

野菜茶業研究集報

Proceedings of Vegetable and Tea Science

- 新段階を迎えた臭化メチル規制とその対策技術
- 「ブランドニッポン6系・野菜」成果発表会
- 施設を中心とした野菜生産の多様な展開と対応する新技術の開発方向
- トマト生産の今後の方向と育種・養液栽培をめぐる諸問題
- 野菜・茶の「おいしさ」の評価研究の方向性

March 2006

2006年 3 月



独立行政法人

農業・生物系特定産業技術研究機構 野菜茶業研究所

National Institute of Vegetable and Tea Science (NIVTS)

National Agriculture and Bio-oriented Research Organization

野菜茶業研究集報 第3号 (最終号)

農業・生物系特定産業技術研究機構 野菜茶業研究所

所 長	門馬 信二
編集委員長	吉岡 宏
編 集 委 員	萩原 廣
	武田 善行
	小島 昭夫
	田中 和夫
	吉富 均
	木幡 勝則
	佐藤 隆徳

Proceedings of Vegetable and Tea Science

No.3 (Final issue)

Editorial Board

Director General	Shinji MONMA
Chairman	Hiroshi YOSHIOKA
	Hiroshi HAGIWARA
	Yoshiyuki TAKEDA
	Akio KOJIMA
	Kazuo TANAKA
	Hitoshi YOSHITOMI
	Katsunori KOHATA
	Takanori SATO

野菜茶研集報. 3 (最終号)
Proc. Vege. Tea Sci.
No. 3 (Final issue)

本研究集報から転載・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。

野菜茶業研究集報

第3号（最終号）

目次

2006年3月

1. 新段階を迎えた臭化メチル規制とその対策技術

- 1.1 千葉県長生地域におけるトマトでの熱水土壤消毒技術
普及の取り組み 大嵩洋子・若梅 均 …………… 1
- 1.2 物理的消毒法の効果と普及 北 宜裕 …………… 7
- 1.3 高知県における臭化メチル代替技術普及の取り組み 竹内繁治 …………… 17
- 1.4 臭化メチル代替農薬の効果と普及 田代定良 …………… 21
- 1.5 土壤伝染性ウイルス病対策技術開発への取り組み 津田新哉 …………… 29
- 1.6 臭化メチルを巡る国際動向と代替技術 西 和文 …………… 35
- 1.7 岐阜県における代替技術普及の取り組み
ー夏秋トマト栽培における土壤還元消毒法の普及事例ー
渡辺秀樹 …………… 43

2. 「ブランドニッポン6系・野菜」成果発表会

- 2.1 ‘湘南ネギ’の新品種育成，作期拡大および新需要開拓
北 宜裕・河田隆弘・高柳りか・深山陽子 …………… 49
- 2.2 房どり収穫が可能な短節間ミニトマトの育成 松永 啓 …………… 55

3. 施設を中心とした野菜生産の多様な展開と対応する新技術の開発方向

- 3.1 東北の冷涼な気象条件を生かした夏秋どりイチゴ生産 今田成雄 …………… 61
- 3.2 中山間地域の活性化を目指した少量多品目野菜生産 尾島一史 …………… 67
- 3.3 高軒高施設を利用したトマト生産 鈴木克己 …………… 73
- 3.4 中山間の傾斜地を利用したトマトの施設生産 東出忠桐 …………… 79
- 3.5 トマト産地における生産の動向と生産者の
技術開発へのニーズ 森田敏雅 …………… 85
- 3.6 低段密植栽培による新たなトマト生産 渡辺慎一 …………… 91

4. トマト生産の今後の方向と育種・養液栽培をめぐる諸問題	
4.1 トマト黄化葉巻病抵抗性育種の現状と問題点	斎藤 新 …… 99
4.2 高軒高ハウスの立体空間を利用したトマトの高生産システム	新堀健二 …… 103
4.3 トマト穂木品種の育種について	畠中 誠 …… 109
4.4 生鮮トマト事業の展開と商品開発	細井克敏 …… 111
4.5 トマト黄化葉巻病と媒介コナジラミ，防除法を巡る 研究情勢と問題点	本多健一郎 …… 115
5. 野菜・茶の「おいしさ」の評価研究の方向性	
5.1 野菜の品質評価の現状と展望	堀江秀樹 …… 123
5.2 日本茶の品質評価の現状と展望	山口優一 …… 129

Proceedings of Vegetable and Tea Science

No.3 (Final issue) (March 2006)

Table of Contents

- 1.1 An Approach for Technical Extension of Hot Water Treatment
to Control Soil-Borne Disease and Pest of Tomato at Chosei Area in
Chiba Prefecture Yoko ODAKE and Hitoshi WAKAUME 1
- 1.2 Physical Soil Sterilization for Soil-Borne Disease Control
Nobuhiro KITA 7
- 1.3 Efforts to Develop and Spread Alternatives to Methyl Bromide
in Kochi Prefecture Shigeharu TAKEUCHI 17
- 1.4 The Present Condition of the Methyl Bromide Alternative Pesticides
Sadayoshi TASHIRO 21
- 1.5 An Approach for Development of Environment-Friendly Techniques
to Control Soil-Borne Viral Diseases Shinya TSUDA 29
- 1.6 Present Situation of Methyl Bromide and Its Alternatives
Kazufumi NISHI 35
- 1.7 Alternative Technology to Fumigation with Methyl Bromide
in Gifu Prefecture
-Technical Extension of Soil Reduction to Control Soil Borne Diseases
of Tomato Cultivated Under Rain Shelter- Hideki WATANABE 43
- 2.1 Breeding, Extended Harvesting and an Alternative Use of Shonan
Bunching Onino
Nobuhiro KITA, Takahiro KAWATA,
Rika TAKAYANAGI and Yoko MIYAMA 49
- 2.2 Breeding for Bunch Harvestable Short-Internode Cherry-Tomatoes
Hiroshi MATUNAGA 55
- 3.1 Production of Strawberries in Summer and Autumn under the Cool
Climate of the Tohoku Region Shigeo IMADA 61
- 3.2 Revitalization of Hilly and Mountainous Areas by Small Scale
and Diverse Vegetable Production Kazushi OJIMA 67

3.3	Tomato Production in High-eaved Greenhouses	Katsumi SUZUKI	73
3.4	Protected Cultivation of Tomato in a Sloped Greenhouse by a Hydroponics System Suitable for Use on Sloping Land	Tadahisa HIGASHIDE	79
3.5	The Trend of Production in a Tomato Production Center and Technical Development Needs of the Producers	Toshimasa MORITA	85
3.6	New Growing System for Tomato with Low Node-Order Pinching and High Density Planting	Shin-ichi WATANABE	91
4.1	The Present Situations and Problems of Tomato Breeding Resistant to Yellow Leaf Curl	Atsushi SAITO	99
4.2	The Tomato Mass Production by Two Storied Solid Culture Method in High Side Wall Structure of Greenhouse	Kenji NIIBORI	103
4.3	Developing New Varieties of Tomato Plants	Makoto HATANAKA	109
4.4	Development of Fresh Tomato New Products and Business Deployment	Katsutoshi HOSOI	111
4.5	Recent Progress on Tomato Yellow Leaf Curl and its Vector Whitefly Researches	Ken-ichiro HONDA	115
5.1	The Present and the Future of the Quality Evaluation on Vegetables	Hideki HORIE	123
5.2	Quality Evaluation of Japanese Green Tea	Yuichi YAMAGUCHI	129

新段階を迎えた臭化メチル規制とその対策技術

千葉県長生地域におけるトマトでの 熱水土壤消毒技術普及の取り組み

大嵩 洋子・若梅 均

千葉県長生農林振興センター

An Approach for Technical Extension of Hot Water Treatment to Control Soil-Borne Disease and Pest of Tomato at Chosei Area in Chiba Prefecture

Yoko ODAKE and Hitoshi WAKAUME

Chiba Prefectural Chosei Agriculture and Forestry Promotion Center

キーワード：熱水土壤消毒，トマト，土壤病害虫，青枯病，褐色根腐病，ネコブセンチュウ

1 はじめに

千葉県長生地域は年間平均気温 15.3℃，年間積算降雨量約 1,600mm の温暖な地域である。海岸地帯の一宮町，白子町，長生村は 1955 年代より共選共販されているトマトを中心に，メロン，キュウリの施設栽培が盛んで，特にトマトは周年産地となっている（図 1）。

トマト栽培は JA 長生施設野菜部会を中心に，土耕栽培による半促成，抑制，越冬の 3 作型と養液栽培による周年栽培である。産地では，大型集選果場（JA グリーンウェブ長生）を拠点として，JA 長生施設野菜部会員 192 戸が約 60ha のトマト栽培を行い，京浜市場を中心に出荷している（表 1）。

2 トマト栽培における防除対象土壤病害虫とこれまでの防除策

長生地域のトマト栽培上で問題となっている土壤病害虫は，全ての作型で発生するネコブセンチュウと，夏期



図 1 千葉県長生地域の位置地図

の青枯病，冬期の褐色根腐病，根腐萎凋病である。これらの防除対策として，抵抗性台木の利用による接ぎ木栽培や土壤消毒が行われている。特に半促成栽培における褐色根腐病と根腐萎凋病（J₃）については，抵抗性台木を利用した接ぎ木栽培を生産者のほとんどが実施している¹⁾。しかし，夏期では高温期の接ぎ木作業の難しさと，台木の青枯病に対する抵抗性が不十分なことから，接ぎ木栽培の実施は一部に限られている。

表 1 JA 長生施設野菜部会のトマト栽培作型

作型(品種)	栽培面積	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12月
半促成アールスメロン +越冬トマト	13.8ha				○-△	—	□□						
春トマト +抑制トマト	22.4ha	□□□□							○-△	—	□□□□		
または抑制キュウリ	10.2ha								○-△	—	□□□□		
養液トマト	延べ								○-△	—	□□□□		
・ NFT (2~3.5 作)	20ha	□□□□□□□□□□											
・ ロックール (2 作)													
・ 湛液 (ハイポニカ 1 作)													

○播種 ×接ぎ木 △定植 □収穫

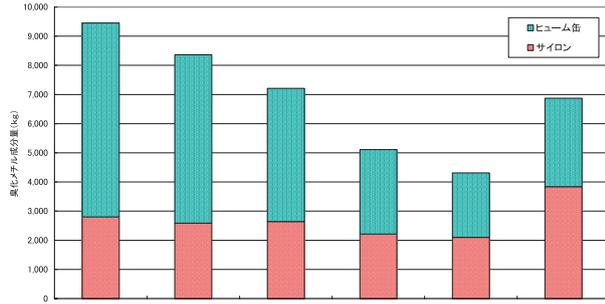


図2 長生地域の臭化メチル使用量の推移 ※1
※1 JA 長生 臭化メチル剤供給実績による。

一方、臭化メチルを用いた土壌消毒による防除は従来、ほとんどの施設で行われていたが、削減が進められた(図2)²⁾。2002年からは長生地域でも、代替法としてのクロルピクリン・D-Dくん蒸剤による土壌消毒や、薬剤に替わって環境面にも配慮した土壌還元消毒法や蒸気消毒法、熱水土壌消毒法等、様々な試みが行われた。

長生地域では施設利用効率が高く、JA長生育苗センターを全面的に利用するため、前作と次作の間の期間が20日程度しかない。このため、土壌還元消毒法は、夏期限定で長期間を要し、作付期間の短縮が必要なこと、また、褐色根腐病には優れた効果があるが、ネコブセンチュウに対する効果が不安定であることから、広く普及するまでにはいたらなかった。

また、蒸気消毒は土壌下層部の地温上昇確保について、当初導入が検討されたチューブ方式による熱水土壌消毒は熱水の温度・量・地温の上昇確保について課題が残されていた。

3 期待される熱水土壌消毒法

2003年、メロンの土壌伝染性ウイルス病の防除対策として、千葉県農業総合研究センター(千葉農総研)暖地園芸研究所環境研究室による牽引式熱水土壌消毒法の導入試験が行われた。メロンのウイルス対策には不十分であったが、牽引式熱水土壌消毒機の性能・簡便性・有効性は、土壌病害の多発に悩んでいるトマト生産者から高い関心が寄せられた。同年、野菜茶業研究所(野茶研)および千葉農総研の協力を得て、トマト青枯病に悩む農家2戸で熱水土壌消毒試験を実施した。この農家の圃場は、青枯病抵抗性台木を使用した接ぎ木栽培でも第3花房開花期から第1果房の収穫が始まる前から枯死株が発生する激発圃場であったが、熱水土壌消毒(牽引式、熱水投入量:250ℓ/m²、接ぎ木栽培も継続)を実施した結果、発病株率は1%以内に激減した(図3)³⁾。

このトマト青枯病激発圃場での防除成功事例は、薬剤の代替法を求めている多くの施設トマト農家から注目された。2004年、長生地域の砂質土壌や対象病害虫にあわせた熱水土壌消毒法を確立するため、千葉県現地技術開発実証普及推進事業を導入し現地試験を行った。



図3 熱水土壌消毒実施前後のトマトのすがた
実施前:半促成栽培(品種:ハウス桃太郎,台木:ジョイント)
2003年3月撮影
2月中旬,4段開花期より萎凋症状発生.萎凋株率78.4%
実施後:半促成栽培(品種:ハウス桃太郎,台木:ガードナー)
2004年2月撮影
4月下旬1株,6月上旬1株萎凋症発生.萎凋株率0.1%



図4 事業導入により4戸で共同購入した熱水土壌消毒機

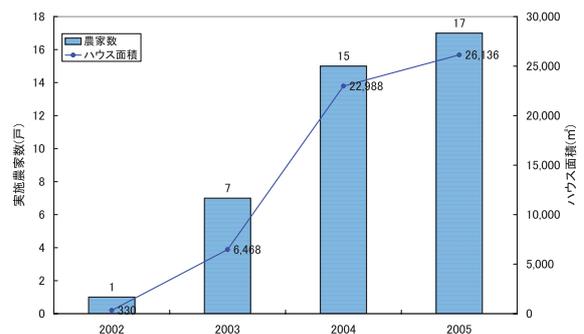


図5 長生地域における熱水土壌消毒の実施状況の推移

また、2004年(平成15および16年度)には、それぞれ単補助事業を活用し計2台の熱水土壌消毒機が共同購入により整備された(図4)。

長生農林振興センターでは野茶研や千葉農総研・土壌消毒メーカーの協力を得て、土壌消毒研修会や土壌消毒実演会を開催し、管内施設園芸生産者へ技術情報提供を行った。

こうしてトマト土壌病害虫に対する牽引式熱水土壌消毒の有効性はJA長生施設野菜部会に周知され、熱水土

壤消毒法が長生地域の施設栽培において有効な土壤消毒法のひとつであると位置付けられた。

トマト青枯病、褐色根腐病およびネコブセンチュウの防除を目的に、熱水土壤消毒の実施件数は土壤消毒機のレンタルによる実施者も含め年々増加している（図5）。

4 熱水土壤消毒の問題点

2004年、管内で熱水土壤消毒実施圃場が増える一方で防除効果にバラツキも発生してきた。このため、夏期に熱水土壤消毒を実施した施設のうち15圃場で千葉農総研および同農業改良課専門技術員と連携して、当地域における熱水土壤消毒の効果と作業性・処理条件等の作付後調査および熱水土壤消毒前後の土壤分析調査を行った。また、2005年には作付後の褐色根腐病・ネコブセンチュウ調査を行った⁴⁾。

4.1 15圃場における作付後の調査結果（2004年11月実施）

4.1.1 青枯病に対する効果

15圃場のうち青枯病防除を目的に実施した7圃場で、接ぎ木の有無、青枯病発生状況を調査した。その結果、

接ぎ木栽培をあわせて実施したことで、発生の無かったハウスが2圃場あった。また、発生のあったハウスでもその発生場所の大半はハウスサイド付近に集中していた（表2）。実施農家の意見として、いずれの圃場も熱水土壤消毒前より発生程度は低く熱水土壤消毒に対する評価は高かった。

また、2003年から2005年に熱水土壤消毒実施圃場（表3-1）での青枯病の追跡調査を行った。

この圃場は、熱水土壤消毒を初めて実施した抑制作で青枯病発生率が大幅に減少した（表3-2）。2004年の青枯病菌密度調査で熱水土壤消毒直後には全く検出されなかった。しかし、栽培中に青枯病の発生があり、作付後の青枯病菌調査でも表層部を中心に青枯病菌が検出された（表3-3）。これは台風による雨水が株元まで冠水し、ハウス外から雨水とともに青枯病菌が入り込んだためと推察される。

4.1.2 ネコブセンチュウに対する効果

熱水土壤消毒後に殺線虫剤（ネマトリンエース粒剤）を施用しなかった8圃場では、ハウス中央部では高い抑制効果が認められたが、周縁部は多くの圃場で多発した。周縁部は熱水が浸透しづらく、地温の上昇確保が困難なためと考える。定植前に殺線虫剤を併用処理した7圃場

表2 作付後の青枯病発生調査

圃場NO.	熱水投入量(l/m ²)	穂木	台木	地上部の発生状況
1	200	桃太郎コルト	Bバリア	発生無し
2	200	桃太郎コルト	Bバリア	発生無し
3	250	ハウス桃太郎	Bバリア	防除効果確認のため点在させた桃太郎ファイトで発生有り
4	200~300	ハウス桃太郎	Bバリア	ハウスサイド(熱水投入量250l)で発生有り
5	250	ハウス桃太郎	Bバリア	1株発生
6	250	T-159	自根	圃場中央とハウス谷部で発生有り
7	163	桃太郎コルト, 桃太郎ヨーク	自根	ハウスサイドで発生有り

表3-1 青枯病菌追跡調査圃場概要

住 所	千葉県長生郡長生村	栽培品目	年2作のトマト栽培
圃 場	1977年築鉄骨ハウス	作 型	半促成（は種9/下，定植11/下，収穫3~6）
栽培面積	1870m ²		抑 制（は種6/下，定植7/下，収穫9~10）
栽培方法	灌水同時施肥栽培	栽植本数	2.2本/m ²
発生時期	1999年までは年1作の越冬長期どり栽培（夏期休閑）で発生無し。 2000年より年2作の栽培を始めたが、抑制1作目から自根苗で発生あり。		

表3-2 青枯病発生状況

時 期	2002年	2003年	2004年		2005年
	抑 制	抑 制	半促成	抑 制	半促成
品 種	ハウス桃太郎	ハウス桃太郎	ハウス桃太郎	ハウス桃太郎	ハウス桃太郎
台 木	Bバリア	Bバリア	ガードナー	Bバリア	ガードナー
作付前 土壤消毒	無 し	熱水土壤消毒 250 l / m ²	無 し	熱水土壤消毒 250 l / m ²	無 し
発生率	50%以上	0.8%	0.1%	4.0%	0.0%
発生時期	3段開花時以降	4段収穫期 (9/下)以降	4/下自根1株 6/上接ぎ木1株	桃太郎ファイトで 8/上(5段開花期)以降	発生無し

では、地温上昇が確保しづらい周縁部も殺線虫剤の施用によって抑制効果が認められた(図6)。また、根部被害は全体的に軽度であったが、熱水が十分に入らなかったハウス側面とウインチ設置場所はネコブセンチュウによる被害が発生した。

4.2 熱水土壌消毒前後の土壌分析調査(2004年11月実施)

