比較を行った. 両方の酵素で同様に目的とする増幅産物が得られた. 非特異的増幅産物は KAPA 2G FAST Multiplex Mix の方が少なかった (図-3). 1 反応で同時に増幅させるプライマーの数を検討したところ, プライマー対が 4 組以下の場合

表－5 BStag プライマーによる作物ごとの増幅産物の比較

プライマー名	作物名						
	トウガラシ	ナス	トマト	キュウリ	メロン	ネギ	イチゴ
BS01	++	++	++	++	++	++	+
BS02	++	-	++	++	++	++	+
BS03	+	++	-	+	++	++	+
BS04	++	++	+	++	++	+	++
BS05	++	++	++	+	++	++	++
BS06	++	+	+	++	+	+	++
BS07	++	++	++	++	++	++	++
BS08	-	-	-	-	-	-	-
BS09	++	++	++	++	++	++	++
BS10	-	-	-	-	-	-	-
BS11	++	++	-	++	++	++	+
BS12	++	++	++	++	++	++	++
BS13	++	++	++	++	++	++	++
BS14	-	+	+	+	+	-	-
BS15	++	++	++	++	++	++	++
BS16	++	++	++	++	++	++	++
BS17	++	++	+	++	++	-	+
BS18	-	+	+	-	++	-	-
BS19	+	+	++	++	++	-	-
BS20	-	-	-	-	-	-	-

a - : 増幅なし, + : 1~2つの増幅産物あり, ++ : 3つ以上の増幅産物あり



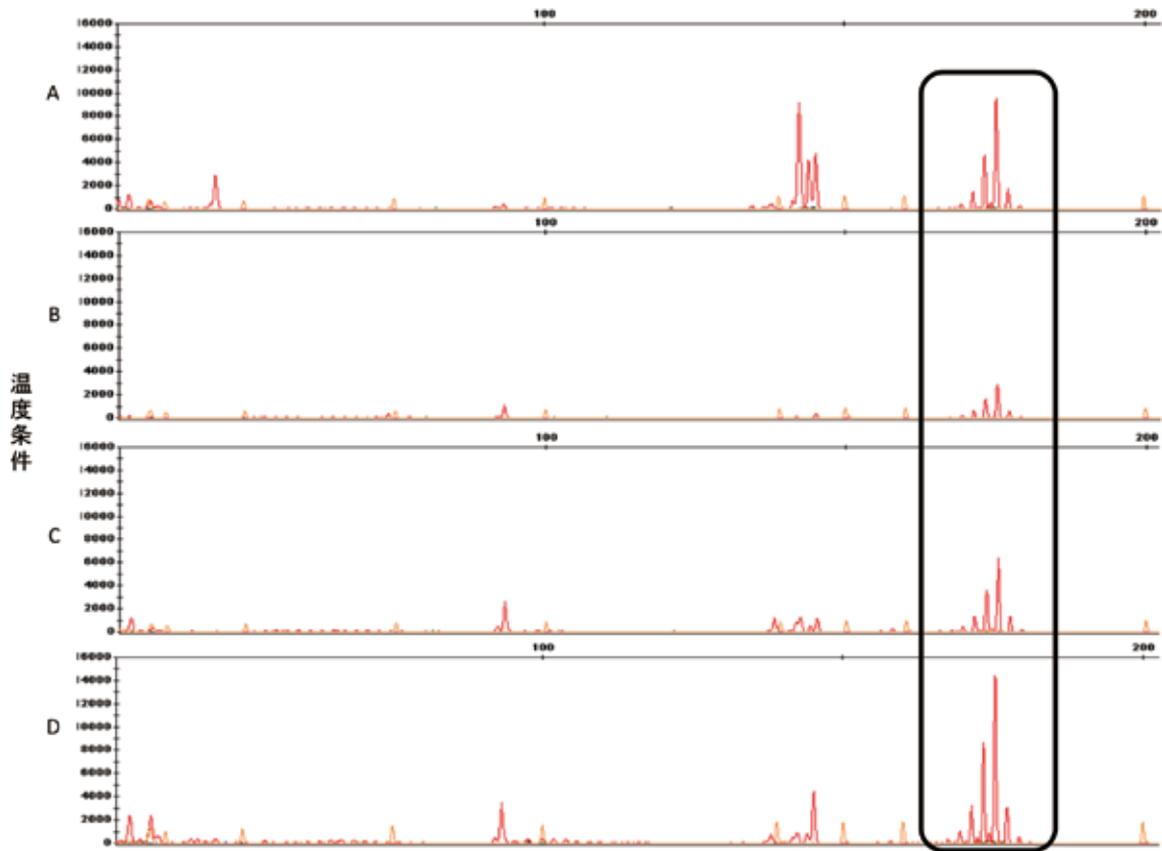
図－1 BStag による増幅産物（鋳型 DNA：トウガラシ ‘S3586’）

M : 100bp ladder marker ; 01 ~ 20 : BS01 ~ BS20

表－6 非特異および目的とする増幅産物の温度条件による比較

プライマー名	非特異の増幅産物				目的とする増幅産物			
	温度条件				温度条件			
	A	B	C	D	A	B	C	D
BS08	-	-	-	-				
BS10	-	-	-	-				
BS17	++	-	-	-				
BS20	+	-	-	-				
ge204-BS08	-	-	-	-	++	+	++	++
ge104-BS10	++	-	+	+	++	+	++	++
ge258-BS17	++	-	++	++	++	++	++	++
ge246-BS20	++	-	+	+	++	+	++	++
es709-BS08	+	-	-	-	++	+	++	++
ge095-BS10	++	-	+	+	++	++	++	++
ge267-BS17	-	-	-	-	++	+	++	++
es762-BS20	+	-	-	-	++	+	++	++

a - : 増幅なし, + : 増幅産物あり, ++ : はっきりした(複数の)増幅産物あり



図－2 異なる温度条件での増幅産物の比較

鋳型 DNA: トウガラシ '京都万願寺2号', プライマー: ge258-BS17

囲み内のバンド: 目的の増幅産物 (アレル数: 1)

はどちらの酵素でも同様の増幅産物が得られたが、プライマー対が6組以上になると KAPA 2G FAST で増幅が減少し、プライマーによっては増幅産物が得られない場合もあった (図-3)。KAPA 2G FAST Multiplex Mix を用いた場合、6組以上のプライマー対でも増幅産物が得られ、最大8組のプライマー対を用いた多型解析も可能であった (図-3)。複数のプライマー対を用いたマルチプレックス PCR では溶液中に複数の蛍光標識 BStag が混在するが、増幅産物はそれぞれのプライマー対に対応した蛍光標識 BStag のみで標識された (図-3)。

#### IV 考 察

BStag を利用した多重ポストラベル法を効率よく行うためには、まず使用する BStag プライマーを選抜する必要があるが、本研究の結果 BS08, BS10, BS20 が様々な植物由来 DNA に対し汎用性が高いと考えられた。Shimizu ら (2011) の報告ではカンキツ、リンゴ、ニホンナシ、ニホングリ、オウトウ、ダイズ、キュウリ、ナス、トマト、

スイカ、トウガラシ、ハウレンソウで検討され、上記3種類の BS-Tag 以外にも BS03, BS13, BS15, BS17 でも非特異産物が増幅されないと報告している。本試験では Shimizu ら (2011) より鋳型 DNA の供試量を増やしていることも非特異産物が多く見られた一因と考えられるが、品種や系統により非特異産物の増幅程度に差があることも推測された。また、本研究で用いた BStag 以外にも BStag の設計ができるため、非特異産物の増幅が多く見られる場合には他の BStag 配列を検討する必要がある。

一方、Shimizu ら (2011) の反応条件で PCR を行い非特異産物の増幅が多かった場合には、アニーリング温度を上げるなど反応温度を変えることで減らすことが可能であった。特に、目的とする増幅産物の付近に非特異産物の大きな増幅が見られる場合には、有効な手段と考えられる。しかし、アニーリング温度を上げることにより、目的とする増幅産物の増幅が減少してしまう場合もあるため (表-6, 図-2)、用いるプライマーによっては注意が必要である。

また、一度のマルチプレックス PCR に用いるプライ

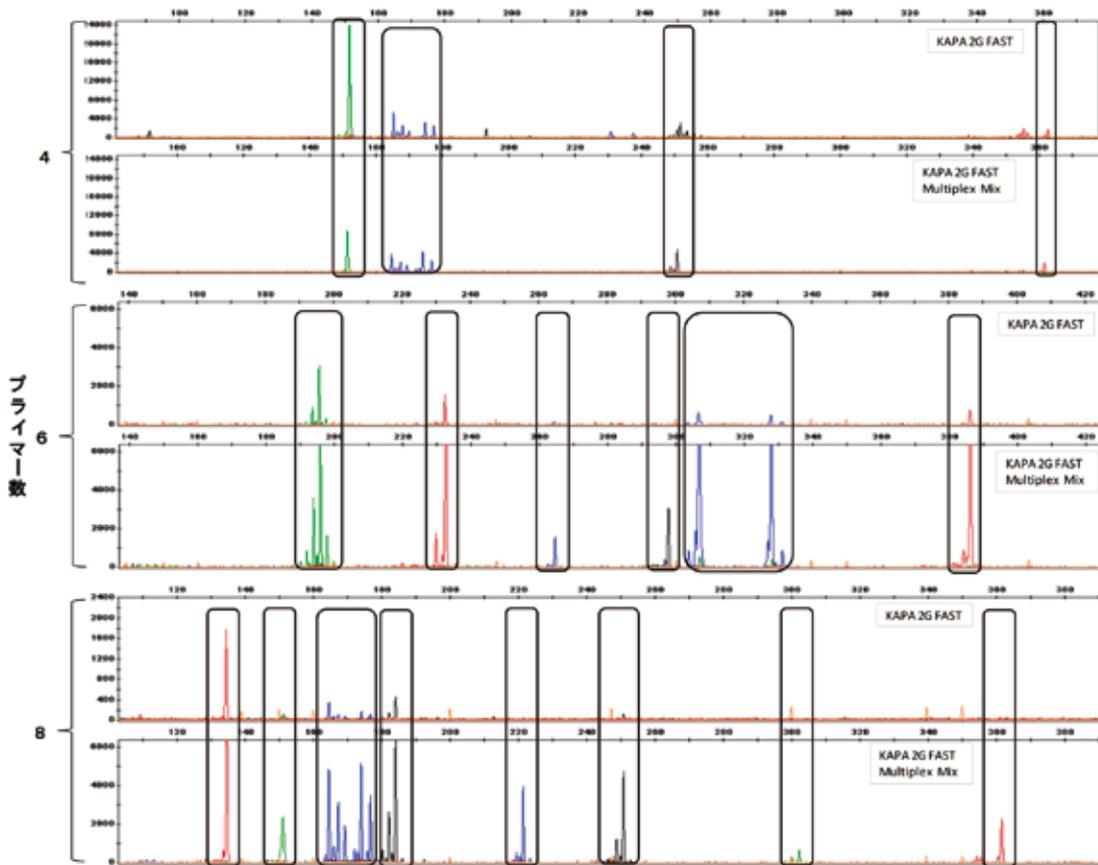


図-3 供試した酵素およびプライマー数による増幅産物の比較

鋳型 DNA：トウガラシ ‘京都万願寺 2 号’

上段：KAPA 2G FAST，下段：KAPA 2G FAST Multiplex Mix

プライマー：

4 組 (ge266-BS08, ge041-BS10, es741-BS17, es734-BS20)

6 組 (HpmsE016-BS20, es728-BS08, es737-BS10, PM32-BS17, es742-BS08, HpmsE072-BS17)

8 組 (ge266-BS08, ge041-BS10, es741-BS17, es734-BS20, es738-BS17, PM6-BS10, es732-BS08, Hpms2-21-BS20)

囲み内のバンド：目的の増幅産物

マー対が 4 組以下の場合、原報どおりの溶液および条件で問題がなかったが、プライマー対が 6 組以上の場合は増幅産物が減少してしまう傾向が見られた (図-3)。この場合、コストはやや上がるが酵素を KAPA 2G FAST から Multiplex 専用酵素 (KAPA 2G FAST Multiplex Mix) に変更することで対応が可能であった。この Multiplex 専用酵素 (KAPA 2G FAST Multiplex Mix) は、大幅に早い伸長率を持つホットスタート DNA ポリメラーゼを使用することで非特異産物を減少するとともに全体の反応効率を高めていることから、本試験でのマルチプレックス PCR においても多くのプライマー対での PCR が可能になったと考える。なお、複数のプライマーに対して同じ蛍光色素で標識された BStag を使用する場合には、増幅産物のサイズと BStag の組み合わせなどを配慮し、同じ蛍光色素で似通ったサイズの増幅

産物ができないよう供試するプライマーを選ぶ必要がある。本試験では 8 組のプライマーまでのマルチプレックス PCR が可能であったが (図-3)、多数のプライマーを用いたマルチプレックス PCR においては、単独反応時と比較して増幅が著しく劣るプライマーが存在する。そのため、多検体を供試する実験の前には、マルチプレックス PCR に不適なプライマーを予め除くなど詳細な検討が必要と思われる。

## V 摘 要

BStag を利用したポストラベル法およびマルチプレックス PCR に使用する、非特異産物が少なく、複数品目間で汎用性の高い BStag 配列を選抜することができた。また、BStag を用いた解析時に問題となる非特異の増幅

産物について、PCRの温度条件を変更することである程度軽減できた。また、一度のマルチプレックスPCRで用いるプライマー対が4組以下であれば、原報どおりの反応条件で問題はなかったが、6組以上のプライマー対を用いた場合、酵素をKAPA 2G FAST Multiplex Mixに変更することで解析が可能となった。

### 引用文献

- 1) Guichoux, E., L. Lagache, S. Wagner, P. Chaumeil, P. Leger, O. Lepais, C. Lepoittevin, T. Malausa, E. Revardel, F. Salin and R.J. Petit (2011): Current trends in microsatellite genotyping. *Molecular Ecology Resources*, 11, 591-611.
- 2) Guo, DC. and DM. Milewicz (2003): Methodology for using a universal primer to label amplified DNA segments for molecular analysis. *Biotechnol Lett.*, 25(24), 2079-2083.
- 3) Inazuka, M., T. Tahira and K. Hayashi (1996): One-tube Post-PCR Fluorescent Labeling of DNA Fragments. *Genome Research*, 6(6), 551-557.
- 4) Inazuka, M., HM. Wenz, M. Sakabe, T. Tahira and K. Hayashi (1997): A Streamlined Mutation Detection System: Multicolor Post-PCR Fluorescence Labeling and Single-Strand Conformational Polymorphism Analysis by Capillary Electrophoresis. *Genome Research*, 7(11), 1094-1103.
- 5) Iwahara, H., K. Adzuma, Y. Takahashi, R. Katashima, K. Yoshimoto and M. Itakura (1995): Multiple fluorescence-based PCR-SSCP analysis with postlabeling. *PCR Methods Appl.*, 4(5), 275-282.
- 6) Missiaggia, A. and D. Grattapaglia (2006): Plant microsatellite genotyping with 4-color fluorescent detection using multiple-tailed primers. *Genet Mol Res.*, 5(1), 72-78.
- 7) Neilan, BA., AN. Wilton and D. Jacobs (1997): A universal procedure for primer labelling of amplicons. *Nucleic Acids Res.*, 25(14), 2938-2939.
- 8) Oetting, WS., HK. Lee, DJ. Flanders, GL. Wiesner, TA. Sellers and RA. King (1995): Linkage Analysis with Multiplexed Short Tandem Repeat Polymorphisms Using Infrared Fluorescence and M13 Tailed Primers. *Genomics*, 30(3), 450-458.
- 9) Schuelke, M. (2000): An economic method for the fluorescent labeling of PCR fragments. *Nat Biotechnol.*, 18(2), 233-234.
- 10) Shimizu, T. and K. Yano (2011): A post-labeling method for multiplexed and multicolored genotyping analysis of SSR, indel and SNP markers in single tube with bar-coded split tag (BStag). *BMC Research Notes*, 4, 161.

## Optimization of Post-Labeling Conditions for DNA Markers Using a Bar-Coded Split Tag (BStag)

Ayako Konishi, Akio Ohyama, Tomohiro Kakizaki, Koji Miyatake, Hirotaka Yamaguchi, Tsukasa Nunome and Hiroyuki Fukuoka

### Summary

A post-labeling method for multiplexed genotyping analysis with a bar-coded split tag (BStag) is a useful tool to reduce labeling costs and the handling time of genotyping analyses. To apply this method to the genotyping of vegetables, we identified several BStag sequences that give no nonspecific amplified products with DNAs of various vegetable cultivars and lines. Changes to some PCR conditions, especially temperatures, also reduced nonspecific amplicons. Standard conditions using KAPA2G Fast DNA polymerase were sufficient for multiplex PCR analysis with up to four primers, but not with more than six primers. However, six to eight primers could be analyzed at once by using the KAPA2G Fast Multiplex Mix.

## 施設キュウリのハイワイヤー栽培における LAI 簡易推定

安 東赫・東出 忠桐・岩崎 泰永・河崎 靖・中野 明正

(平成 26 年 8 月 18 日受理)

### Estimation of Leaf Area Index of Cucumbers (*Cucumis sativus* L.) Trained on a High-Wire

Dong-Hyuk Ahn, Tadahisa Higashide, Yasunaga Iwasaki,  
Yasushi Kawasaki and Akimasa Nakano

#### I 緒 言

単位面積当たりの葉面積 ( $\text{m}^2\text{m}^{-2}$ ) である葉面積指数 (以下 LAI) は、群落の光合成速度や吸光係数、光利用効率の算出や成長解析などに重要なパラメータであるため (Monsi ら, 1953; 東出ら, 2012), 簡単に葉面積を推定する方法に関する研究も多数存在する (Robbins ら, 1987; Gamiely ら, 1991; Panta ら, 1995; Montero ら, 2000). 物質生産を向上させるためには、適切な LAI を維持することが重要とされており、栽培管理でも LAI を指標とし、栽植密度の調整や整枝、摘葉などを行うことが多い。

LAI を推定するためには、株ごとの葉面積を把握する必要があるが、破壊調査をしなければ実測することは困難である。非破壊観察および栽培管理で除去する下葉の実測値のみで簡便に LAI を推定できれば、効率的な栽培管理が可能となる。キュウリの個葉面積は着生する葉位によって、また、生育ステージによって変動することから、個葉数枚のみのデータによって簡単に LAI を推定するためには、これらの変動を考慮した手法を開発する必要がある。

キュウリの整枝誘引法には、つる下ろし栽培 (加藤ら, 2005; 太田ら, 2005) や摘心栽培 (千葉県農業試験場, 1999; 田中ら, 1998; 埼玉県園芸試験場, 1997), ハイワイヤー栽培 (田中ら, 1997; Hao ら, 2010) など様々

なものがある。さらに、施設の形状や栽培方式によって誘引方法や栽植密度などが異なるため、栽培管理マニュアルを作成することは、非常に困難である。

つる下ろしおよびハイワイヤー栽培のように枝に生長点を含め、多数の葉が順に着生する誘引法の場合、キュウリの葉は、生長点から分化・展開し、徐々に大きくなるが、ある葉齢を過ぎると大きさの変化は少なくなる。そのため、生長点に近い第 1 葉の個葉面積が最も小さく、下の葉になるほど徐々に大きくなり、ある葉位からは同様な葉面積となる。本研究では、このような特性に着目し、キュウリのハイワイヤー栽培において個葉面積および葉重を測定した結果から簡易的な LAI 推定モデルを作成し検証を行った。

#### II 材料および方法

本研究では、野菜茶業研究所武豊野菜研究拠点 (愛知県武豊町) 内のユニット工法ハウス ( $1,000\text{m}^2$ , 軒高: 3.5m) で栽培を行った。キュウリの供試品種として、日本型品種には 'エテルノ' (ときわ研究所) および 'フレスコダッシュ' (久留米原種育成会) を、英国温室型品種には 'Proloog RZ' (ライクズワーン) を用いた。栽培時期による影響を調べるため、また、LAI の推定および検証のため、春作と秋作を行った。

春作は 2013 年 5 月 17 日に 72 穴セルトレイに播種

し、閉鎖系苗生産システム（苗テラス、三菱樹脂アグリドリーム(株)）を利用して昼温 27℃、夜温 24℃、日長 12 時間、CO<sub>2</sub> 濃度 900 ppm、培養液 EC0.8 dSm<sup>-1</sup>（大塚 A 処方）の条件下で育苗後、5 月 31 日にロックウール養液栽培装置に定植した。ベッド間隔は 1.8 m で、ロックウールスラブ（900 × 150 × 75mm）あたり 5 株ずつ定植し、栽植密度が約 3.09 plant m<sup>-2</sup> になるようにした。定植後、培養液は大塚 A 処方を用い、掛け流し栽培を行った。培養液の EC は、定植時から生育初期までは 1.0 dSm<sup>-1</sup> で管理したが、成長に従い徐々に上昇させ、収穫開始以降は 1.5 dSm<sup>-1</sup> で管理した。株の主枝は摘みせず、すべての側枝を除去しながら 1 本仕立てのハイワイヤー誘引を行った。誘引の高さはベッドから 2.5m とし、上段に達すると約 30 cm ずつ下しを行った。つる下しの際、先端から 25 葉より下に着生した下葉は除去しながら栽培を行った。試験区は各品種 30 個体 × 2 反復の計 60 個体としたが、両端の 2 個体はボーダーとして調査対象から除外した。

秋作は 2012 年 9 月 6 日に播種し、苗テラスで 13 日間育苗後、9 月 19 日にロックウール養液栽培装置に定植した。秋作では、各品種 30 個体 × 3 反復の計 90 個体としたが、LAI が異なる材料を得るため、各品種の南側 45 株に対しては、誘引の高さを 1.6 m とし管理を行った。その他の育苗方法および栽培管理方法は春作と同様に行った。

図-1 には春作と秋作の栽培期間中の施設内気温および日射量を示した。いずれの作も栽培期間中、気温が 25℃ 以上になると換気扇が稼働し、天窗、側窓が開くように、15℃ 以下になると温風暖房機が稼働するように設定したが、春作では 30℃ を超える日が多く、平均気

温は 22 ~ 31℃ で推移した。秋作では後半は 15℃ を下回る日が多く、平均気温は 17.6 ~ 27.4℃ で推移した。施設内の日射量は秋作に比べて春作の方が高く推移し、定植後 48 日までの積算日射量は、春作が 560.1 MJm<sup>-2</sup> で、秋作は 446.8 MJm<sup>-2</sup> だった。室内の湿度および CO<sub>2</sub> 濃度は成り行きとした。栽培期間中は重量が 100g 前後に達した果実を収穫した。

春作での葉面積調査は、生育ステージが異なる 3 つの時期に行った。茎長が約 1.6m に達した定植後 20 日目、茎長が約 2.5m に達した定植後 28 日目および収穫期間が続いた定植後 69 日目に各試験区から標準的な株をランダムで選び、品種ごとに計 6 個体を採集し株に着生している各節のすべての葉を先端から順に分離し、一枚毎の個葉面積およびその生体重を測定した。葉長が 5 cm 以下の成長点付近の葉群をまとめて第 1 葉とし測定した。本実験では、第 1 葉を葉位 1 とし、下に行くほど、葉位が増えることとした。

秋作では収穫開始後 2 週間経った定植後 48 日目に各試験区から 6 個体を選び、品種ごとに 12 個体ずつ、計 36 株を調査した。葉面積測定には自動葉面積計（AAC-400、林電工）を用いた。

最大葉の個葉面積から LAI を推定するため、まず、各葉位の個葉面積（LAI<sub>i</sub>, m<sup>2</sup>）を最大葉の個葉面積（LAI<sub>m</sub>, m<sup>2</sup>）で割った値を相対葉面積比（以下 RLA, m<sup>2</sup>m<sup>-2</sup>）とした（式 1）。

$$RLA = LAI_i \div LAI_m \quad \text{式 1}$$

春作の 3 品種、6 株、3 時期の計 54 株から得られた葉のそれぞれの葉位 (n) と RLA データを用い、葉位を横軸とし、RLA を縦軸とした近似式 (F) を求めた。株に

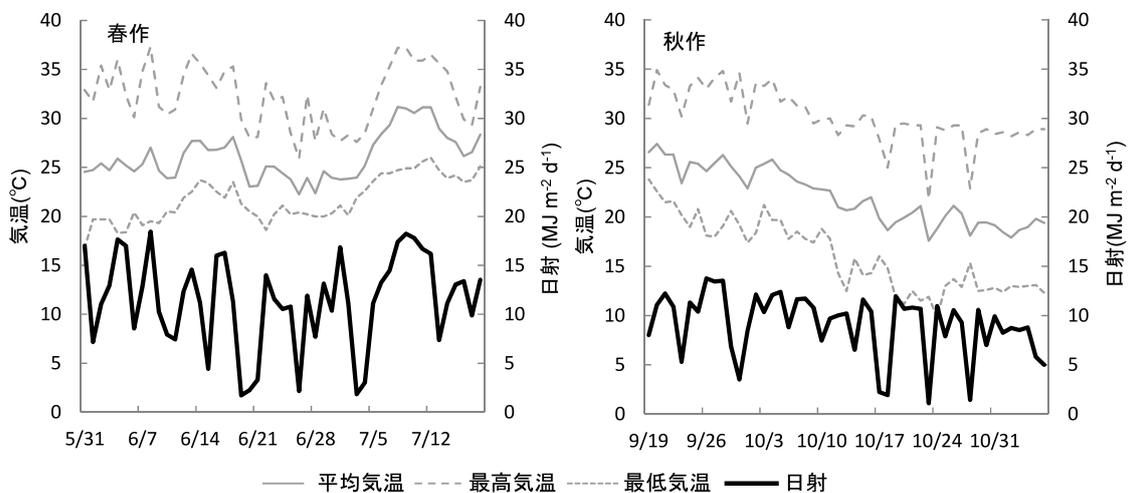


図-1 栽培期間中の施設内の気温および日射量

着生している葉位までの近似式の積分値と株ごとの最大葉の葉面積を用い、株当たりの葉面積 (LA,  $m^2 plant^{-1}$ ) を算出した (式 2)。

$$LA = \int_0^n F(n) dn \times LA_m \quad \text{式 2}$$

LAI ( $m^2 m^{-2}$ ) は株当たり葉面積と実験に用いた栽植密度 (PD,  $plant m^{-2}$ ) から算出した (式 3)。

$$LAI = LA \times PD \quad \text{式 3}$$

LAI の推定値を検証するために秋作の 3 品種、6 株、2 誘引方法の計 36 株から得られた葉位および個葉面積のデータを用い、算出した LAI 推定値と実測値との比較を行った。

### III 結果

#### 1 個葉面積と葉の生体重との関係

図-2 に春作の 3 品種における個葉の葉面積と生体

重との関係を示した。いずれの品種においても個葉面積と葉の生体重とは相関関係が高かった。また、生育ステージが異なる定植後 20 日、28 日、69 日目のキュウリの葉においても同様な傾向だった。

#### 2 栽培時期による個葉面積の変動

図-3 には葉位ごとの個葉面積における栽培時期の影響について調べるため、春作は定植後 28 日目の株を、秋作は定植後 48 日目の株を用いて、それぞれの葉位ごとの個葉面積の推移を示した。生長点から近い順に葉位を横軸とし、個葉面積を縦軸に示すと、実験に用いた 3 品種いずれも第 1 葉～10 葉では葉位が増加するほど、葉面積は著しく大きくなったが、第 10 葉以降の葉は同様な葉面積であった。春作と秋作の株は栽培時期は異なったものの、葉位ごとの個葉面積には大きな差はなかった。

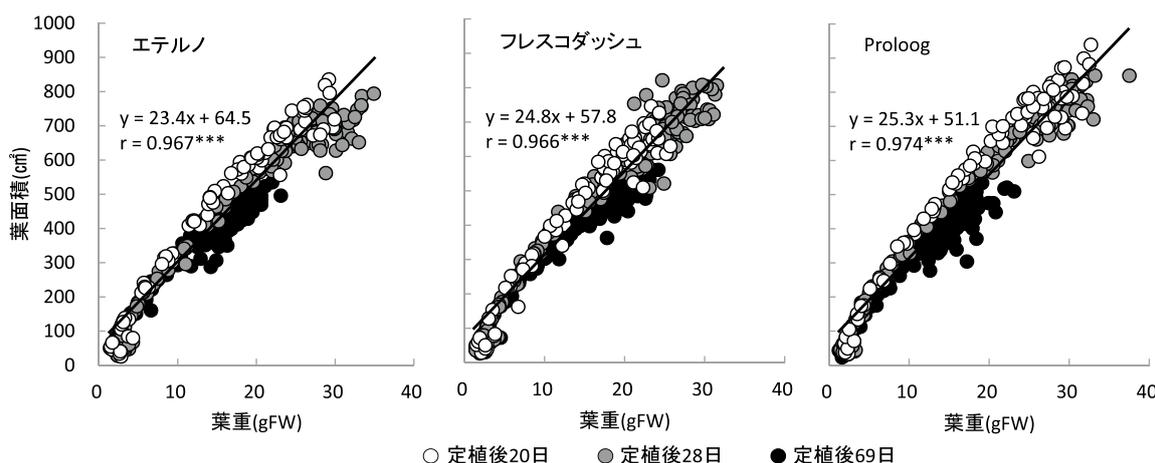


図-2 キュウリの個葉の生体重と葉面積との関係  
図中の \*\*\* は 0.1% 水準で有意

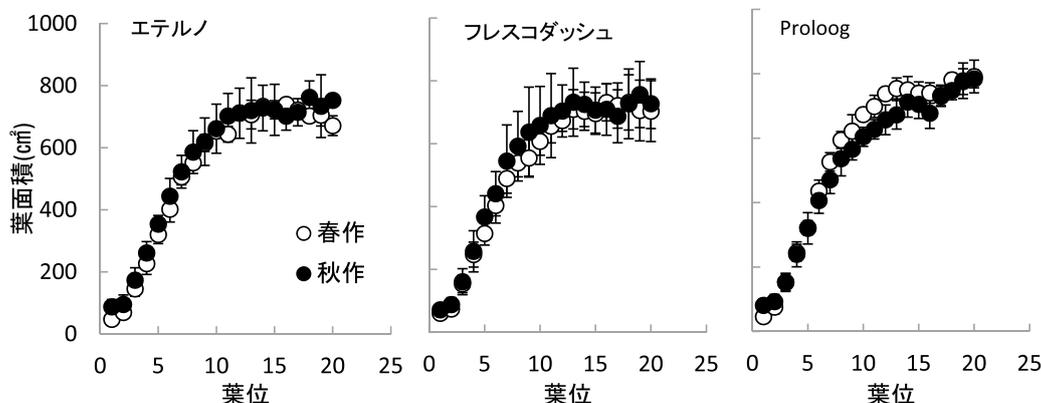


図-3 春作と秋作におけるキュウリの葉位ごとの葉面積  
図中のエラーバーは標準誤差 (n=6)  
春作は定植後 28 日目の株を秋作は定植後 48 日目の株を使用

### 3 生育ステージによる個葉面積およびRLA

春作の定植後20日, 28日, 69日目の株に対し葉位ごとの個葉面積を比較すると, 生育ステージによって個葉面積の大きさは異なった(図-4). 定植後20日と28日の株では第10葉以上の個葉面積が700 cm<sup>2</sup>より大きいことに対し, 定植後69日目の株ではほとんどの個葉面積は500 cm<sup>2</sup>より小さかった.

しかし, 葉位ごとの個葉面積と最大葉の個葉面積との対比であるRLAを縦軸に示すと(図-5), 第10葉以降の葉でも, 相対葉面積比は0.8~1.0で推移し, 定植後20, 28, 69日目の株の間には個葉面積で見られた大きな差はなかった.

### 4 葉位と相対葉面積比との関係

図-6には葉位とRLAとの関係式を調べるために春作の3品種, 6株, 3時期の計54株のデータを基に葉位

(n)とRLAとの散布図を作成し, 近似式を求めた結果, 式4であった.

$$RLA = \frac{0.896}{1 + (14.811 \times e^{-0.51 \times n})} \quad \text{式4}$$

### 5 推定値の検証

秋作の株において, 最大葉の個葉面積と着生している葉位までのRLAの近似式(式4)における積分値および栽植密度を基に, 式2, 式3を用いてLAIの推定値を算出し, 実測値との関係を調べた結果(図-7A), LAIが1.5~4.5の範囲では高い正の相関が認められた(r = 0.980).