熱水土壌消毒による残存肥料成分の土壌中における動態を明らかにするため、処理前後に土壌中の肥料成分を調査した。その結果、処理後、硝酸態窒素は減少しECが低下するが、可給態リン酸および交換性塩基類は下層部に移行していた。また、処理直後のアンモニア態窒素が増加した。この原因としては、熱水による硝酸化性菌の一時的な減少でアンモニア態窒素から硝酸態窒素への生成が滞っていたことが考えられる(表4)。

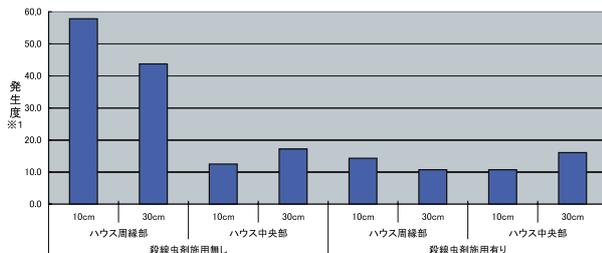


図6 熱水土壌消毒処理圃場のトマト作付後におけるネコブセンチュウに対するハウス中央部およびハウス周縁部の熱水土壌消毒効果と殺線虫剤の併用効果 ※2

- ※1 発生度の算出は以下の指数および式による。
 指数0: ネコブセンチュウ頭数0, 指数1: 1頭以上10頭未満, 指数2: 10頭以上100頭未満, 指数3: 100頭以上1,000頭未満, 指数4: 1,000頭以上。

$$\text{発生度} = \left\{ \sum (\text{指数} \times \text{発生程度別点数}) / 4 \times \text{調査点数} \right\} \times 100$$
- ※2 ネコブセンチュウ調査は、ベルマン法による生土20g中の頭数調査を実施。

4.3 作付後のネコブセンチュウ・褐色根腐病被害調査(2005年6月)

3連棟ハウスにおいて、半促成トマト栽培前に1棟の間口10mを5mずつ2回に分けて牽引方式により200 l/m²の熱水を投入し、定植後約7カ月経過した作付後にネコブセンチュウおよび褐色根腐病の根部被害調査を行った(図7-1, 2)。

いずれも被害程度を4段階に分け程度別に色分けした。その結果、ネコブセンチュウによるネコブ被害根は散湯機が脇を通過したハウス谷部や中央部付近でより多く見られた。ただし、ネコブの発生位置は根の先端部付近に集中しており、生育後半に寄生したと思われる。

次に褐色根腐病による褐変根では、程度の差はあったもののほぼハウス全体で見られた。中でもハウス北側に被害の大きい褐変根が集中していた。この理由として、北側はウインチ設置位置であったことと生育時の地温の上がりにくい環境が影響していたことが考えられる。しかし、栽培期間を通じて草勢は例年より強めで土壌病害虫の被害による地上部の萎凋症状は一切見られなかった。

5 当地域における熱水土壌消毒実施にあたってのポイント

これまでの長生地域における熱水土壌消毒実施調査結果をふまえ、当地域のトマト土壌病害虫防除を目的とした熱水土壌消毒のポイント(図8)を以下に述べる⁵⁾。

5.1 熱水土壌消毒は土壌病害虫多発圃場で実施。

熱水土壌消毒にかかかかる費用は、レンタルの場合で燃料費も含めると20万円程度/10aと慣行土壌消毒剤(5~7万円/10a)に比べ割高となる。このため、土壌病害虫密度が極めて高いために慣行薬剤では防除効果が認められず、かつ抵抗性台木を用いてもかなりの被害が発生するような圃場を最優先とする。

表3-3 土壌中の青枯病菌密度調査結果単位: $\times 10^3$ /g 乾土

NO.	採土場所	2003年 抑制前		2004年 抑制前		2004年
		熱水前	熱水後	熱水前	熱水後	抑制後
		6月14日	6月29日	6月14日	6月29日	10月25日
1	A -10cm	$<10^3$	※ (90.0)	2.05	0.00	8.43
2	A -30cm	3.9	※ (6.1)	0.00	0.00	2.73
3	A -60cm	0.0	※ (11.1)	0.00	0.00	0.00
4	B -10cm	1.3	0.4	2.44	0.00	17.22
5	B -30cm	2.8	0.4	2.48	0.00	2.40
6	B -60cm	0.0	0.0	1.25	0.00	0.00
7	C -10cm	1.8	0.0	15.85	0.00	30.16
8	C -30cm	$<10^3$	0.0	0.00	0.00	8.80
9	C -60cm	0.0	0.0	1.24	0.00	8.11

※ 地点Aの()内数字は青枯病菌に類似するが未同定のコロニー数

2004年は栽培中に台風の影響でベットに冠水があったため、表層部に青枯病菌が多くなったと考える。
 青枯病菌調査協力機関: 野菜茶業研究所病害研究室

表4 11月に熱水を200 ℓ / m²投入した圃場における土壌消毒処理前後の土壌分析結果 ※1

採土 時期	土壌深さ (cm)	pH	EC (dS/m)	交換性塩基 (mg/100g)			NO ₃ -N ※2 (mg/100g)	無機態窒素含量 (mg/100g) ※3			P ₂ O ₅ (mg/100g)
				CaO	MgO	K ₂ O		NO ₃ -N	NH ₄ -N	可給態窒素	
処理前	10	6.6	0.5	334	90	77	19	0.8	- 0.7	0.1	336
	30	5.8	0.6	180	36	40	20	- 1.0	0.5	- 0.5	46
処理後	10	6.9	0.1	337	77	50	2	5.1	- 2.0	3.2	289
	30	6.2	0.1	209	49	59	3	0.0	4.1	4.1	82

※1 協力機関：千葉農総研土壌環境研究室

※2 NO₃-Nは、紫外吸光法による。

※3 無機態窒素含量は、インキュベーション法による。

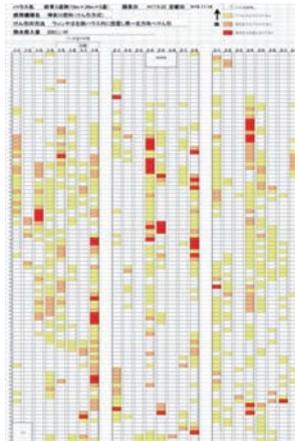


図7-1 作付後のネコブセンチュウ被害調査

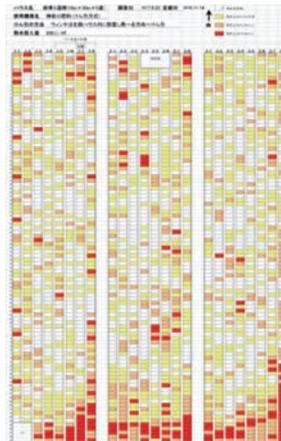


図7-2 作付後の褐色根腐病被害調査



図8 長生版熱水土壌消毒資料
(実施農家への配布資料表紙)



図9 ウィンチ設置部分の横引き牽引

5.2 青枯病防除は接ぎ木栽培を継続

今回の調査から青枯病菌の菌密度は低く抑えられるが、完璧な消毒効果には至っていない。そこで、当面の間、接ぎ木栽培を継続することを指導している。自根栽培への転換については、ハウス全体を一度に実施せず、接ぎ木栽培圃場の一部で自根株を栽培し防除効果を確認した上で徐々に自根栽培率を増やしていく。

なお、感染拡大の要因には、葉かき・整枝作業や灌水時の水の移動が考えられるので、栽培中の管理も注意が必要である。

5.3 熱水の浸透しづらい部位への工夫（特にネコブセンチュウ防除対策）

ハウス周縁部やウィンチを設置した場所は熱水が浸透しづらく、ネコブセンチュウ防除効果が十分に発揮されにくい。そこで、散湯機は牽引方向側面の散湯口数を増やし、ハウス周縁部等の側面への散湯量が増えるように改良した。

また、ウィンチの設置場所では最後に横方向へ牽引（図9）したり、散湯チューブを設置して処理することも有効と思われる。しかし、施設の構造上等の理由からこうした有効策を講じられずに深層部までの均一な浸透が難しい場合、定植前のネマトリン粒剤処理で防除することが一手段と思われる。

5.4 標準熱水投入量：250 ℓ / m²

対象病害虫および栽培作物にもよるが、当長生地区のトマト（果菜類）においては、夏期の処理量を250 ℓ / m²を標準とする。このことにより、表層だけでなく深層に分布する病害虫も防除できる。冬期はこれより処理量を若干多くする。また、前作が土壌病害虫多発圃場は、発生程度、菌密度により加算する。ハウス内の同じ場所で毎年発生する場合、発生場所を散湯機が通過する際に牽引速度を遅くして多量に投入することが効果的であると思われる。

5.5 水質によってはスケール（湯アカ）の詰まりに注意

熱水の水源となる地下水はカルシウム、ナトリウムなどを非常に多く含んでいる場合もあり、スケールが多量に生じて消毒機内に詰まり、故障の原因となった圃場も認められた。このため散湯器をこまめに掃除し、夜間運転を行わない場合はタンク内を空にして沈殿物の付着を



図 10-1 深耕機「ミラクル」



図 10-2 ミラクルによる深耕

防ぐように心がけたい。

5.6 処理後のトマトは強草勢となるので基肥は1~2割減に

熱水土壤消毒を行った圃場ではいずれも、草勢が強くなった。この理由として、生育を阻害してきた土壤病害虫が防除されたこと、土壤水分が豊富なために根張りが良好となり初期生育が旺盛となったこと、熱水により一時的に激減していた硝酸化性菌が再活性化し硝酸態窒素が生成されることが考えられる。このため、基肥は減肥することが望ましい。



図 11 深耕機「ドーリームロータリー」

5.7 処理後の定植は土壤の様子をみてから

夏期では地温がなかなか下がらないことがあり、十分下がったことを確認して定植する。また、深層には土壤水分が高いまま残存している場合が多く、草勢が強くなり、空洞果の発生を招くので、定植後の土壤水分管理には十分注意が必要である。

5.8 処理前圃場の深耕・均平化・乾燥の徹底

深耕ロータリーまたはサブソイラー等の使用(図10-1,2, 図11)で硬盤をなくし、スムーズかつ均一に深層部まで熱水を浸透させ、防除効果を高める。また、圃場に凹凸があると、熱水が均一に散湯できないので、処理前に平らにする。さらに、土壤水分が多いと熱水の浸透を妨げて土壤温度が上がりにくくなる。このため、既存の土壤消毒剤を用いる際の土壤水分よりも低く、できる限り土壤を乾燥させることも必要と思われた。

現状では土壤病害虫の種類や発生状況によっては、熱水土壤消毒の実施だけでなく、化学農薬との併用も必要であるが、今後のさらなる調査検討から、より効果的な消毒法を模索し農薬に頼らない環境にやさしい農業の実践へとつなげていきたい。

6 おわりに

当地域での熱水土壤消毒の普及推進にあたって、野菜研病害研究室 西和文室長ならびに神奈川肥料株式会社 窪田耕一社長には多大なご支援ご鞭撻をいただいたこと

をこの場をお借りしてお礼申し上げる。

摘要

千葉県長生地域にはトマトを中心に施設野菜栽培の盛んな砂質土壤地域がある。栽培上ネコブセンチュウ、褐色根腐病、青枯病が問題となり、臭化メチル剤による土壤消毒が主流であった。トマト青枯病の多発に悩む農家が熱水土壤消毒技術を取り入れた結果、生育が安定したことにより、臭化メチル代替技術の一つとして地域のトマト農家に位置付けられた。実施圃場の調査結果から、青枯病は抵抗性台木による接ぎ木栽培も併用することで大幅に発病率が減少した。ネコブセンチュウは熱水の浸透しづらいハウス周縁部を中心に根部への寄生が認められた。長生地域版熱水土壤消毒のポイントとして、事前準備、実施時の注意点、処理後の栽培管理を整理した。

引用文献

- 1) 岸 國平・我孫子和雄. 2002. 野菜病害の見分け方—診断と防除のコツ—. 全国農村教育協会: 117
- 2) 西 和文. 2004. 臭化メチル代替技術の現状と展望. 今月の農業. 48 (5): 15 - 19
- 3) 大嵩洋子. 2004. 熱水土壤消毒によるトマト青枯病の防除事例. 今月の農業. 48 (6): 15 - 20
- 4) 大嵩洋子. 2005. 千葉県長生地域におけるトマトでの熱水土壤消毒の取り組み. 農耕と園藝. 60 (5): 42 - 46
- 5) 西 和文 (編). 2002. 熱水土壤消毒—その原理と実践の記録—. 日本施設園芸協会: 76 - 81

物理的消毒法の効果と普及

北 宜 裕

神奈川県農業技術センター

Physical Soil Sterilization for Soil-Borne Disease Control

Nobuhiro KITA

Kanagawa Agricultural Technology Center

Summary

Physical soil sterilization using solar energy, steam and/or hot water for soil-borne diseases will provide promising alternatives to methyl bromide. Solar soil sterilization developed in early 1970 in Israel has already been widely utilized in Japan as one of the most cost-effective and easy methods, though the effect primarily depends on the weather in summer. Recently, an innovative modification of solar sterilization that can be used even in relatively cool weather conditions has been developed; reducing the soil redox state by amending organic substrates such as wheat or rice bran followed by supplying large amounts of water to the soil before solar heating. Steam soil sterilization, on the contrary, can be applied regardless of the weather and season but the effect is restricted to the soil surface and a depth of 20 cm. The hot water soil sterilization, which applies large amounts of hot water at 80 to 95°C onto soil surface, overcomes these problems. When hot water is applied onto the soil, a temperature over 55°C, which is the lethal for *Fusarium*, can be maintained for as long as 22 hr even to a depth of 30 cm, leading to the conspicuous disinfestation effect. In addition, prominent growth promotion has been observed in various crops probably due to the washout of the soil by the huge amounts of hot water. Integration of these methods with other chemical and biological disease control practices will contribute in an eco-friendly manner to a sustainable production system in intensive agriculture after the MB fadeout.

キーワード：物理的消毒法，太陽熱消毒，蒸気消毒，熱水土壤消毒，総合防除

Keywords：Physical Soil Sterilization, Solar Sterilization, Steam Sterilization, Hot Water Sterilization, Integrated Disease Control

1 緒言

経済性を最優先する集約的な農業生産では、同一作物を連作することは避けられない現実である。連作すれば当然「連作障害」に悩まされることになる。したがって、どのように連作障害を克服するかは極めて重要な課題となる。連作障害には様々な要因が関与するが、主要因としては土壤病害虫の発生と塩類集積があげられる。このうち土壤病害虫の防除には、これまでは簡易で扱いやすく、効果も安定している臭化メチル剤が広く利用されてきた。しかし、主要先進国では臭化メチル剤の使用がオゾン層破壊防止対策の一環として2005年1月1日をもって原則全廃された。代替農薬としてクロロピクリンやダゾメット等の利用や新たな剤の開発が進められてい

るものの、作業性、扱い易さあるいは効果の面で臭化メチルには及ばない。一方、環境にやさしい物理的防除法として、太陽熱消毒あるいはその変法である土壤還元消毒、蒸気消毒、そして熱水土壤消毒法などがある。いずれも熱を利用して病害虫を死滅させる手法であるが、蒸気消毒は作業労力や実施規模が制約要因となり、太陽熱消毒・土壤還元消毒は実施時期と効果の不安定さが課題となる。これに対して、熱水土壤消毒法には消毒効果のみならず土壤の顕著なリフレッシュ効果があるため、結果として処理コストを上回る収量増が得られるなどその効果は抜群である¹⁾。

ここでは、生産現場で実際に利用されている物理的消毒法の効果と普及状況について概説する。とくに、今後、普及が期待される熱水土壤消毒については、その具体的

な処理効果，実施上の留意点および普及上のポイント等についてより詳しく解説する。

2 太陽熱消毒

太陽熱消毒は，夏季に土壌表面を透明なポリフィルム等で被覆し，太陽熱で10~20cm程度の土壌表層を40℃以上に上げたうえで20~30日間処理することにより土壌病原菌を死滅させる方法である。この方法は，主に施設栽培における土壌病害対策として1970年代はじめにイスラエルで開発され²⁾，我が国では1970年代後半になって奈良県農業試験場でイチゴの萎黄病対策として体系化された技術で³⁾，簡便でコストがかからないためすでに全国規模で普及している。これまでに様々な改良が加えられ，再汚染防止のため基肥施用を含めて定植直前の状態にしてから太陽熱処理を行う宮崎方式や，フスマなどの有機質資材を土壌混和したうえで大量の水分を供給して土壌を還元化することにより低温でも消毒効果が得られる土壌還元消毒法等^{4,5)}も開発されている。

2.1 効果

太陽熱消毒の実用レベルでの効果については，1978~79年に関東東山東海地域連絡試験で幅広く検討され，キュウリつる割病，ピーマン疫病，エンドウ立枯病，キュウリ・トマトのネコブセンチュウおよびイチゴのネグサレセンチュウに対しては高い防除効果が，また，イチゴ萎黄病とすくみ症およびトマト褐色根腐病と黒点根腐病に対しては高い被害軽減効果があることが確認された⁶⁾。一方，太陽熱消毒は病原菌が土壌深層まで分布するトマト青枯病や根腐萎凋病あるいは45℃でも死滅しないメロン黒点根腐病等に対してはその効果は低く，またTMVには全く効果が認められないので⁶⁾，本手法を適用する場合にはあらかじめ対象となる病原菌を特定しておく必要がある。

2.2 露地栽培への適用

露地でも適切な手法を用いれば太陽熱処理により土壌病害を防ぐことができる。神奈川県三浦半島では，露地メロンが定植から収穫終了時までトンネルがけされて栽

培されている。これを利用して，収穫終了時にトンネルをそのまま再被覆して太陽熱処理を行い，熱に弱いホモブシ根腐病菌を省力的，かつ効果的に防除している⁷⁾。メロンホモブシ根腐病菌は42℃以上なら1時間で死滅する。35℃程度の温度でも5~10日程度処理できれば十分消毒効果が認められる。表1に土壌深度別の35℃以上の積算時間と防除効果とを示したが，積算時間が46時間以上になると防除効果が認められ，100時間を超えればほぼ完全に防除できる。ただし，この方法だとトンネル被覆部分以外と地表面から20cm以下の深層部は消毒できない。しかし，メロンの根の大部分はトンネルマルチ内の表層に存在していること，病原菌の密度は連年の太陽熱処理により確実に低下していくことなどから，現地での栽培体系にこの太陽熱処理を組み込むことによって，実用レベルでの発病抑制効果が得られている。

2.3 土壌還元消毒

太陽熱消毒の弱点を補えるよう，より低い温度条件で，より効率良く，より確実に，より短期間での土壌消毒を可能にした画期的な手法が土壌還元消毒法である⁵⁾。本法の開発者である新村⁵⁾は，実際の圃場試験結果から，処理期間のアメダスの平均気温が15~18℃以上あれば消毒可能であるとしている。この条件で地温が30℃以上に上昇すれば，土壌の還元化が急速に進み，5日前後で土壌からドブ臭がしてくる。この状態になれば15~20日程度で消毒が完了する。

土壌の還元化を促進するための有機物は，糖質を多く含み，微生物の餌となりやすい特性を有することが第一条件であり，加えて分解されやすい粉末に近い形状で，価格が安いことが求められる。この条件に合致するのはフスマと米糠で，いずれも同等の土壌還元効果を有する。しかし，この場合は土壌表層混和处理のみとなるため，土壌深層部は消毒できない。そこで，有機物として糖蜜溶液を用いた処理が検討され，0.6%のテンサイ糖蜜処理によりトマト萎凋病，半身萎凋病，青枯病等に対し60cmの深さまで十分な防除効果が得られることが確認

表2 還元消毒前後の土壌に移植したトマトの萎凋病発病程度

糖蜜処理量 (t/10a)	土壌深度 (cm)	消毒前土壌		消毒後土壌	
		発病株率(%)	発病度	発病株率(%)	発病度
1.2	0-20	80	54	0	0
	20-40	80	69	0	0
	40-60	100	95	0	0
0.9	0-20	60	33	0	0
	20-40	60	28	0	0
	40-60	100	80	0	0
0.6	0-20	100	80	0	0
	20-40	80	74	40	20
	40-60	80	54	20	5

品種はハウス桃太郎。糖蜜0.9t/10aで0.6%液150mmかん注に相当。新村(2004)²⁴⁾から作成

表1 太陽熱消毒による土壌深度別35℃以上の地温の積算時間とメロンホモブシ根腐病の防除効果

処 理	土壌深度別35℃以上の積算期間(h)			
	0cm	10cm	20cm	30cm
	時間(効果)	時間(効果)	時間(効果)	時間(効果)
トンネル被覆	110 (◎)	135 (◎)	0 (×)	0 (×)
ビニル被覆	424 (◎)	46 (○)	0 (×)	0 (×)
裸 地	0 (×)	0 (×)	0 (×)	0 (×)
シルバーマルチ	419 (△)	0 (×)	0 (×)	0 (×)

効果：発病度で◎<25，○：25~50，△：50~75，×：>75を示す。小林(1999)¹⁶⁾より作成

された(表2)。しかし、土壌の還元状態を維持できないような排水の良すぎる圃場では消毒効果が劣るので、後述するように熱水処理と組み合わせるなどの工夫が必要である。

2.4 普及に向けて

太陽熱消毒あるいは土壌還元消毒はいずれも安全で安価な手法であることに加え、拮抗微生物などいわゆる有用微生物を温存させることができるため、処理後も土壌の潜在的な防御反応を維持することができる³⁾。さらに、緑肥作物やイナワラ等の有機物の投入あるいは除塩効果や脱窒効果などもあるため、それに伴う生育促進効果も期待できる。また、露地においては処理後、そのままの状態でも不耕起栽培すれば雑草の抑制効果は極めて高くなり、タマネギや葉菜類の直播栽培も可能となる。いずれにしても、的確な効果が得られる基本的な処理条件を確保した上で、抵抗性台木や拮抗微生物などと組み合わせればより効果的な防除が可能となるので、簡易に実施できる基幹防除技術として通常の栽培体系に組み込んでおきたい技術である。

3 蒸気消毒

蒸気消毒は120℃前後の水蒸気が持つ潜熱を利用して土壌を消毒する手法で、その開発経緯は20世紀初頭までさかのぼる。我が国では、静岡県中西部の温室メロンの隔離床栽培での実用利用をきっかけに、現在では、ネギ、ホウレンソウ、大葉等の軟弱野菜類、ユリ、キク、トルコキキョウ、カーネーション等の切花、あるいは鉢物・苗物生産など中心とした付加価値の高い施設園芸作物栽培で全国的に広く利用されている。

3.1 処理方法

蒸気消毒には、蒸気の噴出口を一定間隔で空けたホジソンパイプを深さ20~30cmの土壌中に埋設して処理するホジソンパイプ法、先端に蒸気の噴出口を空けたスパイクを1.5m四方に複数配置して順次消毒を進めていくスパイク・パイプ法、スパイク状の蒸気噴出パイプを数

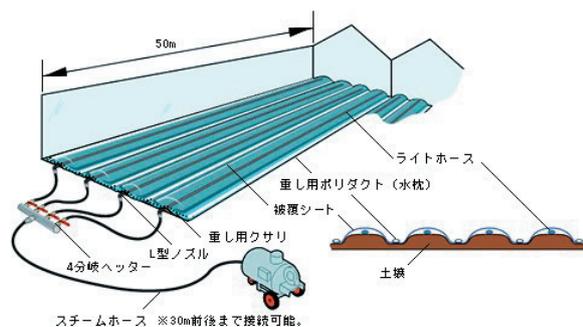


図1 キャンバスホース法による蒸気消毒
(株丸文製作所 HP より)

本鋤状にとりつけて土壌に刺し込み、蒸気を噴出させながらウインチでゆっくり引くスチーミング・プラウ法、および布製のホースを土壌表面に設置し、その上からポリシート等で被覆したうえで蒸気を通すキャンバスホース法(図1)などがある⁸⁾。また、床土やポット用土の消毒には底部から蒸気が噴出する蒸気消毒槽が利用されている。このほか、蒸気消毒後に1㎡当たり20~50散水することで、土壌深層部の消毒効果を高めることができる蒸気散水土壌消毒法や70℃程度の比較的低温で耐熱性の有用微生物を温存させたまま病原菌・線虫等を滅菌し、再汚染の抑止や土壌の硝酸化機能が維持できる低温蒸気消毒法なども開発されている。実際、Phaeら⁹⁾は、イナワラと拮抗微生物の*Bacillus subtilis*を混和処理した後、蒸気消毒することによりトマト根腐萎凋病を効果的に抑制している。

3.2 処理上の留意点

いずれの手法においても、処理する高温の水蒸気は噴出口から上方向のみに動くため、ホジソンパイプ法では通常地下20~30cm、スパイク・パイプ法あるいはスチーミング・プラウ法ではスパイクの長さ(15~20cm)程度の深さまでしか消毒できない。キャンバス法ではホースから下方に向かって蒸気が噴出する仕組みになっているものの、地下30cm以下の土壌になると40℃を確保するのはやはり難しい¹⁰⁾。また、いずれの手法も労力的に一回に処理できる面積が限られているので大規模な施設には適用しにくいなどの問題点があるため、導入にあたっては経費や施設規模あるいは土壌条件等を十分考慮する必要がある。なお、蒸気消毒ではマンガン過剰症が発生しやすいので、非交換態に自然変換するまで20~30日程度待ってから定植したほうが無難である¹¹⁾。

4 熱水土壌消毒

熱水土壌消毒法は、旧農業研究センター¹²⁾と旧神奈川県園芸試験場^{13,14)}で1980年代はじめにそれぞれ独立して開発された我が国のオリジナル技術で¹⁾、有望な臭化メチル代替技術の一つとして海外でも高く評価されている¹⁵⁾。その原理は言うまでもなく、熱水が持つ湿熱によって土壌病害虫を死滅させるという極めて単純なものである。しかし、生産現場でその湿熱をロスなく、効果的に土壌深層部まで行きわたらせることはなかなか難しく、逆にそこが技術のポイントになる。

4.1 システム構成

熱水土壌消毒装置の基本的なシステムは、ボイラー、送湯チューブおよび熱水散布装置からなる(図2)。ボイラーについては、通常型の他に軽トラックに積載可能(350kg未満)でありながら大熱容量を有するパルスジェットエンジンを利用したタイプも開発されている



図2 熱水土壌消毒装置のシステム構成
A：けん引方式，B：パルスジェットボイラー，
C：チューブ方式

(図2B)．熱水の散布システムとしては，旧神奈川園試で開発した熱水散布装置をウインチでけん引する平坦地，大規模施設向けの「けん引方式」(図2A)と旧農研センターで開発した耐熱性のチューブを用いて熱水を散布する中小施設，傾斜地向きの「チューブ方式」(図2C)の二つがある^{11,16)}．

4.2 処理方法

けん引方式では，ボイラー，熱水散布装置およびこれをけん引するウインチを組み合わせ，熱水散布装置をけん引しながら熱水を土壌表面に散布する．チューブ方式では耐熱性のチューブを用いて熱水を散布する．処理作業は，栽培後の片づけが終われば季節にかかわらず随時実施できる．チューブ方式では，散湯チューブを圃場にセットすればあとは散湯処理するだけであるし，けん引方式でも熱水散布装置はウインチを用いた自動けん引方式なので熱水処理中ずっと付き添っている必要はない．

熱水処理量は，栽培期間が長く，根張りの深いトマトやバラなどでは1㎡当たり200～300，栽培期間が短いホウレンソウなどの軟弱野菜類では150程度で十分である．10a当たりの処理日数は，処理する熱水の量とボイラーの能力によるが，施設の形状をうまく考慮して作業すれば3～4日で処理できる．熱水消毒ならキクのように同一施設内で連続的に栽培する場合でも処理は可能である．

4.3 効果

4.3.1 土壌病害抑止効果

熱水土壌消毒による土壌病害抑止効果については，トマト萎凋病¹²⁾やダイズ黒根腐病¹⁷⁾をはじめとする数多くの作物の土壌病害虫を対象に検討され¹⁸⁾，これまでに24作物50病害虫に対して極めて高い効果が認められている¹⁹⁾．熱水処理後の地温の変化を図3に示したが，30cmまでの作土層ではFusariumの死滅温度である55℃以上の温度が実に22時間にわたって保たれる．トマト萎凋病菌他5種の土壌病原菌に対する処理効果試験で

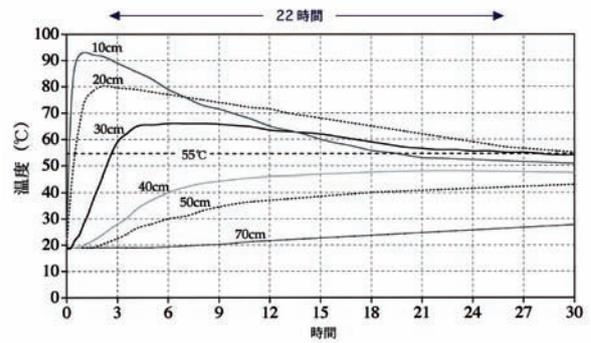


図3 熱水処理後の土壌深度別の地温変化
黒ぼく土壌で，散布幅5.4m，けん引速度2.4m/hで95℃の熱水を300ℓ/㎡処理した．(北2004¹¹⁾)

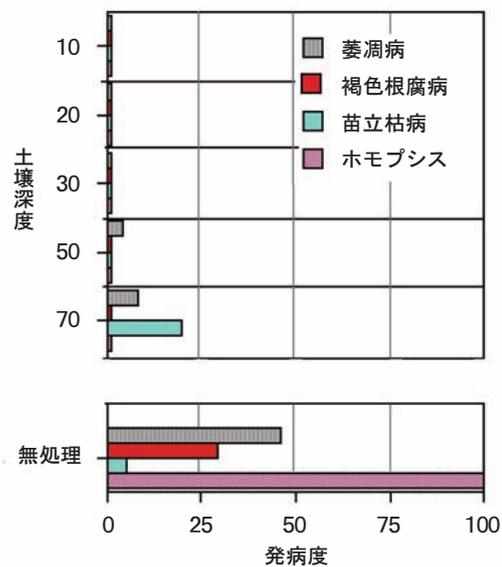


図4 各種土壌病原菌に対する熱水処理(300ℓ/㎡)の効果(岡本ら2002²⁰⁾)

は，いずれも埋設深度30cmまでは全く発病が認められず，70cmにおいても高い発病抑止効果が認められた(図4)²⁰⁾．半身萎凋病が激発していた神奈川県海老名市の促成トマト栽培現地圃場での熱水処理試験でも，熱水処理により半身萎凋病の発生が劇的に抑えられ，結果として収量が40%も増加した²¹⁾．

この顕著な土壌病害抑制効果の有効持続期間を明らかにするため，促成トマト栽培で褐色根腐病を指標にした実証試験を実施した²⁰⁾．その結果，第3連作目でも褐色根腐病の発病度は薬剤処理区と同レベルで，収量にも全く影響しなかった(図5A)．このことから，熱水土壌消毒の発病抑止効果は少なくとも3年3作維持されることが確認された²⁰⁾．同様に，雨よけホウレンソウ栽培でのチューブ方式による熱水処理では，柳瀬ら²²⁾はその防除効果が1年・4連作維持されることを認めている(図5B)．

熱水土壌消毒では，深さ50cmになると40℃程度まで

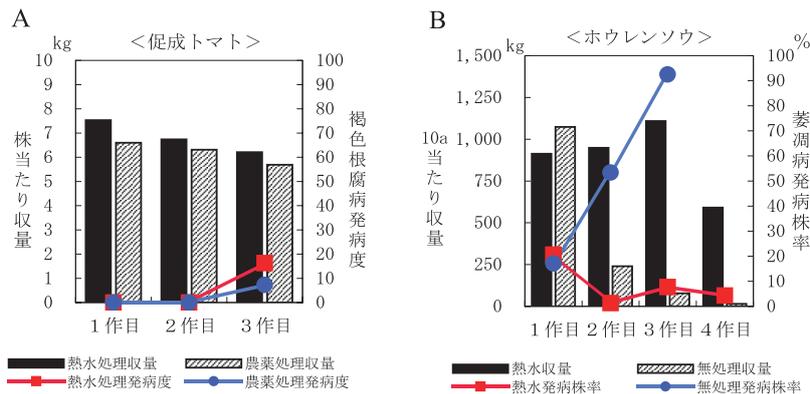


図5 熱水土壤消毒による土壌病害発病抑止持続効果
 A：施設トマト（岡本ら 2002²⁰⁾，B：雨よけホウレンソウ（柳瀬 2003²²⁾．熱水処理はいずれも第1作の作付け前からのみの1回処理．

表3 熱水¹⁾ および有機物土壌混和处理の組合せがトマト萎凋病菌密度²⁾ に及ぼす影響

添加剤	深さ (cm)	熱水処理			水処理			無処理		
		A区	B区	平均	A区	B区	平均	A区	B区	平均
無処理	30	95	15	55	132	123	130	135	211	170
	45	144	3	73	138	103	120	200	167	180
	60	140	128	130	114	79	96	199	243	220
フスマ	30	8	97	53	99	138	120	—	—	—
	45	88	52	70	170	103	140	—	—	—
	60	162	142	150	109	—	110	—	—	—
ショ糖	30	1	ND	0.64	200	119	160	—	—	—
	45	ND	ND	ND	197	115	160	—	—	—
	60	36	9	22	245	135	190	—	—	—

¹⁾ 熱水処理区では 98℃の熱水を 150 l / m²，水処理区は水道水を 150 l / m²それぞれ散布した．²⁾ 値は × 10³ cfu / 乾土 1g を示す．菌密度の測定は，処理後 10 日間被覆した後，埋設した汚染土を回収して行った．ND は検出限界以下 (< 40 / 乾土 1g) を，— はデータなしを示す．

しか温度が上昇しないため（図3），土壌深層部の消毒がどうしても不十分となる．そこで，植草ら²³⁾ は，熱水処理と土壌還元処理を併用することにより，土壌深層部での殺菌効果を相乗的に高めることができるのではないかと考え，トマト萎凋病をモデルに併用処理の可能性について検討した．その結果，有機質としてショ糖を 10a 当たり 900kg レベルで混和した後，98℃の熱水を 150 l / m²処理した場合には菌密度の低下が認められたが，フスマ処理では明確な処理効果は認められなかった（表3）．しかし，モデル実験系でフスマの熱水抽出液に殺菌作用があることが確認されていることから，今後，より安定した熱水処理と土壌還元消毒との併用処理手法の開発が期待される．

4.3.2 土壌のリフレッシュ効果

熱水土壤消毒では，土壌を大量の熱水で処理するため，土壌養分に大きな変化が生じる．とくに，土壌中に残存している施肥由来の硝酸態窒素や化成肥料の副成分である塩素などは熱水処理により除去され，結果として火山灰土壌では深さ 30～45cm 程度までの土壌で pH が酸性から中性に近づき，電気伝導度（EC）は顕著に低下す

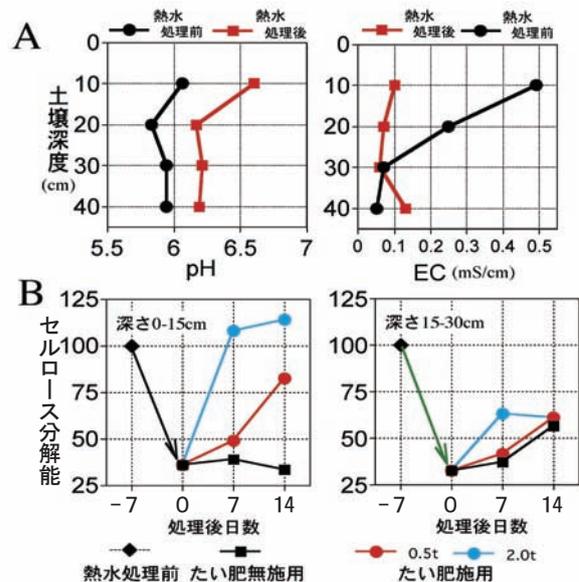


図6 熱水処理による土壌化学性及び生物性の変化
 A：pH および EC の変化，B：土壌抽出液のセルロース分解能の変化で，熱水処理前を 100 としたときの相対値を示す．

る(図6A)²⁰⁾。また、土壌物理性も改善され、熱水処理を重ねていくと土壌の透水性が高まっていくのを実感することができる。

このように熱水処理により土壌の化学性・物理性は向上し、クロルピクリン等の化学農薬処理には認められない顕著な土壌のリフレッシュ効果が得られる。実際に、これまでに熱水処理を実施した多くの作物における収量の変化について調べたところ、いずれの作物においても熱水処理により10~40%の生育促進およびそれに伴う増収効果が認められている(表4)。なお、この原因としては、地力窒素の増加や除塩による化学性の向上、日和見的な病原菌の除去などが関与していると考えられるが、そのメカニズムについては十分に解明されていない。

4.4 コスト

熱水土壌消毒にかかるコストについては、神奈川農総研が施設トマトにおける実証試験で詳細な分析を行っている²⁰⁾。必要な資材は、10a当たり300tの熱水を処理するとして、A重油が約2kℓ、水が約300tおよび3相200V電源などである。経費はA重油の値段に大きく左右されるが、前述の促成トマト栽培での実証試験の試算では10a当たり約23万円となった。しかし、この場合、消毒効果は3年3作持続するので、1年当たりになると77,500円(水道代を除けば59,300円)となり(表

5)、バスアミド微粒剤あるいはキルパー液剤に比べればやや高いもののクロルピクリン錠剤よりは安いことがわかる。最も利用頻度の高いクロルピクリンくん蒸剤処理でも5万円程度かかるうえ、消毒作業が3年に1回で済むという労力の軽減効果を勘案すればこの程度のコストは許容範囲であろう。加えて、熱水処理によって収量は確実に増加するので(表4)、それが投入コストを上回る収益増に結びつく。施設トマト生産者の中には熱水土壌消毒により前年比で200万円も収益を上げ、その増益分で熱水土壌消毒機を購入した人もいるなど、生産現場では化学農薬処理と比較した時の経費の差は顕著な増収効果で十分カバーされているのが実態のようである。

4.5 実施上の注意点

熱水土壌消毒のポイントは熱水の持つ湿熱を効率よく土壌に伝えることである。したがって、耕盤がある場合にはサブソイラーや圧搾破砕機あるいは深耕等により事前に破碎しておく。土壌水分状態については、土壌吸引圧で-30~-40Pa程度の適湿状態で最も熱水の浸透が速く、過湿でも過乾燥でも浸透性は劣ることがモデル実験系で明らかにされているので²⁴⁾、握った土が崩れない程度の土壌水分状態で処理する。傾斜地圃場では、チューブ方式の熱水土壌消毒装置を適用し、傾斜面に対して平行に、等高線に合わせてチューブを設置すれば