図-7Bには, 秋作の最大葉の生体重を図-2に示した個葉の葉面積と生体重との回帰式から個葉面積を求め, 図-7Aと同様に算出したLAIの推定値と実測値との関係を示した. その結果, 最大葉の生体重から算出した

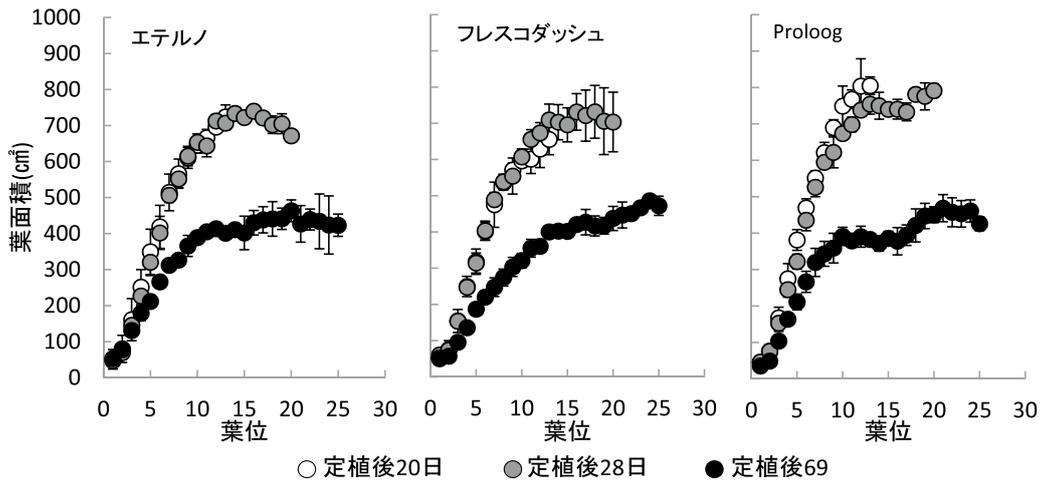


図-4 各品種の定植後20, 28, 69日目のキュウリの葉位ごとの葉面積  
図中のエラーバーは標準誤差 (n=6)

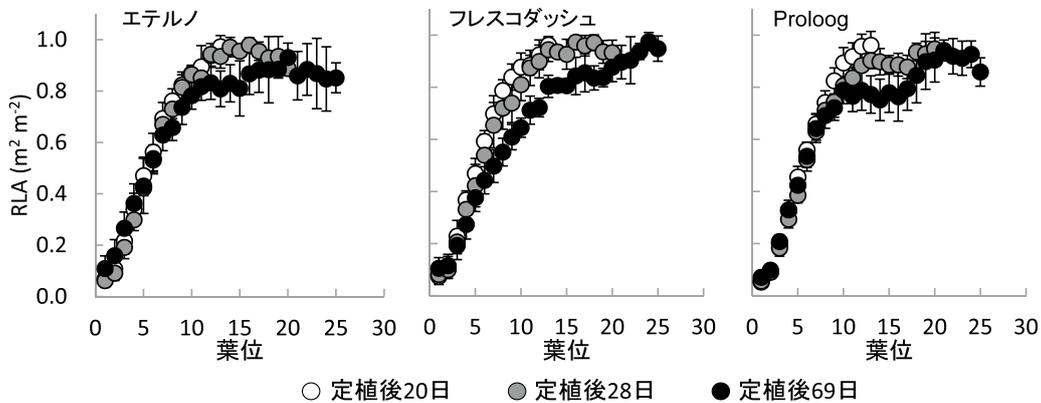


図-5 異なる生育ステージにおけるキュウリの葉位ごとのRLA  
図中のエラーバーは標準誤差 (n=6)

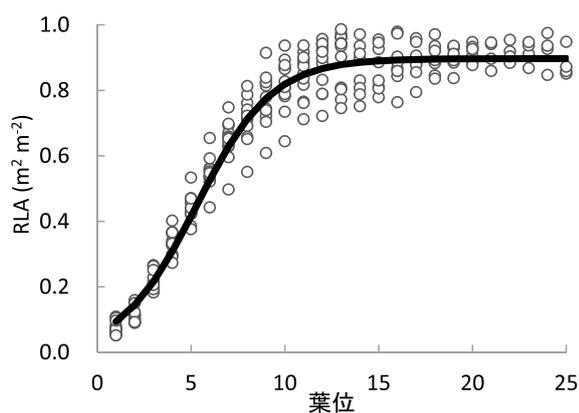


図-6 キュウリの葉位と RLA との関係  
 図中の 1 プロットは葉 6 枚の平均値

LAI の推定値は、最大葉の葉面積から求められた推定値よりは低かったものの、同様に高い正の相関が認められた ( $r = 0.928$ )。

#### IV 考 察

本研究では主枝に着生する個葉面積の大きさの違いを利用し簡易的な LAI 推定モデルを作成した。

栽培時期による影響を調べるために行った春作と秋作のキュウリ栽培では、各生育ステージにおける気温および日射量ともに異なったにも関わらず、葉位ごとの個葉面積には大きな差はみられなかった。すなわち、本実験で作成したモデルは、栽培時期による影響は小さいこと

を示唆している。

一方で収穫期の前半と後半で葉位ごとの個葉面積に大きな差があったが、これはキュウリ株に着果負荷が長く続くことによって、光合成産物の葉への分配比率が減少し、個葉面積が小さくなったためと考えられる (穴戸ら, 1990)。そのため、ある特定の個葉面積の推定による、栽培期間を通した LAI の推定は困難であると考えられる。しかし、葉位ごとの RLA は、生育ステージによる差が小さかったことから、着果負担によって全体の個葉面積は変動しても最大葉の葉面積に対する個葉面積の比率は同様であることが示唆され、RLA によるモデル化が有効であると考えられる。

本実験で用いた 3 品種、2 作のデータでは、栽培ステージや栽培時期、品種に関わらず、第 10 葉目以降の個葉面積の差は大きくなかった。すなわち、第 10 葉より下に着生する葉の個葉面積は、最大葉面積とみなしてもよいものと考えられた。つる下し栽培やハイワイヤー栽培では、下葉を定期的に除去しながら栽培を行うが、それらの葉は最大葉と同様な個葉面積であると考えられるため、この下葉の個葉面積と株の節数を把握できれば、施設内の全体の LAI が推定できると考えられる。

キュウリの栽培において、途中で栽培環境が大きく変動すると、個葉面積や葉重など、草勢の変化が起きると考えられる。例えば、ある特定の時期から養水分条件が大きく変われば、その後に展開する葉の形状や重量が変化し、本報で示した最大葉に対する葉位ごとの RLA の近似式とは異なることが予想される。本実験では、養液

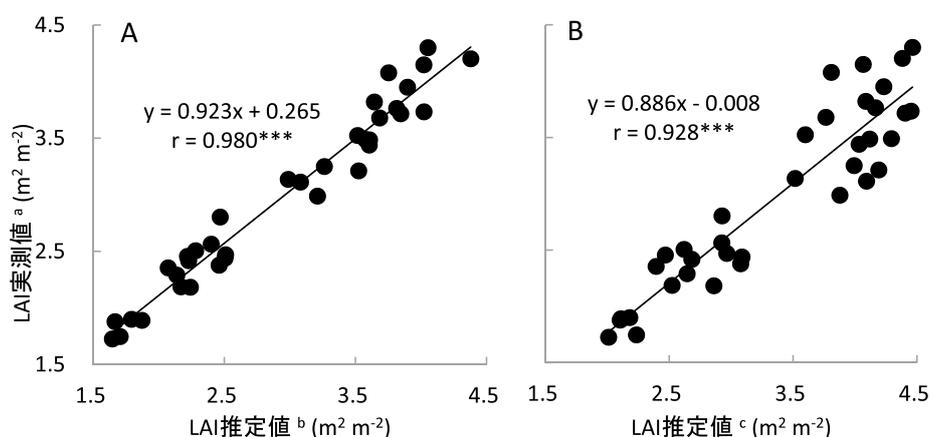


図-7 キュウリの LAI 推定値と実測値との比較 (n=36)

図中の 1 プロットは 1 株の推定値と実測値

図中の \*\*\* は 0.1% 水準で有意

a 1 株当たり総葉面積の実測値を用いて算出した LAI

b 最大葉の葉面積から推定した LAI

c 最大葉の生体重から推定した LAI

栽培を用い、栽培期間中の養水分条件の変動が少なく、ストレスを受けづらい環境を維持したと考えられる。すなわち、栽培期間中に安定した養水分条件下で成長した株であれば、本モデルの適応が可能であると判断した。

また、最大葉面積を利用した推定値および最大葉の生体重を利用した推定値、いずれも実測値との有意な相関が認められたことから、最大葉とみられる下葉の生体重を測定することによってさらに簡便にLAIが予測できると判断した。

Choら(2007)やBlancoら(2003,2005)、Robbins・Pharr(1987)などの研究では、葉長と葉幅の長さを用いて個葉面積の推定モデルを示しており、これらのモデルと本研究の推定法と合わせて使えば、キュウリにおいても非破壊的な方法で精度の高いLAIの推定が可能になると考えられる。

## V 摘 要

キュウリの株は生長点に近い葉の個葉面積が最も小さく、下位の葉になるほど徐々に大きくなり、ある葉位からは同様な葉面積となる。このような特性に着目し、キュウリのハイワイヤー栽培において簡易的なLAI推定法を作成し検証を行った。

個葉の葉面積と生体重の間には高い相関関係があり、葉の生体重から葉面積を推定することができた。葉位ごとの個葉面積の推移傾向には生育ステージによる大きな差はなかったが、収穫期後半になると、個葉面積が小さくなる傾向があった。

キュウリの葉位(n)と相対葉面積比(RLA)との間には、以下の近似式のような関係があった。

$$RLA = \frac{0.896}{1 + (14.811 \times e^{-0.51 \times n})}$$

RLAの近似式、最大葉の個葉面積および着生する葉数をもとに求められたLAIの推定値と実測値との間には高い正の相関関係が認められた。また、最大葉の生体重から計算した葉面積を用いた場合にも、推定値と実測値との間には同様に高い正の相関関係が認められた。

キュウリのハイワイヤー栽培においては、定期的に除去する下葉の個葉面積あるいは生体重と、着生本葉数を把握することにより、LAIを簡便に推定できるものと考えられた。

## 引用文献

- 1) Blanco, F. F. and M. V. Folegatti (2003): A new method for estimating the leaf area index of cucumber and tomato plants. *Hortic. Bras.*, 21(4), 666-669
- 2) Blanco, F. F. and M. V. Folegatti(2005): Estimation of leaf area for greenhouse cucumber by linear measurements under salinity and grafting. *Sci. Agric. (Piracicaba, Braz.)*, 62(4), 305-309.
- 3) Cho, Y., Oh, S., Oh, M. and J. Son (2007): Estimation of individual leaf area, fresh weight, and dry weight of hydroponically grown cucumbers (*Cucumis sativus* L.) using leaf length, width, and SPAD value. *Sci. Hort.*, 111, 330-334.
- 4) Gamiely, S., W.M.Randle, H.A.Mills and D. A. Smittle (1991): A rapid and nondestructive method for estimating leaf area of onions. *HortSci.*, 26(2), 206.
- 5) Hao, X., G.Wen, P. P. Athanasios and S. Khosla (2010): A twin-head "V" high-wire greenhouse cucumber production system for reducing crop start-up costs. *Horttech.*, 20(6), 963-970.
- 6) 東出忠桐・後藤一郎・鈴木克己・安場健一郎・塚澤和憲・安東赫・岩崎泰永(2012): 収量構成要素の解析からみたキュウリ短期栽培の摘心およびつる下ろし整枝法の差異. 園学研., 11(4), 523-529.
- 7) 加藤香織・高橋登(2005): キュウリつる下ろし栽培における整枝法. 群馬農技セ研報., 2, 121-129.
- 8) Monsi, M. and T. Saeki (1953): Über den lichtfaktor in den pflanzengesellschaften und seine bedeutung für die stoffproduktion. *Jpn. J. Bot.*, 14 : 22-52.
- 9) Montero, F.J., de Juan, J.A., Cuesta, A. and A. Brasa (2000): Nondestructive methods to estimate leaf area in *Vitis vinifera* L. *HortScience.*, 35(4), 696-698.
- 10) 太田友代・清野英樹・井上直和(2005): 施設キュウリの新整枝法「つる下ろし栽培」の特徴と生産安定技術. 埼玉農総セ研報., 4, 79-83.
- 11) Panta G. R. and D. S. NeSmith (1995) : A model for estimating area of muskmelon leaves. *Hortsci.*, 30(3), 624-625.
- 12) Robbins, N.S. and D.M. Pharr (1987) : Leaf area prediction methods for cucumber from linear measurements. *HortScience*, 22(6), 1264-1266.
- 13) 埼玉県園芸試験場. 1997. キュウリの施設栽培における短期採りに適した品種特性. 農研センター成果情報. (<http://agriknowledge.affrc.go.jp/RN/3010005722>).
- 14) 穴戸良洋・堀裕・鹿野昭一(1990): キュウリ果実の着果・肥大期における光合成産物の転流・分配に及ぼすベンジル・アデニンの影響. 園学雑., 59(1), 129-136.
- 15) 田中昭夫・小口裕(1998): 温暖地中産間地域における夏秋キュウリの短期どり2期作体系. 平成9年度近畿中国農業研究成果情報, 215-216.
- 16) 田中和夫・山崎篤・中島規子・池田英二(1997): 省力化のためのハイワイヤー整枝法がキュウリの生育・収量に及ぼす影響. 園芸学会雑誌, 別冊, 66(1), 376-377.
- 17) 千葉県農業試験場(1999): キュウリ2作型の組み合わせによる収量, 品質, 所得の向上. 平成10年度関東東海農業研究成果情報, 522-523.

## Estimation of Leaf Area Index of Cucumbers (*Cucumis sativus* L.) Trained on a High-Wire

Dong-Hyuk Ahn, Tadahisa Higashide, Yasunaga Iwasaki,  
Yasushi Kawasaki and Akimasa Nakano

### Summary

The area of a cucumber leaf is smallest near the growing point and gradually increases basipetally to a maximum value. On this basis, we created a model for easy estimation of leaf area index (LAI) of cucumber trained on a high-wire from the values of individual leaf area, fresh weight, and number of leaves. Individual leaf area was highly correlated with individual leaf fresh weight. There was a difference in individual leaf area at each leaf position between 28 and 69 days after transplanting, but not in RLA (relative leaf area ratio, which represents the individual leaf area divided by the maximum leaf area) at each leaf position. RLA could be estimated from leaf position ( $n$ ) as

$$RLA = \frac{0.896}{1 + (14.811 \times e^{-0.51 \times n})}$$

There was a significant correlation ( $r = 0.980$ ,  $P < 0.001$ ) between measured LAI and LAI estimated from integration value of RLA, number of leaves, and individual leaf area of maximum leaf. There was also a significant correlation ( $r = 0.928$ ,  $P < 0.001$ ) between measured LAI and LAI estimated from integration value of RLA, number of leaves, and individual leaf fresh weight of maximum leaf.

We conclude that LAI of cucumber can be estimated from the number of leaves attached to the stem and either the individual leaf area or the fresh weight of the old leaf pruned regularly.



## 日蘭トマト品種の果実成分と収量性

安藤 聡・中野 明正\*・金子 壮\*\*・坂口(横山) 林香  
東出 忠桐\*・畠中 誠\*\*\*・木村 哲\*\*\*

(平成 26 年 8 月 25 日受理)

## Characteristics of Taste Components and Fruit Yields of Dutch and Japanese Tomato Cultivars

Akira Ando, Akimasa Nakano, So Kaneko, Rinka Sakaguchi-Yokoyama,  
Tadahisa Higashide, Makoto Hatanaka and Satoru Kimura

### I 緒 言

オランダにおけるトマト (*Solanum lycopersicum* L.) の生産性は年々上昇しており、近年は 10 a 当たりの収量が 60 t を超えている。これは、我が国の一般的収量 20 t / 10 a を遙かに凌駕している。この生産性の違いは、気象条件や栽培施設の規模・設備等の栽培環境に起因していると考えられる(安場ら, 2011) 一方で、品種特性によることも大きく、日蘭両国におけるトマト育種の方向性が大きく影響していると考えられる(Higashide ら, 2009)。オランダでは、専ら収量性と流通特性を高めるための育種がなされてきたのに対し、'桃太郎' に代表される日本の生食用大玉トマト品種は、収量を犠牲にして食味に焦点を置いた育種がなされてきたため収量性が低いと考えられる(Higashide ら, 2012)。一般的に、日本品種とオランダ品種を比較すると、後者は高収量ではあるが、食味が劣るとされている。現在までに、多収性オランダ品種と良食味の日本品種を育種素材として、高収量と良食味の双方を併せ持ったトマト系統の育種が進められている(松永, 2013)。果実生産性に関しては、オランダ品種と日本品種の生育・栽培特性等を比較することによって、オランダ品種の多収性の要因を探ろうとした報告は数多

い(東出, 2010; Matsuda ら, 2013; 2011a; 2011b; 中野ら, 2012a; Saito ら, 2011)。しかしながら、日蘭両品種の食味に着目した報告は見当たらず、同一条件で栽培した両国品種の食味に関連する成分を分析した研究例も殆ど見当たらない。したがって、両国品種間の食味の違いの要因は不明なままである。そこで、本研究では、日蘭両品種間の食味に関連する成分を比較することを目的として、同一条件で日蘭両国の典型的品種を栽培し、主要な呈味成分等の分析に果実を供すると共に、果実収量性データと併せて評価することとした。

トマトの食味には、呈味性を有する可溶性成分と香気成分、食感等が関与しているが、遊離糖や有機酸、アミノ酸等の主要な呈味成分の影響が最も大きいと考えられる。呈味性に関わらず全ての可溶性成分の含有量の指標となるのが Brix 値であり、イチゴやメロン等の遊離糖含有量が極めて高い野菜の場合には甘さの指標として有効である。野菜に含まれる主な遊離糖は果糖、ブドウ糖、ショ糖であることが知られているが、糖の種類によって甘味の強度や温度依存性等が異なる(橋本ら, 2006) ことに加え、品種や栽培条件等によって各糖の含量も大きく異なることから、個々の糖組成分析が望まれる。また、トマトにおいては、クエン酸を主とする有機酸の含量が酸味を決定づける重要な要素であり、糖と酸のバランス

〒 514-2392 三重県津市安濃町草生 360

野菜病害虫・品質研究領域

\* 野菜生産技術研究領域

\*\* 宮城県大河原農業改良普及センター

\*\*\* タキイ種苗株式会社

がおいしさに重要であるとされている(中川, 2004)。さらに, トマトはうま味を呈する成分であるグルタミン酸を高濃度に含むことが, 広く認知されている。トマトらしい味は, グルタミン酸に加えてアスパラギン酸がある程度含まれることで構成されていると考えられる(副家, 1994; Oruna-Concha ら, 2007)。呈味性との関連は未解明な部分が多いが, 血圧上昇抑制作用等で知られる機能性アミノ酸( $\gamma$ -アミノ酪酸(GABA))も, 野菜の中ではトマトに高濃度で含まれる(Saito ら, 2008)。最近, GABA が酸味と塩味の増強効果を有することを示唆する官能評価結果も報告されている(佐々木ら, 2010; 2011)。また, 野菜には, カリウムやマグネシウム, カルシウム等の無機陽イオンが高濃度で含まれており, 呈味性に影響している可能性が考えられる。最も高濃度で含まれるカリウムイオンについては, アクあるいは渋みに寄与していると指摘されている(辻村ら, 2003)。以上のことから, トマトのおいしさの評価には, Brix 値だけではなく, 遊離糖や有機酸, アミノ酸等の主要な呈味成分に加え, カリウム等の陽イオンもそれぞれ定量することが望ましいと考えられる。本研究では, キャピラリー電気泳動法を用い, これら成分の全てを分析対象として, 日蘭両国のトマト品種の成分比較をおこなった。

本研究の栽培管理および収量データ取得に当たっては, 中央農業総合研究センター研究支援センターの佐藤和也氏, 内野達哉氏, 岩切浩文氏の多大なるご支援をいただいた。ここに記して心よりの感謝を申しあげる。なお, 本研究の一部は農林水産省委託プロジェクト研究「農林水産資源を活用した新需要創出プロジェクト」により実施した。

## II 材料および方法

### 1 栽培概要

農研機構植物工場つくば実証拠点(茨城県つくば市)内の栽培室(9 m × 18 m)において, ロックウール・ハイワイヤ方式により, 長期多段栽培(春季試料)および3段密植栽培(夏季試料)をおこなった。本実証拠点は, 軒高5.1 m, 面積約2,500 m<sup>2</sup>のフェンロー型ハウスであり, ハウス屋根の被覆資材として, 散光性フッ素系フィルムを用いている(中野ら, 2012b)。環境制御にはユビキタス環境制御システム(ステラグリーン)を用い, 気温や湿度等のハウス内環境データは, 同システムを用いて1分間隔で記録した。

### a 長期多段栽培(冬春作)

2012年7月30に‘桃太郎ヨーク’(タキイ種苗)および‘Geronimo’(De Ruiter Seeds)を播種し, 同年8月20日にロックウールブロックに移植した。第1花房開花時の9月13日にロックウールスラブに定植し, 大塚A処方(1.5 dS/m)で養液管理した。定植には, 南北方向に設置された6列のロックウール栽培システムを用い, 両端の列については試料とせず, 番外とした。ロックウールスラブ底面の高さは床面より約55 cm, 誘引ワイヤは床面より350 cmに設置し, 株間25 cm, 一本仕立てで, 条間は150 cmとした。気温は1分毎にモニターし, 15℃以下で暖房稼働, 30℃以上で天窓を開放する設定とした。トマトトーン(0.15%パラクロロフェノキシ酢酸含有, 日産化学)の150倍希釈液にジベレリン(ジベレリン協和粉末, 協和発酵バイオ)を終濃度10  $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ となるように添加した溶液を各花房が3花開花した時点で噴霧し, 着果処理した。

### b 3段密植栽培(夏作)

夏季試料として, ‘桃太郎ヨーク’, ‘スーパー優美’(丸種), ‘桃太郎ピース’(タキイ種苗), ‘Grace’(De Ruiter Seeds), ‘Rapsodie’(Rogers/Syngenta Seeds)を用いた。2013年3月18日に播種し, 播種22日後, ロックウールブロックに移植, 播種43日後にロックウールスラブへ定植した。定植には, 南北方向に条間130 cmで設置された7列のロックウール栽培システムを用い, そこへ株間20 cm(栽植密度3.9株/m<sup>2</sup>)となるよう5株/品種ずつ定植した。両端の列については試料とせず, 番外とした。ロックウール移植後は大塚SA処方の培養液(大塚アグリテクノ)を用い, 定植日までは電気伝導度を0.5 dS/mとし, その後, 播種57日後まで1.0 dS/m, 播種61日後まで1.5 dS/m, 栽培終了まで2.0 dS/mとした。培養液はかけ流し式で供給して, 植物はベッド上面より1.6 mの高さまで1本仕立てで直立誘引とした。前述の多段栽培と同様な着果処理をおこない, 植物は第3花房上の4葉を残し摘芯した。天窓の換気設定温度は25℃とした。遮光カーテン(LSスクリーン, 誠和)は, 播種76日後までは屋外日射が0.6 kW/m<sup>2</sup>以上の場合に, それ以降は1.2 kW/m<sup>2</sup>以上の場合に遮光した。ただし, 植物に萎れが見られた場合には, 上記の設定値以下であっても手動により遮光した。

## 2 成分分析

### a 試料調製

トマト果実のへたを切除した可食部を縮分し（すなわち、櫛形に切り分け、同一果の対角線上に位置する2つの櫛形切片（合計40g程度）を供試）、下記の二つの方法により調製した。

#### 1) 調製方法1

加熱によって内生酵素失活を図る試料調製方法（堀江、2009）を一部改変しておこなった。まず、果実に4倍量の蒸留水を加え、家庭用電子レンジ（700W）を用いて沸騰直前までマイクロ波加熱した。これをミキサーで破碎し、濾過後、濾液を室温で15,000rpm、5分間遠心して、上清を回収した。これを孔径0.45μmのフィルターで濾過して不溶残渣を除き、分析時まで-20℃保存した。

#### 2) 調製方法2

果実をミキサーで破碎し、試料調製時まで-70℃保存した。解凍後、直ちに4倍量の蒸留水と5倍量のクロロホルムを添加し、激しく攪拌後、15,000rpmで5分間遠心して、水層を回収した。同様のクロロホルム抽出操作を再度おこない、水層を孔径0.45μmのフィルターで濾過後、濾液を分析時まで-20℃保存した。

### b 分析条件

フォトダイオードアレイ検出器を装備したキャピラリー電気泳動システム（Agilent 7100, アジレント社）を用い、有機酸、遊離アミノ酸、遊離糖等の主要呈味成分ならびに主要な陽イオンの検出をおこなった。有機酸（クエン酸）、遊離アミノ酸（グルタミン酸、グルタミン、アスパラギン酸、GABA）、遊離糖（果糖、ブドウ糖、ショ糖）は、既報（堀江、2009；Sogaら、1999）に従って、単一の電気泳動により一斉に分離・定量した。また、主要陽イオン（ $K^+$ 、 $Ca^{2+}$ 、 $Mg^{2+}$ ）の分析には、陽イオン分析用バッファー（アジレント社）を用い、分析条件はメーカーの取扱説明書に従った。

## III 結 果

### 1 トマト果実に含まれる主要呈味成分等の日本・オランダ品種間差

本研究では、長期多段栽培（春季試料）と低段密植栽培（夏季試料）で生産した日本およびオランダを代表するトマト品種の果実成分について分析をおこなった。春

季の試料については、内生酵素を熱失活させる簡易法（調製方法1）を用い、夏季の試料については、本研究では対象としない熱安定性の低い成分の分析にも供試することを目的に、調製方法2による試料調製をおこなった。予備試験の結果、方法2ではショ糖が顕著に減少するものの、他の呈味関連成分については、調製方法間で有意差（1%水準）は認められなかった（データ省略）。従って、ショ糖以外の成分に関しては、二つの試料調製方法の影響を大きく受けないと考えられる。

#### a 日本・オランダ品種間の成分比較I（長期多段栽培、春季試料）

優れた養液栽培特性を持つとされる日本およびオランダ品種の代表として、それぞれ、‘桃太郎ヨーク’および‘Geronimo’を長期多段栽培法により栽培し、果実成分の比較をおこなった。2013年4月上旬に収穫した果実より、販売可能な程度の良果を選別し、各品種とも3果ずつ主要呈味成分等の分析に供した。成分分析に先立ち、供試トマトの搾汁液の可溶性固形物含量（Brix）を測定した結果、‘桃太郎ヨーク’が6.4%、‘Geronimo’が4.7%であり、明らかな有意差が認められたことから、両品種間には大きな糖度差があることが予想された。成分分析の結果、図-1Aに示したように、3種類の遊離糖について、両品種間で有意な差があり、‘桃太郎ヨーク’に含まれる果糖、ブドウ糖、ショ糖は、‘Geronimo’と比べると各々1.5倍、1.6倍、4.6倍であった。遊離糖以外の成分については、有意差は認められなかったが、カルシウムとグルタミンを除いて‘桃太郎ヨーク’のほうが高い傾向があった（図-1A, B）。

#### b 日本・オランダ品種間の成分比較II（3段密植栽培、夏季試料）

上記のような日蘭品種間差の傾向が、品種や栽培条件が異なる場合にはどうなるか検証するために、主要日本品種（‘桃太郎ヨーク’、‘桃太郎ピース’、‘スーパー優美’）およびオランダ品種（‘Grace’、‘Rapsodie’）を3段密植栽培し、2013年7月中旬に収穫された果実の内、販売可能な程度の良果を選別し、各品種とも5果ずつ主要呈味成分等の分析に供した。その結果、春季試料と同様にカルシウムとグルタミン以外の成分について、日本品種がオランダ品種より高い傾向があった（図-2A, B）特に、遊離糖とグルタミン酸、アスパラギン酸の濃度の日蘭品種間差が顕著であった。別の果実で測定したBrix値（図-4）についても、日本品種がオランダ品種

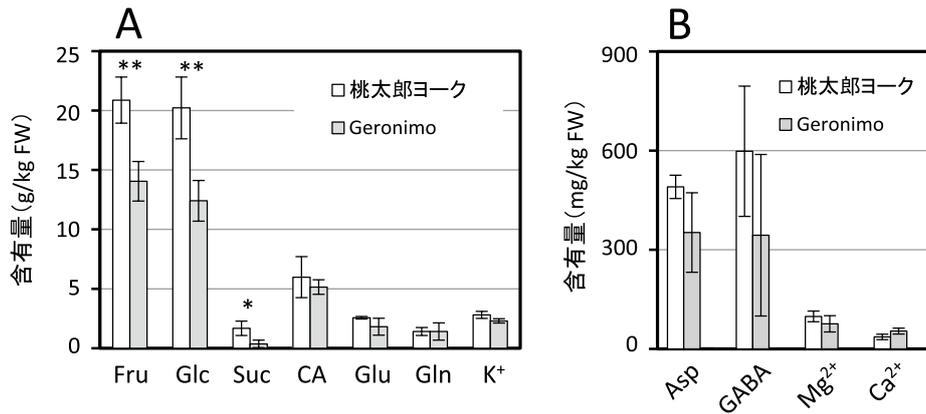


図-1 長期多段栽培した日本およびオランダ品種のトマト果実（春季試料）に含まれる主要呈味成分等の比較  
 A 多量に含まれる呈味関連成分の含有量  
 B その他の呈味・機能性関連アミノ酸および主要陽イオン含有量  
 3果の平均値および標準偏差（エラーバー）を表示. Fru: 果糖, Glc: ブドウ糖, Suc: ショ糖, CA: クエン酸, Glu: グルタミン酸, Gln: グルタミン, Asp: アスパラギン酸, GABA: γ-アミノ酪酸, \*\*, \*: 1% および 5% 水準で品種間に有意差あり (t 検定).

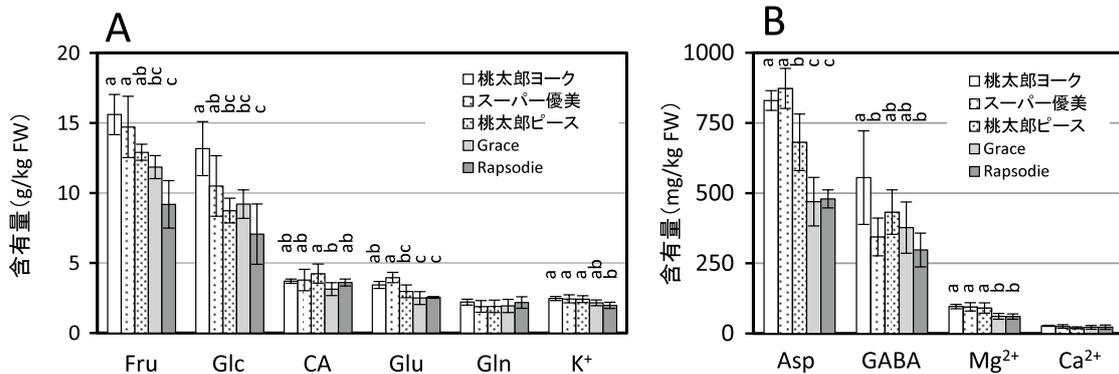


図-2 低段密植栽培した日本およびオランダ品種のトマト果実（夏季試料）に含まれる主要呈味成分等の比較  
 A 多量に含まれる呈味関連成分の含有量  
 B その他の呈味・機能性関連アミノ酸および主要陽イオン含有量  
 5果の平均値および標準偏差（エラーバー）を表示. 略称は、図-1と同様. 各成分において、棒グラフ上部に異なるアルファベットを付した品種間では 5% 水準で有意差あり (Tukey の多重検定).

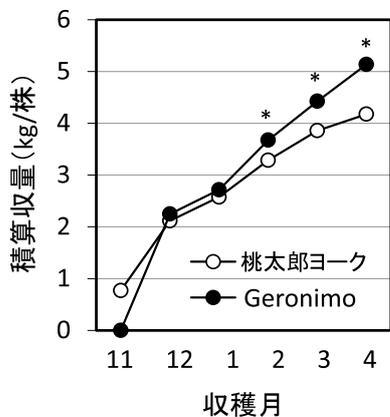


図-3 トマト長期多段栽培における日本品種（桃太郎ヨーク）とオランダ品種（Geronimo）の積算収量の推移  
 7株の平均値を表示. \*: 5% 水準で有意差あり (t 検定).