表4 熱水土壌消毒に伴う作物の生育促進と増収効果

作物 (品種名)	処理区	生育			収量性		備考
		項目	数値	比	収量	比	
促成トマト (ハウス桃太郎)	熱水	草丈	177cm	122	6.83 kg/株	110	1998年9月15日播種, 11月5日定植. 草丈は翌年2月15日調査
	対照	草丈	145cm	100	6.20 kg/株	100	
促成トマト ¹⁾ (ハウス桃太郎)	熱水	—	—	—	16.0 t/10a	139	H14年度の総出荷量 H13年度の総出荷量
	対照	—	—	—	11.5 t/10a	100	
ハウレンソウ (アトラス)	熱水	草丈	32cm	110	30.2 g/株	112	2002年9月20日播種, 10月28日調査
	対照	草丈	29cm	100	26.9 g/株	100	
シュンギク (中葉春菊)	熱水	草丈	25cm	114	15.1 g/株	104	2002年9月20日播種, 10月28日調査
	対照	草丈	22cm	100	14.5 g/株	100	
セルリ (コーネル619)	熱水	草丈	65cm	116	2600 g/株	123	2002年8月16日定植, 11月20日調査
	対照	草丈	56cm	100	2110 g/株	100	
ダイコン (耐病総太り)	熱水	根長	40cm	118	2230 g/根	141	2001年9月25日播種, 翌年1月22日調査
	対照	根長	34cm	100	1580 g/根	100	
チンゲンサイ (夏賞味)	熱水	—	—	—	147 g/株	139	2001年9月20日播種, 10月19日調査
	対照	—	—	—	106 g/株	100	
イチゴ (女峰)	熱水	1果重	12.7g	107	1.78 t/10a	123	2000年9月20日定植. 収量は翌年3月末まで
	対照	1果重	11.9g	100	1.45 t/10a	100	
温室バラ ²⁾ (パスカル)	熱水	—	—	—	384本/坪	125	改植時の1977年6月26~29日に熱水処理
	対照	—	—	—	306本/坪	100	
ダイズ ³⁾ (フクユタカ)	熱水	—	—	—	1070 g/20株	187	2001年5月16日熱水処理, 6月25日は種
	対照	—	—	—	573 g/20株	100	

¹⁾ トマト半身萎凋病が発生した神奈川県海老名市の現地圃場での結果。熱水処理はH13年度作終了後の2001年7月25日、

²⁾ 神奈川県秦野市の現地圃場での結果。³⁾ 西・(北2004¹⁶⁾より作成

表5 施設促成トマト栽培における熱水処理と薬剤処理の経費比較

(10a 当たり (千円))

項目	熱水土壤消毒区		薬剤防除 (対照) 区				
	1 処理 3 作た 当り	1 作平均	第 1 作	第 2 作	第 3 作	3 作計	1 作平均
			バスアミド 微粒剤	キルパー	クロルピクリ ンテープ ³⁾		
薬剤費	—	—	28.1	22.8	225.0	275.9	92.0
資材費	16.7	5.6	16.7	16.7	16.7	50.2	16.7
機械費 ¹⁾	60.5 (64.8)	20.2 (21.6)	—	2.9	—	2.9	2.9
光熱水費 ²⁾	152.3	50.8	—	0.4	—	0.4	0.4
内水道料	51.5	17.2	—	—	—	—	—
内重油代	100.8	33.6	—	—	—	—	—
合計	229.5	76.5	44.9	42.8	241.7	329.4	109.8

¹⁾ 機械設置・リース料で、() は購入の場合の値を示す。熱水土壤消毒機購入の場合の使用価格は、機械価格 3,600 千円、耐用年数 10 年、残存価格 10%、3 戸共同利用、1 戸当たり施設面積 50a として、薬剤利用の場合、第 2 作の機械費は機械価格 81 千円、耐用年数 5 年、残存 10%、年間 10 時間利用としてそれぞれ算出した。²⁾ 水道料 203 円/m³、重油 32 円/ℓ、ガソリン 90 円/ℓ で計算した。³⁾ クロルピクリンくん蒸剤の場合、52 千円となる。(岡本ら、2002²⁰⁾)

6.7%程度の傾斜条件でもほぼ均一な熱水処理が可能となる²⁵⁾。

処理後は、硝化作用が熱水処理後 4 週間以上にわたって抑制されるので、早期に硝酸化成能を回復させる必要がある。実用的には、熱水処理後すみやかに 10a 当たり 1~2t 程度の堆肥を施用するだけでよく、それによって処理 2 週間後には少なくとも土壌上層部の微生物相は処理前のレベルまで急速に回復させることができる(図 6 B)。なお、熱水処理に伴う生育促進効果は予測できないため、肥培管理では基肥の窒素量を減らし、追肥で生育を調節する。

ネコブ線虫害については、とくに施設キュウリ栽培で熱水処理効果が認められない事例が多い。栽培期間の長い施設キュウリ栽培では土壌中の線虫密度が極めて高くなっていることおよび作付け終了後土壌を乾燥させてしまうと土壌深層部まで線虫が逃避してしまうことなどが原因と考えられる。これは今後検討していかなければならない大きな課題ではあるが、トマト、キュウリなどでは、熱水処理後であっても定植時にホスチアゼート剤を併用すれば確実にネコブセンチュウ害を抑えることができるので、とりあえずは農薬との併用処理によりセンチュウ密度を下げるのが第一であろう。

4.6 普及に向けて

開発当初は、熱水の有効性はわかっているにもかかわらず「畑にお湯をまくなるとナンセンスだ」と受け取られ、正しく評価されなかった。けん引式の熱水土壤消毒システムを生産者とともに開発した神奈川県でさえも、はじめは収益性の高い施設バラ生産者のみの利用に限られていた⁵⁾。しかし、本技術は土壌病害虫の防除のみならず卓越した土壌のリフレッシュ効果を有することから、1990 年代に入ってから神奈川県内の施設トマト農家を中心に次第に普及しはじめ、横浜、藤沢および平塚地区を中心に延べ

50 戸以上の施設農家がこの熱水土壤消毒装置を用いて土壌消毒を行い、大きな効果を上げてきた¹¹⁾。その後、全国的にも熱水土壤消毒の有効性が十分認識されるようになり、現在では消毒装置もすでに 10 社を越える企業から実用的なシステムとして販売されている²⁶⁾。なお、装置の導入にあたっては一定の条件を満たせば国からの補助も受けられるため、農協単位で共同利用を前提として購入する事例も多い。利用対象も、野菜ではトマト、ホウレンソウ、キュウリ、イチゴ、メロン等、花きではバラ、カーネーション、スイートピー、キク、ユリ、リンドウ、チューリップ等を中心に全国で 130 件以上の実施実績があるなど(2005 年 9 月、神奈川県肥料(株)調べ)、その利用・普及は急速に進んでいる。また、苗床やロックウールの消毒などでもその効果の高さが確認されるなど、多方面で利用されるようになってきている^{27,28)}。

5 今後の方向性

物理的防除法は、農薬を用いた化学的防除法に比べ環境負荷の少ない土壌消毒法である。しかし、太陽熱や土壌還元消毒では被覆資材として少なくともビニルという石油に由来する資材を使わざるを得ないし、さらにその製造過程で多大な二酸化炭素を排出していることも事実である。熱水処理に至っては熱水作製にかなりの量の石油を使う。しかし、いずれの熱処理法とも、クロルピクリンや D-D 油剤などのように母なる大地に石油そのものを処理するような手法に比べればはるかに環境にやさしい技術であることは直感的に理解できる。計画的な輪作体系に基づいた農業生産を行えば連作障害に悩まされることはないことは周知の事実である。それを知りながら、一方で近代科学の粋を尽くして経済性を最優先する集約的な農業生産をあえて行うというのは人間社会の内包的矛盾である。しかし、この現状を容認せざるを得な

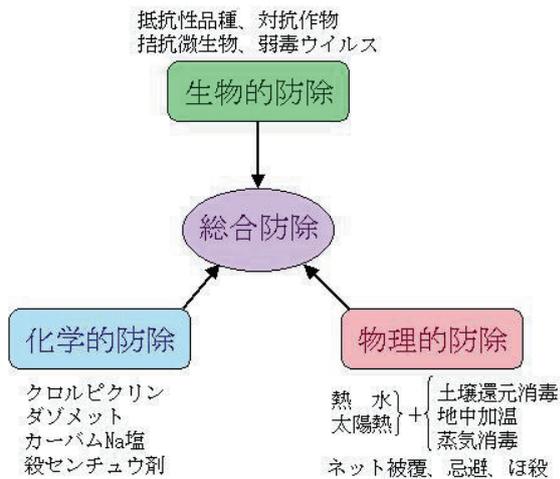


図7 総合防除の方向性

いとすれば、たとえば火力発電所やごみ焼却場等で毎日大量に発生している冷却水由来の熱水を熱水土壤消毒に利用しようというアイデアも現実味を帯びてくる。

このような社会的矛盾を抱えてはいるものの、現実としては土壤病害をいかに的確に、効率よく防除していくかは技術者サイドに投げかけられた社会的課題でもある。これまでの化学農薬に頼り切った単一防除技術から、今回紹介した熱を利用した物理的防除、そして拮抗微生物や対抗作物を利用した生物的防除の三者を的確に組み合わせれば、経済レベルでも持続可能で効果的な総合防除が可能となるはずである。総合防除のポイントは、被害を許容水準以下に抑えるための最も合理的な個別技術を選択し、それらを総合的に組み合わせ的確な栽培管理を行うことにある(図7)²⁹⁾。実際には、土壤条件やこれまでの作付け経過以外に、個々の経営条件、圃場・施設が立地している社会環境条件等が相互に複雑に関与するので、個別性の高い技術対応が求められる。しかし、結果として成功させることができれば収入は安定し、次の新たな投資へと発展的に経営が展開していく。そして、なにより連作障害を克服したという達成感はその後の自信につながる。自分の栽培ができるようになれば作物は健全に育つものである。今回の臭化メチル利用の全廃を契機に、もう一度これまでに培ってきた個別技術を見直し、農薬を用いた化学的防除のみならず生物防除や太陽熱・熱水土壤消毒等を組み合わせた総合的な土壤病害防除体系の確立が望まれるところである。

摘要

物理的防除法は、農薬を用いた化学的防除法に比べ環境負荷の少ない土壤消毒法であり、太陽熱消毒あるいはその変法である土壤還元消毒、蒸気消毒、そして熱水土壤消毒法などがある。太陽熱消毒・土壤還元消毒は実施時期と効果の不安定さが課題となり、蒸気消毒は作業労力や実施規模が制約要因となる。これに対して、熱水土

壤消毒法には消毒効果のみならず土壤の顕著なりフレッシュ効果があるため、結果として処理コストを上回る収量増が得られる。今後は、農薬を用いた化学的防除のみならず、物理的防除、拮抗微生物や対抗作物を利用した生物的防除の三者を的確に組み合わせた総合的な土壤病害防除体系の確立が望まれる。

引用文献

- 1) 西 和文(編). 2002. 熱水土壤消毒—その理論と実践の記録一. 日本施設園芸協会
- 2) Katan, J., A.Greenberger, H.Alon, and A.Grinstein. 1976. Solar heating by polyethylene mulching for the control of diseases caused by soil-borne pathogens. *Phytopathology* 66 : 683-688.
- 3) 岡山健夫. 1999. 「太陽熱土壤消毒」農業技術体系第5—①巻. 追録第10号. 213~216-1-4. 農山漁村文化協会
- 4) 白木己歳・小岩崎規寿・串間秀敏・高橋英生・岩下 徹・野間 史. 1998. 太陽熱利用土壤消毒の効果安定策としての土壤管理体系の開発. 宮崎県総農試研報 32 : 1-11
- 5) 新村昭憲. 2004. 還元消毒法の原理と効果. 日本植物病理学会土壤伝染病談話会レポート. 22 : 2-12
- 6) 農林水産省農業研究センター(編). 1982. 「太陽熱利用による土壤消毒に関する実証的研究」. 関東東山東海地域技術連絡会議
- 7) 小林正伸. 1999. 収穫後のトンネルマルチ利用太陽熱消毒(メロン). 農業技術体系第5—①巻. 追録第10号. 216-1-22~216-1-25. 農山漁村文化協会
- 8) 池谷保緒. 1968. ハウス土壤の蒸気消毒について. 静岡県農業技術対策資料. 園芸部門 No.24, pp16
- 9) Phae, C.G., M.Shoda, N.Kita, M.Nakano and K.Ushiyama.. 1992. Biological control of crown and root rot and bacterial wilt of tomato by *Bacillus subtilis* NB22. *Ann.Phytopath.Soc.Japan* 58 : 329-339
- 10) 竹内繁治. 2004. 高知県における蒸気消毒による土壤病害防除. 日本植物病理学会土壤伝染病談話会レポート. 22 : 49-60
- 11) 北 宜裕・岡本昌広. 2004. 熱水土壤消毒. 農業技術体系土壤肥料編. 追録第15号 第5—①巻. 畑 216 : 7・2-7・7・4. 農文協
- 12) 国安克人・竹内昭士郎. 1986. 熱水注入による土壤消毒のトマト萎凋病に対する防除効果. 野茶試報告. A14 : 141-148
- 13) 林 勇. 1979. 施設における温湯土壤消毒法の開発(第1報). 温室バラを中心とした温湯土壤消毒法の開発と実用化試験. 神奈川園試研報. 26 : 60-72
- 14) 林 勇. 1998. 温湯土壤消毒法による新改植技術. 切り花栽培の新技術(改訂)バラ(下巻). 林勇編著. pp.73-79. 誠文堂新光社
- 15) Kita,N., K.Nishi, and S.Uematsu. 2003. Hot water treatment as a promising alternative to methyl bromide. *Proceedings of International Research Conference on Methy Bromide Alternatives*

- and Emissions Reductions. pp.26-1 – 2. HP : www.mbao.org
- 16) 北 宜裕. 2004. 生産現場における熱水土壤消毒の実用利用. 日本植物病理学会土壤伝染病談話会レポート. 22 : 38-48
 - 17) 西 和文・佐藤文子・唐澤哲二・佐藤剛・福田徳治・高橋廣治. 1999. ダイズ黒根腐病の発生生態と防除. 農研センター研報. 30 : 11-109
 - 18) 竹原利明. 2004. 熱水土壤消毒の原理と効果. 日本植物病理学会土壤伝染病談話会レポート. 22 : 22-37
 - 19) 西 和文. 2005. 環境に優しい熱水土壤消毒技術. 野茶研集報. 2 : 9-17
 - 20) 岡本昌広・北畠晶子・深山陽子・深澤智恵妙・吉田 誠・渡邊清二・奥村 一・浅田真一・小林正伸・小清水正美・阿久津四良・植草秀敏・北 宜裕・佐々木皓二. 2002. 施設トマトにおける環境保全型栽培の実証. 神奈川農総研報. 142 : 17-35
 - 21) 植草秀敏・岡本昌広・草野一敬. 2003. 熱水処理による土壌・病害虫への影響解明及び実証試験. 平成 13 年度熱水等利用土壌管理園芸栽培実用化技術開発事業報告書. pp.99-124
 - 22) 柳瀬関三. 2003. 夏どりハウレンソウの熱水土壤消毒法. 農耕と園芸. 58 (4) : 71-75
 - 23) 植草秀敏・岡本昌広・草野一敬. 2002. 熱水と土壤還元処理の併用によるトマト萎凋病菌の密度低減効果. 関東東山病虫研報. 49 : 23-29
 - 24) 土本善洋・石合正暢. 2002. 土壤条件 (土質・土壤水分) の違いと熱水土壤消毒の効果. 熱水土壤消毒—その理論と実践の記録—. 西和文編 (2002) pp.85-93. 日本施設園芸協会
 - 25) 岩本 豊・高木 廣・長田靖之・西村いつき. 2000. 傾斜地ほ場における熱水土壤消毒によるハウレンソウ萎凋病防除. 関西病虫研報. 42 : 53-54
 - 26) 西 和文 (編). 2003. 熱水土壤消毒技術マニュアル. 日本施設園芸協会
 - 27) 植松清次・海老原克介・今井亜希子. 2001. ガーベラ根腐病菌に汚染したロックウール資材の熱水消毒法. 平成 12 年度関東東海農業研究成果情報. pp.254-255
 - 28) Uematsu, S., H. Uekusa, K. Kusano, M. Okamoto, and N. Kita. 2003. Use of hot water for soil-borne disease control. Proceedings of International Research Conference on Methyl Bromide Alternatives and Emissions Reductions. pp.123-1 – 2
 - 29) 北 宜裕. 2003. 臭化メチル代替技術. 施設園芸ハンドブック pp.433-439. 日本施設園芸協会

高知県における臭化メチル代替技術普及の取り組み

竹内 繁治

高知県農業技術センター

Efforts to Develop and Spread Alternatives to Methyl Bromide in Kochi Prefecture

Shigeharu TAKEUCHI

Kochi Agricultural Research Center

Summary

Kochi Prefecture is the largest consuming area of methyl bromide for pre-planting fumigation in Japan. Several examinations for developing practical alternatives to methyl bromide have been conducted since 1995. Also, concerned organizations have built up a closer connection to spread information about alternatives. However, practical alternatives are not yet well developed against soil-borne virus diseases of cucumber, melon and green pepper, and root rot of ginger. Therefore, methyl bromide is continuously used as a critical practice for such combinations of disease and crop. It is the most important subject to develop and spread practical alternatives for controlling these diseases.

キーワード：臭化メチル，代替技術，土壌病害，土壌くん蒸剤，蒸気土壌消毒，不可欠用途

1 はじめに

2005年を迎え、一部の不可欠用途を除いて農業用臭化メチルは全廃となった。高知県は国内で最も大量に農業用臭化メチルを使用してきたため、いち早く代替技術の開発と普及に向けた取り組みを開始した。得られた成果については、これまでもさまざまな形で紹介してきたが、今回は一連の取り組みについて、改めてその概要を紹介するとともに、高知県における代替技術普及の現状と今後の課題について報告する。

2 代替技術開発の取り組み

代替技術開発に取り組むにあたり、1992年に高知県内の臭化メチルの使用実態を調査した。その結果、県内での使用量は露地栽培ショウガで最も多く、次いで施設栽培メロンで多く使用されていることが明らかになった(表1)。農業技術センターではこの結果をもとに、数年間にわたる予備試験の後、1995年からこれら2作物を対象とした代替技術開発に本格的に着手した。露地栽培ショウガでは根茎腐敗病を対象病害として、既存の土壌

くん蒸剤の防除効果を調べた。その結果、ダゾメット粉粒剤、クロルピクリンくん蒸剤、カーバムナトリウム塩液剤には根茎腐敗病に対する防除効果が認められ、臭化メチル代替剤として利用できる可能性が示唆された¹⁾。しかし、これらの薬剤はいずれも臭化メチルのように簡単に処理することができず、大規模圃場のくん蒸処理には専用の処理機が必要であった。また、露地栽培ショウガの植え付け時期である4月上旬は、毎年天候が不安定で雨が多いため、産地では2月から3月中旬頃までの晴天が続く時期に施肥や畦立てから土壌くん蒸処理までの作業を全て終え、後は植え付けまで圃場の土を一切動かさないという作業手順が慣行として定着しており、代替くん蒸剤を用いる場合にもこの手順を崩したくないという要望が強かった。このため、これらのくん蒸剤を臭化メチルの代替剤として普及させるためには、防除効果を損なわない範囲で処理方法を簡便化し、慣行の作業手順に適合するものに改変する必要がある。そこで、それぞれの薬剤について畦立て後のくん蒸処理を前提とした簡便処理法を検討し、農薬メーカーの協力を得ながらクロルピクリン錠剤の地表面処理、カーバムナトリウム塩液剤の地表面散布処理の防除効果を明らかにして農薬登

表1 高知県における臭化メチルの使用量と対象病害虫(1992年)

作物名	使用量 (kg)	対象病害虫
露地ショウガ	407,500	根茎腐敗病, センチュウ
施設メロン	96,400	疫病, 黒点根腐病, センチュウ
施設キュウリ	56,500	疫病, センチュウ
施設ピーマン	55,700	ウイルス, 疫病, センチュウ
その他	324,400	
合計	940,500	

録にこぎつけた¹⁾。

一方、施設栽培メロンについては、疫病と黒点根腐病を対象として数種くん蒸剤の効果を調べた。その結果、疫病に対してはクロロピクリンくん蒸剤とカーバムナトリウム塩液剤に防除効果が認められたが、ダゾメット粉粒剤の防除効果は低かった。また、黒点根腐病に対しては、ダゾメット粉粒剤やカーバムナトリウム塩液剤の防除効果は低いが、クロロピクリンくん蒸剤の防除効果は高いことがわかった²⁾。しかし一方で、低温期にクロロピクリンくん蒸剤を使用すると、土壌中のクロロピクリンガスの濃度が長期間低下せず、くん蒸処理10日後に定植を行うと、メロンの苗に葉害が発生することも確認され、厳寒期でも短期間に土壌くん蒸を終えなければならない高知県のメロン栽培においては、冬季にクロロピクリンくん蒸剤を使用できない可能性が示唆された³⁾。

そこで、厳寒期でも処理後直ちに定植が可能な蒸気土壌消毒に注目し、キャンバスホース法を用いて黒点根腐病に対する防除効果を調べた。まず、黒点根腐病菌が死滅する温度と時間を調べた結果、55℃では3日以上、60℃では90分以上、65℃では30分以上であることがわかった⁴⁾。この結果を受け、地下20cmの地温を60℃以上に上昇させることを目標として蒸気土壌消毒を実施した。その結果、地下20cmの地温が概ね75℃以上に上昇した場合には、多くの場合クロロピクリンとほぼ同等の防除効果を得ることができた。ただし、試験によっては効果が劣る場合もあり、効果の安定化が課題となった(竹内ら、未発表)。蒸気土壌消毒で高い防除効果を得るためには、できるだけ短時間のうちに地温を上昇させ、高い地温を少しでも長時間維持することが重要である。地温の上昇速度には土壌のコンディションが強く影響していると考えられることから、蒸気土壌消毒時の地温上昇に影響を及ぼす土壌条件を調べた。その結果、過乾燥や過湿条件では地温が上昇しにくいことや、稲ワラなどの粗大有機物の投入が地温上昇に有効であることなど、普及指導上の参考となる知見を得ることができた(竹内ら、未発表)。

臭化メチルによる土壌くん蒸が唯一の土壌伝染防止対策とされてきたペッパーマイルドモトルウイルス(PMMoV)によるピーマンモザイク病に対しては、臭化メチル以外の土壌くん蒸剤には全く防除効果が認められず、太陽熱消毒にも防除効果がないことを確認した⁵⁾。

3 代替技術の実証と普及の取り組み

農業技術センターでの試験成績をもとに、1997年から現地圃場での実証試験が行われた。ショウガでは根茎腐敗病に対する防除効果に加え、雑草に対する効果やくん蒸処理の作業性も評価された。根茎腐敗病の発生程度が低い場合には、いずれの代替剤も実用的な防除効果を示したが、多発条件では臭化メチルと比較して防除効果が劣る傾向がみられた。雑草に対する効果の点でも、これまで臭化メチルを連用してきた圃場では、大きな問題はなかったが、水田から転換したばかりの圃場などでは、代替くん蒸剤単独では雑草を抑えきれず、除草剤を用いる必要があった。このほか、普及上の問題点として代替剤の価格やくん蒸作業の煩雑さが指摘された。

1998年には「こうち脱・臭化メチルプロジェクト2005推進協議会」を発足させ、関係機関の連携の強化と代替対策の早期確立を図った。協議会の中心行事として毎年開催されたシンポジウムでは、臭化メチルをめぐる国内外の動向、農業技術センターで得られた試験成績や県内各地で実施された実証試験の結果など、臭化メチルに関わるさまざまな最新情報が持ち寄られ、集まった生産者や指導者に提供された。また、各メーカーによって主要代替くん蒸剤やその処理機、蒸気土壌消毒機などの紹介や展示が行われた。2001年11月には、それまでに蓄積された知見を「臭化メチル代替技術指針」として取りまとめ、発刊した。

一方、蒸気土壌消毒機の導入を促進するため、蒸気土壌消毒機の購入に対する補助金事業(高知県臭化メチル緊急対策事業)を実施した。この事業を活用して2000年から2004年までの5年間に合計32台の蒸気土壌消毒機が県内に導入された。

4 代替技術の普及の実態

こうした努力にもかかわらず、土壌伝染性ウイルス病に対しては有効な代替技術が確立されないまま全廃時期を迎え、ピーマン、キュウリ、メロンなどで140t余りを不可欠用途として申請せざるを得なかった。また、最も早期から代替対策に取り組んだショウガについても、技術の不完全さから90t余りを不可欠用途として申請した。関係各位のご尽力の結果、2005年および2006年分についてはこれらすべてが規制対象外として認可された。このように、高知県ではこれまで臭化メチルに依存してきた主要な作物で、引き続き不可欠用途としての使用が継続されていることから、県全体としてみると、代替技術への劇的な転換には至っていない。

表2に高知県における臭化メチル代替技術への転換実態(2005年6月調査)を示した。代替技術として現在最も広く取り入れられているのは太陽熱消毒で、施設栽培のナス、ピーマン、シシトウなどの果菜類を中心に、

表2 高知県における臭化メチル代替技術の導入実態

代替技術	導入面積 (a)	導入割合 (%)
ダゾメット	4,910	2.71
クロロピクリン	3,504	1.94
カーバムナトリウム塩	64	0.04
クロロピクリン・D-D	285	0.16
その他のくん蒸剤	46	0.03
蒸気土壌消毒	2,288	1.26
熱水土壌消毒	80	0.04
太陽熱消毒	24,868	13.74
未転換	144,883	80.08
合計	180,928	100

2005年6月高知県環境農業課とりまとめ

イチゴや花き類でも実施されている。近年、高知県では天敵を利用した害虫防除が急速に普及しており、化学合成農薬の使用回数をできるだけ減らした病虫害防除への取り組みも進められている。高知県はもともと太陽熱消毒の効果を得やすい有利な気象条件にあったことに加え、こうした環境保全型農業への関心の高まりも、臭化メチル代替技術として太陽熱消毒が普及してきた要因のひとつであると考えられる。

太陽熱消毒に次いで多いのは、各種代替くん蒸剤を用いた土壌くん蒸で、露地作物をはじめ様々な作物で実施されている。ダゾメット剤やクロロピクリン剤を用いることが多いが、作物によってはクロロピクリンとD-Dの混合剤あるいはカーバムナトリウム塩液剤なども利用されるなど、薬剤の種類は多様である。短期間のうちに土壌消毒を終えなければならない場合や低温期の土壌消毒、あるいは圃場の一部分だけを消毒する場合など、太陽熱消毒やくん蒸剤による土壌消毒を実施することができない場面では、蒸気土壌消毒が活用されている。

還元土壌消毒や熱水土壌消毒に対する関心や期待も大きい。今のところ一部で試験的に実施されているにとどまっている。このように、かつては臭化メチル一色であった高知県の土壌消毒が、現在では防除の対象や作物の特性などに応じて、さまざまな技術を使い分けたり組み合わせたりするように変化している点が、大きな特徴と言える。

5 今後の課題

前述のように、臭化メチルに依存してきた主要な作物で、現在も不可欠用途としての使用が続いているのが高知県の現状である。しかし、不可欠用途としての規制除外はあくまでも一時的なものであり、できるだけ早期に代替技術を確立し、転換していく必要があることは言うまでもない。

土壌伝染性ウイルスに対しては抵抗性品種の利用が効果的であり、その育成が期待される。しかし、ピーマンのPMMoVでは抵抗性打破ウイルス株の出現が知られており、品種の抵抗性だけに依存した防除対策は不完全で

あることが指摘されている⁵⁾。また、キュウリやメロンではトバモウイルスに抵抗性を示す品種の育成がそれほど進んでいない。大木ら⁶⁾はピーマンの育苗にピートモス成型ポットを利用することで、PMMoVの土壌伝染を回避できることを見出した。筆者ら⁷⁾もまた、蒸気土壌消毒がPMMoVの土壌伝染防除に有効であることを示唆するデータを得ている。今後、これらの技術を用いた圃場試験を繰り返し、早期に実用化して臭化メチルからの脱却を図る必要がある。

蒸気土壌消毒においては、前述のように効果の安定化が大きな課題であるが、ネコブセンチュウを対象とした場合には、地下20cmを75°C以上に上昇させても完全に防除することは難しいことが明らかにされ⁸⁾、地床栽培での利用には限界があることも示唆されている。今後は、より高い防除効果を安定的に得るため、遮根シートなどの資材や他の薬剤との組み合わせを検討する必要がある。

ショウガでも代替技術への移行のための努力は続けられている。しかし、農業技術センターの試験を経て代替技術の候補とされたクロロピクリン錠剤は値段が高いという点で、またカーバムナトリウム塩液剤は大規模圃場でMITCガスの揮散を防ぎながら均一に薬剤を散布する実用的な方法がないという点で、ともに現地での使用が難しく、普及が頭打ちとなっている。今のところ、ダゾメット粉粒剤あるいはクロロピクリン液剤による土壌くん蒸とメタラキシルやプロパモカルブなどの殺菌剤の生育中処理を組み合わせた防除体系が代替技術として最も現実的であると考えられているが、生産者への経済的負担の増大は必至である。同時に、これらの薬剤では効果の低い雑草やセンチュウ防除のため、除草剤や殺線虫剤を併用する必要もあり、環境保全型農業や安全で安心な食品の生産には背を向けることにならざるを得ない。また、メタラキシル剤については、防除効果の低下が指摘されており、薬剤耐性菌の発生が疑われている。メタラキシル耐性菌の発生と分布を確認することは、今後の防除指導上極めて重要であるため、現在調査を進めている。

このように、残された課題はどれも難題ばかりで、解決は容易ではないが、関係機関の連携をこれまで以上に強化し、代替技術への早期転換を目指したい。

摘要

高知県は農業用臭化メチルの使用量が国内で最も多かったことから、1995年から臭化メチル代替技術の開発に独自に取り組んだ。また、「こうち脱・臭化メチルプロジェクト2005推進協議会」を発足させ、関係機関の連携を強化して代替技術の普及に取り組んできた。しかし、キュウリ、メロン、ピーマンの土壌伝染性ウイルス病やショウガ根茎腐敗病に対しては、実用的な技術を確立することができないまま全廃時期を迎え、現在不可欠用途としての使用を継続している。これらの病害に対す

る代替技術の早期実用化が今後の大きな課題である。

引用文献

- 1) 竹内繁治・川田洋一・古谷眞二, 2000, 臭化メチル代替くん蒸剤によるショウガ根茎腐敗病の防除, 高知農技セ研報, 9: 17 - 24
- 2) 竹内繁治・大崎佳徳・川田洋一, 2003, 臭化メチル代替くん蒸剤によるメロン黒点根腐病の防除, 高知農技セ研報, 12: 11 - 20
- 3) 竹内繁治・川田洋一, 2002, クロルピクリンによる低温期の土壌くん蒸に及ぼすビニールハウス内の加温と剤型の影響, 四国植防, 37: 1 - 5
- 4) 森田泰彰・高橋尚之・川田洋一, 2005, メロン黒点根腐病菌の高温域における死滅条件, 高知農技セ研報, 14: 1 - 4
- 5) 竹内繁治, 2000, Capsicum 属植物におけるトバモウイルス病の発生生態とその防除に関する研究, 高知農技セ特報, 3: 1 - 53
- 6) 大木健広・津田新哉・本田要八郎, 2003, ピートモス成型ポット移植によるトウガラシマイルドモットルウイルス (PMMoV) の土壌伝染抑制, 関東病虫研報, 50: 29 - 32
- 7) 竹内繁治・川田洋一, 2004, Pepper mild mottle virus の土壌伝染に対する蒸気土壌消毒の防除効果, 日植病報, 70: 238 - 239 (講要)
- 8) 下元満喜, 2006, ネコブセンチュウ類に対する蒸気土壌消毒の防除効果とその問題点, 高知農技セ研報, 15, 投稿中

表2 臭化メチル代替薬剤等地域適用
拡大業で取り扱われた薬剤

薬剤名	H13	H14	H15	H16	H17
	2001	2002	2003	2004	2005
クロルピクリン	●	●			
N C S	●	●	●		
キルパー	●	●	●	●	●
ソイリーン	●	●	●	●	●
ネマトリン	●		●	●	●
ダゾメット		●		●	●
ダブルストッパー			●		
クロルピクリン錠剤				●	
クロピクフロー				●	●

表3 土壌くん蒸剤の病害虫・雑草に対する効果

薬剤名	糸状菌	細菌	ウイルス	線虫	土壌昆虫	雑草
臭化メチル	○	○	○	○	○	○
クロルピクリン	○	○	×	○	○	○
M I T C	○	○	×	○	○	○
カーバム	○	○	×	○	○	○
ダゾメット	○	○	×	○	○	○
D - D	×	×	×	○	○	×
ヨウ化メチル	○	○	×	○	?	○

○：効果あり ×：効果なし ?：効果不明

き定植前の圃場準備が一貫して利用できるオキサミル剤、ホスチアゼート剤、カズサホス剤などの粒剤への依存度が高い。

以下、個別に剤の特徴や新しい処理技術について紹介する。

2 臭化メチル代替薬剤の種類

2.1 クロルピクリン剤

2.1.1 クロルピクリンくん蒸剤

(99.5%製剤：クロルピクリン, 80%製剤：クロピク80, ドロクロール, ドジョウピクリン)

クロルピクリンの含有率が99.5%と80%の製剤があり、土壌消毒剤の中でも最も効果の安定性が高く、作物・病害虫登録への緩和処置もあって、野菜、畑作物、特用作物、花卉類など幅広い作物の土壌病害虫、畑地一年生雑草へ適用拡大されており、臭化メチル代替剤の中心である。クロルピクリンは、その特有の刺激臭、催涙性から処理作業時の身体的負担も大きかった。とりわけ処理機の回転時における液垂れが問題とされてきたが、近年新たに開発・市販されてきた機種には液垂れ防止装置が装備されている。本剤専用の処理機として、マルチ畦内土壌消毒機、自走式全面マルチ消毒機(図1)も開発されている。

クロルピクリン剤は地温の低い場合には処理期間が長くなり、冬季にはくん蒸期間が一ヶ月以上かかることもある。そのため、冬季の短期間処理でも有効な臭化メチ



図1 自走式全面マルチ消毒機

ルによって成り立っていた周年作付体系は維持が難しくなっている。宮崎県では、暖房機を利用して冬季加温ハウスでのくん蒸期間の短縮技術確立試験を実施しており、くん蒸期間を2週間程度に短縮できる知見を得ている¹⁾。

2.1.2 クロルピクリンテープ剤(クロピクテープ)

本剤はクロルピクリンを易分解性の天然成分にしみこませ、水溶性フィルムで包みテープ状にした製剤で、クロルピクリンの処理時の作業者暴露を少なくし、簡便に処理できるよう開発された剤である。

現在登録されているものは90cm間隔で深さ15cmに埋設するタイプのクロルピクリンを55%含む製剤(クロピクテープ)で(図2)、本剤専用の施用機も開発されている。なお地表面設置タイプの99.5%製剤は登録が失効した。

2.1.3 クロルピクリン錠剤

本剤の開発経緯は比較的早く、1983年、農林水産省の補助事業であった新土壌くん蒸剤製剤技術確立の中でクロルピクリンの固形化が取り上げられた。当時は封入方法に改良の余地があったが、現在の製剤は1錠ごとにガス不透過性・水溶性のフィルムで真空包装しており、施用時の催涙性や刺激臭が少なく、ハウス内でも安心して使用できる。専用の処理機も開発されている(図3,4)。

テープ剤、錠剤ともにコスト面で普及を難しくしている面はあるが、通常クロルピクリンくん蒸剤を機械で処理した場合に生じる、枕地などのデッドスペースの補完処理や床土消毒に、本剤やテープ剤の利用は簡便かつ有効である。

2.1.4 クロルピクリン乳剤(クロピクフロー)

本剤もテープ剤、錠剤と同様に、クロルピクリンの最も大きな処理時の障壁であった刺激臭から作業者を解放するために開発された新製剤である。クロルピクリンの乳剤化により水中に分散させ、灌水チューブにより処理する新しいタイプのクロルピクリン剤で、有効成分量は80%である(図5)。灌水チューブにより土壌表面に処理された薬剤は有効成分のクロルピクリンが水から分離

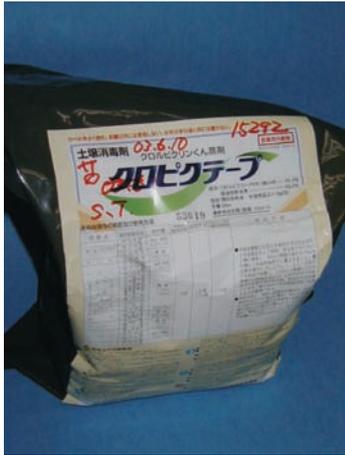


図2 クロロピクリンテープ剤



図3 クロロピクリン錠剤



図4 クロロピクリン錠剤専用の処理機

してガス化し、土壤中に拡散して効果を発揮する。

以下に処理方法の手順を示す（図6）。

- ① 前作の残渣を取り除き、なるべく深く土壌を耕起する。
- ② 灌水装置とチューブ（90～120間隔）を設置し、水漏れをチェック、水量を調節した後、ポリエチレンフィルム等で被覆する。
- ③ 液肥混合機を使用し、本剤を処理用の水に混入させて処理する。処理後、さらに水を流しチューブ配管内を洗浄する。
- ④ 所定期間経過後、被覆を除去して、ガス抜けを確認して播種、定植する。

2004年10月までにトマト、メロン、イチゴ、ナス、ピーマン、ホウレンソウ、キュウリ、スイカの計8作物に登録を取得しており、主に施設野菜を中心に開発を進めてきたが、今後は露地物も視野に入れ実用化試験を実施している。また、近年急速に普及の進んだイチゴの高設栽培に適用するため、処理量や環境影響などの検討も行われている。

2.2 D-D 剤（92%製剤：テロン92，DC油剤，D-D92，55%製剤：D-D）

あえてここで記載するまでもないほど良く知られた殺線虫剤で、土壌くん蒸剤の中で国内出荷量は最も多い。

2.3 クロロピクリン・D-D 剤（ソイリオン，ダブルストッパー）

クロロピクリンとD-Dの混合剤としては、ネマクロベン油剤があったが、最近、相次いで両有効成分の混合比率を変えたソイリオンとダブルストッパーが登場した（表4）。両者の相互の働きで高い防除効果が期待でき、使用圃場での防除対象の重要度に合わせた使い分けが鍵となる。ソイリオンは新規配合製剤によりクロロピクリンの刺激臭が低減されている。