より高い傾向が観察されたが、これには、遊離糖濃度だけでなく、グルタミン酸やアスパラギン酸等の濃度差が寄与しているものと考えられる。

## 2 日本・オランダ品種間の収量比較

### a 長期多段栽培（春季試料の栽培）

供試した‘桃太郎ヨーク’および‘Geronimo’について、月毎の果実の積算収量を図-3に示した。‘桃太郎ヨーク’の収穫のはじまりが2012年11月26日であったのに対して、‘Geronimo’の収穫開始日は同年12月10日であったため、11月の収量は‘桃太郎ヨーク’の方が‘Geronimo’に比べ明らかに高かった。しかし、2月以降は‘Geronimo’の積算収量が‘桃太郎ヨーク’と比べて有意に高くなり、4月の栽培終了時点

における総収量は、‘Geronimo’が一株当たり5.14 kgで‘桃太郎ヨーク’(4.18 kg/株)の1.23倍となった。

#### b 3段密植栽培(夏季試料の栽培)

収穫期間が1ヶ月程度と短い低段栽培であるため、品種毎の総果実収量を比較した。また、Brixも併せて測定し、図-4に表示した。その結果、オランダの2品種は、約2.4 kg/株と、ほぼ同等の収量を示し、日本品種の‘桃太郎ヨーク’、‘桃太郎ピース’、‘スーパー優美’(各々1.71 kg/株、1.90 kg/株、2.06 kg/株)に対して、順に1.40、1.26、1.17倍の総収量となった。収量とは対照的に、Brixは日本品種がオランダ品種の概ね1.27倍と有意に高く、その差はおよそ1%であった。

## IV 考 察

本研究では、トマトの呈味性に関わる主要な成分をキャピラリー電気泳動法により分析し、主要な日本品種およびオランダ品種間の比較をおこなった。トマト果実中に含まれる主要呈味成分含量は、本研究で用いた長期多段栽培法および低段密植栽培法を問わず、供試した全ての日本品種においてオランダ品種より高い傾向が認められた。このことから、同一条件で栽培したトマトについては、日本品種のほうがオランダ品種よりも優れた食味を呈すると考えられる。本研究では官能評価は実施していないが、実際に食してみると、日蘭両品種間の食味の差は明確に識別可能であり、特に遊離糖濃度差に起因

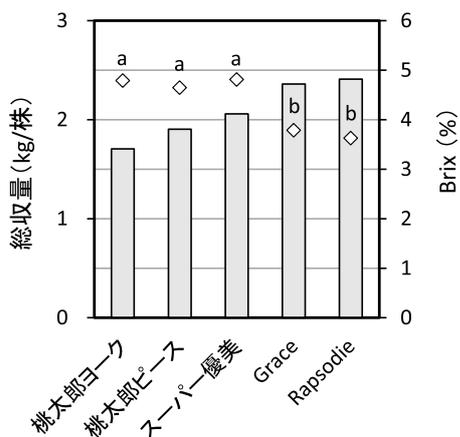


図-4 トマト3段密植栽培における果実収量および糖度の品種間差  
5株の総収量より算出した株当たりの収量(棒グラフ)および18果のBrixの平均値(菱形シンボル)を表示。異なるアルファベットを付したBrix値間には、5%水準で有意差あり(Tukeyの多重検定)

すると考えられる甘味については、日本品種のほうが強く感じられた。しかし、酸味については両国品種間の違いは大きくは感じられなかった。これは、両国品種間のクエン酸濃度差が比較的小さいことを反映しているものと思われる。

低段密植栽培(夏季)試料においては、試料破碎時にインベルターゼ等のショ糖分解酵素の活性を抑制するための処理を行わなかったため、ショ糖が分解され検出されなかったものと考えられる。本実験に供した品種を含め、一般の大玉トマトにおいては、主要遊離糖(果糖、ブドウ糖、ショ糖)の濃度合計値に対して、ショ糖は0から数%程度含まれるに過ぎない(堀江, 2009; 安藤, 未発表データ)。本研究の春季試料においても、3種の遊離糖濃度の合計値のなかでショ糖が占める割合は、1.4-3.9%と低く、果糖・ブドウ糖と比べると、甘味への寄与は低いと考えられる。しかしながら、慣行栽培より高い水ストレスを負荷して高糖度化を図った‘桃太郎ヨーク’(アメーラ, (株)サンファーマーズ)では、ショ糖濃度が糖合計値の10%を超える果実が存在する(安藤, 未発表データ)など、栽培条件や品種によっては、ショ糖が呈味性において無視できない濃度で含まれる場合がある。従って、高いショ糖含量が予想される試料を供試する場合には、果実破碎前に酵素を失活させておくことが望ましいであろう。

長期多段栽培(春季)試料は、低段密植(夏季)試料と比べて、遊離糖およびクエン酸濃度が高い一方、グルタミン酸、グルタミン、アスパラギン酸といった遊離アミノ酸の濃度は、日蘭品種を問わず有意に低かった(表-1)。春季試料において、遊離糖およびクエン酸濃度が高かった要因としては、栽培時期の違いによる生育温度差のほか、後に詳述するように、長期多段栽培の終了期に植物体に負荷されたストレスが一因であると考えられる。夏季試料において高い遊離アミノ酸濃度が観察された要因は不明であるが、果実肥大期における培養液の電気伝導度が春季1.5 dS/m、夏季2.0 dS/mであったため、培養液中の窒素濃度の違いが影響している可能性が考えられる。また、夏季試料は、3段密植栽培の第3段果房から収穫された果実であるため、4段目以降の摘心との関連も考えられる。

副家(1994)によると、トマトの味を人工的に再現するには、グルタミン酸とアスパラギン酸の両方を含むことが必須であり、その含有量比(Glu/Asp)が4であるときに最もトマトらしい味になるという。従って、トマト果実におけるGlu/Asp比は、トマトの食味を左右

表-1 栽培方法によるトマト果実中の主要呈味成分量の差異

	含有量(mg/kg FW)		含有量比 <sup>c</sup>	有意差
	長期多段 <sup>a</sup>	低段密植 <sup>b</sup>		
Frc	17461	12853	1.4	**
Glc	16314	9738	1.7	*
CA	5562	3695	1.5	*
Glu	2190	3083	0.7	**
Gln	1409	2024	0.7	**
Asp	421	667	0.6	**

<sup>a</sup> 全ての長期多段栽培（春季）試料（n=6）の平均値

<sup>b</sup> 全ての低段密植栽培（夏季）試料（n=25）の平均値

<sup>c</sup> a/b

\*\*、\*：1%および5%水準で有意差あり（t検定）

成分名略称は、図-1と同様

する重要な要素である可能性がある。本研究では、春季試料においては日蘭両品種とも Glu/Asp 比が 5.2 であったが、夏季試料では、国内 3 品種の平均値が 4.3 であったの対して、オランダ 2 品種は 5.3 であった。このように、遊離アミノ酸組成の差が低段栽培の日本品種だけで観察されたことは、非常に興味深い。

本研究では、全ての試料において、遊離アミノ酸の内、グルタミン酸に次いでグルタミンが高濃度で含まれていた。この傾向は、既報とも一致している（Oruna-Concha ら、2007）。グルタミンは、グルタミン酸やアスパラギン酸と比べて呈味力が低いとの報告（河合、2003）があるものの、高濃度で含まれるためトマトの味への影響はあると考えられる。しかし、グルタミン含有量は、本研究において品種間差が最も小さかったため、日蘭品種間の食味の違いには寄与していないと考えられる。

‘桃太郎ヨーク’は、‘Geronimo’に比べ早生であるため、本研究の長期多段栽培においても、第1果房の収穫は‘Geronimo’より‘桃太郎ヨーク’が早く始まったと考えられる。しかし、その後、収穫段が進むにつれ、‘桃太郎ヨーク’の収量は伸びず、両品種間の収量差が拡大する傾向が観察された。定植から2月までは、ハウス内最高気温は25℃前後で安定的に推移していたが、3月中旬から最高気温が30℃を超える日が認められ、4月に入ると35℃に達する日もあった（データ省略）。水分条件についてはモニターしていなかったが、4月上旬の急激な気温上昇時には灌水が追いつかず、日中に萎れを生じる場合もあった。このようなストレスが負荷された時期に、収量の品種間差異は拡大していることから、‘桃太郎ヨーク’は、‘Geronimo’に比べて水分ストレスに弱い可能性がある。このような仮説は、オラ

ンダ品種の樹勢を維持するために使われる台木用品種に日本品種を接ぎ木すると収量が増加するとの報告（Higashide ら、2014）とも矛盾しない。一般的に、トマト栽培過程において植物体にストレスが負荷されると、果実収量が低下し、果実中の糖度が上昇することが知られている。長期多段栽培（春季）試料が、低段密植（夏季）試料と比べて、高い遊離糖およびクエン酸濃度を示した一因として、このような栽培後期における植物体へのストレス負荷が考えられる。本研究で用いた栽培システムにおいて、上述のような水分ストレス負荷を回避するためには、水分環境についてもユビキタス制御システムにより状況をモニターし、環境急変時にも迅速に灌水ができるような仕様とする必要がある。

本研究では、日蘭両品種の呈味関連成分を中心に議論してきたが、一般的に言われてきたように、日本品種の食味がオランダ品種より優れていることを長期多段栽培および低段密植栽培の両栽培法において、具体的な成分含量で示す結果となった。遊離糖含量だけでなく、遊離アミノ酸の含量や組成比等、日本品種とオランダ品種間の差異を特徴付ける成分が明らかとなった。一方、収量性については、いずれの栽培法においても、オランダ品種が日本品種より優れており、日本品種の1.17–1.40倍の総収量となった。以上の結果から、供試したオランダと日本の品種を比較する限りでは、トマトの呈味関連成分の含有量と果実収量性とは負の相関がある可能性が考えられた。

トマトの“おいしさ”には、本研究で分析対象とした成分だけでなく、他の生体成分や香気成分、更には食感に関連する物性等が密接に関係していると考えられる。日蘭両品種間の食味・食感の特徴を明らかにするには、さらに分析対象を広げる必要があるであろう。また、本研究の成分分析では、各栽培法において栽培終了期に近い一点の試料を比較したに過ぎない。今後は、栽培期間を幅広く網羅する形で分析をおこなうことが望まれる。

## V 摘 要

大玉トマトの代表的な日本品種とオランダ品種をフェンロー型ハウスにおいて同一条件で養液栽培し、収量を調査するとともに、収穫果実中の呈味関連成分の定量分析をおこなった。呈味関連成分として、有機酸（クエン酸）、遊離アミノ酸（グルタミン酸、グルタミン、アスパラギン酸、GABA）、遊離糖（果糖、ブドウ糖、ショ糖）、無機陽イオン（K<sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>）をキャピラリー

電気泳動法により定量した結果、長期多段栽培および3段密植栽培のいずれの栽培法においても、グルタミンとCa<sup>2+</sup>を除く全ての呈味関連成分について、日本品種における含有濃度がオランダ品種と比べ高い傾向が示された。一方、収量性については、いずれの栽培法においても、オランダ品種が日本品種より優れており、日本品種の1.17–1.40倍の総収量となった。以上の結果から、供試した日蘭トマト品種において、果実中の呈味関連成分の含有量と果実収量性との間には負の相関がある可能性が考えられた。

### 引用文献

- 橋本仁・高田明和 (2006)：砂糖の科学。シリーズ〈食品の科学〉，朝倉書店，東京。
- Higashide, T. and E. Heuvelink (2009): Physiological and morphological changes over the past 50 years in yield components in tomato. *J. Am. Soc. Hortic Sci.*, **134**(4), 460-465.
- Higashide, T., A. Nakano and K. Yasuba (2014): Production of a Japanese tomato 'Momotaro York' are improved by grafting onto a Dutch rootstock 'Maxifort'. *J. Japan. Soc. Hort. Sci. Preview*, doi: 10.2503/jjshs1.CH-048.
- Higashide, T., K. Yasuba, K. Suzuki, A. Nakano and H. Ohmori (2012): Yield of Japanese tomato cultivars has been hampered by a breeding focus on flavor. *HortScience*, **47**(10), 1408-1411.
- 東出忠桐 (2010)：トマトの収量－オランダの多収化，日本の夏秋季の収量変動－を探る。植調，**44**(5)，161-171。
- 堀江秀樹 (2009)：キャピラリー電気動法による野菜の要呈味成分の分析。分析化学，**58**(12)，1063-1066。
- 副家眞也 (1994)：食品の味。おいしさの科学，69-81。朝倉書店，東京。
- 河合美佐子 (2003)：アミノ酸の味 その2。Ajico News，**209**，1-6。
- Matsuda, R., D.H. Ahn, A. Nakano, K. Suzuki, and M. Takaichi (2013): Leaf gas-exchange characteristics of four Japanese and four Dutch tomato cultivars grown in a greenhouse. *Sci. Hortic.*, **156**, 19-23.
- Matsuda, R., A. Nakano, D.H. Ahn, K. Suzuki, K. Yasuba and M. Takaichi (2011a): Growth characteristic and sink strength of fruit at different CO<sub>2</sub> concentrations in a Japanese and a Dutch tomato cultivar. *Sci. Hortic.*, **127**(4), 528-534.
- Matsuda, R., K. Suzuki, A. Nakano, T. Higashide and M. Takaichi (2011b): Responses of leaf photosynthesis and plant growth to altered source-sink balance in a Japanese and a Dutch tomato cultivar. *Sci. Hortic.*, **127**(4), 520-527.
- 松永啓 (2013)：トマトの長期多段どり養液栽培における品種・系統比較試験からみた高糖度・多収性育種の可能性。ハイドロポニックス，**27**(1)，36-37。
- 中川勝也 (2004)：トマト。品質・鮮度保持，108-113，農山漁村文化協会，東京。
- 中野明正・安場健一郎・東出忠桐 (2012a)：オランダと日本トマト品種の形態的特徴と多収性との関連。農業および園芸，**87**(10)，993-997。
- 中野明正・東出忠桐・安場健一郎・大森弘美・金子壮・鈴木克己 (2012b)：植物工場技術の研究・開発および実証・展示・研修拠点 (5) 農業・食品産業技術総合研究機構 野菜茶業研究所つくば研究拠点。植物環境工学，**24**(4)，219-223。
- Oruna-Concha, M.J., L. Methven, H. Blumenthal, C. Young and D.S. Mottram (2007): Differences in glutamic acid and 5'-ribonucleotide contents between flesh and pulp of tomatoes and the relationship with umami taste. *J. Agric. Food Chem.*, **55**(14), 5776-5780.
- Saito, T., C. Matsukura, M. Sugiyama, A. Watahiki, I. Ohshima, Y. Iijima, C. Konishi, T. Fujii, S. Inai, N. Fukuda, S. Nishimura and H. Ezura (2008): Screening for  $\gamma$ -aminobutyric acid (GABA)-rich tomato varieties. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.*, **77**, 242-250.
- Saito, T., Y.G. Yin, M. Matsuoka, C. Matsukura, N. Fukuda and S. Watanabe (2011): An investigation of differences in fruit yield and components contributing to increased fruit yield in Japanese and Dutch tomato cultivars. *Plant Biotechnol.*, **28**(5), 455-461.
- 佐々木公子・岩城知津・植野洋志 (2010)：GABA ( $\gamma$ -アミノ酪酸)の味覚への関与について。美作大学・美作大学短期大学部紀要，**55**，65-70。
- 佐々木公子・渡部治奈・植野洋志 (2011)：GABA ( $\gamma$ -アミノ酪酸)の味覚への関与について～酸味と塩味への関与～。美作大学・美作大学短期大学部紀要，**56**，9-14。
- Soga, T. and G.A. Ross (1999): Simultaneous determination of inorganic anions, organic acids, amino acids and carbohydrates by capillary electrophoresis. *J. Chromatogr. A*, **837**(1-2), 231-239.
- 辻村卓・青木和彦 (2003)：野菜のビタミン・ミネラル・栽培に関する情報。野菜のビタミンとミネラル，73-98，女子栄養大学出版部，東京。
- 安場健一郎・鈴木克己・佐々木英和 (2011)：トマト長期多段栽培における多収のための統合環境制御下での温室環境と収量の推移。野菜茶研研報.，**10**，85-93。

## Characteristics of Taste Components and Fruit Yields of Dutch and Japanese Tomato Cultivars

Akira Ando, Akimasa Nakano, So Kaneko, Rinka Sakaguchi-Yokoyama,  
Tadahisa Higashide, Makoto Hatanaka and Satoru Kimura

### Summary

Dutch and Japanese tomato cultivars were hydroponically grown under identical conditions in a Dutch light-type greenhouse, and yields and major taste-related components (citric acid, glutamic acid, glutamine, aspartic acid,  $\gamma$ -aminobutyric acid, fructose, glucose, sucrose,  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ , and  $Mg^{2+}$ ) of fruits were analyzed. Quantitative analysis by capillary electrophoresis showed that fruits of Japanese cultivars had higher contents of all taste-related components except for glutamine and  $Ca^{2+}$  than those of Dutch cultivars under both long-term culture and low-node-order-pinching dense-planting culture. In contrast to the contents of taste-related components, total fruit yields of Dutch cultivars were much higher than those of Japanese cultivars under both cultivation methods. These results suggest that among the Dutch and Japanese cultivars tested, the contents of taste-related components in tomato fruits are negatively correlated with total fruit yields.

## 青枯病および疫病抵抗性を有する台木用トウガラシ品種 ‘L4 台パワー’ および ‘台ちから’ の育成経過とその特性

松永 啓・齋藤 猛雄・斎藤 新・吉田 建実\*・  
佐藤 隆徳\*\*・坂田 好輝・門馬 信二\*\*\*

(平成 26 年 8 月 27 日受理)

## Development of *Capsicum* Rootstock Cultivars ‘L4 Dai-Power’ and ‘Daichikara’ with Resistance to Bacterial Wilt and *Phytophthora* Blight

Hiroshi Matsunaga, Takeo Saito, Atsushi Saito, Tatemi Yoshida,  
Takanori Sato, Yoshiteru Sakata and Shinji Monma

### I 緒 言

青枯病および疫病は、わが国のピーマン・トウガラシ類の栽培において、大きな被害を及ぼす土壌伝染性病害である。そのため、農研機構野菜茶業研究所（以下、野菜茶研）では、この両病害に強度の抵抗性を持つ台木用品種 ‘台パワー’ を育成した（Matsunaga ら, 2010; 齋藤ら, 2011）. ‘台パワー’ は、これまで両病害を回避する目的で台木として利用されていた ‘ベルマサリ’（一般社団法人長野県原種センター）（矢ノ口ら, 1993）と比べ、青枯病および疫病に対する抵抗性が強く（Matsunaga ら, 2013）、より安定して両病害を回避できる台木として普及が進んでいる。

一方、ピーマン・トウガラシ類では、トウガラシマイルドモットルウイルス（Pepper mild mottle virus; PMMoV）などトバモウイルスによるモザイク病も重要な病害である。本病害に対する抵抗性遺伝子として、 $L^1$ 、 $L^2$ 、 $L^3$  および  $L^4$  などが知られており（Boukema, 1982; Boukema, 1984）、 $L^1$  はトバモウイルスの  $P_0$  タイプ、 $L^2$  はトバモウイルスの  $P_0$  および  $P_1$  タイプ、 $L^3$  は

トバモウイルスの  $P_0$ 、 $P_1$  および  $P_{1,2}$  タイプ、および  $L^4$  はトバモウイルスの  $P_0$ 、 $P_1$ 、 $P_{1,2}$  および  $P_{1,2,3}$  タイプに対して過敏感反応による抵抗性を示す。トバモウイルス抵抗性遺伝子が異なる穂木と台木の組合せの接ぎ木栽培において、穂木あるいは台木がトバモウイルスに感染した場合、急激に萎凋する可能性がある（齋藤, 2005）。そのため、ピーマン・トウガラシ類の接ぎ木栽培では、トマトと同様に、穂木と台木のトバモウイルス抵抗性遺伝子を一致させることが極めて重要である。わが国の主要なピーマン品種は、トバモウイルス抵抗性遺伝子として  $L^3$  を持つ品種が多く、これらの品種は  $L^3$  を持つ ‘台パワー’ を台木とすることにより、トバモウイルス感染による萎凋を引き起こすことなく青枯病および疫病的被害を軽減することができる。しかし、近年栽培が増加しているカラーピーマン（パプリカ）は、 $L^3$  を持つ品種もあるが、 $L^4$  を持つ品種も多い。また、日本在来のトウガラシや甘長トウガラシは、ほとんどの品種がトバモウイルスに対する抵抗性を持たない。そのため、青枯病および疫病に強度抵抗性を示し、トバモウイルスに関して  $L^4$  を持つ台木用品種さらにトバモウイルス抵抗性を持たない台木用品種、それぞれの育成が望まれている。

〒 514-2392 三重県津市安濃町草生 360

野菜育種・ゲノム研究領域

\* 野菜茶業研究所茶業研究監

\*\* 近畿中国四国農業研究センター

\*\*\* 元野菜茶業研究所長

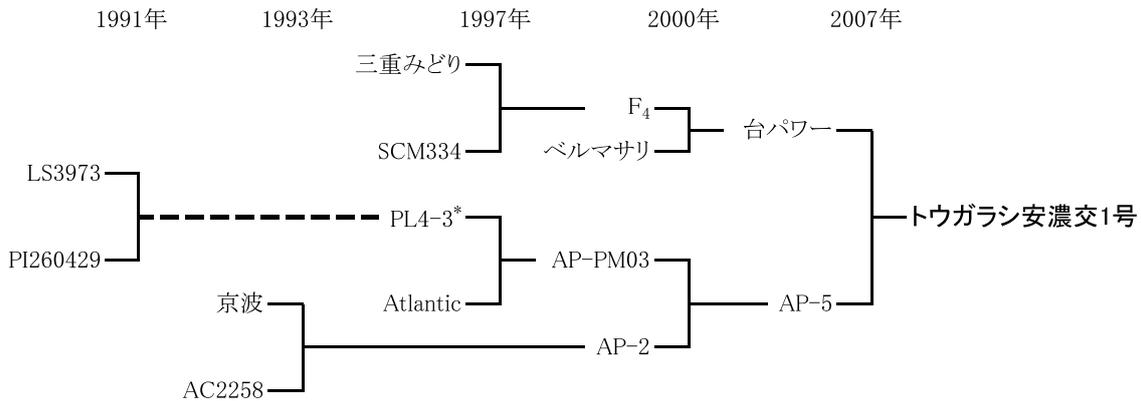


図-1 トウガラシ安濃交1号・同2号の育成図

\*PL4-3 :  $F_1$  (LS3973(*C. annuum*)  $\times$  PI260429 (*C. chacoense*)) に LS3973 を 5 回戻し交雑した系統  
 PI260429 : PMMoV( $P_{1,2,3}$ ) 抵抗性素材

そこで、‘台パワー’ と同等の青枯病および疫病抵抗性を持ち、台木とした場合の穂木の収量性が優れ、 $L^4$  を持つ台木用品種あるいはトバモウイルス抵抗性を持たない台木用品種を目的に育種を進め、 $F_1$  系統であるトウガラシ安濃交1号および同2号を育成した。両系統は、2011～2013年に育成系統評価試験を実施した結果、抵抗性台木用品種としての優秀性が認められ、それぞれ、‘L4台パワー’ および‘台ちから’ と命名された。ここにそれらの育成経過および特性の概要を報告する。

なお、育成系統評価試験の実施にあたって、両品種の特性検定の実施では、兵庫県立農林水産技術総合センター（兵庫県）および宮崎県総合農業試験場（宮崎県）、‘L4台パワー’ の系統適応性検定では、長野県野菜花き試験場（長野県）、高知県農業技術センター（高知県）および鹿児島県農業開発総合センター（鹿児島県）、‘台ちから’ の系統適応性検定では、新潟県農業総合研究所中山間地農業技術センター（新潟県）、京都府農林水産技術センター農林センター（京都府）および和歌山県農業試験場（和歌山県）の担当者各位に多大なご協力を頂いた。また、野菜茶研研究支援センター業務第1科の方々には育成品種ならびに選抜系統の栽培管理等に多大な業務支援を頂いた。ここに記して感謝の意を表す。なお、‘台ちから’ の育成は、2010～2013年には農林水産省委託プロジェクト研究「地域内資源を循環利用する省資源型農業確立のための研究開発」および「気候変動に対応した循環型食料生産等の確立のための技術開発」により実施した。

## II 育成経過

### 1 ‘L4台パワー’

青枯病および疫病に複合抵抗性を有するトウガラシ固定系統の育成を目的として、著者ら (Matsunaga and Monma, 1999) により青枯病抵抗性と報告された  $F_1$  品種である‘京波’ (タキイ種苗株式会社) と山川ら (1979) により疫病抵抗性と報告された固定系統である AC2258 (別名; LS279) を 1993 年に交配した (図-1)。その自殖後代について、青枯病および疫病に対する複合抵抗性系統の選抜を継続し、2000年に主要形質がほぼ固定した AP-2 を選抜した。

一方、トバモウイルス抵抗性遺伝子  $L^4$  を持つピーマン固定系統の育成を目的として、Boukema (1984) により  $L^4$  を持つと報告されたトウガラシ近縁種 PI260429 (*Capsicum chacoense*) とピーマン固定系統 LS3973 (*C. annuum*) を 1991 年に交雑した。しかし、この種間雑種個体からは自殖種子が得られなかったため、LS3973 を 5 回連続戻し交雑し、さらに、 $B_5F_1$  個体にピーマン  $F_1$  品種 ‘Atlantic’ (PETOSEED CO., INC.) を交雑した。この交雑以降は自殖種子が得られるようになったため、その自殖後代について  $L^4$  保有系統の選抜を繰り返し、2000年に  $L^4$  を有し主要形質がほぼ固定した AP-PM03 を選抜した。

さらに、青枯病および疫病に複合抵抗性で  $L^4$  を持つトウガラシ固定系統の育成を目的として、2000年に AP-PM03 と AP-2 を交配し、その後  $L^4$  保有系統について青枯病および疫病に対する抵抗性選抜を繰り返し、2006年に主要形質がほぼ固定した AP-5 を選抜した。

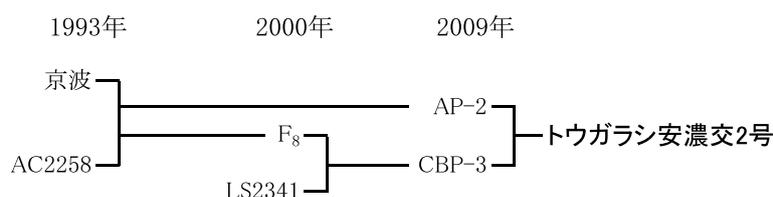


図-2 トウガラシ安濃交2号の育成図

しかし、AP-5は穂木用品種の収量性を低下させるため、台木用品種としては不適と判断された。そこで2007年に、青枯病・疫病・PMMoV (P<sub>1,2</sub>) 抵抗性品種‘台パワー’を種子親に、青枯病・疫病・PMMoV (P<sub>1,2,3</sub>) 抵抗性系統AP-5を花粉親に用いたF<sub>1</sub>系統を作出した。

2008～2010年に、このF<sub>1</sub>系統の青枯病・疫病およびトバモウイルス抵抗性を検定するとともに、台木とした場合の穂木用品種の収量性を検定した。その結果、本系統は、青枯病および疫病に対して強度の複合抵抗性を示し、トバモウイルスのToMV (P<sub>0</sub>)、PMMoV (P<sub>1,2</sub>) および PMMoV (P<sub>1,2,3</sub>) に抵抗性を示すL<sup>4</sup>遺伝子を有し、台木とした場合の穂木用品種の収量性が穂木用品種を自根栽培した場合と同等であったので、トウガラシ安濃交1号の系統名を付し、育成系統評価試験に供試した。

2011～2013年に育成系統評価試験を実施した結果、トウガラシ安濃交1号は安定して青枯病・疫病およびPMMoV (P<sub>1,2,3</sub>) に対して強度抵抗性を示し、台木として使用した場合の穂木用品種の収量が‘台パワー’を台木とした場合および穂木用品種を自根栽培した場合とほぼ同等またはやや優れたため、青枯病および疫病的常発地におけるピーマンおよびトウガラシ類の台木用品種として有望と認められた。トウガラシ安濃交1号は2014年に‘L4 台パワー’の品種名を付し、品種登録出願した。

## 2 ‘台ちから’

青枯病および疫病に複合抵抗性を有する固定系統のAP-2が既に育成されていたが、青枯病抵抗性がさらに強い固定系統を育成するために、2000年にAP-2の姉妹系統である青枯病および疫病に複合抵抗性を有する固定系統にMimuraら(2009)により青枯病に対して強度抵抗性を持つと報告されたLS2341を交配した(図-2)。その自殖後代について、青枯病および疫病に対する複合抵抗性系統の選抜を継続し、2007年に主要形質がほぼ固定したCBP-3を選抜した。

しかし、AP-2、CBP-3はともに穂木用品種の収量性を

低下させるため、台木用品種としては不適と判断された。そこで、2009年に、AP-2を種子親に、CBP-3を花粉親に用いて交配し、F<sub>1</sub>系統を作出した。2010年に、このF<sub>1</sub>系統の青枯病・疫病およびトバモウイルス抵抗性を検定するとともに、台木とした場合の穂木用品種の収量性を検定した。その結果、本系統は、青枯病および疫病に対して強度複合抵抗性を示し、トバモウイルスのToMV (P<sub>0</sub>)、PMMoV (P<sub>1,2</sub>) および PMMoV (P<sub>1,2,3</sub>) に対する抵抗性を持たず、台木とした場合の穂木用品種の収量性が穂木用品種を自根栽培した場合と同等であったので、トウガラシ安濃交2号の系統名を付し、育成系統評価試験に供試した。

2011～2013年に育成系統評価試験を実施した結果、トウガラシ安濃交2号は安定して青枯病および疫病に対して強度抵抗性を示し、トバモウイルスに対する抵抗性がなく、台木として使用した場合の穂木用品種の収量が‘スケッチC’(有限会社南国育種農場)を台木とした場合および穂木用品種を自根栽培した場合とほぼ同等またはやや優れたため、青枯病および疫病的常発地におけるピーマンおよびトウガラシ類の台木用品種として有望と認められた。トウガラシ安濃交2号は2014年に‘台ちから’の品種名を付し、品種登録出願した。

## III 品種特性

### 1 育成地における試験成績

#### a 青枯病抵抗性汚染圃場検定

青枯病抵抗性汚染圃場検定試験は2011～2013年度に実施し、その概要を表-1に示した。

検定品種は‘L4 台パワー’および‘台ちから’とし、対照品種・系統として、‘台パワー’、‘スケッチC’、強度抵抗性のLS2341および著者ら(Matsunaga and Monma, 1999)により青枯病強度抵抗性と報告された‘三重みどり’、中程度抵抗性の‘ベルマサリ’および罹病性の‘エース’(タキイ種苗株式会社)を用いた。供試株数は、1品種・系統当たり、1区7株、3反復とした。

表-1 育成地における青枯病および疫病抵抗性検定試験の概要

病名	検定年度	播種日	移植日	定植日	接種日	接種検定方法	接種菌密度 <sup>z</sup> (個/ml)	調査日
青枯病 (汚染圃場)	2011	4/26	5/16	6/23	7/20	断根灌注接種	$4.0 \times 10^8$	9/14
	2012	4/16	5/7	6/5	7/16	断根灌注接種	$6.0 \times 10^8$	9/20
	2013	4/6	4/30	5/31	7/17	断根灌注接種	$5.0 \times 10^8$	9/11
青枯病 (幼苗)	2012	6/26	—	—	7/17	浸根接種、地温31℃	$6.0 \times 10^8$	8/14
	2013	7/11	—	—	8/2	浸根接種、地温31℃	$9.0 \times 10^8$	8/23
疫病	2011	5/10	—	—	6/2	浸根接種、地温28℃	$5.0 \times 10^4$	6/20
	2012	5/8	—	—	5/31	浸根接種、地温28℃	$1.6 \times 10^3$	6/15
	2013	5/20	—	—	6/13	浸根接種、地温28℃	$2.5 \times 10^3$	7/4

<sup>z</sup>疫病抵抗性検定の場合は、遊走子嚢密度を示す。

表-2 育成地における青枯病抵抗性汚染圃場検定結果

品種・系統名	2011年度			2012年度			2013年度		
	発病株 率 <sup>z</sup> (%)	発病 指数 <sup>y</sup>	判 定 <sup>x</sup>	発病株 率 <sup>z</sup> (%)	発病 指数 <sup>y</sup>	判 定 <sup>x</sup>	発病株 率 <sup>z</sup> (%)	発病 指数 <sup>y</sup>	判 定 <sup>x</sup>
L4台パワー	0 b	0 c	○	10 b	2 c	○	0 c	0 b	○
台ちから	0 b	0 c	○	5 b	1 c	○	5 c	4 b	○
台パワー	0 b	0 c	○	19 b	5 c	○	0 c	0 b	○
スケッチC <sup>w</sup>	—	—	—	24 b	6 c	○	10 bc	8 b	○
LS2341	0 b	0 c	○	0 b	0 c	○	0 c	0 b	○
三重みどり	0 b	0 c	○	10 b	2 c	○	5 c	5 b	○
ベルマサリ	86 a	40 b	×	81 a	43 b	×	33 b	18 b	×
エース	100 a	100 a	×	100 a	98 a	×	100 a	98 a	×

<sup>z</sup>発病株率=(発病株数/供試株数)×100

<sup>y</sup>発病指数=Σ発病評点/個体数×25 (0=全株健全~100=全株枯死)

発病評点:0=健全, 1=一部の葉が萎凋, 2=半分の葉が萎凋, 3=ほとんどの葉が萎凋, 4=枯死

<sup>x</sup>判定:○=強度抵抗性, △=中程度抵抗性, ×=罹病性

<sup>w</sup>スケッチCは2011年度の試験に供試しなかった。

同一列の異なるアルファベットは、Tukeyの多重比較検定により5%水準で有意差があることを示す。

青枯病菌は、2011および2012年度は野菜茶研（三重県津市）の汚染圃場で発病したピーマン品種‘エース’から採取し、病原性確認用TTC培地で分離培養した菌株、2013年度は京都府農林水産技術センター生物資源研究センターから分譲されたKP9547菌株（Mimuraら、2009）を用いた。青枯病菌をジャガイモ半合成液体培地（Wakimoto, 1962）で、31℃・48時間振とう培養し、滅菌蒸留水で10倍希釈して菌濃度を $4.0 \sim 6.0 \times 10^8$ 個/mlに調製したものを接種菌液とした。

2011年度は、供試品種系統を2011年4月26日に播種、5月16日に10.5cmのポリポットに移植し、6月23日に畝幅120cm、株間30cmの栽植密度で野菜茶研の汚染圃場に定植し、7月20日に株元から約5cm離れた地表面を鎌で深さ約10cm、長さ約10cmの切り込みを入れて断根処理し、接種菌液を1株当たり50mlずつ灌注接種した。9月14日に、0=健全、1=一部の葉が萎凋、2=複数の葉が萎凋、3=全部の葉が萎凋および4=枯死の5段階の発病評点で株毎に抵抗性を評価し、各品種・系

統の発病株率および発病指数を算出した。なお、発病指数はΣ発病評点/個体数×25とし、0=全株健全~100=全株枯死とした。2012年と2013年は2011年と同様の栽植密度や発病調査方法で、2012年度は2012年4月16日播種、5月7日移植、6月5日定植、7月16日接種、9月20日に発病調査、2013年度は2013年4月6日播種、4月30日移植、5月31日定植、7月17日接種、9月11日に発病調査を行った。

罹病性の‘エース’は年度を通じて全株発病し、発病指数も98以上と高く、強度抵抗性のLS2341は年度を通じて発病が見られず、同じく強度抵抗性の‘三重みどり’も発病株率が10%以下、発病指数が5以下と低かった（表-2）。中程度抵抗性の‘ベルマサリ’は2011年度および2012年度は発病株率が81~86%、発病指数が40~43、2013年度は発病株率が33%、発病指数が18で、2011年度および2012年度と2013年度との間に若干の差が見られたが、いずれも罹病性の‘エース’と強度抵抗性のLS2341および‘三重みどり’の

表-3 育成地における青枯病抵抗性幼苗検定結果

品種・系統名	2012年度			2013年度		
	発病株率 <sup>z</sup>	発病指数 <sup>y</sup>	判定 <sup>x</sup>	発病株率 <sup>z</sup>	発病指数 <sup>y</sup>	判定 <sup>x</sup>
L4台パワー	7 b	7 c	○	43 c	43 b	△
台ちから	73 a	68 ab	×	96 a	96 a	×
台パワー	13 b	9 c		47 bc	44 b	
スケッチC	87 a	78 ab		63 abc	58 ab	
LS2341	3 b	1 c		0 d	0 c	
三重みどり	60 a	53 b		97 a	96 a	
ベルマサリ	63 a	53 b		87 ab	82 ab	
エース	100 a	100 a		100 a	100 a	

<sup>z</sup>発病株率=(発病株数/供試株数)×100

<sup>y</sup>発病指数=Σ発病評点/個体数×25 (0=全株健全~100=全株枯死)

発病評点:0=健全, 1=一部の葉が萎凋, 2=半分の葉が萎凋, 3=ほとんどの葉が萎凋, 4=枯死

<sup>x</sup>判定:○=強度抵抗性, △=中程度抵抗性, ×=罹病性

同一列の異なるアルファベットは, Tukeyの多重比較検定により5%水準で有意差があることを示す。

間であった。以上のことから、各年度とも抵抗性検定結果は適性であると判断された。

‘L4 台パワー’ および ‘台ちから’ はいずれも発病株率が10%以下、発病指数が4以下でLS2341 および ‘三重みどり’ と同程度の強度抵抗性を示した。また、‘台パワー’ および ‘スケッチC’ は、発病株率が19%以下、発病指数が6以下で強度抵抗性を示した。以上の結果、‘L4 台パワー’ および ‘台ちから’ は、圃場検定ではLS2341、‘三重みどり’ および ‘台パワー’ と同程度の強度抵抗性を示すと判断された。

なお、斎藤ら(2011)は、本試験と同じ汚染圃場で実施した抵抗性検定で‘スケッチC’が全株枯死したと報告しており、‘スケッチC’は栽培環境によって抵抗性が低下する可能性があると思われるため注意を要する。

#### b 青枯病抵抗性幼苗検定

青枯病抵抗性幼苗検定試験は2012および2013年度に実施し、その概要を表-1に示した。

供試品種・系統は、青枯病汚染圃場検定と同じとし、供試株数は、1品種・系統当たり、1区10株、3反復とした。青枯病菌は、京都府農林水産技術センター農林センターから分譲されたKP9547菌株を用いた。青枯病菌の増殖は汚染圃場検定と同様に行い、菌濃度を $6.0 \sim 9.0 \times 10^8$  個/mlに調製したものを接種菌液とした。