図5 クロロピクリン乳剤

2.4 クロロピクリン・DICP 剤（ルーテクト，ルートガード）

クロロピクリンに線虫や野鼠に効果のあるDICP（ネマモール）を組み合わせた混合剤で、組み合わせる有効成分量のちがいによりルートテクト（CP 25%，DICP 70%）とルートガード（CP 60%，DICP 20%）がある。使用方法はいずれも1穴2～3mの注入処理で、カンショなどではマルチ畦内処理としても使用できる。

表4 クロロピクリン・D-D 剤の有効成分量

薬剤名	初登録年	CP	D-D
ネマクロベン油剤	1973	50%	25%
ソイリオン	1999	40%	52%
ダブルストッパー	2002	35%	60%

2.5 メチルイソチオシアネート油剤

メチルイソチオシアネート・D-D 油剤

1976年、MITC 20%・D-D 40%を混合したディ・トラペックス油剤が登録され、その後1982年にMITC 20%単剤のトラペックスサイド油剤が登場した。MITCはクロロピクリンに比べ刺激臭が比較的少なく、周辺作物に対する影響も少ない。作業機によるロータリー耕耘、薬液注入、マルチ被覆の一貫作業も可能である（図7）。

2.6 カーバム系剤

NCS、キルパーの有効成分は、処理されると土壌粒子上で速やかにMITCに酸化分解し、土壌中の気層や水



図6 クロロピクリン乳剤の処理風景

中：水量を調節し、水漏れの無いことを確認して被覆する。
 中：施設の外から液肥混合機により薬剤処理する。
 右：灌水チューブからの薬液放出状況



図7 トラクター牽引作業機によるディ
 ・トラペックス油剤の処理同時マルチ

層に拡散する。土壌中の水分含量が少ない場合には気層への分配が多くなるため、ガスは気層から大気中への揮散が激しくなる。かといって土壌水分が多すぎると処理後のガス抜きが不十分になり、薬害の発生を招きかねない。このような性質から、いずれの剤も薬剤処理と被覆のタイムラグを埋めるため、処理方法や処理機械が検討されてきた。

2.6.1 カーバムアンモニウム剤 (NCS)

本剤は1957年に登録されたジチオカーバメート系の化合物で、土壌中で速やかに分解してMITCとなり、このガスまたは水溶液が土壌中に拡散して効果を発揮する。処理方法としては以下の3方法があるが、対象作物、対象病害により登録が異なるので注意が必要である。

- ① 土壌注入法
30 cm間隔千鳥に1穴3~5m，被覆する。
- ② 散布混和法
原液(30/10a)を水で3倍(タバコ疫病・黒根病・立枯病に対しては2~4倍)に希釈して圃場に散布し、直ちに混和、被覆する。この方法にはトラクター装着の専用散布機が開発されている。
- ③ 灌水チューブ法
予め灌水チューブを設置し、ビニール等で被覆する。原液30を水とともに10 a当たり水量が3,000になるよう灌水注入する。
上記以外にも現在、苗床や床土に対する処理方法について以下の検討が進められている。

- ④ ジョウロ散布による苗床処理。
- ⑤ ジョウロまたは無加圧散布機による育苗床土処理。

2.6.2 カーバムナトリウム塩剤 (キルパー)

本剤は1993年に登録された。作用機作はNCSとほぼ同様である。本剤も安定した効果を得るためには均一な薬剤施用が不可欠であるため、ドーム内灌水処理法やマルチ被覆内に設置したT字の処理器具を一定の速度でたぐり寄せる方法など、ユニークな処理方法も検討されてきた。現在登録のある処理方法は以下のとおりである。

- ① 土壌注入法
1穴当たり4~6m (40~60/10a)，被覆。
- ② 線状土壌注入法
原液注入処理の効果をより高く、安定して発揮させるために考え出された方法で、注入間隔20 cm深さ15~20 cmで土壌中に線状に注入処理する。本法のために、キルパー専用のテラー牽引、トラクター牽引式の注入機が開発されている(図8)。
- ③ 散布混和法
原液または希釈液を圃場に散布し、直ちに混和、被覆する。この方法にはトラクター装着の専用散布機が開発されている。
- ④ 灌水チューブ法
予め灌水チューブを設置し、ビニール等で被覆する。原液30を水30~100 lに希釈して灌水注入する(図9)。

NCS、キルパーは、クロロピクリン剤やD-D剤と化学反応を起こし発熱するので、これらを含む剤を使用した処理機は十分に洗浄・乾燥した後でない限りNCS、キルパーは使用できない。

2.7 ダゾメット粉粒剤

(ガスタード微粒剤, パスアミド微粒剤)

本剤も土壌中で分解してMITCとなり効果を示す。ガス化速度が他剤に比べ比較的遅く、微粒剤のため扱いやすい。散布方法も手(手袋着用)で散布する以外に、袋に工夫が凝らしてあったり、専用の散粒器も販売されており、大面積の場合にはトラクター装着のライムソー



図8 キルパー専用機（試作機）による線状土壌注入処理



図9 灌水チューブ法によるキルパー処理

が利用できる（図10）。

本剤は、土壌水分が少なすぎると効果ムラを生じ、逆に多すぎるとガス抜けが悪くなるため、その圃場（土壌）に合った適当な土壌湿度を把握することが肝要である。散布・土壌混和後には、水封またはシート被覆が必要である。本剤の線虫効果を補うために次項で述べる粒剤タイプの殺線虫剤との体系処理も有効である。また太陽熱消毒との併用で安定した高い効果を示すことが確認されている。

2.8 殺線虫粒剤

ホスチアゼート粒剤（ネマトリンエース）

カズサホス粒剤（ラグビーMC）

オキサミル粒剤（バイデートL）

ホスチアゼートとカズサホスは有機リン系、オキサミルはカーバメイト系で、いずれも非くん蒸型の殺線虫剤である。各剤にそれぞれ活性面で特徴はあるが、いずれの剤も土壌中に均一に分散させることが安定した薬効を引き出すポイントとなる。

トマト、キュウリなどの作期の長い栽培体系では、栽培後期の線虫被害が問題となる場合が多い。これに対処するため、これら殺線虫剤をクロルピクリンくん蒸剤やダゾメット剤と併用又は体系処理し、効果の持続期間をより長くして被害を回避する検討が行われており、多くの場所で地域適応試験が実施されている。

2.9 現在開発中の代替薬剤

2.9.1 ヨウ化メチル剤

アリスタライフサイエンス(株)がTMZ-9911のコード番号で開発中の新規土壌くん蒸剤で、臭化メチル剤と同様の処理方法での登録を目指している。すなわち耕起した圃場を予めトンネル用資材とポリエチレンフィルム等で空間を持たせて被覆し、缶体に充填された薬剤を金具で開缶し処理する（図11, 12）。

本剤の有効成分であるヨウ化メチルは沸点が42.5℃（臭化メチルは4℃）と比較的高いため、ガス化にやや長い時間を要する。臭化メチルでは、外気温の低下する

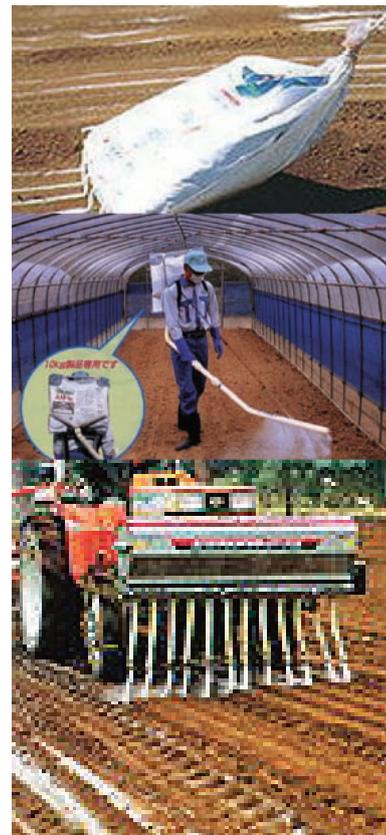


図10 タゾメット剤の処理方法
上：袋に工夫が施されている
中：背負式の専用散布器
下：トラクター装着ライムソワー（フロントタイプ）での散布作業

夕方の開缶処理を推奨していたが、この剤の場合には、ガス化速度を速めるため晴天時の日中に処理する方が望ましい。

これまでの実用化試験の中で、ナス、ピーマン、スイカ、イチゴなどで定植後に薬害の発症が報告されているが、処理後の土壌中のヨウ化メチルのガス濃度を経時的に測定した結果、被覆除去後は比較的速やかに低下することが分かっている。土壌中で何らかのヨウ化物に変化し、それが植物の根の生育に影響を及ぼしているものと推察される。従って処理後の耕起は、ガス抜きというよりも

薬害の原因物質の分散化としての意味合いが大きい。現在、トマト青枯病、萎凋病、ネコブセンチュウおよびクリのクリシギゾウムシ、クリミガについて登録申請を準備中である。

2.9.2 MITC・液化炭酸剤（エコヒューム）

エコヒューム（MITC 30%・液化炭酸 70%）は、木材検疫用くん蒸剤としては既に登録認可されているが、現在、この剤を土壌くん蒸に使用するための技術開発が進められている（図 13, 14）。

処理方法は、過去に臭化メチル剤のボンベ充填剤で行われていた方式とほぼ同様で、以下のとおりである。

- ① 圃場を耕起整地する。
- ② ポリエチレンシートで被覆・密閉する。その際、ガス拡散を良好にするためトンネル用資材等で土壌面シートの上に空間を持たせる。
- ③ ボンベに充填された薬剤を被覆内に噴射・導入する。
- ④ 所定期間後に被覆除去し、必要に応じてロータリー耕起を行う。

3 代替剤の普及状況

表 5 および図 15 に主要な土壌消毒剤の近年の出荷量を示した。

臭化メチルの出荷量が削減計画に従って減少していく

一方、クロルピクリンくん蒸剤、ダゾメット剤は大きく増加し、現場での代替剤への切り替えが着実に進行していることがうかがえる。また殺線虫剤も 1993 年から比べると 2 倍以上の増加を示しているが、D-D 剤の出荷量が減少傾向にあることと考え合わせると、本剤が代替剤としての役割とともに、処理時期が余り限定されず、簡便かつ作業への安全性が高いため生産現場への普及を容易にしたものと考えられる。

4 おわりに

臭化メチル代替薬剤について主要な剤を概説したが、おわりに当たって臭化メチルから他剤に置き換えたときに懸念される事項についていくつか雑記する。

- ① 施設周縁部などデッドスペースの土壌消毒は確実に行われるのか。

臭化メチルは極めてガス拡散性の良い薬剤であった。臭化メチルの処理後の土壌中気層の濃度は耕土層から下のかかなり深い部分でも高い濃度を示し、また、横への拡がりも大きかった。その結果、施設内で土壌被覆を行って処理しても、周縁部も含め施設全体に消毒効果が認められた。代替剤とされる中でも MITC は比較的ガス拡散は良いが、それでも処理の均一性が担保されなければ十分な効果が発揮できない。施設周縁部や連棟ハウスの谷部は土壌湿度が高く、土壌病害にとって最も生息環境の



図 11 ヨウ化メチル剤の処理



図 13 エコヒュームの処理



図 12 ヨウ化メチル環境動態調査



図 14 エコヒュームの除草効果
（左：無処理中、右：処理区）

表5 主要な土壌処理剤の出荷量 (単位: t, k)

農薬要覧 (日本植物防疫協会編)²⁾ より

	1992年	1993年	1994年	1995年	1996年	1997年	1998年	1999年	2000年	2001年	2002年	2003年
臭化メチルくん蒸剤	9,108	10,045	9,814	9,486	8,898	7,840	5,736	4,659	4,040	3,204	2,663	1,602
クロルピクリンくん蒸剤	5,748	6,624	7,433	8,307	8,506	8,879	8,773	8,854	8,592	7,968	8,149	7,964
クロルピクリンテープ剤									12	19		
クロルピクリン錠剤				25	27	28	30	37	41	45	38	41
D-D 剤	13,856	14,015	13,205	12,344	10,976	12,951	12,187	11,889	11,159	8,633	10,886	9,453
クロルピクリン・D-Dくん蒸剤									77	338	165	271
クロルピクリン・D-D油剤	276	260	163	229	235			176	169	153	254	87
クロルピクリン・DICP油剤	12	20	15	11	13	17	12	29	31	41	52	3
メチルイソチオシアネート剤	105	87	91	87	85	70	60	72	69	58	68	
メチルイソチオシアネート・D-D油剤	874	853	882	855	812	814	751	739	797	729	621	550
カーバム剤	196	171	192	136	124	281	190	179	207	128	210	208
カーバムナトリウム塩剤			28	65	234	202	199	210	215	180	192	171
ダゾメット剤	915	1,061	1,323	1,542	1,607	1,923	2,194	2,720	2,939	2,370	2,612	2,613
オキサミル剤	3,162	2,816	2,743	2,627	2,546	2,474	2,126	2,289	2,096	2,023	1,812	1,894
カズサホス剤										98	394	37
ホスチアゼート剤		1,034	1,886	2,661	3,854	4,707	4,986	5,816	5,702	4,258	5,312	5,704

年は農薬年度 クロルピクリンくん蒸剤, D-D 剤など, 有効成分量に変化を持たせた製剤は出荷量を合算して表示した。オキサミル剤は平成 9~10 年, ホスチアゼート剤は平成 12~13 年に有効成分量の異なる製剤が上市されているが合算して表示した。

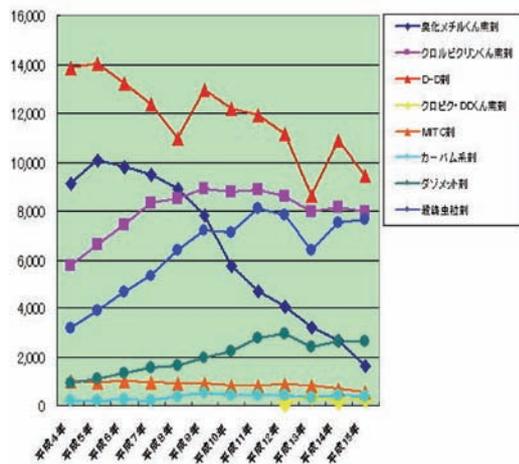


図 15 主な土壌薬剤の出荷量の変化

以下のは合計値で示した

MITC 剤: トラベックサイド+ディトラベックス

カーバム系剤: NCS+キルパー

殺線虫剤: バイデート+ネマトリン+ラグビー

良好な部分であり, 注意深い防除対策が必要である。

② 今まであまり問題として来なかった病害虫が顕在化してこないか。

筆者は平成の初め日植防宮崎試験場に勤務していたが, 施設では, ビニルフィルムの交換とともに行う, 年 1 回の臭化メチル処理が当たり前とされていた。その当時, 現場農家の少なからずの人が, いつの間にか臭化メチル処理の最も大きな利点を除草対策と受けとめ, 同剤が, 目に付きにくい病害虫被害を未然に防いでくれたことに, 余り重きを置かなかつたように感ずる。この様な事例は極端過ぎるかもしれないが, 例えば, 臭化メチル投薬が重要な土壌病害や線虫のためであったとしても, 副次的な効果としてその他の病害虫の伝染源を低下

させ, 顕在化させなかったであろうことは容易に想像できる。ある地域で現在問題とされる病害虫に対し, その特定の対象に効果の高い代替剤で置き換えられる場合もあると考えるが, 土壌病害虫だけでなく地上部病害虫も含め, 今後の発生動向に十分な注意を払うべきであろう。

③ 苗床, 床土の消毒を慎重かつ確実に。

この点も臭化メチルのガス拡散性の良さに関係する点である。クロルピクリン, MITC で効果を示すくん蒸剤のほとんどは, 床土消毒, 苗床消毒の適用を有しているが, 大量の用土を消毒する場合にくん蒸ムラを生じた事例をたびたび目にする。また苗床でも土塊が十分に壊されていないと不完全な消毒になりがちである。中途半端に消毒された場合, 生き残った病原菌は, 未消毒の土壌中以上に旺盛な繁殖力を示す。また臭化メチルの場合, ガス抜きは消毒後数日放置するだけでよかったが, 代替剤の場合には長期間放置するか, もしくは土壌攪拌によるガス抜きが必要となり, 当然, 周囲からの飛び込みによる再汚染が懸念される。苗床作りの言葉通り苗作りは栽培の基本であり, 健全な苗作りが病害虫防除の第一歩である。より簡便で確実な苗床, 床土の消毒方法の確立も, 臭化メチル代替剤の今後の重要な検討課題である。

最後に本稿の執筆に際し, 薬剤情報や技術資料等をご提供頂いた農薬会社の開発担当者各位にお礼申し上げます。

摘要

日本における 2005 年時点での臭化メチル代替薬剤について概説した。土壌くん蒸剤としては, 既存の有効成分であるクロルピクリン, D-D, MITC を含む単剤または混合剤が幅広い作物, 病害虫・雑草に対し登録を取得して

いる。これらについては、作業の利便性や安全性を考慮した新製剤や、新たな処理方法の検討、作業機械の開発が進められ、農業現場への普及が進んできている。新規有効成分としてはヨウ化メチル剤が現在開発中である。しかしながら、臭化メチル以外に実用的な処理量で土壌伝染性ウイルスに直接作用する薬剤は、現在も開発されていない。

引用文献

- 1) 今村幸久. 2003. ハウスメロンの冬期暖房条件下におけるクロロピクリンくん蒸剤 一期間短縮技術確立への取り組み. 今月の農業. 47 (4) : 48-52
- 2) 農薬要覧. 日本植物防疫協会編. 1995 - 2005. 日本植物防疫協会

土壌伝染性ウイルス病対策技術開発への取り組み

津田新哉

独立行政法人 農業・生物系特定産業技術研究機構中央農業総合研究センター

An Approach for Development of Environment-Friendly Techniques to Control Soil-Borne Viral Diseases

Shinya TSUDA

National Agriculture and Bio-oriented Research Organization
National Agricultural Research Center

キーワード：土壌伝染，ウイルス，臭化メチル，ピーマン，モザイク病，環境保全型病害防除技術

1 はじめに

我が国における野菜生産では、同一作物の周年栽培、栽培様式の多様化等により多種多様な病害虫が常時発生している。そのような状況の中で、それら病害虫の発生を制御するために、栽培期間中に多種類の化学農薬が多数回散布され、環境への負荷あるいは食品の安全性が著しく危惧されている。我が国で生産される生鮮野菜を海外からの輸入品に負けないものとして維持発展させていくためには、安全・安心で新鮮な生産物を消費者に提供していく必要があり、そのために化学農薬への過度の依存から脱却した環境保全型病害虫防除技術の開発が極めて重要である。

しかしながら、施設栽培において常時発生している病害虫、とりわけ土壌伝染性ウイルス病を制御するためには、土壌くん蒸剤の一種、臭化メチル剤による土壌消毒が最も効果的であり、その適用範囲の広さと効果の安定性、さらに作業性の良さなどの観点から農業現場の末端まで広く普及してきた。しかし、1992年、モントリオール議定書締約国会合により、臭化メチルはオゾン層を破壊する物質として指定され、2005年には不可欠用途や検疫用途を除き先進国では全廃されることが決定された。我が国では、現在のところ施設野菜（キュウリ、メロン、スイカ、ピーマン、シシトウ）で発生する土壌伝染性ウイルス病対策として、2007年まで不可欠用途（特例措置）での限られた数量が使用許可されているのみである。2008年以降での許可は、本年行われる国際審査の決議を待たなければならない。このように、不可欠用途での本剤の利用は一時的なものであり、いずれ近い将来には完全に姿を消していく技術であると思われる。そのような状況になっても対応できるよう、安定した防除

効果、広い有効範囲、多くの作型に適応した土壌伝染性ウイルス病害防除技術、とりわけ環境保全型の新規防除技術の開発は喫緊の課題である。

2 土壌伝染性ウイルス病

我が国の野菜生産圃場における主要な土壌伝染性ウイルス病は、施設野菜生産ではトウガラシ・ピーマン（シシトウを含む）でのトウガラシマイルドモットルウイルス（PMMoV）によるモザイク病、キュウリ、メロン、スイカなどのウリ科で発生するキュウリ緑斑モザイクウイルス（CGMMV）による緑斑モザイク病やメロンえそ斑点ウイルス（MNSV）によるえそ斑点病などが挙げられる。また、露地野菜生産では、レタスでのミラフィオリレタスビッグベインウイルス（MLBVV）、レタスビッグベイン随伴ウイルス（LBVaV）、野菜ではないがテンサイでのビートえそ性葉脈黄化ウイルス（BNYVV）が挙げられ、チューリップで甚大な被害を与えているチューリップ微斑モザイクウイルス（TMMMV）やチューリップ条斑ウイルス（TuSV）も土壌伝染性である（表1）。

タバコモザイクウイルス（TMV）と同属のPMMoVおよびCGMMVによる土壌伝染は、苗を本圃に定植する際に発生する根表面にできる傷口から侵入・感染する、いわゆる物理的な接触感染であることが知られている。一方、ここで挙げたその他のウイルス（MNSV、MLBVV、LBVaV、BNYVV、TMMMV、TuSV）は、土壌中に広く生息する絶対寄生菌である糸状菌（*Olpidium* 属菌、あるいは *Polymyxa* 属菌）により媒介される生物的伝播である。

臭化メチル剤は、施設栽培における土壌伝染性ウイル

表1 我が国の主な土壌伝染性植物ウイルス一覧

ウイルス属名	ウイルス種名 ^{a)} (略称)	媒介方法
<i>Tobamovirus</i>	タバコモザイクウイルス (TMV)	接触伝搬
	トマトモザイクウイルス (ToMV)	接触伝搬
	トウガラシマイルドモットルウイルス (PMMoV)	接触伝搬
	キュウリ緑斑モザイクウイルス (CGMMV)	接触伝搬
<i>Carmovirus</i>	メロンえそ斑点ウイルス (MNSV)	土壌菌伝搬
<i>Carmovirus</i>	エンドウ茎えそウイルス (PSNV)	土壌菌伝搬
<i>Necrovirus</i>	トルコギキョウえそウイルス (LNV)	土壌菌伝搬
<i>Necrovirus</i>	タバコネクロシスウイルス (TNV)	土壌菌伝搬
<i>Ophiovirus</i>	ミラフィオリレタスビッグベインウイルス (MLBVV)	土壌菌伝搬
	チューリップ微斑モザイクウイルス (TMMMV)	土壌菌伝搬
所属未定	<i>Lettuce ring necrosis virus</i> (LRNV)	土壌菌伝搬
	チューリップ条斑ウイルス (TuSV)	土壌菌伝搬
<i>Varicosavirus</i>	レタスビッグベイン随伴ウイルス (LBVaV) (タバコ矮化ウイルス)	土壌菌伝搬
<i>Bymovirus</i>	オオムギマイルドモザイクウイルス (BaMMV)	土壌菌伝搬
	オオムギ縞萎縮ウイルス (BaYMV)	土壌菌伝搬
	イネえそモザイクウイルス (RNMV)	土壌菌伝搬
	コムギ縞萎縮ウイルス (WYMV)	土壌菌伝搬
<i>Furovirus</i>	ムギ類萎縮ウイルス (SBWMV)	土壌菌伝搬
<i>Benyvirus</i>	ビートえそ性葉脈黄化ウイルス (BNYVV)	土壌菌伝搬
	<i>Beat soil-borne mosaic virus</i> (BSBMV)	土壌菌伝搬
<i>Pomovirus</i>	ジャガイモモップトップウイルス (PMTV)	土壌菌伝搬

a) ウィルス名が日本語は我が国で発生しているもの

ス病防除の特効薬として苗定植前の土壌くん蒸に広く利用されてきた。本剤使用によるウイルス病防除技術に代わる同等の効果を発揮する防除技術は、今のところ見あたらない。クロルピクリン・D-Dくん蒸剤やヨウ化メチルクん蒸剤などを利用した化学的防除法の開発も進められているが、下位葉縁が褐変する葉害を生じることがまれにあることから、この回避策を検討しなければならない。

一方、化学農薬のみに頼る防除法は、本来励行しなければならない作業を失念させてしまうことがある。従来の耕種的防除法である、健全な苗・資材・器具の使用と圃場の浄化や栽培方法・肥培管理の改善、あるいは抵抗性品種の利用などを再確認する必要がある。また、近年普及してきた熱水・蒸気による土壌消毒処理に代表される物理的防除法を取り入れた栽培プログラムを実施することも、土壌伝染性ウイルス病の発生頻度を抑える試みとして重要である。私たちは、ピーマンに発生するPMMoVを対象として、ポスト臭化メチルを視野に入れた環境保全型病害管理技術の開発に着手している。その取り組みについて紹介したい。

3 PMMoVによるピーマンモザイク病の総合防除への取り組み

トバモウイルス属のPMMoVは、ピーマンやトウガラシにモザイク病を引き起こす重要ウイルスである。本ウイルスに感染したピーマンやトウガラシは、葉に凹凸を伴う明瞭なモザイク症状を示し生育が抑制される。また、

果実の果皮が黄化したり奇形果が発生し、商品価値を著しく損なう。PMMoVによるモザイク病は、1972年に尾崎らにより報告されて以来¹⁾、日本各地で発生が確認されている^{2,3,4,5,6,7)}。

PMMoVは非常に安定なウイルスで、あらゆる場面で感染性を長期間保持している。さらに、接触伝染力が強く管理作業等で株から株へ容易に伝染するため、連作地域では本病が慢性的に発生し、経済的被害を与え続けている。PMMoVの一次伝染は主として種子伝染と土壌伝染による。種子伝染は70°C、3日間の乾熱種子消毒により効果的に抑制できることが判明している⁴⁾。本病に対しては、臭化メチル剤に代わる土壌くん蒸剤が開発されておらず、代替技術の確立は喫緊の課題である。

このような状況の中、農林水産省ではPMMoVによるピーマンモザイク病の総合防除技術を確立するため、「土壌消毒用臭化メチルの代替技術の開発に関する研究(平成8~10年:地球環境プロ)」および「臭化メチル全廃に対応するための病害虫制御の緊急技術開発(平成13~15年;IPMプロ)」プロジェクトが推進されてきた。本プロジェクトでは、土壌の熱水消毒によるトバモウイルス不活性化技術の開発、土壌中のウイルス検出技術と圃場診断法の開発、土壌伝染遮断技術の開発、汚染根不熟促進技術の開発、弱毒ウイルスの開発が行われた。

4 土壌からのウイルス検出法の確立

種子伝染を除きPMMoVの一次伝染源は汚染土壌とされており、適切な防除法を選択するためには圃場のウイ

ルス汚染程度を把握することが重要である。従来の土壌中のウイルス検出方法は、緩衝液による土壌の抽出液をタバコ等の検定植物に接種して、病斑数を測定する生物検定法であった。しかしながら、検定植物の育苗場所の確保や操作の煩雑性など、多数の試料を検定するには不向きである。一方、酵素結合抗体法 (ELISA) は、コストも比較的安く、迅速かつ大量の試料を同時に検定できる。土壌中のウイルス検出法として、簡便な間接 ELISA 法が既に開発されているが⁸⁾、非特異反応が出やすいことが指摘されている。

我々は、特異性の高い二重抗体サンドイッチ法 (DAS-ELISA 法) による土壌からの高感度ウイルス検出法を検討した。その結果、リン酸緩衝液に 2% スキムミルクと 0.05% Tween 20 を添加した土壌の抽出液を用いることにより、非特異的な反応を抑えウイルスを効率よく検出することに成功した⁹⁾。今回確立した方法により、茨城県内のピーマン圃場から採取した土壌中の PMMoV 検出を試みたところ、モザイク病発生圃場の全ての土壌において測定値 (A_{405}) が 0.1 以上であったのに対し、未発生圃場の土壌は 0.1 以下であった (図 1)。全国各地の主要ピーマン栽培圃場から採取した土壌からもほぼ同様な

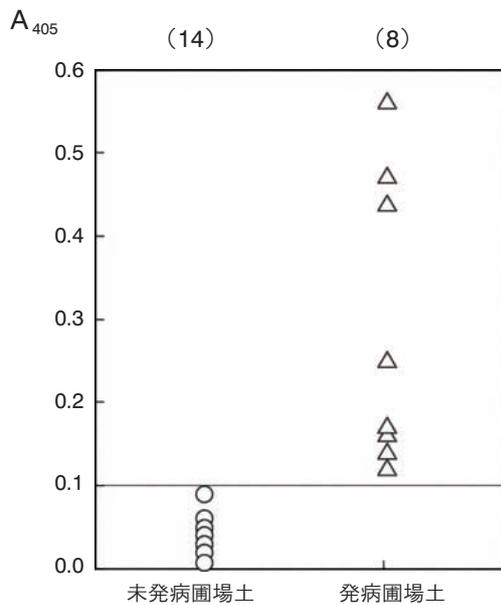


図 1 ピーマン栽培圃場における PMMoV の土壌汚染度調査
上記 () 内は、調査圃場数を示す。

結果が得られた。よって、本法はピーマン圃場の土壌中におけるウイルス病汚染程度の定植前圃場診断技術として利用できることが示された。

5 抵抗性品種の利用による防除

ピーマンやトウガラシが属するカプシカム属には、トバモウイルスに対して抵抗性を示す L 遺伝子を保有している野生種が知られている。それらは、 L^1, L^2, L^3, L^4 の 4 つの異なる遺伝子が同一の遺伝子座において対立遺伝子的な遺伝様式を示すとされている¹⁰⁾。また、これら 4 つの L 遺伝子に対応するように、トバモウイルスは P_0 型、 P_1 型、 $P_{1,2}$ 型、 $P_{1,2,3}$ 型と分けられる 4 種類の病原型を有している (表 2)。 L 遺伝子群による抵抗性反応の特徴は、それら 4 遺伝子が階層的なことである。例えば、 L^2 遺伝子を打破する $P_{1,2}$ 型トバモウイルスは同時に L^1 遺伝子を打破するため、一度抵抗性が破られると L^2 遺伝子より下層の抵抗性遺伝子を保有する品種では、ウイルス感染の拡大を止められない。現在では、 L^3 遺伝子を導入した品種の普及が進んでいるが、全国的にそれを打破するウイルス系統の発生も報告されており¹¹⁾、栽培圃場での L^3 遺伝子打破系統ウイルスの蔓延化が危惧されている。このため、 L^3 遺伝子を打破するウイルス系統に対して抵抗性を示す L^4 遺伝子保有ピーマン品種の栽培は、 L^4 遺伝子打破系統ウイルスを発生させないためにもウイルス甚発生地域で 1 作型での作付等、圃場土壌中のウイルス濃度を下げることのクリーニングクロープとしての利用に限定し、決して連作などをしないような栽培上の工夫が必要である。

6 弱毒ウイルスによる生物防除

弱毒ウイルスを利用した生物防除法は、環境保全型農業を実践する上で、さらに抵抗性品種に対する打破系統ウイルスが発生している現状では非常に期待される技術である。従来、PMMoV 強毒株に対して 4 種類の弱毒ウイルス株が作出されているが^{12,13,14,15)}、栽培条件によってはモザイク症状が現れ、生育に影響が出る場合がある¹⁶⁾。これらの弱毒ウイルス株は、 L^3 遺伝子を持つピーマン品種ではウイルス処理部分にえそ斑が生じ全身移行

表 2 カプシカム属が有するトバモウイルス抵抗性

カプシカム属種名	遺伝子型	トバモウイルス病原型			
		P_0 (TMV, ToMV)	P_1 (PaMMoV)	$P_{1,2}$ (S) (PMMoV-J)	$P_{1,2,3}$ (I) (PMMoV-Ij)
<i>C. annuum</i> cv. Early Calwonder	L^+ / L^+	S	S	S	S
<i>C. annuum</i> cv. Bruinsma Wonder	L^1 / L^1	R	S	S	S
<i>C. frutescens</i> cv. Tabasco	L^2 / L^2	R	R	S	S
<i>C. chinense</i> PI 159236	L^3 / L^3	R	R	R	S
<i>C. chacoense</i> PI 260429	L^4 / L^4	R	R	R	R

S: 全身感染 R: 局部感染で非全身感染 (抵抗性)

しないため干渉効果を発揮することができない。現在普及しているピーマン品種には、ほとんど L^3 遺伝子が交雑育種により導入されているため、本技術は適用できない。最近、 L^3 遺伝子保有ピーマン品種で増殖できる PMMoV 遺伝子が明らかとなった¹¹⁾。また、本ウイルスの弱毒性に関わる遺伝子もおおよそ特定された¹⁷⁾。これらの知見を基盤として、既存弱毒株の弱毒性に関与する遺伝子変異、さらに L^3 遺伝子保有ピーマン品種で増殖できる遺伝子変異を組み合わせた弱毒候補株の作出が試みられた¹⁸⁾。この株は、温室内ポット試験では既存弱毒株と比べさらに病徴が弱く、干渉効果も認められている¹⁹⁾。今後、有望な弱毒株を作出する新手法として注目される技術開発である。

7 土壤伝染を抑える技術

7.1 ピートモス成型ポットを利用した土壤伝染抑制

PMMoV によるモザイク病は移植直後に発病した場合、その後の生育抑制が大きく、20~50%の減収となる。

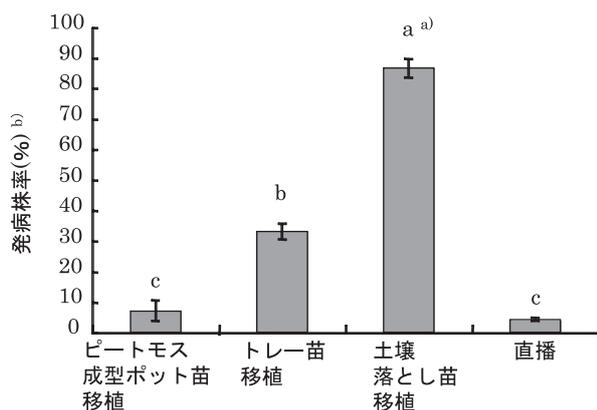


図2 PMMoV 汚染土へのピーマン苗の異なる移植法とその後のモザイク病発病株率

- a) 異なる文字は, Turkey 検定により, 1%水準で有意差があることを表す
b) 発病株率は3反復の平均



図3 異なる移植法による PMMoV 汚染土へのピーマン苗移植後の生育状況
(左: トレー苗移植, 中央: ピートモス成型ポット苗移植, 右: 土壌落とし苗移植)

寒天培地を用いたモデル試験により, PMMoV の土壤伝染は移植時に生じる根の傷口からの感染が主原因と考えられたため²⁰⁾, 数種の異なる移植法によるウイルス発病株率の違いを調査した。ポット苗から土をふるい落とし根が剥き出しの状態での汚染土に移植(土壌落とし苗移植)した場合, 約80%の発病株率を示した。しかし, ピートモス成型ポットで育苗した苗をそのポットごと汚染土に移植(ピートモス成型ポット苗移植)した場合は0~14%の発病株率に抑えられ, 十分な発病抑制効果が確認された(図2, 3)²¹⁾。このことは, 移植作業時に生じた根面上の微少な傷からウイルスが侵入・感染するという理論を傍証しており, 圃場現場における実際の定植作業においても苗の根が直接汚染土に触れないよう根圏を保護することが重要であることを実証している。今後, 実用化にあたってコストや利便性を考慮して, ピートモス成型ポット以外の保護資材の検索・利用も検討すべきであろう。

7.2 熱水(蒸気)土壤消毒によるウイルスの不活性化

熱水または蒸気土壤消毒法は, 臭化メチル剤利用土壤消毒法に代わる技術として様々な病害虫に対して防除効果が確認されている。そこで, 熱水土壤消毒法についてトバモウイルス病に対する防除効果を検討した。各種トバモウイルスの罹病植物をガーゼに包み異なる深さに埋め込み, 透明ポリフィルムで覆った土壤表面に95°Cの熱水(200 liter/m²)を散水した。処理5日後に各深さに埋め込んだ試料を取り出し, 生物検定法によりウイルス活性を測定した。その結果, 土壤温度が90°C以上に上昇した深さ5~10cmでは何れの試料中のウイルスも不活性化したが, 15cm以下の深さに埋めたウイルスはその活性は低下したものの依然として感染性を保持していた。これらのことから, 90°C以上の土壤温度が確保できる比較的表層であれば, 本法はウイルスを確実に不活性化し, トバモウイルス病の防除に有効であると考えられた²²⁾。

一方, ウイルス汚染土の上に滅菌土を10cm以上重層して移植した場合, 土壤伝染は起こらなかった²²⁾。前述のピートモス成型ポット移植の事例とも併せ, 土壤伝染は移植時の傷によって起こり, その後の根の自然伸張期時には, ウイルス感染は起こらないのであろうと考えられる²⁰⁾。このことから, 比較的表層のウイルスを確実に不活性化できれば, 移植時の土壤伝染を抑えられる可能性がある。最近, 圃場レベルにおける土壤の蒸気消毒によりトバモウイルスの土壤伝染が抑制された例が報告された²³⁾。今後, 土壤内病原菌・ウイルス・線虫害等との同時防除を目標として熱水または蒸気消毒技術の利用を積極的に検討していく必要がある。

7.3 土壌への有機質資材の添加によるウイルス不活性化の促進

一般にトバモウイルスは安定性が高く、PMMoVについては土壌中の根で6ヶ月以上感染性を保持すると報告されている^{4,5)}。また、PMMoV罹病残渣を土壌に混和することで、土壌伝染が容易に起こる^{6,21,24)}。このことから、圃場では土壌中の植物残渣に感染性を持つウイルスが長期間残存し、伝染源になっていると推察される。そこで、土壌中植物残渣に含まれるPMMoVの不活性化を積極的に促進するため、種々の有機質資材を土壌に添加してPMMoVの不活性化程度を比較した。その結果、各種資材の中ではセルロース添加によってPMMoVの不活性化が最も促進されることが確認された²⁵⁾。また、培養開始時に抗生物質を添加したところ、セルロースを添加したことによるPMMoV不活性化効果が消失した。よって、セルロース添加によるPMMoVの不活性化促進には、土壌中に生息するセルロースを分解する微生物が重要な役割を果たしていると推察される。

8 管理作業によるウイルスの接触・感染阻止技術

トバモウイルスは接触伝染するため、わずかな発病でもその後の管理作業で容易に圃場全体に蔓延する。現在までに、多くの抗ウイルス剤の探索が行われてきた²⁶⁾。そのなかで、シイタケ菌糸体抽出物であるレンテミン(野田食菌工業)またはスキムミルクの葉面散布が、優れたウイルス感染阻止効果を発揮した^{4,27,28)}。本剤による感染阻止の作用機構は、薬剤が糊のような働きをしてウイルス粒子が凝集することにより、その後の感染が阻止されると推察された²⁷⁾。現在、レンテミンは抗ウイルス剤として唯一農薬登録されており、作業時の手指・器具消毒および移植・摘芽・誘引などの作業時直前散布により、キュウリ、トマト、ピーマン、タバコおよびシンビジウムに対するトバモウイルスの接触・感染阻止剤として販売されている。