2012年度は2012年6月26日に播種し、7月17日に苗を掘り上げ、接種菌液に各株の根部を1分間以上浸漬し、地温を31°Cに設定した土壤恒温槽(土壌病害抵抗性選抜装置、(株)小澤製作所)に移植した。抵抗性の評価は、8月14日に汚染圃場検定と同様に5段階の発病評点で株毎に行い、各品種・系統の発病株率および発病指数を算出した。2013年度は2013年7月11日に播種し、

8月2日に接種後移植し、8月23日に発病調査を行った。

罹病性の‘エース’は2年とも全株枯死し、‘三重みどり’は発病株率が60および97%、発病指数が53および96、‘ベルマサリ’は発病株率が63および87%、発病指数が53および82で罹病性であった(表-3)。強度抵抗性のLS2341は発病株率が3%以下、発病指数が1以下で非常に強い抵抗性を示した。以上のことから、幼苗検定での接種強度は圃場検定より強く、‘三重みどり’のように圃場検定で強度抵抗性を示した品種でも罹病性と評価されることがあると考えられた。

‘L4 台パワー’は、2012年度の検定では発病株率が7%、発病指数が7でLS2341 および ‘台パワー’ と同等の強度抵抗性を示した。しかし、2013年度の検定では発病株率が43%、発病指数が43で、‘台パワー’ と同等で、LS2341 と ‘三重みどり’ の中間であった。‘台ちから’は、2012年度の検定では発病株率が73%、発病指数が68で、2013年度は発病株率が96%、発病指数が96で、2年とも‘LS2341’より高く、‘スケッチC’ および ‘三重みどり’ と同等であった。

以上の結果、幼苗検定での青枯病抵抗性は、‘L4 台パワー’は‘台パワー’ と同等の中程度抵抗性、‘台ちから’は‘スケッチC’ と同等で罹病性と判断された。

#### c 疫病抵抗性検定

育成地での疫病抵抗性検定試験は2011~2013年度に実施し、その概要を表-1に示した。

検定品種は‘L4 台パワー’ および ‘台ちから’ とし、対照品種・系統として、‘台パワー’、‘スケッチC’、強度抵抗性としてOrtegaら(1991)により疫病抵抗性と報告されたSCM334、AC2258、中程度抵抗性の‘ベルマサリ’ および罹病性の‘エース’を用いた。供試株数

は、1品種・系統当たり、1区10株、3反復とした。

接種には、野菜茶研果実育種研究グループで保存しているトウガラシ疫病菌を用いた。疫病菌の調整は Sugita ら (2006) および Ueeda ら (2006) の方法を改変した方法 (Matsunaga ら, 2011) により行った。すなわち、疫病菌を改変 V8 ジュース寒天培地に置床し、28℃暗所嫌気条件下で1週間培養し、更に28℃明所好気条件下で3日間培養したものを滅菌蒸留水で遊走子濃度を  $1.6 \times 10^3 \sim 5.0 \times 10^4$  個/ml に調製した接種菌液を用いた。

2011年度は、供試品種・系統を2011年5月10日に播種し、6月2日に本葉2～3葉期の苗を掘り上げ、根を洗浄し、接種菌液に1分以上浸根することにより接種し、地温28℃に設定した土壌恒温槽(土壌病害抵抗性選抜装置、(株)小澤製作所)に移植した。調査は接種18日後の6月20日に、0=外部病徴なし、1=萎凋および2=枯死の3段階での発病評点で評価し、発病株率および発病指数を算出した。発病指数は $\Sigma$ 発病評点/個体数 $\times 50$ とし、0=全株健全～100=全株枯死とした。2012年度と2013年度は2011年度と同様の栽植密度や発病調査方法で、2012年度は2012年5月8日播種、5月31日接種、6月15日に発病調査、2013年度は2013年5月20日播種、6月13日接種、7月4日に発病調査を行った。

罹病性の‘エース’は年度を通じて全株枯死し、強度抵抗性のSCM334は年度を通じて発病が見られず、同じく強度抵抗性のAC2258も発病株率が10%以下、発病指数が10以下で低かった(表-4)。中程度抵抗性の‘ベルマサリ’は2011年度に発病株率が83%、発病指数が83、2012年度および2013年度は発病株率が17～

23%、発病指数が17で、2011年度と2012年度および2013年度との間に差が見られたが、いずれも罹病性の‘エース’と強度抵抗性のSCM334およびAC2258の間であった。以上のことから、各年度とも抵抗性検定結果は適性であると判断された。

‘L4台パワー’、‘台ちから’および‘台パワー’はいずれも2011年度の病株率が17%以下の発病であったが、2012年度および2013年度は発病が見られなかった。一方、‘スケットC’は2012年度および2013年度ともに全株枯死した。以上の結果、‘L4台パワー’および‘台ちから’は、SCM334、AC2258および‘台パワー’と同程度の強度抵抗性を示すと判断された。

なお、斎藤ら(2011)の疫病抵抗性幼苗検定では、‘スケットC’は抵抗性を示したが、本検定では罹病性であったことから、‘スケットC’は栽培環境によって抵抗性が低下する可能性があると思われるため注意を要する。

#### d トバモウイルス抵抗性検定

育成地でのトバモウイルス抵抗性検定試験は2012年度および2013年度に実施し、その概要を表-5に示した。

検定品種は‘L4台パワー’および‘台ちから’とし、対照品種としてトバモウイルス抵抗性遺伝子の $L^4$ を持つ‘スペシャル’、 $L^3$ を持つ‘台パワー’および‘ベルマサリ’、 $L^1$ を持つ‘エース’およびトバモウイルス抵抗性遺伝子を持たない‘三重みどり’を用いた。1品種・系統当たりの供試株数は、‘L4台パワー’、‘台ちから’および‘台パワー’は1区12株、その他の対照品

表-4 育成地における疫病抵抗性検定結果

品種・系統名	2011年度			2012年度			2013年度		
	発病株率 <sup>z</sup> (%)	発病指数 <sup>y</sup>	判定 <sup>x</sup>	発病株率 <sup>z</sup> (%)	発病指数 <sup>y</sup>	判定 <sup>x</sup>	発病株率 <sup>z</sup> (%)	発病指数 <sup>y</sup>	判定 <sup>x</sup>
L4台パワー	17 b	17 b	○	0 c	0 c	○	0 b	0 b	○
台ちから	7 b	7 b	○	0 c	0 c	○	0 b	0 b	○
台パワー	7 b	7 b		0 c	0 c		0 b	0 b	
スケットC <sup>w</sup>	—	—		100 a	100 a		100 a	100 a	
SCM334	0 b	0 b		0 c	0 c		0 b	0 b	
AC2258	10 b	10 b		0 c	0 c		3 b	3 b	
ベルマサリ	83 a	83 a		17 b	17 b		23 b	17 b	
エース	100 a	100 a		100 a	100 a		100 a	100 a	

<sup>z</sup>発病株率=(発病株数/供試株数) $\times 100$

<sup>y</sup>発病指数= $\Sigma$ 発病評点/個体数 $\times 50$  (0=全株健全～100=全株枯死)

発病評点:0=健全, 1=萎凋, 2=枯死

<sup>x</sup>判定:○=強度抵抗性、△=中程度抵抗性、×=罹病性

<sup>w</sup>スケットCは2011年度の試験に供試しなかった。

同一列の異なるアルファベットは、Tukeyの多重比較検定により5%水準で有意差があることを示す。

表－5 育成地におけるトバモウイルス抵抗性検定試験の概要

検定年度	播種日	移植日	接種日	トバモウイルスのストレイン	接種検定方法	調査日
2012	2/23	3/27	3/30	ToMV(P <sub>0</sub> ), PMMoV(P <sub>1,2</sub> ), PMMoV(P <sub>1,2,3</sub> )	3～4葉期の苗に カーボランダムを用いて接種	4/18
2013	2/22	3/21	4/1	ToMV(P <sub>0</sub> ), PMMoV(P <sub>1,2</sub> ), PMMoV(P <sub>1,2,3</sub> )	3～4葉期の苗に カーボランダムを用いて接種	4/19

表－6 育成地におけるトバモウイルス抵抗性検定結果

品種・系統名	ToMV(P <sub>0</sub> )			PMMoV(P <sub>1,2</sub> )			PMMoV(P <sub>1,2,3</sub> )			判定 <sup>x</sup>
	供試株数	局部病斑 <sup>z</sup> 有(株数)	モザイク <sup>y</sup> 有(株数)	供試株数	局部病斑 <sup>z</sup> 有(株数)	モザイク <sup>y</sup> 有(株数)	供試株数	局部病斑 <sup>z</sup> 有(株数)	モザイク <sup>y</sup> 有(株数)	
2012年度										
L4台パワー	12	12	0	12	12	0	12	12	0	L <sup>4</sup>
台ちから	12	0	12	12	0	12	12	0	12	+
スペシャル	6	6	0	6	6	0	6	6	0	L <sup>4</sup>
台パワー	12	12	0	12	12	0	12	0	12	L <sup>3</sup>
ベルマサリ	6	6	0	6	6	0	6	0	6	L <sup>3</sup>
エース	6	6	0	6	0	6	6	0	6	L <sup>1</sup>
三重みどり	6	0	6	6	0	6	6	0	6	+
2013年度										
L4台パワー	12	12	0	12	12	0	12	12	0	L <sup>4</sup>
台ちから	12	0	12	12	0	12	12	0	12	+
スペシャル	6	6	0	6	6	0	6	6	0	L <sup>4</sup>
台パワー	12	12	0	12	12	0	12	0	12	L <sup>3</sup>
ベルマサリ	6	6	0	6	6	0	6	0	6	L <sup>3</sup>
エース	6	6	0	6	0	6	6	0	6	L <sup>1</sup>
三重みどり	6	0	6	6	0	6	6	0	6	+

<sup>z</sup>接種葉に局部病斑が認められた株数, <sup>y</sup>接種上位葉にモザイク症状が認められた株数

<sup>x</sup>局部病斑が認められ、モザイク症状が認められなかった場合を抵抗性と判断し、全てのストレインに抵抗性がない場合を+, ToMV(P<sub>0</sub>)のみに抵抗性の場合をL<sup>1</sup>, ToMV(P<sub>0</sub>)およびPMMoV(P<sub>1,2</sub>)に抵抗性の場合をL<sup>3</sup>, ToMV(P<sub>0</sub>), PMMoV(P<sub>1,2</sub>)および, PMMoV(P<sub>1,2,3</sub>)に抵抗性の場合をL<sup>4</sup>と判定した。

種は1区6株とした。

トバモウイルスの接種源は、野菜茶研で保存しているToMV (P<sub>0</sub>), PMMoV (P<sub>1,2,3</sub>), および農研機構中央農業総合研究センターより分譲された PMMoV(P<sub>1,2</sub>) を用いた。接種液は、ToMV (P<sub>0</sub>) および PMMoV (P<sub>1,2,3</sub>) では、約0.2gの凍結乾燥した罹病葉を少量の蒸留水中で破碎後、ガーゼで絞り、蒸留水で100mlに定量し、1500meshのカーボランダムを適量加えてかき混ぜたものを用いた。PMMoV (P<sub>1,2</sub>) では純化標本を蒸留水で100倍希釈した液に1500meshのカーボランダムを適量加えてかき混ぜたものを用いた。接種液に浸した指で本葉2枚の表面を押し伸ばすようにして摩擦接種した。

2012年度は、供試品種・系統を2012年2月23日に播種し、3月27日に直径10.5cmのポリポットに移植し、接種後は暖房開始温度を15℃に設定したガラス室で栽培した。3月30日に接種し、4月18日まで調査した。調査は接種葉における局部病斑の有無および接種上位葉で

のモザイク症状の有無について行い、接種葉に局部病斑が認められ、接種上位葉でのモザイク症状が認められなかった株を抵抗性、接種葉に局部病斑が認められず、接種上位葉でモザイク症状が認められた株を罹病性と判定した。2013年度も2012年度と同様に、2013年2月22日播種、3月21日移植、4月1日接種、4月19日まで調査を行った。

接種検定の結果は2年間とも全く同じで、対照品種では、‘スペシャル’はL<sup>4</sup>、‘台パワー’および‘ベルマサリ’はL<sup>3</sup>、‘エース’はL<sup>1</sup>を持ち、‘三重みどり’はトバモウイルス抵抗性遺伝子を持たないことが確認された。‘L4台パワー’は、ToMV (P<sub>0</sub>), PMMoV (P<sub>1,2</sub>) および PMMoV (P<sub>1,2,3</sub>) に対して接種葉に局部病斑が認められ、接種上位葉にモザイク症状が認められなかったもので、トバモウイルス抵抗性遺伝子としてL<sup>4</sup>を持ち、‘台ちから’はToMV (P<sub>0</sub>), PMMoV (P<sub>1,2</sub>) および PMMoV (P<sub>1,2,3</sub>) に対して接種葉で局部病斑が認められず、接種

表-7 育成地における‘L4台パワー’を台木とした接ぎ木適応性検定試験(穂木用品種:‘スペシャル’)の概要

検定 年度	台木 播種日	穂木 播種日	自根区 播種日	台木 移植日	接ぎ木 日	接ぎ木 方法	自根区 移植日	接ぎ木区 移植日	定植 日	栽植密度 畝幅×株間	仕立て 本数	試験規模	収穫期間
2011	10/7	10/15	10/22	10/28	11/9	ピン接ぎ	11/24	11/24	12/17	140×40cm	4本	5株3反復	4/8~7/4
2012	9/5	9/9	9/20	9/22	10/5	ピン接ぎ	10/17	10/17	11/4	140×25cm	2本	6株2反復	2/26~7/6
2013	9/28	10/2	10/22	—	10/29	斜め合わせ	11/14	11/14	12/17	140×25cm	2本	6株3反復	4/2~6/21

穂木品種:スペシャル

表-8 ‘L4台パワー’を台木とした場合の穂木用品種‘スペシャル’の収量

検定 年度	台木用品種名 <sup>2</sup>	期別果重(kg/a)			総収量 (kg/a)	良果収量 (kg/a)	良果率 (%)	良果の平均 一果重(g)	判定 <sup>3</sup>	
		前期	中期	後期					対標準	対対照
2011	L4台パワー	223	129	224	575	383	60.8	161.7	△	△
	台パワー	206	94	242	598	421	63.7	153.0		
	スペシャル:自根	182	117	250	549	337	58.0	149.7		
2012	L4台パワー	153	224	132	509	435	79.0	149.0	○	△
	台パワー	160	187	107	454	350	68.9	144.4		
	スペシャル:自根	178	183	139	500	448	84.0	154.1		
2013	L4台パワー	181	149	316	646	512	74.8	185.6	○	△
	台パワー	188	103	279	569	516	87.2	171.5		
	スペシャル:自根	182	153	333	669	565	80.0	185.3		

<sup>2</sup>各場所とも年次ごとに、上段:検定品種、中段:標準品種、下段:対照

<sup>3</sup>判定 対標準:標準品種と比べて、対対照:対照と比べて、○=優れる、△=同等、×=劣る

上位葉にモザイク症状が認められたので、トバモウシルス抵抗性を持たないと判断された(表-6)。

#### e 接ぎ木個体の生産力検定

##### 1) ‘L4台パワー’を台木とした場合の生産力検定

穂木用品種として‘スペシャル’を用いた生産力検定試験を2011~2013年度に実施し、その概要を表-7に示した。

台木用品種の検定品種として‘L4台パワー’、標準品種として‘台パワー’を用い、対照として穂木用品種‘スペシャル’の自根区を設けた。試験規模は2011年度が1区5株3反復、2012年度が1区6株2反復、2013年度が1区6株3反復とした。

2011年度は、2010年10月7日に台木用品種、10月15日に穂木用品種、10月22日に自根区用品種を育苗箱(500mm×355mm×75mm)に播種し、10月28日に台木用品種を直径9cmのポリポットへ移植し、11月9日にピン接ぎ法により接ぎ木を行った。11月24日に接ぎ木区および自根区の苗を直径10.5cmのポリポットに移植し、12月17日に畝幅140cm、株間40cmで、暖房稼働温度を15℃に設定した鉄骨ハウス内に定植した。主枝4本仕立てとし、側枝を基部から摘除した。1~3段目を摘花し、それ以降は放任し、開花時に振動受粉した。ハウスの暖房運転は2011年4月30日まで行った。収量調査の期間は4月8日~7月4日とした。

2012年と2013年は2011年と同じハウスで同様の栽培方法で、2012年度は、2011年9月5日に台木用品種、9月9日に穂木用品種、9月20日に自根区用品種を育苗箱に播種した。9月22日に台木用品種を直径9cmのポリポットに移植し、10月5日にピン接ぎ法により接ぎ木を行い、10月17日に直径10.5cmのポリポットに移植し、11月4日に畝幅140cm、株間25cmの間隔で定植した。主枝2本仕立てとし、収穫期間は2012年2月26日~7月6日とした。2013年度は台木用品種を2012年9月28日に72穴のセルトレーに、穂木用品種を10月2日、自根区用品種を10月22日に育苗箱に播種した。10月29日に斜め合わせ接ぎ法により接ぎ木を行い、11月14日に移植、12月17日に畝幅140cm、株間25cmの間隔で定植した。主枝2本仕立てとし、収穫期間は2013年4月2日~6月21日とした。

生産力検定結果を表-8に示した。2012および2013年度は‘L4台パワー’区は‘台パワー’区より優れると判定されたが、いずれの年度も総収量、良果収量、良果率および良果の平均1果重は、‘L4台パワー’区、‘台パワー’区および‘スペシャル’自根区の間5%水準で有意な差は認められなかった。以上の結果、‘L4台パワー’を台木とした場合の穂木用品種‘スペシャル’の収量性は、‘台パワー’を台木とした場合および‘スペシャル’を自根栽培した場合とほぼ同等と判断された。

表-9 育成地における ‘台ちから’ を台木とした接ぎ木適応性検定試験（穂木用品種：‘京鈴’）の概要

検定年度	台木播種日	穂木播種日	自根区播種日	台木移植日	接ぎ木日	接ぎ木方法	自根区移植日	接ぎ木区移植日	定植日	栽植密度 畝幅×株間	試験規模	収穫期間
2011	3/15	3/22	3/29	4/5	4/19	ピン接ぎ	5/6	5/6	5/24	120×40cm	5株3反復	6/24～8/22
2012	3/8	3/12	3/19	—	4/11	斜め合わせ	4/13	4/20	5/11	120×40cm	4株3反復	6/18～8/21
2013	3/11	3/15	3/25	—	4/12	斜め合わせ	4/12	4/25	5/16	120×40cm	4株3反復	6/18～8/21

穂木品種:京鈴

表-10 ‘台ちから’ を台木とした場合の穂木用品種 ‘京鈴’ の収量

検定年度	台木用品種名 <sup>2</sup>	期別果重(kg/a)			総収量 (kg/a)	良果収量 (kg/a)	良果率 (%)	良果の平均 一果重(g)	判定 <sup>3</sup>	
		前期	中期	後期					対標準	対対照
2011	台ちから	122	171	254	546	529	96.1	31.2	○	○
	スケッチC	130	169	168	467	453	96.2	30.6		
	京鈴:自根	108	160	209	477	448	93.0	30.8		
2012	台ちから	232	176	221	630	603	95.1	30.3	△	○
	スケッチC	215	209	211	634	610	95.6	29.6		
	京鈴:自根	182	184	199	565	532	93.0	30.2		
2013	台ちから	209	295	136	640	601	92.1	29.0	△	○
	スケッチC	205	265	158	628	564	86.5	28.6		
	京鈴:自根	173	273	144	590	549	91.2	27.4		

<sup>2</sup>各場所とも年次ごとに、上段:検定品種、中段:標準品種、下段:対照<sup>3</sup>判定 対標準:標準品種と比べて、対対照:対照と比べて、○=優れる、△=同等、×=劣る

## 2) ‘台ちから’ を台木とした場合の生産力検定

穂木用品種として ‘京鈴’ を用いた生産力検定試験を2011～2013年度に実施し、その概要を表-9に示した。

台木用品種の検定品種として ‘台ちから’、標準品種として ‘スケッチC’ を用い、対照として穂木用品種 ‘京鈴’ の自根区を設けた。試験規模は2011年度では1区5株3反復、2012および2013年度の試験では1区4株3反復とした。

2011年度は、2011年3月15日に台木用品種、3月22日に穂木用品種、3月29日に自根区用品種を育苗箱(500mm×355mm×75mm)に播種し、4月5日に台木用品種を直径9cmのポリポットへ移植し、4月19日にピン接ぎ法により接ぎ木を行った。5月6日に接ぎ木区および自根区の苗を直径10.5cmのポリポットに移植し、5月24日に畝幅120cm、株間40cmで露地普通圃場に定植した。定植後はフラワーネットを利用した放任栽培とし、収穫期間は6月24日～8月22日とした。

2012年度は、2012年3月8日に台木用品種を72穴セルトレーに、3月12日に穂木用品種、3月19日に自根区用品種を育苗箱に播種した。4月11日に斜め合わせ接ぎ法により接ぎ木を行い、自根区の苗は4月13日に、接ぎ木区の苗は4月20日に直径10.5cmのポリポットに移植し、5月11日に畝幅120cm、株間40cmで露地普通圃場に定植した。定植後はフラワーネットを利用した放任栽培とし、収穫期間は6月18日～8月21日とした。

2013年度は、2013年3月11日に台木用品種を72穴セルトレーに、3月15日に穂木用品種、3月25日に自根区用品種を育苗箱に播種した。4月12日に斜め合わせ接ぎ法により接ぎ木を行い、自根区の苗は4月12日に、接ぎ木区の苗は4月25日に直径10.5cmのポリポットに移植し、5月16日に畝幅120cm、株間40cmで露地普通圃場に定植した。定植後はフラワーネットを利用した放任栽培とし、収穫期間は6月18日～8月21日とした。

生産力検定結果を表-10に示した。‘台ちから’区は、2011年度では ‘スケッチC’ 区および ‘京鈴’ 自根区より優れ、2012および2013年度は ‘京鈴’ 自根区より優れると判定されたが、いずれの年度も総収量、良果収量、良果率および良果の平均1果重は、‘台ちから’区、‘スケッチC’区および ‘京鈴’ 自根区の間5%水準で有意な差は認められなかった。以上の結果、‘台ちから’を台木とした場合の穂木用品種 ‘京鈴’ の収量性は、‘スケッチC’を台木とした場合および ‘京鈴’ を自根栽培した場合とほぼ同等と判断された。

## f 生態的・形態的特性調査

‘L4台パワー’ および ‘台ちから’ の生態的・形態的特性調査を2012年度に実施した。

‘L4台パワー’、‘台ちから’、‘台パワー’ および ‘ベルマサリ’ を供試し、2012年3月21日に播種し、4月16日に直径10.5cmのポリポットに移植し、5月14日

表-11 ‘L4台パワー’ および ‘台ちから’ の生態的・形態的特性

品種・系統名	開花到達 日数(日)	第1分枝 まで長さ(cm)	茎の太さ (mm)	草丈 (cm)	節間長 (cm)	葉長 (cm)	葉幅 (cm)	花色	花柄の 向き	未熟 果色	未熟果色 の濃淡
L4台パワー	71.1 b	25.9 b	14.2 b	106.5 a	7.2 a	9.8 a	5.3 a	白	下垂	緑	淡
台ちから	66.8 c	23.3 b	11.5 c	76.1 b	5.6 b	8.7 a	4.2 b	白	下垂	緑	中
台パワー	75.5 a	28.2 a	16.3 a	110.1 a	6.0 ab	9.4 a	4.7 ab	白	下垂	緑	中
ベルマサリ	63.1 d	15.7 c	11.6 c	60.1 c	6.3 ab	9.5 a	5.1 a	白	下垂	緑	中



図-3 ‘L4台パワー’ の草姿



図-4 ‘L4台パワー’ の未熟果実



図-5 ‘L4台パワー’ の完熟果実



図-6 ‘台ちから’ の草姿



図-7 ‘台ちから’ の未熟果実

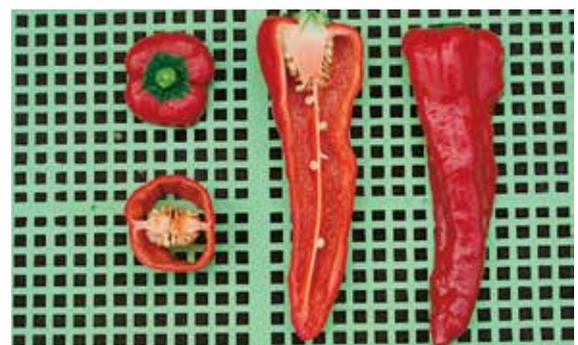


図-8 ‘台ちから’ の完熟果実

表－12 ‘L4 台パワー’ および ‘台ちから’ の果実特性

品種・系統名	成熟果色	縦断面の形	横断面の形	果長 (cm)	果径 (cm)	果肉の厚さ(mm)	子室数	こうあ部の深さ	果頂部の形	種子数 (粒/果)	果実の辛味
L4台パワー	赤	台形	角張る	11.9 ab	5.2 a	3.5 bc	3.5 a	深	くぼむ	302 a	有
台ちから	赤	狭三角形	円形	13.0 a	3.7 c	2.9 c	2.4 b	極浅	鋭	186 b	有
台パワー	赤	台形	円形	9.3 c	4.3 b	4.0 b	3.5 a	中	ややくぼむ	253 ab	無
ベルマサリ	赤	台形	角張る	10.2 bc	5.7 a	5.0 a	2.9 b	浅	くぼむ	290 a	無

表－13 特性検定試験場所における病害抵抗性検定試験の概要

病害	検定場所 <sup>2</sup>	年度	播種日	接種日	接種検定方法	接種菌密度 <sup>3</sup>	調査日	
青枯病	兵庫県	2011	5/16	6/15	汚染圃場	－	7/31	
		2012	5/16	6/20	汚染圃場	－	8/10	
		2013	5/10	6/10	汚染圃場	－	7/17	
	宮崎県	2011	6/9	7/19	断根灌注接種	$2.0 \times 10^8$	8/1	
		2012	6/6	7/20	断根灌注接種	$1.0 \times 10^8$	8/2	
		2013	5/13	7/5	断根灌注接種	$1.0 \times 10^8$	8/5	
	疫病	兵庫県 <sup>4</sup>	2011	8/8	9/6	浸根接種	$1.0 \times 10^4$	9/28
			2012	5/16	6/22	浸根接種	$1.0 \times 10^4$	6/30
			2013	9/10	10/2	浸根接種	$1.3 \times 10^4$	10/9
宮崎県		2011	6/9	8/4	断根灌注接種	$1.0 \times 10^5$	8/26	
		2012	7/5	9/6	断根灌注接種	$1.0 \times 10^5$	10/10	
		2013	9/6	10/15	断根灌注接種	$1.0 \times 10^5$	10/31	

<sup>2</sup>兵庫県は兵庫県立農林水産技術総合センター，宮崎県は宮崎県総合農業試験場

<sup>3</sup>接種菌密度：青枯病では青枯病菌/ml，疫病では遊走子のう/ml

<sup>4</sup>兵庫県での疫病抵抗性検定は野菜茶業研究所より分譲した疫病菌を使用した。

に畝幅 120cm，株間 40cm で 1 品種・系統当たり 12 株 2 反復を露地普通圃場に定植した。生態的・形態的特性調査は農林水産植物別審査基準の「とうがらし属」の基準に従い調査し，その結果の一部を表－11 および表－12 に示した。また，‘L4 台パワー’ の草姿，未熟果実および完熟果実の写真を，それぞれ，図－3，4 および 5 に，‘台ちから’ の草姿，未熟果実および完熟果実の写真を，それぞれ，図－6，7 および 8 に示した。

‘L4 台パワー’ は，開花到達日数がやや長く，第 1 分枝までの長さがやや長く，茎の太さがやや太かった（表－11）。草丈は高く，節間長は長く，葉長はやや長く，葉幅は広がった。花は白色，花柄は下向き，未熟果は淡い緑色であった。成熟果は赤色，縦断面の形は台形，横断面の形は角張った（表－12）。果長はやや長く，果径は中程度で，果肉はやや厚く，子室数 3.5 でやや多かった。こうあ部の深さは深く，果頂部はくぼみ，一果当たりの種子数は多く，果実は辛味を有していた。

‘台ちから’ は，開花到達日数が中程度で，第 1 分枝までの長さがやや短く，茎の太さがやや細かった（表－11）。草丈はやや低く，節間長はやや短く，葉長はやや

短く，葉幅はやや狭かった。花は白色，花柄は下向き，未熟果は緑色で濃淡は中程度であった。成熟果は赤色，縦断面の形は狭三角形，横断面の形は円形であった（表－12）。果長は長く，果径は細く，果肉の厚さは薄く，子室数は少なかった。こうあ部の深さは極浅く，果頂部は鋭く，一果当たりの種子数は少なく，果実は辛味を有していた。

## 2 特性検定場所における試験成績

特性検定は兵庫県および宮崎県において実施し，青枯病抵抗性および疫病抵抗性について調査した。

### a 青枯病抵抗性

検定品種は ‘L4 台パワー’ および ‘台ちから’，対照品種とし強度抵抗性品種の ‘台パワー’，中程度抵抗性品種の ‘ベルマサリ’ および罹病性品種の ‘エース’ を用いた。病原菌は各検定地で発生している菌株を用い，検定方法は，兵庫県では汚染圃場での検定，宮崎県では幼苗検定とした（表－13）。

兵庫県では，2011 年度は 1 品種・系統当たり 19～20

表-14 特性検定試験場所における青枯病および疫病抵抗性検定結果

年度	品種・系統名	青枯病抵抗性検定								疫病抵抗性検定							
		兵庫県				宮崎県				兵庫県 <sup>2</sup>				宮崎県			
		供試株数	発病株率(%)	発病指数 <sup>y</sup>	判定 <sup>x</sup>	供試株数	発病株率(%)	発病指数 <sup>y</sup>	判定 <sup>x</sup>	供試株数	発病株率(%)	発病指数 <sup>y</sup>	判定 <sup>x</sup>	供試株数	発病株率(%)	発病指数 <sup>y</sup>	判定 <sup>x</sup>
2011	L4台パワー	20	0	0	○	20	15	4	○	18	33	22	○	30	33	11	○
	台ちから	19	0	0	○	20	10	3	○	18	28	22	○	30	27	9	○
	台パワー	20	0	0		20	20	8		18	44	29		30	73	30	
	ベルマサリ	20	5	3		20	50	19		19	63	46		30	93	41	
	エース	20	85	64		20	70	30		19	63	49		30	27	10	
2012	L4台パワー	20	5	4	○	20	5	4	○	19	42	24	○	30	0	0	○
	台ちから	20	5	1	○	20	15	9	○	19	42	20	○	30	10	3	○
	台パワー	20	0	0		20	5	4		18	44	29		30	17	6	
	ベルマサリ	20	30	24		20	20	10		20	70	45		30	47	24	
	エース	20	100	96		20	100	89		20	75	56		30	60	51	
2013	L4台パワー	32	4	1	○	26	12	10	○	40	3	3	○	24	4	1	○
	台ちから	32	6	2	○	26	12	10	○	38	8	8	○	24	4	1	○
	台パワー	33	3	1		26	19	14		40	10	10		19	21	7	
	ベルマサリ	32	9	5		26	65	42		40	23	23		24	100	39	
	エース	32	88	74		26	85	70		40	18	28		24	100	72	

<sup>2</sup>野菜茶業研究所分譲の疫病菌により実施,<sup>y</sup>発病指数:0=健全~100=枯死,<sup>x</sup>○=強度抵抗性,△=中程度抵抗性,×=罹病性

株, 2012年度は1品種・系統当たり20株, 2013年度は1品種・系統当たり32~33株を供試し, 宮崎県では, 2011および2012年度は1品種・系統当たり20株, 2013年度は1品種・系統当たり26株を供試した。

‘L4台パワー’および‘台ちから’は, 兵庫県および宮崎県ともに, いずれの年度も発病株率および発病指数ともに‘台パワー’と同等で, ‘ベルマサリ’および‘エース’より低かったことから, 強度抵抗性と判定された(表-14)。

#### b 疫病抵抗性

検定品種は‘L4台パワー’および‘台ちから’, 対照品種として強度抵抗性品種の‘台パワー’, 中程度抵抗性品種の‘ベルマサリ’および罹病性品種の‘エース’を用いた。病原菌は兵庫県では野菜茶研で保存している菌株を, 宮崎県では現地で発生している菌株を使用した。検定方法は, 兵庫県および宮崎県ともに幼苗検定であるが, 兵庫県では浸根接種, 宮崎県では断根灌注接種とした(表-13)。

兵庫県では, 2011年度は1品種・系統当たり18~19株, 2012年度は1品種・系統当たり18~20株, 2013年度は1品種・系統当たり38~40株を供試し, 宮崎県では, 2011および2012年度は1品種・系統当たり20株, 2013年度は1品種・系統当たり19~24株を供試した。

‘L4台パワー’および‘台ちから’は, 兵庫県および宮崎県ともに, いずれの年度も発病株率, 発病指数がともに‘台パワー’と同等または低く, ‘ベルマサリ’お

よび宮崎県の2011年度以外は‘エース’より低かったことから, 強度抵抗性と判定された(表-14)。

### 3 系統適応性検定場所における試験成績

#### a ‘L4台パワー’

2011~2013年度に長野県, 高知県および鹿児島県において系統適応性検定試験を実施した。各試験とも穂木用品種を‘スペシャル’とし, 検定台木用品種を‘L4台パワー’, 標準品種を‘台パワー’, 対照品種を長野県では‘ベルマサリ’, 高知県では‘台助’とし, 鹿児島県では穂木用品種‘スペシャル’の自根区を対照とした。各場所の試験概要は表-15, 各試験の結果を表-16に示した。

長野県の夏秋栽培での検定では, 2011年度は, 2011年1月20日に台木用品種, 1月24日に穂木用品種を播種し, 3月1日に割り接ぎ法により接ぎ木を行った。4月13日に畝幅180cm, 株間40cmの間隔で定植し, 収穫期間は7月15日~9月30日とした。2012年度および2013年度は2011年度と同様とし, 2012年度は, 2012年2月6日に台木および穂木用品種を播種し, 3月1日に接ぎ木, 3月6日に定植を行い, 収穫期間は7月3日~9月30日とした。2013年度は2013年1月31日に台木用品種, 2月1日に穂木用品種を播種し, 3月1日に接ぎ木, 4月18日に定植を行い, 収穫期間は7月8日~10月7日とした。試験規模は各年度とも5株2反復とした。

‘L4台パワー’を台木とした場合の‘スペシャル’の

表-15 ‘L4 台パワー’ の系統適応性検定試験場所の試験概要

検定場所 <sup>2</sup>	年度	穂木用品種	台木播種日	穂木播種日	接ぎ木日	接ぎ木方法	定植日	栽植密度		試験規模	収穫期間
								畝幅×株間	本/a		
長野県	2011	スペシャル	1/20	1/24	3/ 1	割り接ぎ	4/13	180cm×40cm	139	5株2反復	7/15～ 9/30
	2012	スペシャル	2/ 6	2/ 6	3/ 1	割り接ぎ	3/ 6	180cm×40cm	139	5株2反復	7/ 3～ 9/30
	2013	スペシャル	1/31	2/ 1	3/ 1	割り接ぎ	4/18	100cm×40cm	250	5株2反復	7/ 8～10/ 7
高知県	2011	スペシャル	8/18	8/23	9/13	斜め合わせ	10/13	168cm×50cm	119	5株2反復	1/ 4～ 4/28
	2012	スペシャル	8/ 2	8/ 4	8/26	割り接ぎ	9/27	168cm×50cm	119	5株2反復	12/27～ 4/25
	2013	スペシャル	8/ 1	8/ 2	8/26	割り接ぎ	9/19	168cm×50cm	119	4株2反復	12/17～ 5/31
鹿児島県	2011	スペシャル	7/27	8/ 3	8/26	呼び接ぎ	9/22	200cm×20cm	250	8株2反復	12/29～ 5/27
	2012	スペシャル	8/ 5	8/10	9/ 5	斜め合わせ	9/28	200cm×20cm	250	8株2反復	12/ 8～ 6/ 8
	2013	スペシャル	8/ 1	8/ 7	8/23	斜め合わせ	10/ 1	200cm×20cm	250	8株2反復	1/15～ 6/17

<sup>2</sup>長野県は長野県野菜花き試験場，高知県は高知県農業技術センター，鹿児島県は鹿児島県農業開発総合センター

可販果収量は，2011年度は‘台パワー’および‘ベルマサリ’を台木とした場合よりやや多く，2012年度は‘台パワー’より多く，‘ベルマサリ’と同等であった。‘L4 台パワー’はトバモウイルス抵抗性として $L^4$ 遺伝子を保有し，収量性が‘台パワー’，‘ベルマサリ’に比べ同等以上であったことから優れる（○）と判断された。2013年度は可販果収量が‘台パワー’および‘ベルマサリ’を台木とした場合と比べやや少なかったが，トバモウイルス抵抗性として $L^4$ 遺伝子を保有していることから，標準品種および対照品種と同等（△）と判断された。

高知県の越冬栽培での検定では，2011年度は，2010年8月18日に台木用品種，8月23日に穂木用品種を播種し，9月13日に斜め合わせ接ぎ法により接ぎ木を行った。10月13日に畝幅168cm，株間50cmの間隔で定植した。収穫期間は2011年1月4日～4月28日とした。2012年度および2013年度は2011年度と同様とし，2012年度は，2011年8月2日に台木用品種，8月4日に穂木用品種を播種し，8月26日に割り接ぎ法により接ぎ木を行い，9月27日に定植し，収穫期間は12月27日～2012年4月25日とした。2013年度は，2012年8月1日に台木用品種，8月2日に穂木用品種を播種し，8月26日に割り接ぎ法により接ぎ木を行い，9月19日に定植し，収穫期間は12月17日～2013年5月31日とした。試験規模は2011および2012年度は5株2反復，2013年度は4株2反復とした。

‘L4 台パワー’を台木とした場合の‘スペシャル’の可販果収量は，3ヶ年とも‘台パワー’を台木とした場合より多く，‘台助’を台木とした場合と比べると，2011年度は少なく，2012年度はやや多く，2013年度は同等であった。以上のことより，‘L4 台パワー’は，標準品種と比べて3ヶ年とも優れる（○），‘台助’が保有

していない疫病抵抗性およびトバモウイルス抵抗性として $L^4$ 遺伝子を保有していることから，対照品種と比べても2011年度は同等（△），2012年度および2013年度は優れる（○）と判断された。

鹿児島県の越冬栽培での検定では，2011年度は，2010年7月27日に台木用品種，8月3日に穂木用品種を播種し，8月26日に呼び接ぎ法により接ぎ木を行った。9月22日に畝幅200cm，株間20cmの間隔で定植した。試験規模は8株2反復とし，収穫期間は12月29日～2011年5月27日とした。2012年度および2013年度は2011年度と同様とし，2012年度は，2011年8月5日に台木用品種，8月10日に穂木用品種を播種し，9月5日に斜め合わせ接ぎ法により接ぎ木を行い，9月28日に定植し，収穫期間は12月8日～2012年6月8日とした。2013年度は，2012年8月1日に台木用品種，8月7日に穂木用品種を播種し，8月23日に斜め合わせ接ぎ法により接ぎ木を行い，10月1日に定植し，収穫期間は2013年1月15日～6月17日とした。

‘L4 台パワー’を台木とした場合の‘スペシャル’の可販果収量は，3ヶ年とも‘台パワー’を台木とした場合および‘スペシャル’の自根栽培より多かった。以上のことより，3ヶ年とも‘L4 台パワー’は標準品種および対照より優れる（○）と判断された。

#### b ‘台ちから’

2011～2013年度に新潟県，2013年度に京都府および和歌山県で系統適応性検定試験を実施した。各場所の試験概要は表-17に，各試験の結果を表-18に示した。

新潟県では，穂木用品種として‘かぐらなんばん’，台木用検定品種として‘台ちから’，台木用標準品種と

表-16 ‘L4台パワー’の系統適応性検定場所における検定結果

検定場所 <sup>2</sup>	年度	台木用品種名 <sup>3</sup>	可販果 収量 (kg/a)	可販果 率 (%)	1果重 (g)	果実諸形質標準対比					評価 <sup>4</sup>	
						可販 果率	1 果重	果形	果色	果の 光沢	標準 対比	対照 対比
長野県	2011	L4台パワー	380	60	190	同等	同等	同等	同等	同等	○	○
		台パワー	361	57	188							
	2012	ベルマサリ	348	66	198							
		L4台パワー	467	62	193	高	重	同等	同等	同等	○	○
	2013	台パワー	418	53	181							
		ベルマサリ	469	53	183							
L4台パワー		277	37	173	低	軽	同等	同等	同等	△	△	
台パワー	339	52	173									
	ベルマサリ	291	47	175								
高知県	2011	L4台パワー	442	61	164	同等	同等	同等	同等	同等	○	△
		台パワー	420	56	168							
		台助	525	63	173							
	2012	L4台パワー	664	47	189	高	重	同等	同等	同等	○	○
		台パワー	585	41	179							
	2013	台助	610	52	186							
L4台パワー		1171	64	155	同等	同等	同等	同等	同等	○	○	
台パワー		1081	63	155								
台助	1173	60	154									
鹿児島県	2011	L4台パワー	940	91	169	同等	同等	同等	同等	同等	○	○
		台パワー	860	91	160							
		スペシャル:自根	849	89	157							
	2012	L4台パワー	885	93	210	同等	重	同等	同等	同等	○	○
		台パワー	616	88	171							
	2013	スペシャル:自根	716	94	172							
L4台パワー		636	87	171	同等	同等	同等	同等	同等	○	○	
台パワー		556	94	173								
スペシャル:自根	470	93	167									

<sup>2</sup>長野県は長野県野菜花き試験場, 高知県は高知県農業技術センター, 鹿児島県は鹿児島県農業開発総合センター

<sup>3</sup>各場所とも年次ごとに, 上段:検定品種, 中段:標準品種, 下段:対照品種で, 穂木用品種は‘スペシャル’を用いた。

<sup>4</sup>評価 標準対比:標準品種と比べて, 対照対比:対照品種と比べて, ○=優れる, △=同等, ×=劣る

表-17 ‘台ちから’の系統適応性検定試験場所の試験概要

検定場所 <sup>2</sup>	年度	穂木用品種	台木 播種日	穂木 播種日	接ぎ木 日	接ぎ木 方法	定植日	栽植密度		試験規模	収穫期間
								畝幅×株間	本/a		
新潟県	2011	かぐらなんばん	2/25	3/ 8	4/15	割り接ぎ	5/18	150cm×45cm	148	5株2反復	6/20~10/21
	2012	かぐらなんばん	3/ 9	3/16	4/16	ピン接ぎ	5/23	150cm×50cm	133	5株2反復	6/19~10/16
	2013	かぐらなんばん	3/14	3/19	4/23	ピン接ぎ	5/22	150cm×50cm	133	5株2反復	6/21~ 8/12
京都府	2013	万願寺2号	2/14	2/22	4/ 8	割り接ぎ	5/ 7	115cm×70cm	124	6株2反復	6/ 6~10/18
和歌山県	2013	松の舞	1/23	2/ 1	4/ 5	割り接ぎ	4/29	180cm×80cm	69	2株2反復	6/23~ 9/30

<sup>2</sup>新潟県は新潟県農業総合研究所中山間地農業技術センター, 京都府は京都府農林水産技術センター農林センター, 和歌山県は和歌山県農業試験場

して‘スケッチC’を用い, 自根栽培の‘かぐらなんばん’を対照とし, 夏秋栽培により検定を行った。2011年度は, 2011年2月25日に台木用品種, 3月8日に穂木用品種を播種し, 4月15日に割り接ぎ法により接ぎ木を行った。5月18日に畝幅150cm, 株間45cmの間隔で定植し, 収穫期間は6月20日~10月21日とした。2012年度および2013年度は2011年度と同様とし, 2012年度は, 2012年3月9日に台木用品種, 3月16日に穂木用品種を播種し, 4月16日にピン接ぎ法により接ぎ木を行い, 5月23日に畝幅150cm, 株間50cmの間

隔で定植し, 収穫期間は6月19日~10月16日とした。2013年度は, 2013年3月14日に台木用品種, 3月19日に穂木用品種を播種し, 4月23日にピン接ぎ法により接ぎ木を行い, 5月22日に畝幅150cm, 株間50cmの間隔で定植し, 収穫は6月21日から開始したが, 青枯病が多発し標準品種および対照がほぼ全滅したので8月12日までとした。試験規模は各年度とも5株2反復とした。

‘台ちから’を台木とした場合の‘かぐらなんばん’の可販果収量は, 2011および2012年度は‘スケッチ

表－18 ‘台ちから’ の系統適応性検定場所における検定結果

検定場所 <sup>2</sup>	年度	台木用品種名 <sup>3</sup>	可販果 収量 (kg/a)	可販果 率 (%)	1果重 (g)	果実諸形質標準対比					評価 <sup>x</sup>	
						可販 果率	1 果重	果形	果色	果の 光沢	標準 対比	対照 対比
新潟県	2011	台ちから	509	35	33	同等	同等	同等	同等	同等	△	△
		スケットC	626	38	36							
	2012	かぐらなんばん:自根	559	40	37							
		台ちから	569	30	46	低	同等	同等	同等	同等	×	△
		スケットC	684	38	46							
	2013 <sup>w</sup>	かぐらなんばん:自根	597	39	47							
台ちから		—	—	—	—	—	—	—	—	○ <sup>w</sup>	○ <sup>w</sup>	
京都府	2013	スケットC	—	—	—							
		台パワー	—	—	—							
		台ちから	416	41	21	同等	同等	同等	同等	同等	○	○
和歌山県	2013	スケットC	419	41	23							
		台ちから	429	42	23							
		スケットC	692	35	20	同等	同等	同等	同等	同等	○	○
		ベルホープ	707	34	20							
			729	31	20							

<sup>2</sup>新潟県は新潟県農業総合研究所中山間地農業技術センター、京都府は京都府農林水産技術センター農林センター、和歌山県は和歌山県農業試験場

穂木用品種は、新潟県は‘かぐらなんばん’、京都府は‘万願寺とうがらし’、和歌山県は‘松の舞’

<sup>3</sup>各場所とも年次ごとに、上段:検定品種、中段:標準品種、下段:対照品種

<sup>x</sup>評価 標準対比:標準品種と比べて、対照対比:対照品種と比べて、○=優れる、△=同等、×=劣る

<sup>w</sup>新潟県の2013年度の検定では、標準および対照品種に青枯病が多発したため可販果収量の検討ができなかったが、検定系統は青枯病の発生が僅かではほとんどの株が健全に生育したため、標準および対照対比ともに優れると評価された。

C’ を台木とした場合および ‘かぐらなんばん’ の自根区と比べ少なかったため、標準品種および対照と比べた評価は同等 (△) または劣る (×) と判断された。2013年度は、青枯病が多発したため、可販果収量の検討ができなかったが、標準品種および対照で青枯病が多発し、枯死個体が多く見られたのに対し、‘台ちから’ を台木とした場合、青枯病による被害株がほとんど見られなかった。そのため、2013年度は標準および対照と比べて優れる (○) と判断された。

京都府では、穂木用品種として ‘万願寺2号’ を使用し、標準品種として ‘スケットC’、対照品種として ‘台パワー’ を用い、夏秋栽培により検定を行った。台木用品種を2013年2月14日に、穂木用品種を2月22日に播種し、4月8日に割り接ぎにより接ぎ木を行い、畝幅115cm、株間70cmで栽培し、6月6日～10月18日を収穫期間とした。試験規模は6株2反復とした。‘台ちから’ を台木とした場合の ‘万願寺2号’ の可販果収量は、‘スケットC’ および ‘台パワー’ を台木とした場合と同等であるが、2011および2012年度の育成場所での病害抵抗性検定試験結果を踏まえ、‘台ちから’ は青枯病および疫病抵抗性が ‘スケットC’ より安定していることから、標準品種と比べて優れる (○)、‘万願寺2号’ と同様にトバモウイルス抵抗性を持たないことから対照品種と比べて優れる (○) と判断された。

和歌山県では、穂木用品種として ‘松の舞’ を使用し、標準品種として ‘スケットC’、対照品種として ‘ベルホープ’ を用い、夏秋栽培により検定を行った。台木用品種を2013年1月23日に、穂木用品種を2月1日に播種し、4月5日に割り接ぎにより接ぎ木を行い、畝幅180cm、株間80cmで栽培し、6月23日～9月30日を収穫期間とした。試験規模は2株2反復とした。‘台ちから’ を台木とした場合の ‘松の舞’ の可販果収量は、‘スケットC’ および ‘ベルホープ’ を台木とした場合と同等であるが、2011及び2012年度の育成場所での病害抵抗性検定試験結果を踏まえ、‘台ちから’ は青枯病および疫病に対して強度抵抗性を保有していることから、標準および対照品種と比べて優れる (○) と判断された。

#### IV 考 察

わが国のピーマン・トウガラシ類の栽培において重大な問題の一つとして土壌伝染性病害が挙げられる。ピーマン・トウガラシ類に感染する土壌伝染性病害は、青枯病、疫病、半身萎凋病、萎凋病、白絹病、トバモウイルスによるモザイク病などがあり、この中でも被害が大きいのは青枯病および疫病である。これらの病害は、農薬の灌注処理、太陽熱消毒、還元消毒等による防除が試みられているが、抵抗性台木を利用した接ぎ木栽培が最も

効果的とされている。そのため、野菜茶研では青枯病および疫病に強度抵抗性を示すピーマン用の台木用品種‘台パワー’を育成した(Matsunaga ら, 2010; 斎藤ら, 2011)。また、時期を前後して、‘台助’(公益財団法人園芸植物育種研究所)、『バギー’(タキイ種苗株式会社)、『みやざき台木3号’(宮崎県)などの土壌病害抵抗性を有する台木用品種が育成されている。

既に述べたとおり、ピーマンの接ぎ木栽培では、穂木用品種と台木用品種のトバモウイルス抵抗性遺伝子を一致させることが重要である。先述した4品種はいずれもトバモウイルス抵抗性遺伝子として $L^3$ を有しているため、主にピーマンの台木として利用されている。一方、これらの抵抗性台木品種は、 $L^4$ を持つカラーピーマン(パプリカ)品種や、トバモウイルス抵抗性遺伝子を持たない日本在来トウガラシや甘長トウガラシでは利用できないことから、青枯病および疫病に強度抵抗性を示し、トバモウイルスに関して $L^4$ を持つ台木用品種およびトバモウイルス抵抗性を持たない台木用品種の育成が望まれていた。そのため、野菜茶研では‘L4台パワー’と‘台ちから’を育成した。

‘L4台パワー’は野菜茶研、兵庫県および宮崎県の抵抗性検定において青枯病と疫病に対して‘台パワー’と同等の強度抵抗性を示し、トバモウイルスに対する $L^4$ 抵抗性遺伝子を有すると判定された。また、‘L4台パワー’を台木とした場合の穂木用品種の収量性は、野菜茶研、長野県、高知県および鹿児島県の検定で同等と判定されたことから、‘L4台パワー’は $L^4$ を有する品種の青枯病・疫病抵抗性台木用品種として利用できることが明らかとなった。

一方、‘台ちから’の場合は野菜茶研、兵庫県および宮崎県の抵抗性検定において青枯病と疫病に対して‘台パワー’と同等の強度抵抗性を示し、トバモウイルスに対する抵抗性遺伝子を持たないと判定された。‘台ちから’を台木とした場合の穂木用品種の収量性は、野菜茶研、京都府および和歌山県の検定で同等と判定されたことから、‘台ちから’はトバモウイルス抵抗性を持たないトウガラシ在来種や甘長トウガラシ品種の青枯病・疫病抵抗性台木用品種として利用できることが明らかとなった。

以上のことより、‘L4台パワー’および‘台ちから’は、接ぎ木栽培の台木として利用することにより、青枯病や疫病の被害を軽減し、ピーマン類の生産安定に寄与することが期待される。

なお、2013年度青枯病抵抗性検定では、圃場検定、幼

苗検定ともに青枯病菌株としてKP9547を用いたが、‘L4台パワー’、‘台ちから’など多数の品種の青枯病抵抗性程度が圃場検定と幼苗検定で異なった。この原因として、青枯病菌株KP9547は、野菜茶研の汚染圃場で採取される青枯病菌株より病原性が強いが、汚染圃場検定では圃場に定着している多様な青枯病菌株と競合したため、接種時に加えるKP9547の病原性が十分に発揮されないこと、KP9547は幼苗段階では強い病原性を発揮するが、定植以降の大苗には十分な病原性が発揮されないことなど、いくつかの可能性が考えられるが、この点は今後の検討が必要である。

また、2012年度および2013年度の青枯病幼苗検定試験では、‘三重みどり’は発病株率が60%および97%、発病指数が53および96で、LS2341と比べ有意に高く、罹病性の‘エース’と同等であった。Mimuraら(2009)によるKP9547菌株を用いた青枯病抵抗性幼苗検定でも、‘三重みどり’は、発病株率がLS2341と比べ有意に高く、罹病性品種と同等であった。一方、著者らは、野菜茶研の青枯病圃場検定で発病した植物体から採取した青枯病菌を使用した幼苗検定で‘三重みどり’は強度抵抗性を示すこと(Matsunaga and Monma, 1999)、および青枯病には‘三重みどり’の抵抗性を侵す菌株と‘三重みどり’が抵抗性を示す菌株があること(松永ら, 2008)を報告している。以上のことから、青枯病抵抗性幼苗検定では、使用する菌株によって‘三重みどり’の抵抗性が異なり、本試験で使用した青枯病菌株KP9547は‘三重みどり’を侵す菌株であると考えられた。わが国で発生しているピーマン・トウガラシ類の青枯病には病原性の異なる菌株が認められている(Mimuraら, 2009; 世見ら, 2010)。そのため、抵抗性品種であっても、感染する青枯病菌によっては、抵抗性を十分に示さない可能性がある。そこで、本報で紹介した台木用品種を青枯病の被害軽減を目的として接ぎ木栽培を行う場合、一部の菌株に罹病性を示した‘台ちから’はもちろん、‘L4台パワー’を利用するときも、事前に栽培を予定している圃場で発生している青枯病菌に対する抵抗性を確認することが必要と思われる。

## V 摘 要

1) 青枯病および疫病に対し強度抵抗性を持つ‘L4台パワー’と‘台ちから’を育成した。

2) ‘L4台パワー’は青枯病および疫病に対する抵抗性を持ち、トバモウイルス抵抗性遺伝子として $L^3$ を持

つ ‘台パワー’ を種子親，トウガラシ近縁種 (*C. chacoense*) の PI260429 由来のトバモウイルス抵抗性遺伝子  $L^4$  を持つ AP-PM03 と，‘京波’ と AC2258 との交雑後代から青枯病および疫病抵抗性で選抜・固定した AP-2 とを交雑し，その後代から青枯病および疫病抵抗性で選抜・固定した AP-5 を花粉親とした  $F_1$  品種である。

3) ‘L4台パワー’ は ‘台パワー’ と同等に強い青枯病および疫病抵抗性を持ち，トバモウイルス抵抗性遺伝子として  $L^4$  を持つ。また，‘スペシャル’ の台木として使用した場合の ‘スペシャル’ の収量は，‘台パワー’ を台木とした場合より多く，‘スペシャル’ の自根栽培と同等である。

4) ‘台ちから’ は AP-2 を種子親，‘京波’ と AC2258 との交雑後代から青枯病および疫病抵抗性で選抜・固定した系統に青枯病抵抗性系統の LS2341 を交雑した後代から青枯病および疫病抵抗性で選抜・固定した CBP-3 を花粉親とした  $F_1$  品種である。

5) ‘台ちから’ の青枯病抵抗性は，‘台パワー’ よりやや劣るが ‘ベルマサリ’ より強く，疫病抵抗性は ‘台パワー’ と同等に強く，トバモウイルス抵抗性を持たない。また，‘京鈴’ の台木として使用した場合の ‘京鈴’ の収量は，‘台パワー’ を台木とした場合より多く，‘京鈴’ の自根栽培と同等である。

6) ‘L4台パワー’ は， $L^4$  を有するカラーピーマン (パプリカ) 品種などの青枯病および疫病を目的とした接ぎ木栽培の台木用として，‘台ちから’ はトバモウイルス抵抗性を持たない品種の青枯病および疫病を目的とした接ぎ木栽培の台木用として利用できる。

## 引用文献

- 1) Boukema, I. W. (1982): Resistance to a new strain of TMV in *Capsicum chacoense* HUNZ. *Capsicum Newsletter.*, 1, 49-53.
- 2) Boukema, I. W. (1984): Resistance to TMV in *Capsicum chacoense* HUNZ. is governed by an allele of L-locus. *Capsicum Newsletter.*, 3, 47-48.
- 3) Matsunaga, H. and S. Monma (1999): Sources of resistance to bacterial wilt in Capsicum. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.*, 68: 753-761.
- 4) 松永 啓・齊藤猛雄・斎藤 新・山田朋宏 (2008): ピーマン青枯病抵抗性品種 ‘三重みどり’ を侵す菌株に対する抵抗性素材. 園芸学研究., 7 (別 1), 101.
- 5) Matsunaga, H., A. Saito and T. Saito (2010): Development and characterization of a Capsicum rootstock variety, ‘Dai-Power’, that is resistant to Phytophthora blight, bacterial wilt, and pepper mild mottle virus. J. Prohens and A. Rodriguez-Burruezo (eds.). *Advances in genetics and breeding of Capsicum and eggplant.*, 503-510. Editorial de la Universitat Politecnica de Valencia, Valencia.
- 6) Matsunaga, H., T. Saito and A. Saito (2011): Evaluation resistance to bacterial wilt and phytophthora blight in Capsicum genetic resources collected in Myanmar. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.*, 80, 426-433.
- 7) Matsunaga, H., A. Saito and T. Saito (2013): Evaluation of Japanese Capsicum rootstock cultivars for resistance to Phytophthora blight and bacterial wilt, and for yield in grafted sweet pepper. S. Lantari and G. L. Rotino (eds). *Breakthroughs in the Genetics and Breeding of Capsicum and Eggplant*, 401-404. Comitato per l'organizzazione degli eventi DISAFSA, Torino.
- 8) Mimura, Y., M. Yoshikawa and M. Hirai (2009): Pepper accession LS2341 is highly resistant to *Ralstonia solanacearum* strains from Japan. *HortScience*, 44, 2038-2040.
- 9) Ortega, R. G., C. P. Espanol and J. C. Zueco (1991): Genetics of resistance to *Phytophthora capsici* in the pepper line ‘SCM-334’. *Plant Breeding*, 107, 50-55.
- 10) 斎藤 新・松永 啓・齊藤猛雄・吉田建実・山田朋宏・佐藤隆徳 (2011): 青枯病・疫病およびモザイク病 (PMMoV) 抵抗性のピーマン・トウガラシ類台木用品種 ‘台パワー’ の育成とその特性. 野菜茶研研報., 10, 39-50.
- 11) 斎藤 新 (2005): トウガラシマイルドモットルウイルスに対するピーマン抵抗性品種・台木の選抜. プロジェクト研究成果: 持続的農業推進のための革新的技術開発に関する総合研究. 482-486.
- 12) 世見由香里・杉田 亘・藪牟田真作・黒木利美・木下哲次・長田龍太郎 (2010): ピーマン青枯病抵抗性育種における抵抗性評価と台木用品種の育成. 園学雑., 9, 287-292.
- 13) Sugita, T., K. Yamaguchi, T. Kinoshita, K. Yuji, Y. Sugimura, R. Nagata, S. Kawasaki and A. Todoroki (2006): QTL analysis for resistance to *Phytophthora blight (Phytophthora capsici* Leon.) using an interspecific double-haploid population of *Capsicum annuum*. *Breeding Science*, 56, 137-143.
- 14) Ueeda, M., K. M. Kubota and K. Nishi (2006): Contribution of jasmonic acid to resistance against *Phytophthora* blight in *Capsicum annuum* CV. SCM334. *Physiol. Mol. Plant Pathol.*, 67, 149-154.
- 15) Wakimoto, S. (1962): Studies on the multiplication of OP1 phage (*Xanthomonas oryzae* bacteriophage). 1. One-step growth experiment under various conditions. *Sci. Bull. Fac. Agric., Kyushu Univ.*, 15, 151-160 (In Japanese with English abstract).
- 16) 山川邦夫・望月龍也・安井秀夫 (1979): ピーマンの疫病抵抗性素材の検索と抵抗性の遺伝. 野菜試験場報告, A.6, 29-37.
- 17) 矢ノ口幸夫・馬場英實・藤森基弘・小林忠和・伊藤喜三男・元木 悟・岡本 潔・小口伴二・小林 優 (1993): ピーマン新品種 ‘ベルマサリ’ の育成とその特性. 長野中信農芸報., 11, 21-35.

## Development of *Capsicum* Rootstock Cultivars ‘L4 Dai-Power’ and ‘Daichikara’ with Resistance to Bacterial Wilt and *Phytophthora* Blight

Hiroshi Matsunaga, Takeo Saito, Atsushi Saito, Tatemi Yoshida,  
Takanori Sato, Yoshiteru Sakata and Shinji Monma

### Summary

‘L4 Dai-Power’ and ‘Daichikara’ are *Capsicum* rootstock cultivars with resistance to bacterial wilt and *Phytophthora* blight that were developed at the NARO Institute of Vegetable and Tea Science. ‘L4 Dai-Power’ is an F<sub>1</sub> hybrid between ‘Dai-Power’ (a rootstock cultivar with resistance to bacterial wilt and *Phytophthora* blight, and with the *L*<sup>3</sup> gene for resistance to tobamovirus), and AP-5 (an inbred line with resistance to bacterial wilt and *Phytophthora* blight, and with the *L*<sup>4</sup> gene for resistance to tobamovirus). AP-5 was selected from a cross between AP-PM03 (an inbred line with the *L*<sup>4</sup> gene derived from *Capsicum chacoense* line PI 260429) and AP-2 (an inbred line with resistance to bacterial wilt and *Phytophthora* blight), which was derived from a cross between ‘Kyonami’ (a commercial cultivar with resistant to bacterial wilt; Takii Seed, Japan) and AC2258 (an inbred line with resistance to *Phytophthora* blight). ‘Daichikara’ is an F<sub>1</sub> hybrid between AP-2 and CBP-3 (an inbred line with resistance to bacterial wilt and *Phytophthora* blight), which was selected from a cross between an F<sub>8</sub> plant derived from a cross between ‘Kyonami’ and AC2258, and LS2341 (an inbred line with resistance to bacterial wilt). ‘L4 Dai-Power’ and ‘Daichikara’ are resistant to bacterial wilt and *Phytophthora* blight. ‘L4 Dai-Power’ (with *L*<sup>4</sup>) is additionally resistant to tobamovirus, but ‘Daichikara’ is not. The yields of scion cultivars on ‘L4 Dai-Power’ and ‘Daichikara’ rootstocks were greater than yields on ‘Dai-Power’, and similar to those on non-grafted scion cultivars. ‘L4 Dai-Power’ and ‘Daichikara’ are available as rootstocks to protect *Capsicum* plants from bacterial wilt and *Phytophthora* blight. ‘L4 Dai-Power’ is suitable as a rootstock for *Capsicum* plants possessing the *L*<sup>4</sup> gene, and ‘Daichikara’ is suitable as a rootstock for plants with no resistance to tobamovirus.

## トマトのオランダ品種は日本品種に比べ カルシウム吸収・移行活性が高い†

中野 明正・安 東赫・東出 忠桐

(平成 26 年 10 月 6 日受理)

### Dutch Tomato Cultivar has Greater Sr Uptake and Is Likely to Have Higher Calcium Uptake and Transport Activity than Japanese Tomato Cultivar

Akimasa Nakano, Dong-Hyuk Ahn and Tadahisa Higashide

#### I 緒 言

トマトのオランダ品種は日本品種に比べて高収量である。ここ 50 年間、オランダ品種では果実新鮮重が年当たり平均 0.9% の増加を積み重ねており、これには育種の進展が大きく寄与している (Higashide ら, 2009)。一方で、育種以外の要因の寄与もある。トマト多収をもたらす条件として、生理生態的な諸要因が関与していると考えられ (中野ら, 2012)、それらを解明して多収に結び付けることが求められている (斉藤, 2012)。

地下部 (根系) は養水分吸収など生育に重要な役割を担っていると同時に、シンクとしても一定の大きさがあり、果実生産にも影響を与えているが、その知見は少ない。

また、現在までオランダ品種の果実のカルシウム (Ca) 濃度が高いことが認められた (中野ら, 2007)。オランダ品種の果実は秀品率も高く (佐々木, 2008)、特に尻腐れ果の発生については Ca 濃度との関係も考えられている (Ho ら, 2005) が、品種比較はなされていない。さらに上記の、根の Ca 吸収活性と果実の Ca 濃度について、相互に比較し評価した知見はない。本研究ではオランダ品種の果実が日本品種に比べ高い Ca を含有する原因および生産性が高い原因を明らかにするために、

それぞれの品種において、Ca と同族元素であるストロンチウム (Sr) を経根吸収させ、地上部における分布の評価を試みた。Sr は、その同位体が地質により異なるため、元素による産地判別などに使われ重要な指標となっているが (川崎ら, 2005; 中野, 2008)、通常植物体には微量しか含まれていないため、ラベルとして利用した場合、検出が容易というメリットがある。Ca と Sr はともに 2 価のアルカリ土類金属であり、その化学的性質は酷似し (小平, 1965)、生体内では Ca と同様に行動していると推定されている (檀原, 1960)。

本報告では、まず、トマトにおいて、オランダ品種と日本品種を養液栽培し、必須元素濃度の葉位別分布を評価した。また、上記の理由から Sr を添加し、その分配の特徴を合わせて評価した (中野ら, 2010a)。さらに、収量と根の活性と Ca 吸収との関係性を評価する実験として、日本品種 '桃太郎ヨーク' および 'りんか 409'、オランダ品種 'Endeavour'、日本品種とオランダ品種の交配種 'Tomimaru Muchoo' の 4 品種を比較評価した。

本研究の遂行にあたり、中央農業総合研究センター研究支援センターの佐藤和也氏、内野達哉氏、岩切浩文氏には栽培管理およびデータ取得に多大なご支援をいただいた。ここに記して心よりの感謝を申しあげる。

〒 305-8666 茨城県つくば市観音台 3-1-1

野菜生産技術研究領域

† 本研究の一部は、平成 22 年園芸学会春季大会において発表した。

## II 材料および方法

### 1 地上部無機元素および Sr 分布の評価

#### a 栽培条件

2007年9月10日に‘桃太郎8’（タキイ種苗）と‘Quest’（De Ruiter Seeds社）をロックウールキューブに播種し、同年10月19日にロックウールスラブに1スラブ当たり4株定植し4反復した。側枝はすべて除去し、各果房4果にそろえた。栽培は愛知県武豊町にあるユニット工法ハウス（面積972m<sup>2</sup>、軒高3.5m）において実施した。高さ2.8mまでハイワイヤー誘引を行い、培養液管理は掛け流し式（大塚A処方、EC1.0 dS/m）とした。毎日排水が給液の10%程度出るように充分給液した。換気は25°Cで天窓が開き、暖房は気温が15°Cを下回った場合稼働するように設定した。

#### b Sr 処理法

大塚A処方1単位（約2.4dS/m）の養液に1g/Lの濃度になるようにSrCl<sub>2</sub>を溶解し、2007年12月25日7:00にロックウールキューブの上から株当たり200mLを添加し、その後同量の水道を灌水しスラブ内に行き渡らせた。このときのトマトは、第1果房が収穫期に達し、第4果房の1果実重が20g程度の時期であった。

#### c サンプリング

翌日の12月26日の7:00に解体を開始し、茎葉部は株元から茎頂まで葉位グループとして6分割した。L0～L5は茎葉を下部から6分割した部位であり、L0は地際から第1果房下2枚下までの茎葉部（葉と葉の中間部の茎を切断）、L1は第1果房2枚下の上からその上2枚までの茎葉部、L2は、第2果房2枚下の上からその上2枚までの茎葉部、以下、L3、L4は同様であり、L5はL4以上の茎葉部とした。果実は第1～4果房を果房毎収穫し、それぞれF1～F4とし、F1についてのみ新鮮重を測定後、以下の非破壊測定を行った。その後、各部位は80°Cの通風乾燥機で1週間以上かけて乾燥し乾物重を測定した。

生産性の品種比較として、サンプリング時に収穫期に達していた、第1果房のみについて、収量および糖・酸度、尻腐れ果率についても併せて評価した。糖酸度は非破壊糖酸度測定装置（フルーツセレクターK-BA100R、クボタ社）を用いて測定した。

#### d 必須元素と Sr の分析

部位別のサンプルはボールミル等で微粉碎をした後、元素含有量を測定した。P, K, Ca, Mg, Mn, Fe, Cu, ZnはICP-AES（SPS7800, Seiko Instruments社）で、SrはICP-MS（ICPM8500, 島津製作所）で測定した。

### 2 収量、出液速度および K, Ca, Mg 濃度の評価

#### a 栽培条件

比較的長期間における生産量評価の実験は、モデルハウス型植物工場実証・展示・研修事業を実施中の農研機構植物工場つくば実証拠点（茨城県つくば市）で行った。施設は軒高5.1m、面積約2,500 m<sup>2</sup>のフェンロー型ハウスであり、ハウス屋根の被覆資材は散光性フッ素系フィルム（FクリーンGR ナシジ、AGC グリーンテック）である。同実証拠点内の栽培室（9m × 18m）に6列のロックウールスラブを設置し、培養液管理は掛け流し式（大塚A処方、EC1.5dS/m）とした。1スラブ以下に示す4品種を定植した。栽培ベッド高は約45cmであり、誘引ワイヤーは床面より205cmに設置した。トマトーンによる着果促進処理を行い、栽培室の環境制御にはユビキタス環境制御システム（ステラグリーン（株）社製）を用い、天窓の換気設定温度は25°Cとし、暖房は気温が15°Cを下回った場合稼働するように設定した。

使用した品種は4品種、内日本品種‘桃太郎ヨーク’（タキイ種苗）、‘りんか409’（サカタのタネ）、海外品種‘Tomimaru Muchoo’（De Ruiter Seeds社）、‘Endeavour’（Rijk Zwaan社）であった。

#### b 収量評価および出液速度の測定

上記4品種を2013年12月2日に播種、翌年2014年5月5日まで生育させた。ランダムに4株を選択し調査株とした。それまでの収穫は果実が全面着色した時に収穫し新鮮重を測定した。最終的な調査は地上部および未着色の果実の新鮮重を含め、全果重を測定した。このときトマトは第7段花房開花時であった。また、摘葉はしなかった。根の活性を示す指標のひとつである出液速度については、地上部を切断後にその切り口から出てくる導管液量を測定し、その値から計算した（中野ら、2013）。調査終了直後の株について、2014年5月5日11:55から順次株元から約10cm部分で茎を切断し、切り口を脱脂綿で覆い、それをビニール袋で覆い、輪ゴムにより固定した。1時間後に脱脂綿を回収し重量を測定

し、出液速度を算出した。

### c 出液中の K, Ca, Mg の分析

出液中の無機元素については、上記脱脂綿に保持された出液を搾汁し適宜希釈後、ICP 発光分光分析装置 (iCAP6300Duo, ThermoFisher Scientific) により、K, Ca, Mg を測定した。

## III 結 果

### 1 第 1 段果房の収量と品質

‘桃太郎 8’ および ‘Quest’ の第 1 段果房の収量と品質を測定したところ、総収量は 1.5 倍程度 ‘Quest’ が高く、尻腐れ率は ‘桃太郎 8’ が 20% 程度発生したのに対して ‘Quest’ は 0% であった (表-1)。すなわち、収量はオランダ品種が日本品種に勝ると考えられた。一方で、品質は、糖度および酸度は、‘桃太郎 8’ で 6.2% と 0.55% であったのに対して、‘Quest’ では、4.4% と 0.31% であり、概して日本品種が高品質であると判断された。

### 2 地上部無機元素および Sr 分布の評価

茎葉部で測定した必須 8 元素の内、K と P は上位葉において ‘桃太郎 8’ の方が ‘Quest’ に比べ濃度が高くなる傾向が認められた (表-2)。Ca については、下位葉の一部で、‘Quest’ が ‘桃太郎 8’ に比べ有意に高くなった。Sr の濃度は、‘桃太郎 8’ の茎葉部の濃度が 27 ~ 461 μg/DW. g であるのに対して、果実は、0.154 ~ 0.644 μg/DW. g であり、両品種とも果実に比べ葉で顕著に高く、これらの値は、上部ほど濃度が低下した。

同じ部位で比較した場合、すべての茎葉部において ‘Quest’ は ‘桃太郎 8’ に比べて Sr の濃度が高く、特に最上部の濃度差が顕著であった。これは果実においても同様であった (表-3)。

### 3 トマト地上部の生産性評価

果実収量については、日本品種とオランダ品種の間での、有意差は ‘りんか 409’ と ‘Endeavour’ の間のみ認められた。トマトの茎葉部の新鮮重について、‘桃

表-1 ‘桃太郎 8’ および ‘Quest’ の第 1 段果房の収量と品質 \*

品種	総収量	平均果重	平均糖度	平均酸度	尻腐れ率
	g/株	g/果実	Brix(%)	(%)	(%)
‘桃太郎8’	545	173	6.2	0.55	21
‘Quest’	803	214	4.4	0.31	0

\*: 表示した全項目について、Student の t 検定により 5% の危険率で有意差が認められた。

表-2 必須元素および Sr の葉茎の部位別分布の品種間差異

品種	部位 <sup>Z</sup>	P	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Cu	Zn	Sr
		mg/gDW					μg/gDW			
‘桃太郎8’	L0	8.45 ns	56.2 ns	29.4 ns	6.75 ns	260 ns	85.9 ns	22.5 ns	70.4 ns	461 *
	L1	8.28 ns	55.8 ns	24.5 *	4.15 ns	175 ns	75.4 ns	23.1 ns	50.9 ns	300 *
	L2	8.16 ns	55.0 ns	20.2 ns	3.21 ns	151 ns	73.2 ns	19.0 ns	38.2 ns	198 *
	L3	9.47 *	66.2 *	16.0 ns	3.27 ns	166 ns	67.0 ns	22.4 ns	37.4 ns	143 *
	L4	9.36 *	67.9 *	9.5 ns	3.18 ns	147 ns	67.5 ns	21.4 ns	25.6 ns	92 *
L5	8.48 *	66.9 ns	5.0 ns	3.34 ns	96 ns	65.4 ns	17.8 ns	24.5 ns	27 *	
‘Quest’	L0	8.12	54.8	29.8	6.77	271	73.5	17.0	69.9	642
	L1	7.91	53.0	28.2	4.54	195	77.7	21.8	45.6	433
	L2	7.86	53.7	23.0	3.49	168	68.3	21.6	36.1	304
	L3	8.33	60.5	16.6	3.18	166	66.3	18.6	31.2	249
	L4	7.73	61.5	10.7	2.94	141	56.2	19.2	25.8	213
L5	7.67	65.1	6.9	3.32	106	69.2	18.7	23.9	127	

Z: L0 ~ L5 は茎葉を下部から 6 分割した部位であり、L0 は地際から第 1 果房下 2 枚下までの茎葉部、L1 は第 1 果房 2 枚下の上からその上 2 枚までの茎葉部、L2 は、第 2 果房 2 枚下の上からその上 2 枚までの茎葉部、以下、L3, L4 は同様であり、L5 は L4 以上の茎葉部とした。

\*: 同じ部位を品種間で比較した場合、5% の危険率で有意差があることを示し、ns は有意差が無いことを示す (Student の t 検定、n=4)。2007 年 12 月 26 日サンプリング実施。

表-3 必須元素および Sr の果実の部位別分布の品種間差異

品種	部位 <sup>Z</sup>	P	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Cu	Zn	Sr
		mg/gDW					$\mu$ g/gDW			
‘桃太郎8’	F1	5.69 ns	44.6 ns	0.85 *	1.77 ns	16.1 ns	50.0 ns	11.2 ns	15.8 ns	0.644 *
	F2	5.26 ns	42.7 ns	0.75 *	1.70 ns	15.1 ns	38.5 ns	12.0 ns	17.2 ns	0.611 *
	F3	4.96 ns	42.5 ns	0.74 *	1.66 ns	14.4 ns	43.5 ns	12.6 ns	16.4 ns	0.448 *
	F4	5.28 ns	45.4 ns	0.65 *	2.05 ns	14.0 ns	49.6 ns	10.0 ns	20.1 ns	0.154 *
‘Quest’	F1	5.43	45.1	1.29	1.51	16.4	43.9	17.7	18.3	1.187
	F2	5.06	42.4	1.21	1.63	17.8	41.4	11.4	15.9	1.034
	F3	4.74	43.8	1.06	1.49	15.0	38.2	12.7	15.8	0.656
	F4	5.43	47.1	1.06	1.93	16.7	48.5	13.6	20.2	0.396

Z:F1～F4は第1～第4果房。

\*: F1～F4は、それぞれ、第1～第4果房を示す。

ns: 同じ部位を品種間で比較した場合、5%の危険率で有意差があることを示し、nsは有意差が無いことを示す (Student の t 検定, n=4). 2007年12月26日サンプリング実施。

太郎ヨーク’は最も少なく, ‘Tomimaru Muchoo’, ‘Endeavour’は, ‘桃太郎ヨーク’に比べ, 有意に多く, 生育が旺盛であったと推定された (図-1)。

#### 4 出液速度の品種比較

出液速度について, ‘桃太郎ヨーク’は最も遅く, ‘Endeavour’はこれに対して, 1.6倍の速度を示し有意に高い値であった (図-2). ‘Tomimaru Muchoo’, については, これらの間の値を取ったが有意差は認められなかった。

#### 5 出液中の P, Ca, Mg 濃度

出液の Ca 濃度は, 日本品種の ‘桃太郎8’ および ‘りんか409’で低く, オランダ品種 ‘Endeavour’, および ‘Tomimaru Muchoo’で高くなった (図-3). 同

じ二価のカチオンでも Mg については差異が認められなかった。これに対して, K については, Ca と逆の傾向が認められ, 日本品種で高くオランダ品種で低くなる傾向が認められた。

## IV 考 察

### 1 Ca の分布特性と生育および秀品率の品種間差異

Ca の茎葉部および果実の上位部への分配がオランダ品種で優れることは, オランダ品種が日本品種に比べて, 地上部の伸長が安定して維持され, 秀品果率が高いことに関連している可能性がある。

‘桃太郎8’において測定した元素濃度 (P, K, Ca, Mg, Mn, Fe, Cu, Zn; 表-2) について, L0 に対する L5 の濃度比 (L5/L0) は, それぞれ, 1.00, 1.19,

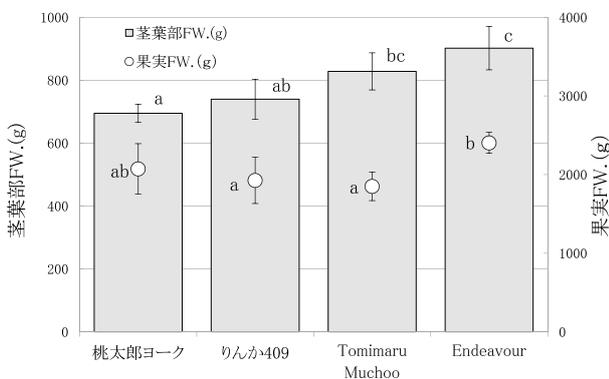


図-1 養液栽培における各品種の茎葉部および果実新鮮重の差異

縦棒は標準偏差を示す (n=4)。

異なる文字は5%の危険率で有意であることを示す (Tukey-Kramer 法). 2014年5月5日にサンプリングを実施。

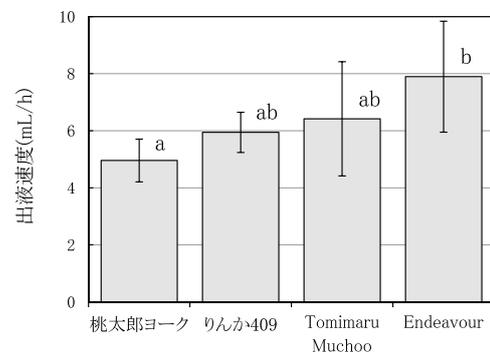


図-2 養液栽培における各品種の出液速度の差異

縦棒は標準偏差を示す (n=4)。

異なる文字は5%の危険率で有意であることを示す (Tukey-Kramer 法). 2014年5月5日にサンプリングを実施。

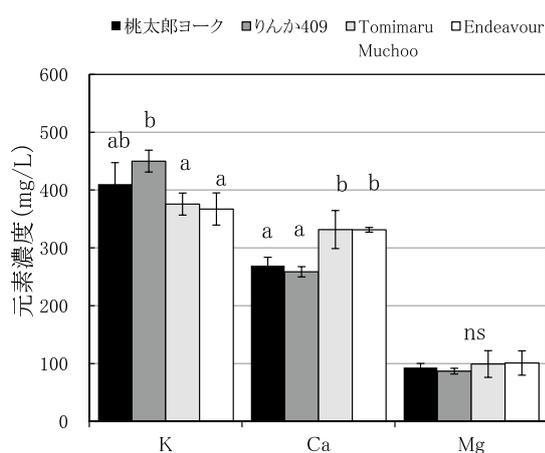


図-3 養液栽培における各品種の出液中の K,Ca,Mg 濃度

棒は標準偏差を示す (n=4)。

異なる文字は 5% の危険率で有意であることを示し、ns は有意差なしを示す (Tukey-Kramer 法)。2014 年 5 月 5 日にサンプリングを実施。

0.17, 0.50, 0.37, 0.76, 0.79, 0.35 となり、Ca が 0.17 と突出して低い。このような知見からも、炭素など同化産物が、生育速度の比較的速い生長点に供給されて、細胞壁が構築される過程で、相対的に Ca が不足している可能性が考えられる。そのため、特に日本品種では Ca に起因する生育の抑制が生じている可能性が考えられる。

すなわち、安定した生長点への Ca の供給が、同化産物が果実に供給されたとき、速やかに細胞壁の構築に結びつき、表-1 にも示したように、オランダ品種の果実において果実収量が優れること、併せて尻腐れ果の発生が少なく、秀品率が高いこととの関連が推定された。

## 2 イオン吸収の品種間差異

P, K, Ca 以外では、測定した茎葉部の必須元素の差違は認められなかったが、上位葉の P と K の含有率は、日本品種がオランダ品種に比べ高くなった、日本品種は多肥にすると、生育が旺盛になりやすい傾向があり、このような潜在的な吸収傾向が多肥での過繁茂に反映される可能性がある。一方で Ca は全体的にオランダ品種の方が高くなる傾向にあり、下位葉では有意差が認められた。

Sr の濃度パターンと Ca の濃度パターンは類似しており、上位葉に行くに従い濃度が急減した。Ca は植物体を移動しにくく、生長点において欠乏症状が出やすい特性と一致しており、Sr もこのような傾向を反映していた。また、Sr はオランダ品種で高い傾向があり、これも Ca の特性と一致していた。植物体に含まれる Ca 濃度

は、生育初期からの吸収量の積算結果であるため、生育初期の比較的、根の活性が維持されている場合は、Ca 濃度に品種間差が認められにくいと考えられる。生育後期または根の活性が低下する場合は、Ca の吸収量が低下して差が認められやすくなる可能性がある。このような栽培時期の状況を各部位の Sr の濃度が反映したと考えられ、Sr によりトマトの比較的短期間の根の活性を評価できる可能性がある。

## 3 根の活性と Ca の吸収

根の活性の指標としての出液速度は、日本品種ではオランダ品種 'Endeavour' 'Tomimaru Muchoo' に比べ低い傾向にあった。これは、前報 (中野ら, 2013) の '桃太郎ヨーク' で 3.6mL/h, 'Aegean' (オランダ品種) で 6.0mL/h とおおむね同様の値であり、再現性のある結果であった。また 'Tomimaru Muchoo' はオランダ品種と日本品種の交配種であり、その樹勢および出液速度はおおむね、日本品種とオランダ品種の間の値をとっており、出液速度が高く維持されることが、オランダ品種の多収に関連する 1 つの指標となる可能性がある。

出液中の元素濃度について、前報 (中野ら, 2013) では、Ca 濃度の差は認められなかったが、'桃太郎ヨーク' で 9.2mmol/L, 'Aegean' で 10.7mmol/L であり、やはりオランダ品種の方が高い傾向にあった。このときの Mg は '桃太郎ヨーク' 5.2mmol/L に対して 'Aegean' 4.2mmol/L であったことを考えると、前回と今回の結果を通して、Ca/Mg 比はオランダ品種で高く日本品種で低く、オランダ品種で相対的に Ca の吸収濃度が高く維持されていたと考えられる。

今回の実験の場合、同一培地に 4 品種を定植しているので、これは前回 (中野ら, 2013) とは異なる点である。異なる品種の根があるような場合、つまり競合が生じるような場合は、オランダ品種は Ca の獲得能に優れる可能性あり、このような環境では、オランダ品種の出液速度中の Ca が高まりやすい可能性も考えられる。

## 4 果実への Ca の吸収・移行と集積

トマト果実において Ca が移行、集積していく機構については、いまだ解明されていないが、Ca は蒸散に依存した吸収が大きいとされ、昼間は葉の蒸散が大きいため、まず果実への分配は少なくなる (中野ら, 2010b)。これは Sr の葉茎部と果実の濃度比が平均で 400 倍になることと一致する。このような、果実へ Ca が移行する

1日での時間帯は、葉からの蒸散が少なくなり、相対的に果実の蒸散速度が高まる暗期であると考えられる。この時のCa吸収・移行の駆動力は出液速度に対応する根圧であると考えられる。今回のように、出液速度および出液中のCa濃度が高い場合は、果実においてその濃度差が明確になると考えられる。この他、オランダ品種の果実のCaが高い要因として、オランダ品種果実と日本品種果実の細胞壁の性質の違いが考えられる。

今後、細胞壁におけるCaの存在状態と、オランダ品種の果実肥大の良さおよび秀品率の高さとの関連を解明する必要がある。

## V 摘 要

添加したSrのトマト茎葉部の濃度は果実のそれより平均で400倍も高かった。オランダ品種の‘Quest’は、どの部位においても‘桃太郎8’に比べ、高いSr濃度を示し、両品種とも上位に行くほど濃度が低くなった。そして、品種間の差違は最上部で顕著になった。Caのトレーサーとして用いたSrは、オランダ品種において上部ほど移行されており、これは、相対的に不足しがちなCaが、オランダ品種において、より充分量生長点に移行することを示しており、これによる安定的な成長がオランダ品種の果実の秀品率の高さに結びついている可能性がある。

出液速度と出液中のCa濃度は、オランダ品種で日本品種より高いので、オランダ品種のCaとSrの移行量の多さは、これらの元素の根における吸収と移行能力の高さによるものと考えられた。

## 引用文献

- 1) 檀原 宏 (1960): 生体内におけるカルシウムとストロンチウムの行動に関する研究, 農業技術研究所報告, H, 経営土地利用, 25, 1-68.
- 2) Higashide, T. and E.Heuvelink. (2009): Physiological and Morphological Changes over the Past 50 Years in Yield Components in Tomato. *J. Am. Soc. Hort. Sci.*, 134, 460-465.
- 3) Ho, L., C. and P., J. White (2005): A Cellular Hypothesis for the Induction of Blossom-End Rot in Tomato Fruits. *Annals of Botany*, 95, 571-581.
- 4) 川崎 晃・織田久男 (2005): 水田土壌と米のストロンチウム同位体比の関係, 日本土壌肥科学雑誌, 76(5), 579-585
- 5) 小平 潔 (1965): 雨水・土壌系におけるカルシウムとストロンチウムの行動の研究. 農業技術研究所報告 B, 土壌肥料, 15, 59-90.
- 6) 中野明正・佐々木英和・中野有加・鈴木克己・河崎 靖・川嶋浩樹・安場健一郎・黒崎秀仁・大森弘美・坂上 修・高市益行 (2007): オランダおよび日本品種トマトの収量, 品質および出液速度の差異. 園芸学会雑誌, 別冊, 76(2), 274.
- 7) 中野明正 (2008): 同位体比等による農産物の原産地および施肥・栽培履歴の推定. *Radioisotopes*, 57(3), 189-198.
- 8) 中野明正, 安 東赫, 松田 怜・安場健一郎・東出忠桐・鈴木克己・高市益行, (2010a): オランダおよび日本品種トマトにおける必須元素とSrの部位別分布. 園芸学研究, 別(9), 133.
- 9) 中野明正・安 東赫・高市益行 (2010b): なぜオランダトマト果実のCa濃度は高いのか?. 根の研究, 19(2), 60.
- 10) 中野明正・松田 怜・淨閑正史・鈴木克己・安 東赫・高市益行 (2012): トマトの摘果に伴う茎からの不定根発生とデンブ蓄積の品種差異. 根の研究, 21(2), 39-43.
- 11) 中野明正・金子 壮・安場健一郎・東出忠桐・鈴木克己・木村 哲・田村奨悟 (2013): 多収環境におけるNFT低段栽培トマトの収量と根系の解析. 野菜茶研報., 12, 75-80.
- 12) 齊藤 章 (2012): オランダの栽培システムと統合制御 トマト 農業技術体系野菜編第2巻, 追録35号, 基615-624. 農文協, 東京.
- 13) 佐々木英和 (2008): 日本型トマト多収生産に向けた研究開発のマイルストーン (10) 多収生産技術の確立に向けた日本品種とオランダ品種の栽培生理特性と収量性の研究. 農業および園芸, 83(11), 1229-1233.

---

## Dutch Tomato Cultivar has Greater Sr Uptake and Is Likely to Have Higher Calcium Uptake and Transport Activity than Japanese Tomato Cultivar

Akimasa Nakano, Dong-Hyuk Ahn and Tadahisa Higashide

### Summary

The concentration of added strontium (Sr) was greater in all parts of the Dutch tomato cultivar ‘Quest’ than in the Japanese cultivar ‘Momotaro 8’. Although Sr was lower in the upper parts of each cultivar, the difference in Sr between cultivars was markedly increased in the upper parts. Greater Sr transport in the upper parts of ‘Quest’ suggests better Ca translocation to growing points, which supports higher fruit quality. Because the bleeding rate and Ca in the sap were higher in Dutch cultivar than in Japanese cultivar, the greater Sr transport by Dutch cultivar might be due to greater root acquisition and transport of Sr and Ca.



# 施設園芸用ハウスの換気抑制を目的とした冷房における 空気熱源ヒートポンプ、家庭用ヒートポンプおよび 蓄熱槽利用型ヒートポンプの運転特性比較

岩崎 泰永・鈴木 真実・梅田 大樹・松尾 誠治\*・安 東赫・高市 益行

(平成 26 年 10 月 12 日受理)

## Comparison of Three Heat Pumps for Greenhouse Cooling to Reduce Ventilation

Yasunaga Iwasaki, Mami Suzuki, Hiroki Umeda, Seiji Matsuo,  
Dong-Hyuk Ahn and Masuyuki Takaichi

### I 緒 言

施設を利用した野菜や花きの生産において、重油価格の高騰によって暖房コストの上昇が生じている。ヒートポンプは設置コストが大きいものの、エネルギー消費量の削減効果が高いため、生産現場で導入が進みつつある。多くの場合、重油燃焼式の温風暖房機をヒートポンプと併用するハイブリッド暖房方式(川嶋ら, 2008)が用いられている。その大部分はオフィスや工場などで利用されている業務用の空気熱源ヒートポンプをそのままか、または一部改造した機種が導入されているが、最近になって COP (Coefficient of Performance 成績係数) の高い家庭用エアコンのハウス暖房への利用が提案されている(大山ら, 2008; Tong ら, 2010)。

一方、野菜や花きの施設栽培では収量や収益を高めることを目的として栽培環境を積極的に制御する技術が注目されつつある。特にハウス内の CO<sub>2</sub> 濃度を人為的に高めて収量を増加させる CO<sub>2</sub> 施用については生産者の関心が高い。CO<sub>2</sub> 施用と湿度または飽差の制御を組み合わせることによって CO<sub>2</sub> 施用の効果を高めたり(岩崎ら, 2011)、換気条件下でも外気と同程度となるように CO<sub>2</sub> 施用を行う技術(古在ら, 2008)が報告され、生産

現場でも使われるようになってきている。さらに、できるだけ換気を抑制して、CO<sub>2</sub> 濃度や湿度を高め維持することが可能な時間帯を延長する試みも行われつつあり、たとえば河崎ら(2013)は遮熱フィルムの利用によって換気開始時刻を遅らせる可能性を検討している。安場ら(2011)および川嶋ら(2011)は日中ヒートポンプを冷房運転することによって、換気を抑制する技術について報告している。

ヒートポンプは一次側(通常熱源側)から二次側(通常利用側)に熱を移動させる装置である。冬季の部屋の暖房のように、低温外気を熱源にして温度勾配に逆らう方向で室内に熱を移動させることが可能である。施設栽培の一般的な期間である秋~初夏は、外気温が比較的低く、ハウス内部の気温が高い。このような条件下で換気の抑制を目的として冷房を行う場合には、温度勾配に沿った方向でハウス内部から屋外に熱を移動させることになるため、エネルギー消費量は少なく、COP が高くなると推測されるが、この場合の運転特性や COP を調べた報告は少ない。また、家庭用エアコンを用いて、換気抑制を目的とした冷房を行う場合の運転特性を調べた報告は見当たらない。

そこで、本実験では、ハウス内に業務用ヒートポンプと家庭用エアコンを設置し、春期に換気抑制を目的とし

〒470-2351 愛知県知多郡武豊町字南中根 40-1

野菜生産技術研究領域

\*東京大学大学院工学系研究科

た冷房運転を行い、それらの運転特性を比較することを目的とした。また、著者らはこれまで水熱源ヒートポンプと蓄熱水槽を組み合わせ、日中冷房運転によってハウス内から除去した熱を水に蓄え、夜間暖房に利用する蓄熱槽利用型ヒートポンプシステムの開発を行ってきた(Iwasakiら, 2013)。そこで、本実験では、このシステムの冷房運転特性の評価も同時に行った。

本研究は、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」(CO<sub>2</sub>長期・長時間施用を核とした環境制御技術を開発し東海の園芸産地を活性化する)および戦略的創造研究推進事業「持続可能な水利用を実現する革新的な技術とシステム」により実施した。本研究の実施にご協力いただいた、研究支援センターの河野真人氏、初山敏夫氏、河野真寛氏に深く感謝いたします。

## II 材料及び方法

### 1 実験設備

実験は野菜茶業研究所武豊野菜研究拠点(愛知県知多郡武豊町)の敷地内に設置された同じ形状の隣接した3棟の単棟パイプハウス(間口4.5m, 奥行7.0m, 棟高2.7m, 南北方向に建設)を用いて行った。各ハウスとハウスの間隔は4.5mとした。東端のハウス( $G_{\text{home}}$ )には家庭用エアコンを設置し、中央のハウス( $G_{\text{air}}$ )には業務用の空気熱源ヒートポンプを設置した。また、西端のハウス( $G_{\text{gw}}$ )には蓄熱槽利用型ヒートポンプシステムを設置した。各ハウスは農業用ポリオレフィン系特殊フィルム(ダイアスター, 厚さ0.15mm, 三菱樹脂アグリドリーム製)を屋根面, 妻面および側面に展帳した。いずれのハウスにおいても、設置したヒートポンプの冷

房暖房能力に比べてハウスの規模が小さいので、ヒートポンプが頻繁に断続運転を繰り返すことをさけることを目的として、暖房負荷および冷房負荷を大きくするために保温用の内張カーテンは取りはずした。ハウス内の気温が35°C以上に上昇すると巻き上げ式の側窓が自動的に開くように設定したが実験期間中にハウス内気温が35°C以上となって側窓が開くことは一度もなかった。

$G_{\text{home}}$ は家庭用エアコン(RAS-AC40B2W, 定格消費電力1.45kW, 日立製)をハウス北側妻面に2台設置した。設定温度は、日中(6~18時)は冷房運転で18°C, 夜間(18~翌6時)は暖房運転で16°Cとした。 $G_{\text{air}}$ にはインバータ制御の業務用エアコン(HPFC-5H, 定格消費電力3.75kW, 菱名工業製)を設置した。設定温度は $G_{\text{home}}$ と同じとした。 $G_{\text{gw}}$ は水槽と水熱源ヒートポンプ(EC030-3H2C, 定格消費電力3.0kW, FHP Manufacturing製)を組み合わせる冷暖房システムを構成した(図-1)。ハウス中央部, 高さ1.5mに気温制御用の白金測温抵抗体(RD-10M, シマデン製)を通風筒にに入れて設置した。ハウス内部北側端に断熱材で成形された蓄熱水槽(横1.1m×縦1.4m×高さ0.8m)を設置した。水槽内の水を水中ポンプ(WUP3-325-0.15S, 定格消費電力0.15kW, 川本ポンプ製)でヒートポンプ内部に導入した。日中(6~18時)はハウス内気温が18°C以上となると冷房運転を開始し, 16°C以下となった時点で停止した。夜間(18~翌6時)は16°C以下となると, 暖房運転を開始し, 18°C以上となった時点で停止した。ヒートポンプの排水口には三方弁を取り付け, 水温が設定値以内の場合は蓄熱水槽につながった配管経路に切り替え水槽とヒートポンプ間で水を循環させた。設定値を超えた場合にはハウス外部に排出する配

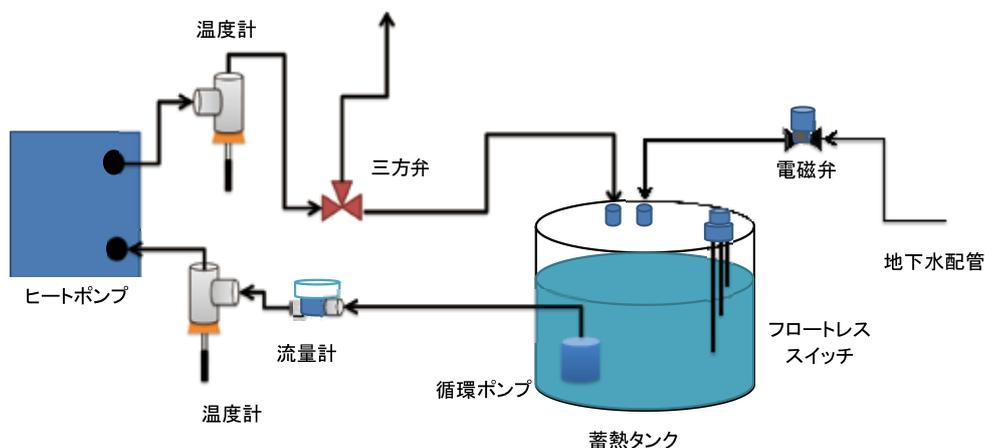


図-1  $G_{\text{gw}}$ に設置した蓄熱槽利用型ヒートポンプシステムの模式図

管路に切り換え排水した。その際、水量の減少分は井戸水（水温約 12℃）を導入して補い、水槽内の水温を設定値付近に維持した。水温設定値は冷房時 35℃（上限）、暖房時 10℃（下限）とした。ヒートポンプ、水中ポンプ、バルブは制御用コンピュータ（KV-3000、キーエンス製）にて制御した。

いずれのハウス内においてもキュウリの栽培を行い、2014年1月10日から4月20日まで実験に供試した。

## 2 調査項目

温度の測定にはすべて白金測温抵抗体（RD-10M、シマデン製）を用い、データロガー（GL-800、グラフテック製）に接続して1min間隔で記録した。3つのハウスとも中央部、高さ1.5mに通風筒を設置し、気温を測定した。 $G_{\text{air}}$ と $G_{\text{home}}$ の間に1.5mの高さに日除けをとりつけた白金測温抵抗体を設置して外気温を測定した。 $G_{\text{gw}}$ では、ヒートポンプ入り口と出口の配管内、および水槽内の水温を測定した。水の流量は流量計（VWK25RC、金門製作所製）を用いて計測した。ハウス中央通路部分の地表面から10および20cmの深さに白金測温抵抗体を埋設して地温を測定した。空気熱源ヒートポンプシステム、家庭用エアコンおよび水熱源ヒートポンプシステムの消費電力量は電力量計（Clamp On Power HiTESTER 3168、日置電気製）を用いて1min間隔で測定した。空気熱源ヒートポンプシステムと家庭用エアコンの消費電力量はコンプレッサーユニット（室外機、それぞれ $W_{\text{air\_comp}}$ と $W_{\text{home\_comp}}$ 、MJ）および送風ユニット（室内機、それぞれ $W_{\text{air\_fan}}$ と $W_{\text{home\_fan}}$ 、MJ）の消費電力量の和であり、水熱源ヒートポンプシステムの消費電力量はコンプレッサー（ $W_{\text{gw\_comp}}$ 、MJ）と送風ファン（ $W_{\text{gw\_fan}}$ 、MJ）、水中ポンプ（ $W_{\text{gw\_pump}}$ 、MJ）の消費電力量の和である。

## 3 放熱係数、吸熱量およびCOPの計算方法

$G_{\text{gw}}$ に設置した水熱源ヒートポンプシステムを暖房運転した場合の放熱量（ $Q_{\text{hgw}}$ 、MJ）は次式で求められる。

$$Q_{\text{hgw}(n)} = \sum_{t=0}^n ((T_{\text{win}(t)} - T_{\text{wout}(t)}) \times V(t) \times C_p \times 10^{-3} + W_{\text{gw\_comp}(t)}) \quad (1)$$

ここで、 $T_{\text{win}}$ 、 $T_{\text{wout}}$ はそれぞれヒートポンプ入り口および出口の水温（℃）、 $V$ は水の流量（ $\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$ ）、 $C_p$ は比熱（ $4.186 \text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{°C}^{-1}$ ）、 $t$ は測定開始からの経過時間（min）である。なお水1Lの質量は1kgとして計算した。

また、暖房に必要な熱量 $Q_{\text{hgw}}$ は以下の式で示される。

$$Q_{\text{hgw}(n)} = H_{\text{gw}} \times A_{\text{sgw}} \times \sum_{t=0}^n (T_{\text{gw}(t)} - T_{\text{out}(t)}) \quad (2)$$

ここで、 $T_{\text{gw}}$ 、 $T_{\text{out}}$ はそれぞれ $G_{\text{gw}}$ 内の気温および外気温を示す。 $H_{\text{gw}}$ （ $\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{°C}^{-1}$ ）は、暖房に必要な熱量がハウス表面積と内外気温差に比例すると仮定した場合の係数（岡田、1997）で以下、放熱係数と呼ぶ。 $A_{\text{sgw}}$ はハウス表面積（ $\text{m}^2$ ）である。式（2）を $A_{\text{sgw}} \cdot H_{\text{gw}}$ についてとくと、以下の式になる。

$$A_{\text{sgw}} \times H_{\text{gw}} = Q_{\text{hgw}(n)} / \sum_{t=0}^n (T_{\text{gw}(t)} - T_{\text{out}(t)}) \quad (3)$$

本実験では、日中のヒートポンプの冷房運転による吸熱量（ $Q_{\text{cgw}}$ 、MJ）は以下の式で表されると仮定した。

$$Q_{\text{cgw}(n)} = C \times \sum_{t=0}^n (R_{\text{gw}(t)} \times A_{\text{fgw}} - A_{\text{sgw}} \times H_{\text{gw}} \times (T_{\text{gw}(t)} - T_{\text{out}(t)})) \quad (4)$$

日中のヒートポンプの冷房運転による吸熱量計算値（ $Q_{\text{cgw\_cal}}$ 、MJ）は以下の式で表されるとした。

$$Q_{\text{cgw}(n)\_cal} = \sum_{t=0}^n (R_{\text{gw}(t)} \times A_{\text{fgw}} - A_{\text{sgw}} \times H_{\text{gw}} \times (T_{\text{gw}(t)} - T_{\text{out}(t)})) \quad (4)''$$

ここで $R_{\text{gw}(t)}$ は $G_{\text{gw}}$ 内に透過した日射量（ $\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ ）で、 $A_{\text{fgw}}$ はハウス床面積（ $\text{m}^2$ ）である。また、吸熱量実測値（ $Q_{\text{cgw\_mes}}$ 、MJ）は以下の式から求めた。

$$Q_{\text{cgw}(n)\_mes} = \sum_{t=0}^n ((T_{\text{win}(t)} - T_{\text{wout}(t)}) \times V(t) \times C_p \times 10^{-3} - W_{\text{gw\_comp}(t)}) \quad (4)'''$$

さらに、 $Q_{\text{cgw\_cal}}$ と $Q_{\text{cgw\_mes}}$ を以下の式に当てはめ、式（4）の係数 $C$ を求めた。

$$C = Q_{\text{cgw}(n)\_mes} / Q_{\text{cgw}(n)\_cal} \quad (4)''''$$

水熱源ヒートポンプの冷房時COP（ $\text{COP}_{\text{cgw}}$ ）は以下の式で示される。

$$\text{COP}_{\text{cgw}(n)} = Q_{\text{cgw}(n)} / \left( \sum_{t=0}^n (W_{\text{gw\_comp}(t)} + W_{\text{gw\_fan}(t)} + W_{\text{gw\_pump}(t)}) \right) \quad (5)$$

一方、ハウス内など生産現場で実際に利用されている条件で、空気熱源ヒートポンプシステムのCOPを求める場合は、ヒートポンプ吸い込み口と吹き出し口のエンタルピーの差に送風ユニットの送風量を乗じて放熱量、吸熱量を求める（川嶋ら、2011）。この方法は吹き出し口の送風量と気温、湿度の正確な計測が必要であるが、吹き出し口の送風量と温度、湿度が場所によって不均一である（後藤ら、2013）ため、送風量の測定に誤差が生じやすい。古野ら（2012）は、地中熱源ヒートポンプと空気熱源ヒートポンプの運転特性を比較した実験において、空気熱源ヒートポンプの放熱量を別途求めた放熱係数と内外気温差から計算によって求めている。彼らはまず、隣接した同型同サイズのハウスに設置した地中熱

源ヒートポンプの放熱量と内外気温差の実測値からハウスの放熱係数を求め、次に、両ハウスの放熱係数が等しいと仮定して、空気熱源ヒートポンプの放熱量を内外気温差と放熱係数から計算によって求めた、地中熱源ヒートポンプの放熱量は一次側配管のヒートポンプ出入り口の循環水の温度差と流量およびコンプレッサ消費電力から容易に実測可能である。本実験においても、古野ら(2012)の報告を参考にして、実測が容易な水熱源ヒートポンプの放熱量と内外気温差から供試したハウスの放熱係数を求め、家庭用エアコンおよび業務用空気熱源ヒートポンプの放熱量、吸熱量をその放熱係数を用いて、計算によって求めた。 $G_{air}$ 、 $G_{home}$ 、 $G_{gw}$  は同一敷地内に隣接して建設された同じ大きさ、同じ形状、被覆条件のハウスであるため、 $G_{gw}$  の放熱係数  $H_{gw}$  と  $G_{air}$ 、 $G_{home}$  の放熱係数  $H_{air}$ 、 $H_{home}$  は同じとみなせる。これらの関係を用いると  $G_{air}$  および  $G_{home}$  における吸熱量 ( $Q_{cair}$ 、 $Q_{chome}$ 、MJ) と COP ( $COP_{cair}$ 、 $COP_{chome}$ ) は、

$$Q_{cair(n)} = C \times \sum_{t=0}^n (R_{air(t)} \times A_{fair} - A_{sair} \times H_{air} \times (T_{air(t)} - T_{out(t)})) \quad (6)$$

$$Q_{chome(n)} = C \times \sum_{t=0}^n (R_{home(t)} \times A_{fhome} - A_{hhome} \times H_{home} \times (T_{home(t)} - T_{out(t)})) \quad (7)$$

$$COP_{cair(n)} = Q_{cair(n)} / \left( \sum_{t=0}^n (W_{air\_comp(t)} + W_{air\_fan(t)} + W_{air\_pump(t)}) \right) \quad (8)$$

$$COP_{chome(n)} = Q_{chome(n)} / \left( \sum_{t=0}^n (W_{home\_comp(t)} + W_{home\_fan(t)} + W_{home\_pump(t)}) \right) \quad (9)$$

と推定される。ここで  $R_{air}$ 、 $R_{home}$  は  $G_{air}$  および  $G_{home}$  内に透過した日射量 ( $MJ \cdot m^{-2}$ )、 $A_{fair}$ 、 $A_{fhome}$  は  $G_{air}$  および  $G_{home}$  の床面積、 $T_{air}$ 、 $T_{home}$  は  $G_{air}$  および  $G_{home}$  の気温 ( $^{\circ}C$ ) を示す。

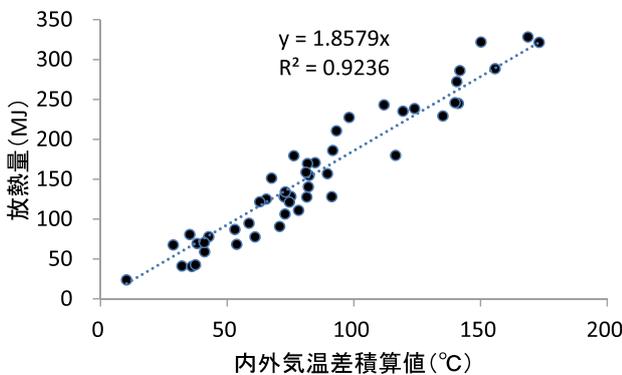


図-2  $G_{gw}$  における内外気温差積算値と水熱源ヒートポンプからの放熱量の関係  
2014年3月7日～4月28日の1日単位の積算値データを用いた。

### III 結果

#### 1 放熱係数の測定と吸熱量の計算

$G_{gw}$  における、(夜間)内外気温差積算値  $\Sigma (T_{gw} - T_{out})$  と暖房時のヒートポンプからの放熱量 (積算値) の関係を図-2に示した。内外気温差積算値に対する放熱量の関係を、原点を通る直線と仮定して回帰したところ、高い相関関係が認められた (決定係数  $R^2 = 0.92$ )。直線の傾きは式(2)における放熱係数と表面積の積 ( $H_{gw} \cdot A_{gw}$ ) に相当する。 $H_{air}$  および  $H_{home}$  は  $H_{gw}$  に等しく、本実験では  $H_{gw} \cdot A_{gw} = H_{air} \cdot A_{air} = H_{home} \cdot A_{home} = 1.86 (MJ \cdot ^{\circ}C^{-1})$  となった。

次に、式(4)' と式(4)'' から  $Q_{cgw\_cal}$  と  $Q_{cgw\_mes}$  を求め、図-3にプロットし、原点を通る直線で回帰してその傾きとして式(4)の係数  $C$  を求めたところ 0.674 となった。

そこで、本実験では  $G_{home}$ 、 $G_{air}$ 、 $G_{gw}$  の各ハウスにおけるヒートポンプによる吸熱量 ( $Q_{chome}$ 、 $Q_{cair}$ 、 $Q_{cgw}$ 、MJ) は式(4)、(6)、(7)に各係数を当てはめて計算で求めた。

#### 2 気象条件と各ヒートポンプの運転特性

データの解析を行った2014年4月14～18日までの屋外気温と  $G_{gw}$  にて測定したハウス内日射量  $R_{gw}$ 、地温の推移を図-4に示した。屋外気温は11～28 $^{\circ}C$ で推移し調査期間の平均値は20 $^{\circ}C$ 、最高値は28 $^{\circ}C$ となった。屋内日射量は調査期間の最大値  $2.50 MJ \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$  ( $0.69 kW \cdot m^{-2}$ )、調査期間の平均値は  $1.28 MJ \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$  ( $0.36 kW \cdot m^{-2}$ ) となった。地温は日中上昇、夜間下降を繰り返し、深さ10cmの部分では16.9～24.1 $^{\circ}C$ の範囲で、

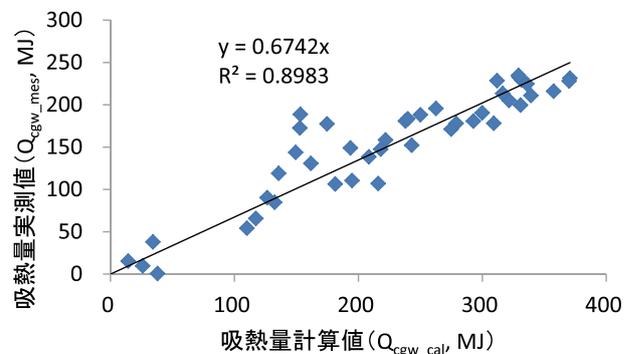


図-3  $G_{gw}$  における吸量計算値と吸熱量実測値の関係  
2014年3月7日～4月28日の期間における晴天日、1日単位のデータを用いた。

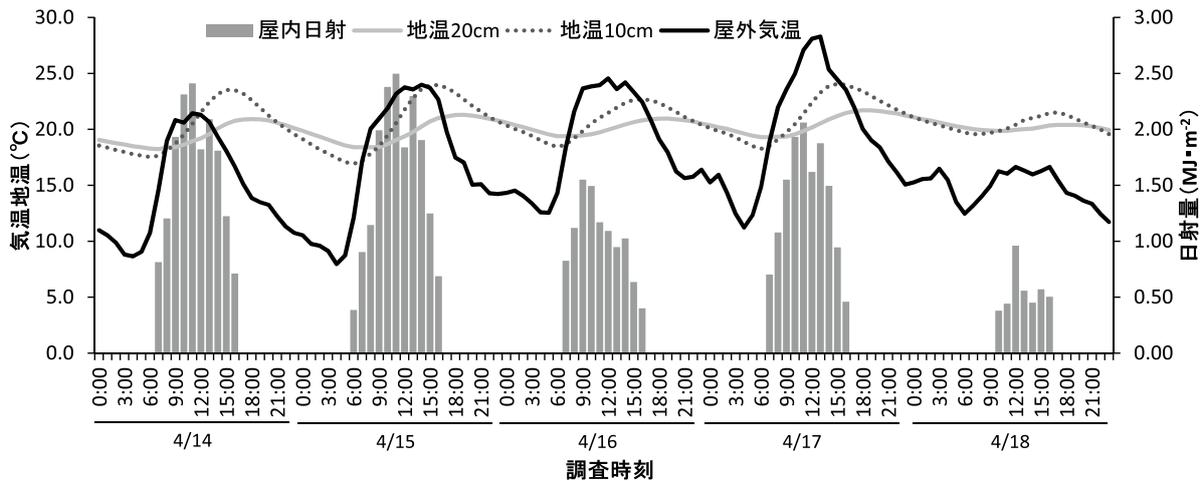


図-4 屋内日射量，屋内地温，屋外気温の推移  
(屋内日射量は1分間間隔で測定し，1時間ごとの積算値として記載した)

深さ 20cm の部分では 18.2 ～ 21.7°C の範囲で推移した。

図-5 には、 $G_{\text{home}}$ 、 $G_{\text{air}}$ 、 $G_{\text{gw}}$  の各ハウスにおける日中 (6～18 時) の (a) ハウス内気温推移、(b) ヒートポンプによる吸熱量、(c) 消費電力量、(d) COP を示した。ハウス内気温は  $G_{\text{home}}$  では 19.2 ～ 33.4 で推移し、 $G_{\text{air}}$  では 14.5 ～ 31.8°C の範囲で、 $G_{\text{gw}}$  においては 17.3 ～ 33.0°C の範囲で推移し、 $G_{\text{air}}$  で一時的に低い時がみられた。日中の平均気温は  $G_{\text{home}}$ 、 $G_{\text{air}}$ 、 $G_{\text{gw}}$  それぞれ、25.8°C、24.9°C、25.3°C となっており、いずれのハウスともほぼ同じであった。ヒートポンプの冷房開始温度はいずれのハウスとも 18°C に設定したが、日中の気温を設定温度以下に制御することはできなかった。本実験ではヒートポンプによる吸熱量は放熱係数、ハウス表面積、日射量および内外気温差を用いて、式 (4)、(6)、(7) を用いて計算によって求めた。ハウス内気温の推移がほぼ同じであったことから、吸熱量の推移もほぼ同じとなっており、最大で約  $1.40 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ 、平均  $0.59 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$  となった。消費電力量は、調査期間の最大値で  $G_{\text{home}}$ 、 $G_{\text{air}}$ 、 $G_{\text{gw}}$  それぞれ、0.200、0.405、0.320  $\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$  となった。調査期間を通じた消費電力量の平均値は  $G_{\text{home}}$ 、 $G_{\text{air}}$ 、 $G_{\text{gw}}$  それぞれ、0.083、0.211、0.187  $\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$  となっており、 $G_{\text{home}}$  が小さかった。COP の最大値は  $G_{\text{home}}$ 、 $G_{\text{air}}$ 、 $G_{\text{gw}}$  それぞれ 8.51、5.22、4.35 となった。調査期間の平均値でみると  $G_{\text{home}}$ 、 $G_{\text{air}}$ 、 $G_{\text{gw}}$  それぞれ、6.06、2.46、2.47 となっており、 $G_{\text{home}}$  において顕著に COP が高くなった。日射量が多く、気温が高かった 4 月 14、15、17 日は、 $G_{\text{gw}}$ 、 $G_{\text{home}}$  の消費電力量は日中ほぼ一定となっており、定常運転となっていたと推定される。 $G_{\text{air}}$  についても同様な傾向がみられるもの

の、17 日は消費電力量が増加する傾向がみられた。

なお、同一のシステムを用いて、より低温期である 3 月 13～17 日に暖房時の COP を求めたところ、調査期間の最大値は  $G_{\text{home}}$ 、 $G_{\text{air}}$ 、 $G_{\text{gw}}$  それぞれ 5.74、4.77、5.58 となった。調査期間を通じた平均値は  $G_{\text{home}}$ 、 $G_{\text{air}}$ 、 $G_{\text{gw}}$  それぞれ、4.13、2.85、3.46 となった。その期間の夜間 (18～翌 6 時) の外気温は調査期間の最高値で 11.6°C、最低値は 1.3°C、調査期間を通じた平均値は 6.3°C であった。ハウス内気温は調査期間全体の夜間平均で  $G_{\text{home}}$ 、 $G_{\text{air}}$ 、 $G_{\text{gw}}$  の順に、18.6、15.6、16.8°C であった。

### 3 蓄熱槽利用型ヒートポンプシステムの運転特性

図-6 に  $G_{\text{gw}}$  に設置した蓄熱槽利用型ヒートポンプシステムの運転特性を示した。6 時から冷房運転が開始されると水槽内へ蓄熱が行われ、水温は急激に上昇した。前日夜間の暖房負荷が大きく、日中の冷房開始直前の水温が設定下限付近の約 10°C 付近となっていた場合 (4 月 14 日および 15 日) には冷房運転開始から 2 時間後の 10 時には上限水温となる 35°C 程度に達していた。また、前日の暖房負荷が小さく、暖房開始直前の水温が設定下限まで低下していない場合 (4 月 16 日および 17 日) には、さらに早い時間に上限水温に達した。18 時から暖房が開始されると、水温は低下した。時期的には暖房負荷が低い時期の実験であったため、冷房時と比べると低下の速度は緩やかであった。

## IV 考 察

本実験では換気抑制を目的としてヒートポンプによ

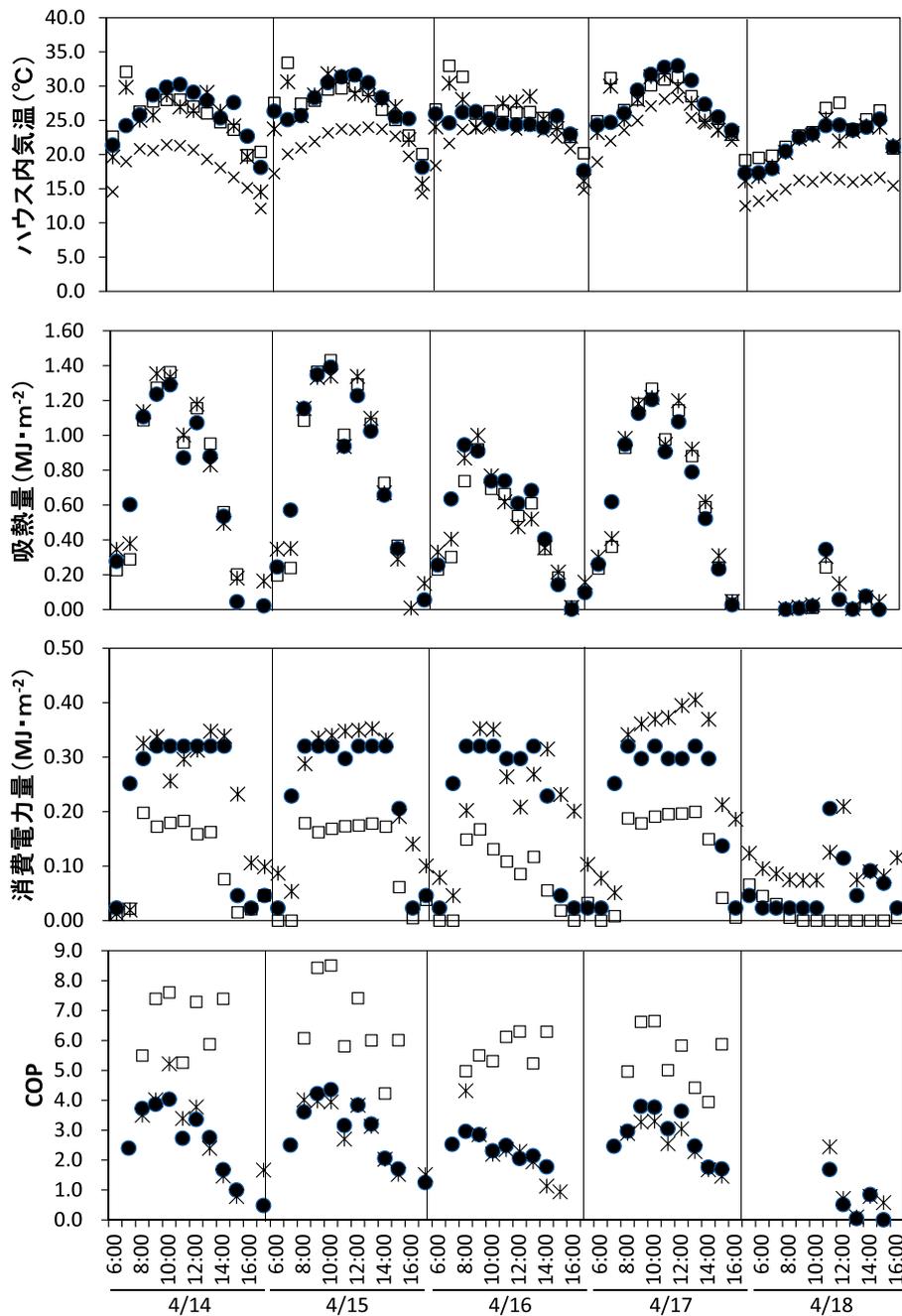


図-5 冷房時の気温とヒートポンプの運転特性

(a) 気温, (b) 吸熱量, (c) 消費電力量および (d) COP の推移

(吸熱量および消費電力量は1分間隔で測定し, 1時間単位の積算値をハウス床面積  $1\text{m}^2$  当たり量として表記した。

て冷房を行う場合に, 業務用ヒートポンプと家庭用エアコンの運転特性を比較した。また合わせて, 著者らが開発している蓄熱槽利用型ヒートポンプシステムの運転特性についても調べた。実験を行った2014年4月14~18日の気温は平均で $20^{\circ}\text{C}$ , 最高 $28^{\circ}\text{C}$ で, 日射量は平均 $0.36\text{kW}\cdot\text{m}^{-2}$ , 最大 $0.69\text{kW}\cdot\text{m}^{-2}$ であった実験の結果, 家庭用エアコンのCOPは平均で6.1, 最大で8.5

と業務用ヒートポンプの場合(平均2.5, 最大5.2)よりも高く, 換気抑制を目的とした日中の冷房運転において, エネルギー利用効率が高いことが示された。また, 蓄熱槽利用型水熱源ヒートポンプのCOPは業務用ヒートポンプと同等であり, 本実験の運転方法ではエネルギー利用効率の面で優位な点は見られなかった。

本実験ではヒートポンプの冷房運転によってハウス内

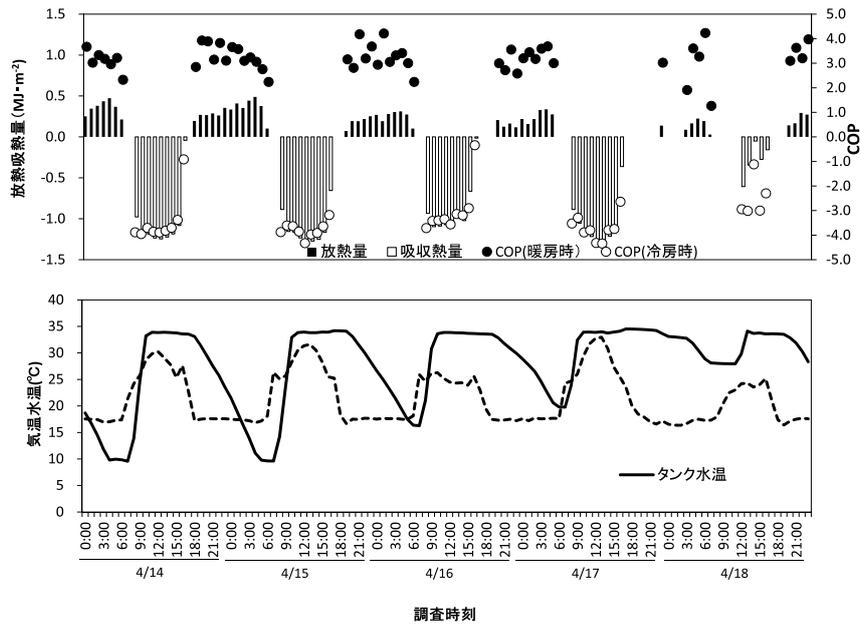


図-6 蓄熱槽利用水熱源ヒートポンプの運転特性.

(a) 放熱量, 吸熱量, COPの推移, (b) 水槽水温およびハウス内気温の推移.  
 放熱量吸熱量は, 放熱をプラス(+), 吸熱をマイナス(-)として表記した.  
 放熱量, 吸熱量は1分間隔で測定し, 1時間単位の積算値をハウス床面積1m<sup>2</sup>当たり量として表記した.

から取り除かれる熱量をハウス内透過日射量と内外気温差を用いて推定した。まず、水熱源ヒートポンプを暖房および冷房運転して、放熱量、吸熱量を実測した。式(2)によって放熱量から放熱係数を求めた。冷房運転時の熱収支を式(4)で表した。吸熱量の実測値は推定値に対して傾き0.67の原点を通る一次式で回帰された。実測値と推定値の熱量差33%は土壌との熱交換や、ハウス外部への反射・放射による熱損失を表していると思われる。この回帰式の決定係数は十分に高かった( $R^2 = 0.90$ )ことからこの式による吸熱量の推定は可能であると判断し、これらの式を用いて各ハウスにおけるヒートポンプの吸熱量を推定した。

大山ら(2008)は家庭用エアコンの熱的性能が近年極めて高性能かつ安価となっている事に着目し、園芸分野での利用を提案した。また、Tongら(2010)は暖房での利用において外気温が-5から6°C、ハウス内の設定温度16°Cの条件でCOPは平均4.0、最大5.8で、従来の報告と比べて極めて高い値となったことを報告している。本実験の結果、換気を抑制するための日中冷房においても、家庭用のエアコンのCOPは極めて高く、エネルギー利用効率が高いことが示された。ヒートポンプは一般に熱の勾配に逆らって熱を移動することに使われる。例えば家庭用のエアコンは、暖房時は低温の外気を

熱源として、外気より高温の室内に熱を移動し、冷房時は低温の屋内から高温の屋外に熱を移動する。このように熱の勾配に逆らって熱を移動する場合は、凝縮器側と蒸発器側の温度差が小さいほど、つまり熱勾配が緩いほどシステムのCOPは高くなる(林, 2009)。一方、野菜や花きの施設生産ではハウスの利用期間は秋から初夏までが中心である。この期間は、晴天時は外気温が比較的低温(5~25°C)、ハウス内の気温が比較的高い(20から30°C)特徴がある。このような条件における冷房運転は、熱を温度勾配に沿った方向に移動するので、凝縮器側、蒸発器側ともに周囲の空気との温度差が大きくなりやすく、COPは極めて高くなることが考えられる。実際に、本実験においても家庭用エアコンの冷房時COPは、暖房利用の場合のTongら(2010)の報告(COPは4.0、最大5.8)、著者らの実験結果( $G_{home}$ に設置した家庭用エアコンの暖房時COPは平均4.1、最大5.7)と比べても高く、暖房と比べて少ないエネルギー消費量で熱を移動できることが示された。

園芸用施設で家庭用エアコンを用いて冷房を行った事例として大山ら(2008)の報告がある。閉鎖型苗生産システムの空調として家庭用エアコンを用い、冷房運転時の特性を調べた結果、COPは5.0から11.3(平均7.6)と報告しており、半閉鎖型苗生産システムの冷房システ

ムとして業務用のヒートポンプより家庭用エアコンが適していると結論している。この場合の施設は日射に対して不透明な断熱性の壁で覆われているため、おもな熱の発生源は照明となっており、日射が熱源の主体となるハウスでの冷房運転とは異なっているが、ハウスの場合と同様、温度勾配にならった方向で熱移動を行う点は共通している。大山ら(2008)の実験では外気温が低くなるほどCOPが増加するとしているが本実験では、外気温とCOPの関係は明確ではなく、一方で、内外気温差が大きくなるほどCOPは高くなる傾向があった。本実験に供試したヒートポンプの定格消費電力は $G_{\text{home}}$ では2.9kW、 $G_{\text{air}}$ では3.75kW、 $G_{\text{gw}}$ では3.0kWと異なっていたが、最大出力は12kWでほぼ同じであった。これは床面積( $\text{m}^2$ )あたりに換算すると0.4kWである。ハウス内に透過する日射量は平均で $0.3\text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$ 、最大値は $0.69\text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$ であり、ヒートポンプの冷房能力が不足して、晴天時の日中はハウス内の気温が設定温度より上昇した。そのことが内外気温差がCOPに影響する理由と考えられた。

実際の生産ハウスにおいて換気を抑制することを目的として冷房を行うためには設置コスト、ランニングコストの面から十分な能力のヒートポンプを導入することは難しいと思われる。ヒートポンプを暖房に利用する場合は重油燃焼式の温風暖房機を併用するハイブリッド方式が用いられており、その場合、 $1000\text{m}^2$ あたりに導入されるヒートポンプの能力は定格消費電力15~22.5kW(20~25馬力、バラなどで夜間冷房を行う場合)が目安とされている(野々下, 2009)。ヒートポンプを導入して換気を抑制する場合、 $\text{COP} = 3$ と仮定すると冷房能力は定格消費電力15kWの場合には床面積当たり $0.045\text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$ となる。この冷房能力では換気を抑制できるのは日の出からわずかな時間だけであると推測できる。ヒートポンプを利用して換気の抑制を行う場合には、ハイブリッド暖房方式の目安よりも能力の大きいヒートポンプを導入することが望ましい。換気抑制を目的とした冷房に用いるヒートポンプの適正能力は今後、収量とコストの増加などを考慮して、検討する必要がある。その際、家庭用エアコンは業務用ヒートポンプよりも安価でCOPが高いので、冷房能力を大きくするためには有力な選択肢となると考えられる。

著者らは、蓄熱水槽と水熱源ヒートポンプを組み合わせた蓄熱槽利用型ヒートポンプシステムの開発を行ってきた(Iwasakiら, 2013)。日中冷房を行うと同時にハウス内から取り除いた熱エネルギーを水槽内に蓄熱し、

夜間の暖房時に利用する方式である。水熱源ヒートポンプのCOPは熱源側の水温によって変化する。冷房時は水温が低い場合に、暖房時は水温が高い場合にCOPは高くなる。冷房によって蓄熱を行う場合には水槽内の水温上昇とともにCOPは低下する。水温の上昇を防ぐためには水槽の容積を大きくする必要があるが、その場合は設置コストが大きくなる。そこで、本実験では、生産現場での設置可能条件を想定して、水槽の容積を床面積当たりおよそ $40\text{ L}\cdot\text{m}^{-2}$ とした。COPの低下を防ぐため、冷房時(蓄熱時)の水温上限は $35^\circ\text{C}$ 、暖房時(放熱時)の水温下限は $10^\circ\text{C}$ として、上限または下限を超える場合にはヒートポンプ通過後の水を屋外に排水し、その減少分を井戸水( $12^\circ\text{C}$ )で補った。実験の結果、このシステムの冷房時のCOPは業務用エアコンと同程度であることがわかった。水槽に蓄熱される熱量は水温差( $25^\circ\text{C}$ )と水槽の容積(横 $1.1\text{ m}$ ×縦 $1.4\text{ m}$ ×水深 $0.65\text{ m}$ )から $104.8\text{ MJ}$ (床面積当たり $3.33\text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ )と計算され、冷房開始から1~2時間で水温が上限温度の $35^\circ\text{C}$ となった。その後、水温の上昇を抑えるため、地下水を導入したが凝縮器側の温度は $35^\circ\text{C}$ 付近に維持された。 $G_{\text{air}}$ および $G_{\text{home}}$ では外気温の平均は $20^\circ\text{C}$ 付近であり、凝縮器側の温度も $20^\circ\text{C}$ 程度となり、 $G_{\text{gw}}$ よりも熱交換効率が高くなったと考えられた。奥島ら(2012)は、蓄熱水槽と水熱源ヒートポンプを組み合わせることによって、他の方式(空気熱源空気供給方式、水熱源空気供給方式)よりも能力の小さいヒートポンプで十分な性能を得ることが可能であることをシミュレーションで示している。この場合、ヒートポンプを24時間運転することによって、冷暖房を使わない時間帯に熱または冷熱を水槽に蓄えるので、ヒートポンプの能力を小さくすることができるとしている。本実験で用いた蓄熱槽利用型ヒートポンプシステムについても今後、蓄熱水槽の大きさや水槽の水温などの条件を様々変更した場合の冷房、暖房能力、消費電力、COPなどを本実験で得られたデータを用いて、シミュレーションし、最適な条件を検討したいと考えている。

以上のことをまとめると、換気を抑制するためにヒートポンプを利用して冷房を行う場合には、業務用ヒートポンプよりも家庭用エアコンの方がCOPが高いことが明らかとなった。家庭用エアコンはエネルギー利用効率が高く、設置コストが低いため、換気抑制用のヒートポンプとして適していると結論される。一方、蓄熱水槽と水熱源ヒートポンプを組み合わせた冷暖房システムは、本実験の運転条件ではCOPは業務用ヒートポンプと同

程度であり、運転条件（蓄熱水槽の水温）やシステム構成（蓄熱水槽の容積）の見直しが必要である。

## V 摘 要

換気抑制を目的としたヒートポンプによる冷房において、業務用ヒートポンプと家庭用エアコンの運転特性を比較した。また合わせて、著者らが開発している蓄熱水槽利用水熱源ヒートポンプシステムの運転特性についても調べた。実験を行った期間の気温は期間平均 20°C、期間中の最高 28°C、日射量は期間平均 0.36kW・m<sup>-2</sup>、期間中の最大 0.7 kW・m<sup>-2</sup>であった。実験の結果、家庭用エアコンの COP は平均で 6.1、最大で 8.5 と業務用ヒートポンプのそれ（平均 2.5、最大 5.2）よりも高く、換気抑制を目的とした日中の冷房運転において、エネルギー利用効率が高いことが示された。また、蓄熱槽利用型水熱源ヒートポンプの COP は業務用ヒートポンプと同程度であり、本実験の運転方法ではエネルギー利用効率の面で優位な点は見られなかった。

## 引用文献

- 古野伸典・菅原 敬・高杉真司・桂木聖彦・奥島里美・佐瀬勘紀 (2012): 寒冷地域の施設園芸における地中熱源ヒートポンプシステムと空気熱源ヒートポンプシステムの暖房時運転特性の比較. 農業施設, 43, 131-137.
- 後藤文之・庄子和博・間野英行・花形将司 (2013): 温室における空気熱源式ヒートポンプ COP の連続測定. 農業施設, 44, 115-121.
- 林真紀夫 (2009): ヒートポンプのいろいろなシステム構成と暖房・冷房利用. 農耕と園芸, 64 (6), 19-24.
- 岩崎泰永・三浦慎一・大月裕介 (2011): トマトおよびイチゴ促成栽培における加湿制御が生育および収量に及ぼす影響. 園学研., 10 (別 2), 455.
- Iwasaki, Y., M. Aizawa, C. Yoshida and M. Takaichi (2013): Developing a new energy-saving, photosynthesis-promoting environmental control system for greenhouse production based on a heat pump with a heat storage system. *J. Agric. Meteorol.*, 69, 81-92.
- 河崎 靖・岩崎泰永・安 東赫・鈴木真実 (2013): トマト施設生産における CO<sub>2</sub> 長時間施用のための遮光・遮熱資材の選定. 園学研., 12 (別 1), 95.
- 川嶋浩樹・高市益行・安場健一郎 (2011): トマト栽培温室における空気熱源式ヒートポンプの冷房運転の動作特性とマルチによる夜間冷房負荷軽減効果. 野菜茶研研報., 10, 95-104.
- 川嶋浩樹・高市益行・馬場 勝・安井清登・中野有加 (2008): 空気熱源式ヒートポンプを利用したハイブリッド暖房方式による投入エネルギーおよび CO<sub>2</sub> 排出量の削減効果. 野菜茶研研報., 7, 27-36.
- 古在豊樹・大山克己 (2008): 園芸施設の周年利用推進のための環境制御と苗生産 (1). 農及園., 83, 286-291.
- 野々下知泰 (2009): 外気熱源ヒートポンプ利用の実際. 施設園芸におけるヒートポンプの有効利用—省エネと多面的な利用—, pp59-64. 農業電化協会, 東京
- 岡田益己 (1997): 暖房負荷, 新編農業気象学用語解説集編集委員会編, 新編農業気象学用語解説集 生物生産と環境の科学, pp178-179. 日本農業気象学会, 東京.
- 奥島里美・ディビット R. ミアーズ・佐瀬勘紀・高倉 直・森山英樹・古野伸典・石井雅久 (2012): 熱解析, 各地への適用, 奥島里美編, 施設園芸における水熱源式ヒートポンプの利活用. pp84-107, 佐藤印刷株式会社, 茨城.
- 大山克己・古在豊樹 (2008): 園芸用施設の暖房費および CO<sub>2</sub> 排出量削減 (1). 農及園., 83, 1157-1163.
- Tong, Y., T. Kozai, N. Nishioka and N. Ohyama (2010): Greenhouse heating using heat pumps with a high coefficient of performance (COP). *BIOSYSTEMS ENGINEERING*, 106, 405-411.
- 安場健一郎・鈴木克己・佐々木英和・東出忠桐・高市益行 (2011): トマト長期多段栽培における多収のための統合環境制御下での温室環境と収量の推移. 野菜茶研研報., 10, 85-93.

## Comparison of Three Heat Pumps for Greenhouse Cooling to Reduce Ventilation

Yasunaga Iwasaki, Mami Suzuki, Hiroki Umeda, Seiji Matsuo,  
Dong-Hyuk Ahn and Masuyuki Takaichi

### Summary

We investigated the operating characteristics of three heat pumps for greenhouse cooling to reduce ventilation. The heat pumps were installed in three adjacent tunnel greenhouses (4.5 m wide, 7.0 m long, 2.7 m high) in Taketoyo-cho, Aichi prefecture. We tested an air-to-air heat pump designed for office or factory use ( $HP_{air}$ , 3.75 kW rated electric power consumption), another designed for home use ( $HP_{home}$ , 2.90 kW), and a water-to-air heat pump combined with a heat storage tank ( $HP_{water}$ , 3.0 kW). The average (24h) outside temperature during the experimental period (14 to 18 April 2014) was 20°C, and the highest was 28°C. The average hourly solar radiation (06:00 to 18:00) was 0.36 kW·m<sup>-2</sup>, and the maximum was 0.7 kW·m<sup>-2</sup>.  $HP_{home}$  had the highest coefficient of performance (COP), with an average hourly COP of 6.1 and a maximum of 8.5.  $HP_{air}$  had an average hourly COP of 2.5 and a maximum of 5.2. The COP of  $HP_{water}$  was almost the same as that of  $HP_{air}$ . The energy-use efficiency of  $HP_{home}$  was higher than that of  $HP_{air}$  in cooling. To improve the COP of  $HP_{water}$ , we need to optimize the balance between the size of the water tank and the set water temperature in the tank.

# 液肥の施用濃度および頻度の変更による ポット栽培したレタスの生育および収穫期の調節<sup>†</sup>

佐々木 英和・中野 有加・岡田 邦彦\*

(平成 26 年 11 月 7 日受理)

## Control of the Growth and Harvest Time of Pot-cultured Lettuce (*Lactuca sativa* L.) by Changing the Concentration and Application Frequency of Liquid Fertilizer

Hidekazu Sasaki, Yuka Nakano and Kunihiko Okada

### I 緒 言

野菜の露地栽培では、気象条件の影響を受けやすいため、しばしば収穫期の遅れや減収、品質の低下が引き起こされている。一方、豊作時には市場価格が低迷し、圃場廃棄せざるを得ないなど過剰生産も問題となっている。そのため、収穫時期が集中して過剰生産が予想される場合に、生育の調節により収穫時期を分散させることの意義は大きい。しかしながら、施設栽培に比べ露地栽培では、定植後に栽培管理によって生育を調節できる程度は低い。

現在、精密な養水分管理のためには灌水同時施肥栽培(養液土耕栽培)方式があり、これまでに露地野菜でも果菜類のナス(植田ら, 2011)やピーマン(吉川ら, 2010)、葉菜類のハクサイとレタス(植田ら, 2009)について養液土耕栽培技術が報告されている。しかしながら、特に葉菜類を中心として普及は進んでいない。植え替え時に灌水チューブを撤去する必要があることや設置コストの問題、導入による肥料削減以外の利点が明らかでないことが、その理由と考えられる。

施設を中心とした果菜類の栽培では、環境制御や肥培管理による生育制御が可能である(大石ら, 2013)が、葉菜類では生育制御や収穫期を検討した例は少ない。砂

耕のレタスで肥料を一定期間欠除させ、施肥方針を検討した研究(加藤, 1965)や地中点滴灌漑を用いて施用窒素量を変えることで、ロメインレタスの収量を比較した試験(Thompsonら, 1995)でも収穫期については報告されていない。キャベツでは、窒素追肥時期によって収穫期がどのように変動するか試験されたが、土壌表面散布による追肥のため効果がなかったとされている(藤野ら, 1980)。

これまでに我々は、露地野菜においても精密な養水分管理による生育制御が期待できる畑地用地下灌漑システム(OPSIS)を開発し、これを用いた野菜の安定生産技術の確立を進めている(佐々木ら, 2014)。このシステムは、地下に埋設した溝状の遮水シートから毛管力で水を移動させるもので、給水管等を撤去することなく植え替えや機械作業が可能である。今後は、安定生産技術だけでなく、地中からの養水分供給における利用効果を明らかにし、効率的な利用法を確立して行く必要がある。本研究では、その利用法のひとつと考えられる精密養水分管理において、生育制御を行う場合の基礎的データを得ることを目的とする。1株ごとに液肥を施用でき、培地容量が少ないことから同時に複数の処理区を設定しやすいポット栽培を用い、液肥の施用濃度および頻度を変えることによるレタスの生育と収穫期調節効果について明らかにする。

〒 305-8666 茨城県つくば市観音台 3-1-1

野菜生産技術研究領域

\* 研究調整役

† 本報告の一部は、園芸学会平成 24 年度春季大会で発表した。

## II 材料および方法

### 1 液肥の施用濃度の上昇時期が結球前の生育に及ぼす影響（実験1）

育苗培養土（ナブラ野菜養土Sタイプ、ヤンマー、肥料成分N50, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>500, K<sub>2</sub>O100mg・L<sup>-1</sup>）を詰めた128穴セル成型トレイにレタス品種‘パトリオット’種子を2011年8月26日に播種し、無加温ガラス室内（つくば市観音台）で育苗した。育苗時には灌水のみ行い、液肥は施用しなかった。無肥料成分培養土（セル成型用培養土無肥料型、信濃培養土）を詰めたビニルポット（12cm）へ播種20日後に移植、引き続きガラス室内で栽培した。移植時から栽培期間を通じて、市販の液肥（OK-F-1, OATアグリオ, N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O=15:8:17）の500倍希釈液（N濃度0.3g・L<sup>-1</sup>）を施用した区を対照区とした。移植後、1000倍希釈液肥（N濃度0.15g・L<sup>-1</sup>）を施用し、それぞれ移植10, 20, 30日後から500倍希釈液肥に変更した3区（それぞれI10, I20, I30区）を設定した。生育段階にあわせて移植10日後までは9日おき、40日後までは4日おき、それ以降は2日おきを目安に希釈液肥を1ポットにつき50, もしくは100mL施用した。液肥を施用しなかった日は、適宜灌水を行った。いずれの区でも移植時から10日ごとに移植60日後まで、各区5個体ずつの地上部新鮮重と乾物重を測定した。

### 2 液肥の施用濃度の低下時期が結球前の生育に及ぼす影響（実験2）

育苗培養土（ナブラ野菜養土Sタイプ）を詰めた128穴セル成型トレイにレタス品種‘パトリオット’種子を2011年9月5日に播種し、全期間を通じて無加温ガラス室内で栽培した。無肥料成分培養土（セル成型用培養土無肥料型）を詰めたビニルポット（12cm）へ播種20日後に移植した。移植時から500倍希釈した液肥（OK-F-1）を施用し、それぞれ移植20, 30, 40, 50日後から1000倍希釈液肥に変更した4区（それぞれD20, D30, D40, D50区）と、変更しなかった対照区を設けた。移植後は、生育段階にあわせて2日から9日おきに希釈液肥を1ポットにつき50, もしくは100mL施用した。液肥を施用しなかった日は、適宜灌水を行った。移植時から移植50日後までの10日ごとと65日後に各区5個体ずつの地上部新鮮重と乾物重を測定した。

### 3 液肥の施用濃度の変更が結球後の生育に及ぼす影響（実験3）

育苗培養土（ナブラ野菜養土Sタイプ）を詰めた128穴セル成型トレイにレタス品種‘シスコ’を2012年1月5日に播種し、全期間を通じて無加温ガラス室内で栽培した。無肥料成分培養土（セル成型用培養土無肥料型）を詰めたビニルポット（12cm）へ播種25日後に移植した。移植時から500倍希釈した液肥（OK-F-1）を施用した対照区と、移植時から1000倍希釈液肥を施用し、それぞれ移植35, 45日後から500倍希釈液肥に変更した2区（それぞれI35, I45区）、移植時から500倍希釈液肥を施用し、移植35日後から1000倍希釈液肥に変更した区（D35区）を設定した。移植後は、生育段階にあわせて2日から4日おきに希釈液肥を1ポットにつき50, もしくは100mL施用した。液肥を施用しなかった日は、適宜灌水を行った。結球部の直径が12cm程度に達した日を収穫期とし、各区で収穫期に達した日に5個体ずつの外葉と結球葉の新鮮重と乾物重を測定した。また、対照区で収穫期に達した移植78日後に各区5個体ずつの外葉と結球葉の新鮮重と乾物重を測定した。

### 4 液肥の施用頻度・濃度が収穫期に及ぼす影響（実験4）

育苗培養土（ナブラ野菜養土Sタイプ）を詰めた128穴セル成型トレイにレタス品種‘Vレタス’種子を2013年3月1日に播種し、全期間を通じて無加温ガラス室内で栽培した。無肥料成分培養土（セル成型用培養土無肥料型）を詰めたビニルポット（15cm）へ播種20日後に移植した。移植時から500倍希釈した液肥（OK-F-1）を施用した対照区と、移植時から1000倍希釈液肥を施用し、移植25日後から500倍希釈液肥に変更した区（I25区）、移植時から500倍希釈液肥を施用し、移植35日後から1000倍希釈液肥に変更した区（D35区）を設けた。さらに、移植時から1000倍希釈液肥を施用し、移植35日後から500倍希釈液肥を対照区の2倍の頻度で施用した区（S35区）を設定した。希釈液肥は1回あたり1ポットにつき100mL施用し、施用頻度はS35区を除いて各区同じく生育段階にあわせて2日から4日おきとした。液肥を施用しなかった日は、適宜灌水を行った。対照区の平均的な生育のレタスを1株調査して、収穫適期と考えられる結球緊度が0.35g・cm<sup>-3</sup>程度（小澤ら, 2012）となった移植57日後を対照区の収穫期とした。移植57日後に各区5個体ずつの外葉と結球葉の新鮮重、球長径、球短

径, 球高を測定した. 次式により結球緊度を計算した. 結球緊度  $[g \cdot cm^{-3}] = \text{結球葉の新鮮重} [g] / (\pi / 6 \times \text{球長径} [cm] \times \text{球短径} [cm] \times \text{球高} [cm])$ . 対照区以外の区については, 平均的な生育をしたレタスの結球部の堅さを触感により調査し, 対照区の収穫期(移植57日後)と同程度となった日を各区の収穫期とした.

### III 結 果

#### 1 液肥の施用濃度の上昇時期が結球前の生育に及ぼす影響(実験1)

実験期間中の流出分を含めた累積窒素施用量は, 移植時から液肥濃度が高かった対照区で多く推移し, 液肥濃度の上昇時期が最も遅かったI30区では対照区に比べて移植60日後で0.06g少なかった(図-1A). 地上部新鮮重は, 移植時から高濃度の液肥を施用した対照区で最も大きく推移した(図-1B). 移植30日後以降での各区の地上部新鮮重の大小は, 累積窒素施用量の多少と同じ順序で推移した. 液肥濃度を上昇させる時期が遅くなるにしたがって, 移植60日後の新鮮重は小さくなり, I30区は対照区に比べて有意に小さかった. 地上部乾物重も, 液肥濃度を上昇させる時期が遅くなるにしたがって, 小さくなり, I30区では対照区より有意に小さくなったが, 液肥濃度を上昇させると比較的速やかに新鮮重が増加したのに比べて緩やかな増加であった(図-1C). 移植60日後のI10, I20, I30区それぞれの対照区に対する減少割合は, 地上部新鮮重で11.1, 16.6, 33.5%であった. 乾物重では10.6, 27.4, 38.3%となり, 乾物重の方が液肥の施用濃度が上昇しても増加しにくく, 累積窒素施用量が少ない場合, 対照区に対する減少割合は大きかった.

#### 2 液肥の施用濃度の低下時期が結球前の生育に及ぼす影響(実験2)

液肥濃度の低下時期が最も早いD20区では, 流出分を含む累積窒素施用量が少なく推移し, 移植65日後で対照区に比べて約0.17g少なかった(図-2A). 地上部新鮮重は, 対照区で最も大きく推移し, 移植65日後の値で有意に他の区よりも大きかった(図-2B). 液肥濃度を低下させる時期が早いほど, 移植65日後の新鮮重は小さくなった. 地上部乾物重も対照区が最も大きく, 液肥濃度を低下させる時期が早くなるにしたがって, 小さくなった(図-2C). 移植65日後のD20, D30, D40, D50区それぞれの対照区に対する減少割合は, 地

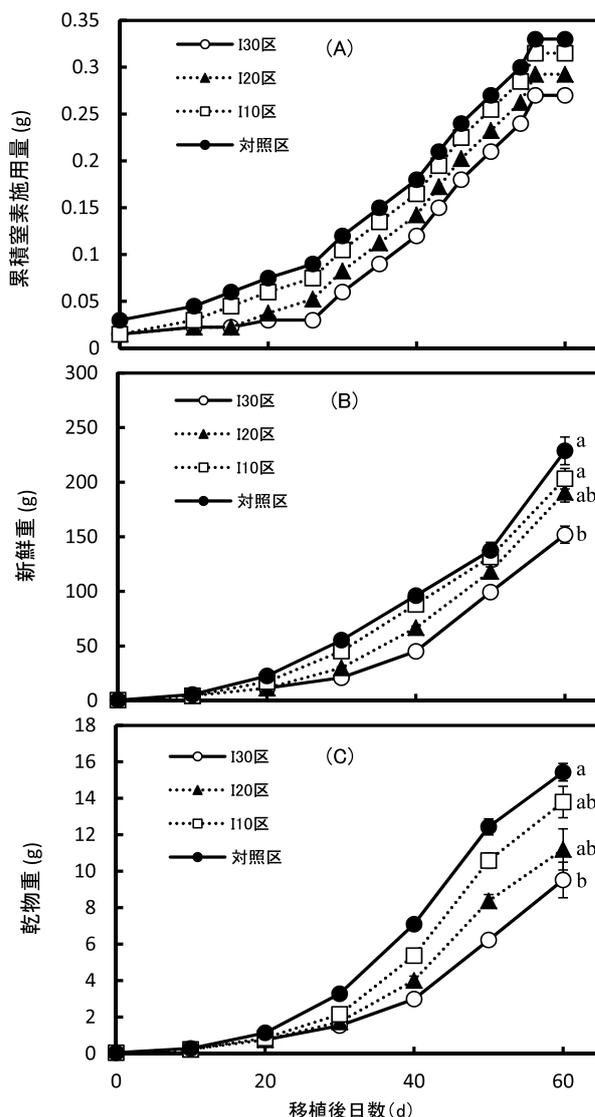


図-1 液肥の施用濃度の上昇時期が累積窒素施用量の推移と結球前の生育に及ぼす影響(実験1)  
(A) 累積窒素施用量, (B) 地上部新鮮重, (C) 地上部乾物重  
移植60日後における異なるアルファベットは, 5%水準で処理区間の値に有意差があることを示す(Tukey法による多重比較).  
地上部重の上下線は標準誤差(n=5)を示す.

上部新鮮重で49.3, 36.2, 27.9, 20.6%, 乾物重では31.5, 17.4, 8.0, 7.5%となり, 液肥を低濃度から高濃度に変更する場合とは逆に, 対照区に対する減少は, 乾物重より新鮮重で顕著であった.

#### 3 液肥の施用濃度の変更が結球後の生育に及ぼす影響(実験3)

実験期間中の流出分を含む累積窒素施用量は, 移植時から液肥濃度が高かった対照区で多く推移した(図-3A). 低濃度から高濃度の液肥に変更したI35とI45区

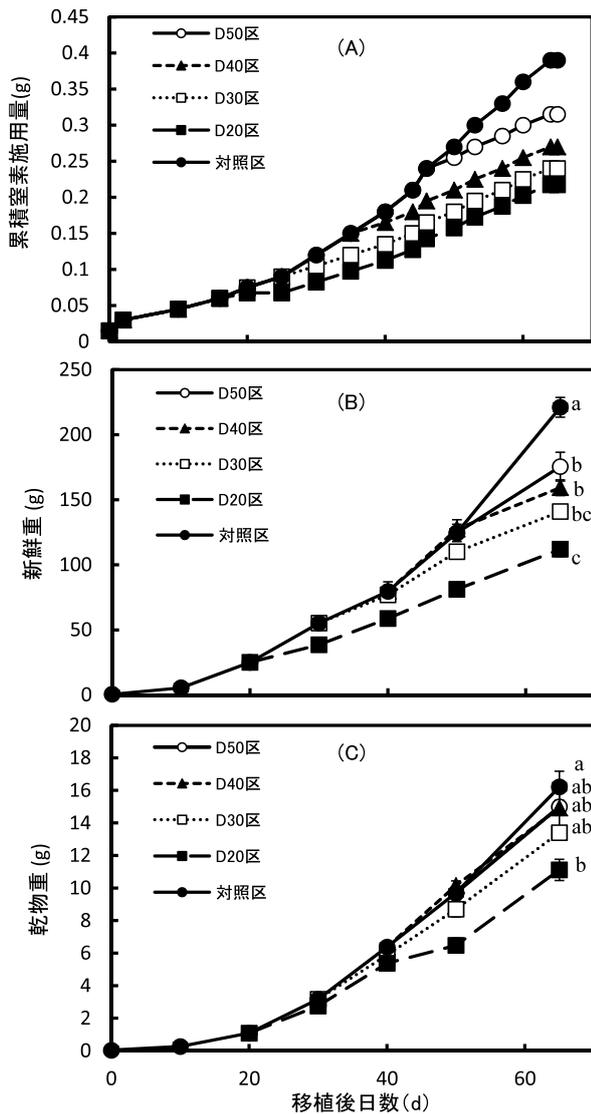


図-2 液肥の施用濃度の低下時期が累積窒素施用量の推移と結球前の生育に及ぼす影響 (実験2)  
 (A) 累積窒素施用量, (B) 地上部新鮮重, (C) 地上部乾物重  
 移植65日後における異なるアルファベットは、5%水準で処理区間の値に有意差があることを示す (Tukey法による多重比較)。  
 地上部重の上下線は標準誤差 (n=5) を示す。

では、それぞれ移植53, 62日後にD35区よりも累積窒素施用量が多くなった。対照区で生育は最も速く、移植78日後に収穫期に達した (図-3B)。なお、外見から結球開始が確認されたのは、対照区で移植49日後であった。移植78日後の地上部新鮮重は、対照区、I35区、I45区、D35区の順に大きく、累積窒素施用量の多少と同じ順序となった。I35区は移植81日後に収穫期に達し、その時の結球葉新鮮重は収穫期の対照区と同等であった。I45区、D35区はそれぞれ移植82, 87日後に収穫期に達し、収穫期での対照区の値と同等となった。

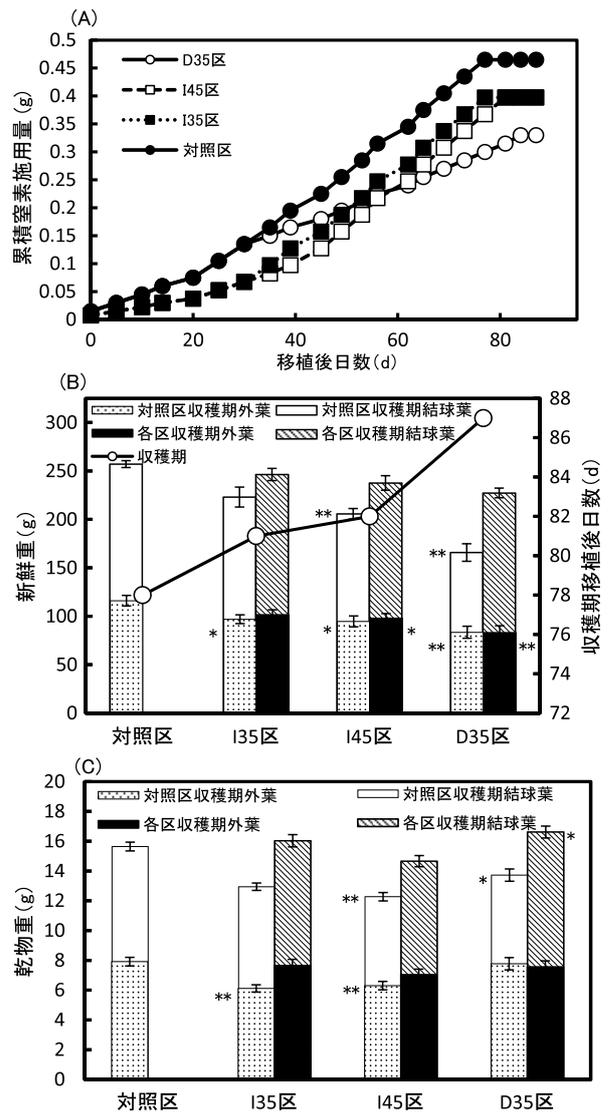


図-3 液肥の施用濃度の変更が累積窒素施用量の推移と結球後の生育に及ぼす影響 (実験3)  
 (A) 累積窒素施用量, (B) 外葉と結球葉の新鮮重および収穫期, (C) 外葉と結球葉の乾物重  
 各処理区間の左側カラムは、対照区での収穫期における処理区間の値を示す。  
 \*\*, \* は、それぞれ1, 5%水準で対照区の葉重と有意差があることを示す (t検定)。  
 葉重の上下線は標準誤差 (n=5) を示す。

結球葉乾物重は、収穫期の対照区より収穫期のD35区で有意に大きかった (図-3C)。

#### 4 液肥の施用頻度・濃度が収穫期に及ぼす影響 (実験4)

流出分を含む累積窒素施用量は、移植49日後までは液肥濃度が高かった対照区で多く推移し、それ以降は施肥頻度を高くしたS35区で多かった (図-4A)。対照

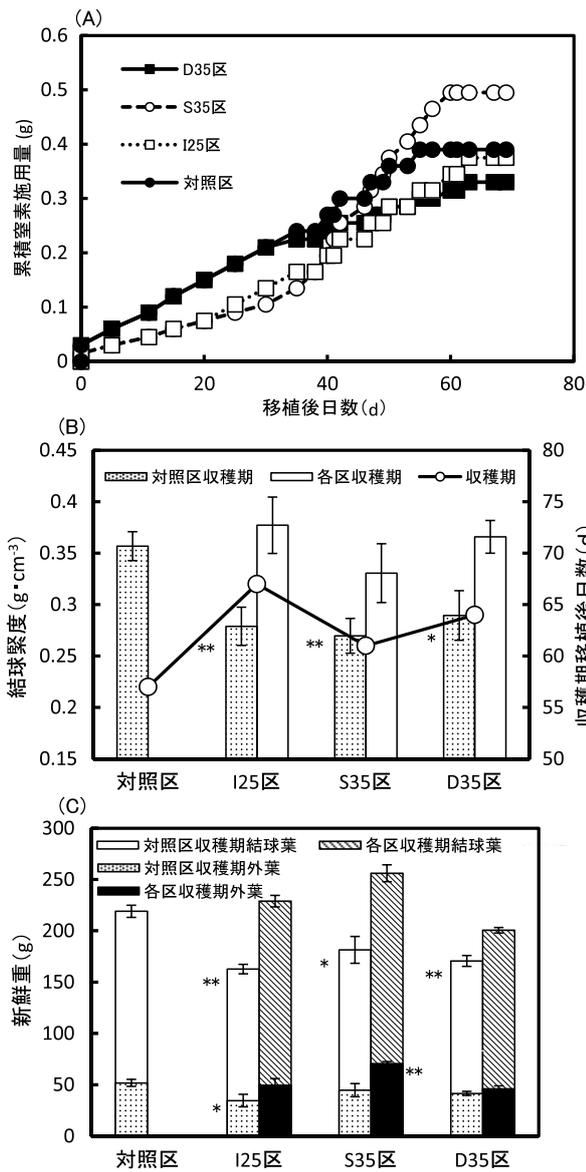


図4 液肥の施用頻度・濃度が累積窒素施用量の推移と収穫期に及ぼす影響 (実験4)

(A) 累積窒素施用量, (B) 結球緊度と収穫期, (C) 外葉と結球葉の新鮮重  
各処理区の左側カラムは、対照区での収穫期における処理区の値を示す。  
\*\*, \* は、それぞれ 1, 5%水準で対照区の結球緊度、葉重と有意差があることを示す (t検定)。  
上下線は標準誤差 (n=5) を示す。

区では、移植 57 日後に結球緊度は  $0.36\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$  となり、最も早く収穫期に達した (図-4B)。その時の他の処理区では、結球緊度が  $0.29\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$  以下であり、収穫期に達していなかった。S35 区では、移植 61 日後に収穫期に達し、D35 区、I25 区がそれに続いた。対照区の収穫期では、対照区の結球葉重が最も大きかった (図-4C)。しかし、それぞれの収穫期における結球葉重は、

D35 区でやや小さい傾向はあるものの、収穫期における対照区の値とほぼ同様であった。

#### IV 考 察

実験 1, 2 では、生育途中から液肥濃度を上昇、あるいは低下させた場合、どちらも窒素施用量の多少とレタスの新鮮重は、同様に推移した。また、液肥濃度を上昇させた場合、地上部の新鮮重よりも乾物重で処理区間の差が明瞭であったが、液肥濃度を低下させた場合には、乾物重よりも新鮮重で差が明らかであった。このことから、液肥濃度を上昇させてもすぐには乾物生産が増加せず、逆に液肥濃度を低下させても乾物生産はすぐには低下しないと推察された。こうした結果は、水耕栽培したハウレンソウで窒素の施用を栽培途中から欠除させた場合、欠除期間が長くなるにしたがって、新鮮重は有意に減少したが、乾物重は最も欠除期間が長い区でのみ低下した報告 (王ら, 1997) と同様の傾向であった。

一方、生育ステージによっても肥料の施用量の生育に及ぼす影響は異なり、加藤 (1965) は、レタスの生育期間中に 15 日間窒素を欠除させた砂耕試験から、生育初期に窒素を欠除させても欠除させなかった対照との結球葉重の差はなかったが、結球中に窒素を欠除させると結球葉重に著しい影響を与えると考察している。実験 3 での対照区の収穫期における結球葉重は、移植 35 日後から液肥濃度を上昇させた区では、結球中に窒素量が確保できたため、対照区と有意差がなかったのに対し、移植 45 日後から上昇させた区と移植 35 日後から低下させた区では、結球中に窒素量が不足したため、対照区に比べて小さかったと考えられる。

キャベツでは、基肥量により生育を調節でき、追肥は土壌に表面散布するのではなく、土中に施用する必要があると考察されている (藤野ら, 1980)。レタスを用いた本研究では、液肥を施用したことで、速やかに植物体が窒素成分を吸収し、生育を制御できたと考えられる。本研究の結果から、液肥の施用濃度や頻度を変えることにより生育量と収穫期を制御できることが示されたが、ポット栽培では培地量や根系が制限されることから、本研究で用いた窒素施用量をそのまま圃場での栽培に用いることはできない。しかしながら、ポット栽培による試験は、多くの処理区を設定できること、培地量が少ないために液肥濃度に反応しやすいことなどの利点があり、畑地地下灌漑システム (OPIS) を用いた精密養水分管理法を開発するための基礎的知見を得るには有効で

ある。本研究は、精密養水分管理法による生育制御を露地野菜の収穫期の調節に応用することを意図したものである。OP SISについて、その給水管からの水分動態は解明されてきたが（佐々木ら、2014）、肥料成分が給水管からどのように土壤中を移動するかは明らかになっていない。今後、生育制御のための精密養水分管理法の開発とともに、OP SIS 利用における肥料成分の動態解明とそれを制御する液肥施用法についても研究を進める必要がある。

本研究では、施用する液肥の濃度を変更することによりレタスの結球前の生育が変わること、新鮮重と乾物重でその反応する速さに違いがあることが示された。このことは、葉菜類の含水率の調節や非結球性の葉菜類での生育制御の可能性も示唆している。また、実験3では、生育途中から施用する液肥を高濃度から低濃度に変更、あるいは生育途中まで低濃度の液肥を施用すると、収穫期が遅れた。さらに、実験4では、結球緊度が低く、結球葉重が小さかった区は、結球緊度が対照区の収穫期と同等になる時期には、結球葉重も対照区の収穫期と同等となった。これらの結果は、施用する液肥濃度を変更することでレタスの収穫期を調節できることを示している。以上のことから、生育期間中に施用する液肥濃度・頻度を変えることにより、レタスの生育量を制御でき、収穫期を調節できると考えられた。

## V 摘 要

野菜の露地栽培において、精密養水分管理法による生育制御、収穫期の調節技術を開発するために、ポット栽培したレタスの生育、収穫期に及ぼす施用する液肥濃度・頻度の影響について検討した。施用する液肥を低濃度から高濃度に変更する時期が遅くなる、あるいは施用する液肥を高濃度から低濃度に変更する時期が早くなるにしたがって、結球前の地上部新鮮重は小さくなった。生育

期間を通じて高濃度の液肥を施用した対照区に比べ、生育途中まで低濃度の液肥を施用した後に対照区と同じ頻度、または高頻度で高濃度の液肥を施用、あるいは生育途中に高濃度から低濃度に変更した区では、結球葉重は小さく推移し、収穫期は遅れたが、収穫期の結球葉重は対照区と同等であった。以上のことから、生育期間中に施用する液肥濃度・頻度を変えることにより、ポット栽培したレタスの生育量を制御でき、収穫期を調整できると考えられた。

## 引用文献

- 1) 藤野雅丈・亀野 貞・高田勝也 (1980): 秋どりキャベツの収穫期及び収量に及ぼす栽植密度及び窒素追肥時期の影響. 近畿中国農研., 60, 64-67.
- 2) 加藤 徹 (1965): レタスの施肥に関する基礎的研究. 高知大学学術研究報告, 14, 49-60.
- 3) 大石直記・守谷栄樹 (2013): 循環キャピラリー養液栽培システムを用いた高糖度トマト生産における NO<sub>3</sub>-N 供給量による成育制御. 植物環境工学, 25, 183-194.
- 4) 王 秀峰・伊東 正 (1997): 水耕ホウレンソウの生育, 収量および NO<sub>3</sub> 含量に及ぼす補給液の NO<sub>3</sub>-N の影響. 園学雑., 66, 313-319.
- 5) 小澤智美・星野英正・小松和彦・塩川正則・鈴木尚俊・重盛勲・上杉壽和 (2012): 夏秋季加工・業務用レタスの栽培体系と経営試算. 平成23年度関東東海北陸農業研究成果情報.
- 6) 佐々木英和・中野有加・島田信二・岡田邦彦 (2014): 遮水シート溝式地下灌漑システムを用いた給水制御方式がレタスとホウレンソウの地上部および根部の生育に及ぼす影響. 根の研究, 23, 5-13.
- 7) Thompson, T. L. and T. A. Doerge (1995): Nitrogen and water rates for subsurface trickle-irrigated romaine lettuce. *HortScience*, 30, 1233-1237.
- 8) 植田稔宏・池羽智子・安 東赫・加藤一幾・河野 隆・松本英一 (2009): 葉菜類の露地栽培における点滴灌水施肥（養液土耕）栽培が収量・品質と施肥効率に及ぼす影響. 土肥誌., 80, 477-486.
- 9) 植田稔宏・瀧澤利恵・萩原 愛・松本英一 (2011): 露地ナス栽培における点滴灌水施肥技術の効果と実証. 茨城農総セ園研報., 18, 17-24.
- 10) 吉川弘恭・中尾誠司・渡邊修一・福島 昭・本田 理・沖本さやか・北川真輔・原田和文 (2010): 日射制御型拍動自動灌水装置の利用による露地夏秋ピーマンの減化学肥料栽培. 近畿中国四国農業研究センター2010年成果情報.

---

## Control of the Growth and Harvest Time of Pot-cultured Lettuce (*Lactuca sativa* L.) by Changing the Concentration and Application Frequency of Liquid Fertilizer

Hidekazu Sasaki, Yuka Nakano and Kunihiko Okada

### Summary

We investigated the effects of changing the liquid fertilizer concentration and application frequency on the growth and harvest time of pot-cultured lettuce (*Lactuca sativa* L.), with the goal of developing technologies for controlling growth and harvest time in open-field cultivation. The later the liquid fertilizer concentration was changed from low to high, the smaller the shoot fresh weight of the lettuce at harvest. In addition, the shoot fresh weight decreased when the fertilizer concentration decreased early in the cultivation period. When the fertilizer concentration changed from low to high or from high to low, the shoot weight remained smaller than that in the control, in which a high concentration of liquid fertilizer was applied. The harvest time was earliest in the control. However, the shoot weight of lettuce for which the fertilizer concentration was changed during the growth period eventually equaled that of the control, though with a delay of 4-10 days. These results suggest that changing the concentration of liquid fertilizer and its application frequency can control the growth and harvest time of pot-grown lettuce.



## 野菜茶業研究所研究報告 第 14 号

---

2015年（平成 27 年）3 月 13 日 発 行

発行者 独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構  
野菜茶業研究所 所長 小島 昭夫

〒514-2392 三重県津市安濃町草生 360

360 Kusawa, Anō, Tsu, Mie, 514-2392 Japan

Tel (050) 3533-3863

Fax (059) 268-3124

URL <http://www.naro.affrc.go.jp/vegetea/index.html>

---

印刷所 伊藤印刷株式会社 三重県津市大門32-13