群馬県ではトマトの管理作業時に使用するハサミで接触伝染するトマトかいよう病が問題となっている。本病の伝染を防止するひとつの方法として、収穫用採果ハサミで一旦握った後解放する際にハサミの刃の部分に液体を噴霧する仕組みを持つ「消毒液自動噴霧ハサミ」が開発・利用されるようになった²⁹⁾。そのハサミは、現在市販されている。そこで私たちは、その「消毒液自動噴霧ハサミ」をピーマンの剪定作業等に用いることによりPMMoVの接触伝染阻止効果を検討した。本ハサミの刃先をPMMoV罹病葉粗汁液で汚染させ、レンテミン溶液やスキムミルク溶液により刃先を自動噴霧洗浄後、ピーマン葉に切り込み接種した。無処理区では20株中14～20株が感染したのに対して、消毒液処理区では20株中0～2株に抑えられ、高い接触伝染阻止効果が確認された³⁰⁾。今後は、ウイルス病用処理液と殺菌剤との混合

液を用いることにより、管理作業用「消毒液自動噴霧ハサミ」を使用したウイルス病と接触伝染性細菌病の同時防除が可能と考えられる。

9 まとめ

オゾン層を破壊するとされている臭化メチル剤が、2005年以降土壌くん蒸剤として使用できなくなるがPMMoV抵抗性ピーマン品種に対する打破系統ウイルスが全国的に広く発生している現状では、本技術に代わる防除法を開発することは容易ではない。よって、現有の抵抗性品種の利用を軸としながら、本稿で述べた種々の防除技術を組み合わせ、ピーマンモザイク病の発病を抑える総合防除技術のシステム化が肝要と思われる。

摘要

我が国で発生する土壌伝染性ウイルス病、特にトウガラシマイルドモットルウイルスによるトウガラシ・ピーマンモザイク病について概説した。本ウイルス病の防除のために利用されてきた臭化メチル剤が2005年に撤廃されたことにより、代替技術が求められている。ピーマン栽培圃場の本ウイルスによる汚染程度を正確に把握する技術、本ウイルス病の抵抗性品種、その品種が持つ抵抗力を持続させる耕種的、あるいは生物的防除法を開発・実用化することにより、本ウイルス病の環境保全型総合防除システムを確立しピーマンの安定生産ラインを確保することが可能となる。

引用文献

- 1) 尾崎武司・荒井 滋・高橋 実. 1972. トウガラシから分離されたタバコモザイクウイルスの1系統について. 日植病報. 38: 209
- 2) 後藤英世・花田 薫・板井 隆・佐藤俊次・藤澤一朗. 1993. 大分県のピーマンから検出されたウイルス. 九病虫研会報. 39: 48-51
- 3) 後藤忠則・土崎常男・飯塚典男. 1981. 北海道のトウガラシから分離されたタバコモザイクウイルス. 日植病報. 47: 409-410
- 4) 長井雄治. 1981. タバコ・モザイク・ウイルスに起因するトマトおよびピーマンのモザイク病の防除に関する研究. 千葉農試特報. 9: 1-109
- 5) 長井雄治・竹内妙子・栃原比呂志. 1981. タバコ・モザイク・ウイルス-トウガラシ系によるピーマンのモザイク病. 日植病報. 47: 541-546
- 6) 竹内繁治. 2000. Capsicum属植物におけるトバモウイルス病の発生生態とその防除に関する研究. 高知農技セ特報. 3: 1-53
- 7) 津田新哉・山中雅典・Atiri, G.I.・千葉恒夫・藤澤一朗. 1995. 茨城県神栖町ピーマン栽培地帯のウイルス病発生調査. 関東病虫研報. 42: 79-81

- 8) Takeuchi, S., Hikichi, Y., Kawada, Y., Okuno, T. 2000. Detection of tobamoviruses from soils by non-precoated indirect ELISA. *J. Gen. Plant Pathol.* 66: 153-158
- 9) Ikegashira, Y., Ohki, T., Ichiki, U.T., Higashi, K., Hagiwara, T., Omura, T., Honda, Y., Tsuda, S. 2004. An immunological system for the detection of *pepper mild mottle virus* in soil from green pepper fields. *Plant Dis.* 88: 650-656
- 10) Rast, A.T.B. 1988. Pepper tobamoviruses and pathotypes used in resistance breeding. *Capsicum Newsletter.* 7: 20-23
- 11) Tsuda, S., Kirita, M., Watanabe, Y. 1998. Characterization of a pepper mild mottle tobamovirus strain capable of overcoming the L^3 gene-mediated resistance, distinct from the resistance-breaking Italian isolate. *Mol. Plant-Microbe Interact.* 11: 327-331
- 12) 後藤英世・板井 隆・佐藤俊次. 1997. タバコモザイクウイルス-トウガラシ系およびキュウリモザイクウイルスによるピーマンモザイク病防除のための弱毒ウイルスの作出とその効果. *大分農技セ研報.* 27: 79-122
- 13) 後藤忠則・飯塚典男・小餅昭二. 1984. タバコモザイクウイルス・トウガラシ系統の弱毒ウイルス作出とその利用. *日植病報.* 50: 221-228
- 14) 長井雄治. 1987. タバコモザイクウイルス-トウガラシ系弱毒ウイルス, C-1421 の作出. *日植病報.* 53: 168-174
- 15) 米山伸吾・塚本ひで子. 1986. TMV-P によるピーマンウイルス病の防除 (2) 弱毒ウイルスによる防除効果 (その2). *日植病報.* 52: 562
- 16) 三浦猛夫・日高 透・川越 仁. 1988. 弱毒ウイルス利用によるピーマンモザイク病 (TMV-P) 防除. *九病虫研報.* 34: 25-29
- 17) Hagiwara, K., Ichiki, T.U., Ogawa, Y., Omura, T., Tsuda, S. 2002. A single amino acid substitution in 126-kDa protein of *Pepper mild mottle virus* associates with symptom attenuation in pepper; the complete nucleotide sequence of an attenuated strain, C-1421. *Arch.Virol.* 147: 833-840
- 18) 一木珠樹・萩原恭二・内川敬介・津田新哉・大村敏博. 2003. トウガラシマイルドモットルウイルスの弱毒化に関与する変異とそれらの組み合わせによる相乗効果. 第51回日本ウイルス学術集会・総会. アブストラクト. IP235, p285
- 19) 長岡 (中園) 栄子・一木 (植原) 珠樹・大村敏博. 2004. 人工弱毒トウガラシマイルドモットルウイルス TPa18ch の干渉効果. *日植病報.* 70: 238
- 20) 大木健広・津田新哉・本田要八郎. 2003. トウガラシマイルドモットルウイルスの土壌伝染要因の解析. *日植病報.* 69: 334
- 21) 大木健広・津田新哉・本田要八郎. 2003. ピートモス成型ポット移植によるトウガラシマイルドモットルウイルス (PMMoV) の土壌伝染抑制. *関東病虫研報.* 50: 29-32
- 22) Honda, Y., Ohki, T., Mikoshiba, Y., Kobayashi, Y.O. 2004. Trial for inactivation of soil-borne tobamoviruses by soil sterilization with hot water in plastic-film house. *Proceedings of the 15th International Plant Protection Congress, in Beijing.* p 695
- 23) 竹内繁治・川田洋一. *Pepper mild mottle virus* の土壌伝染に対する蒸気消毒の防除効果. 2004. *日植病報.* 70: 238
- 24) Pares, R.D., Gunn, L.V. 1989. The role of non-vectored soil transmission as a primary source of infection by pepper mild mottle and cucumber mosaic viruses in glasshouse-grown capsicum in Australia. *J. Phytopathol.* 126: 353-360
- 25) 岡 紀邦・大木健広・本田要八郎・松本英樹・西尾 隆. 2004. 土壌へのセルロース添加によるトウガラシマイルドモットルウイルスの不活性化促進. *土肥誌.* 75: 673-677
- 26) 下村 徹. 1984. 抗植物ウイルス剤の実用性と研究の現状. *植物防疫.* 38: 316-320
- 27) 日比忠明・本田要八郎・小室康雄. 1981. 数種抗ウイルス性物質の探索. *日植病報.* 44: 394
- 28) 井上 満・青木宏史. 1983. ピーマンの TMV 症状とスキムミルク散布によるその防除. *農業および園芸.* 58: 1158-1162
- 29) 漆原寿彦・原 昌生・小林修武・酒井 宏・白石俊昌. 2002. 消毒液自動噴霧ハサミによるトマトかいよう病の防除. *関東病虫研報.* 49: 39-41
- 30) 本田要八郎・大木健広・久下一彦・細川 健. 2005. 消毒液自動噴霧ハサミを利用したピーマンモザイク病の接触伝染防止. *関東病虫研報.* 51: 176

臭化メチルを巡る国際動向と代替技術

西 和 文

独立行政法人 農業・生物系特定産業技術研究機構野菜茶業研究所

Present Situation of Methyl Bromide and Its Alternatives

Kazufumi NISHI

National Agriculture and Bio-oriented Research Organization

National Institute of Vegetable and Tea Science

キーワード：臭化メチル，不可欠用途，オゾン層，代替技術，モントリオール議定書

1 臭化メチルを巡る動向

臭化メチルは，土壌くん蒸剤として最も広く利用されてきた薬剤である。有効範囲が広い，処理が簡便，低温時にも有効，安価，除草効果を併せ持つなどといった特質が，広く受け入れられてきた背景にある。しかし，地球を取り巻くオゾン層の破壊に関連する物質であることが指摘されるようになって，臭化メチルに対する風当たりが強くなった。1992年，「オゾン層を破壊する物質に関するモントリオール議定書」第4回締約国会合は，臭化メチルをオゾン層破壊に関与する物質と位置づけ，将来の全廃を見据えて，当面消費量を1991年のレベルで凍結することとなった。1995年の第7回締約国会合は，消費の段階的削減を図ることで合意し，議定書の第5条に示された開発途上国を中心とした各国（5条国）では2002年以降は消費量を1995-1998年の平均消費量以下に抑えること，その他の諸国（非5条国：アメリカ，EU諸国，イスラエル，オーストラリア，ニュージーランド，日本など）は2010年に全廃することで合意した。削減スケジュールは，1997年に開催された第9回締約国会合で見直され，非5条国は2005年，5条国は2015年を目標に，「不可欠用途」など国際的合意に基づく例外的措置を除いては，その使用を規制することとなった。この国際的合意に基づき非5条国は臭化メチル消費量（本報では，消費量＝生産量＋輸入量－輸出量と定義する）の段階的縮小に努めてきたが，2005年からは，国際的合意に基づく例外的措置以外の用途向けの消費がすべて禁止される新しい段階に入っている。

図1に示したのは，1991年以降における世界の臭化メチル消費量の推移である。非5条国における消費量は，規制がスタートした1995年以降，順調に削減されてきており，2003年の消費量は，基準年である1991年

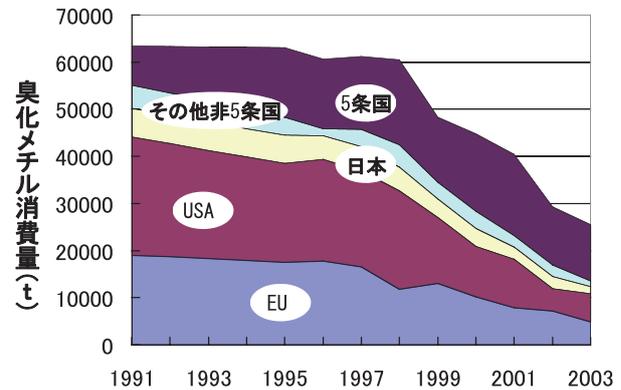


図1 臭化メチル消費量の推移
(May 2005 TEAP Report をもとに作成)

の消費量（56,043 t）の26%まで低下した。一方，5条国における消費量も，規制の導入とともに徐々に削減される傾向にあり，2003年の消費量は，基準年である1995-1998年の平均消費量（15,765 t）の75%まで低下した。臭化メチルの生産は，2003年現在，非5条国であるアメリカ，フランス，イスラエル，日本および5条国の中国とルーマニアで続けられている（ただし検疫用に限れば，これらの国以外でも生産されている）。2003年の生産総量は，非5条国が24,580 t（輸出用も含む），5条国が960 tである。

我が国における臭化メチルの生産量は，1994年をピークに順次下降してきている（図2）。消費の段階的削減が始まった1995年からは，削減スケジュールに従って順調に削減が進み，2005年からは，国際的に合意された例外的措置である「不可欠用途」と検疫用に限った消費になっている。すでに「臭化メチル」の農薬登録は失効しており，代わって「不可欠用途専用臭化メチル」が登録されている。不可欠用途専用臭化メチル剤は，従来

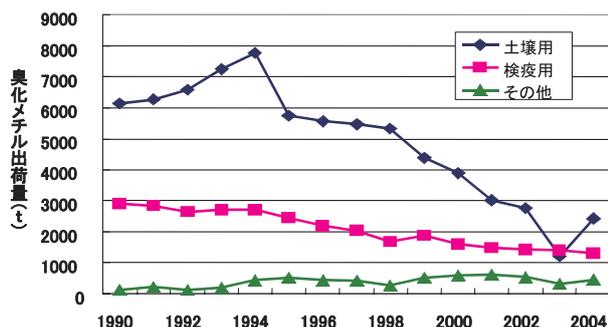


図2 我が国における臭化メチル出荷量の推移
(農林水産省植物防疫課の資料をもとに作成)

の臭化メチル剤と区別が付くように、ラベルの色が藤色に統一されている。我が国に認められた「不可欠用途」向け消費量は、2005年使用分が748 t、2006年使用分が741.4 t、2007年使用分が636.172 tで、これは削減の基準年とされた1991年の消費量の12.2%、12.1%および10.4%に相当する。

2 不可欠用途申請の仕組みと審査動向

臭化メチルの不可欠用途は、次のような手順により、決められる。まず、各生産者（農家、農協、農業法人等）は「臭化メチル不可欠用途調査申請書」を各都道府県に提出し、都道府県はそれを取りまとめて地方農政局を経由（北海道は直接）して農林水産省に送付する。農林水産省は全体を集約し英訳して、外務省を経て国連環

境計画（UNEP）オゾン事務局に申請する。オゾン事務局は、「技術経済評価パネル（TEAP）」とその下部委員会である「臭化メチル技術選択肢委員会（MBTOC）」に不可欠用途に該当するか否かの審議を求める。MBTOCでは各国からの申請が、①臭化メチルが利用できないことにより、その市場に著しい混乱が生じるため、臭化メチルの使用が不可欠である、②代替方法あるいは代替品がない、技術的にも経済的にも実行可能な技術等がない、③臭化メチルの不可欠な使用と放出量を最小限とするあらゆる技術的・経済的措置がとられている、④貯蔵または回収された臭化メチルの質と量が不十分である、⑤代替方法および代替品を評価し、商業化する適切な努力が払われており、代替法の開発と普及のための調査研究が行われているという、5つの条件のすべてに該当するか否かを判断し、該当すると認められたものを不可欠用途として勧告する。申請内容によっては、追加資料を求めた上で判断するとされる場合もある。MBTOCでの審議結果はTEAPで確認後、オゾン事務局のWebページに掲載される。TEAPの勧告内容は、モントリオール議定書の締約国が集まる公開作業部会（OEWG）で議論され、最終的には締約国会合（MOP）で議決されて、最終決定となる。TEAPの勧告内容に不満がある場合は、再審査を求めることもできる。

不可欠用途の申請は、2003年から始まり、3年目に入っている。これまでに20カ国が不可欠用途申請を行っているが、その申請数量と承認数量は、表1に示す通りである。各国とも申請量を基準値（臭化メチル規制の基準

表1 臭化メチル不可欠用途の申請数量と承認数量

国名	基準値	2005年使用分		2006年使用分		2007年使用分	
		申請数量	承認数量	申請数量	承認数量	申請数量 [†]	承認数量 [†]
オーストラリア	705	206.95	146.9	81.25	75.37	41.9	40.88
ベルギー	—	103.895	59.824	42.02	18.57	—	—
カナダ	246	61.992	61.84	53.897	53.897	39.988	39.988
フランス	4,195	650.135	474.635	478.885	429.035	—	—
ドイツ	—	45.25	45.25	19.45	19.45	—	—
ギリシャ	970	391.28	227.28	120.236	119.681	—	—
アイルランド	—	—	—	0.888	0.888	—	—
イスラエル	3,580	2,217.156	1,075.306	1,081.506	880.295	—	—
イタリア	8,667	3,005.5	2,298.225	2,560.5	1,811.225	—	—
日本	6,107	748	748	741.4	741.4	651.7	636.172
ラトビア	—	—	—	2.502	2.502	—	—
マルタ	—	—	—	1.103	1.103	—	—
オランダ	—	1.32	0.12	0.12	0.12	—	—
ニュージーランド	135	53.085	50	53.085	40.5	—	—
ポーランド	200	44.1	44.1	46.16	45.72	—	—
ポルトガル	—	200	50	8.75	8.75	—	—
スペイン	4,235	1,159	1,059	1,055.89	983.355	—	—
スイス	—	8.7	8.7	7	7	—	—
イギリス	629	153.881	134.33	106.966	96.356	—	—
アメリカ合計	25,529	10,753.997	9,526.313	9,589.9	7,658.256	7,417.999	7,465.89
合計		19,804.241	16,009.523	16,051.508	12,993.473	8,151.587	8,182.93

単位：t。申請数量、承認数量とも第17回締約国会合（2005年12月）終了時の数量。

†：EU諸国など来年申請予定の国があり、最終的な数量はこの数値と同じか上回る見込み。

年である1991年の消費量)より減らしているとはいうものの、それぞれの国における臭化メチル使用実績や削減意欲を反映して、申請数量に大きな違いが出ている。アメリカは削減に消極的で、申請数量、承認数量ともに、全体の50%を超えている。2005年使用量は、承認値が基準値の37.3%となったが、実際の消費量の上限は段階的削減の最終年である2004年の消費量である基準値の30%にとどめることとなっている。一方、EC委員会は臭化メチルの削減に積極的で、2005年使用分については承認数量からさらに削減した数量を域内各国の消費量とし(表2)、2005年の申請にあたっては、域内各国の申請希望量を独自の審査で絞り込んだ上で、オゾン事務局に申請してきている。不可欠用途そのものについても、早期に全廃する方向での意見を提出している。我が国は、臭化メチル以外の技術が適用困難と判断される病害虫に申請を絞った結果、申請数量は基準値の10.7-12.2%となっている(表3)。

各国の申請対象は多岐にわたるが、大別して土壌用と倉庫などのくん蒸処理などのポストハーベスト等に分けられる。不可欠用途申請は、土壌用とポストハーベスト等の双方で申請している国が多いが、マルタとポルトガルは土壌用のみ、ドイツ、アイルランド、ラトビアおよびオランダは、ポストハーベスト等のみの申請となっている。土壌用では、イチゴ、トマト、ナス、メロン、キュウリなどで、各種土壌病害、雑草防除用に、申請されている。土壌伝染性ウイルス病対策に絞って申請しているのは、日本だけである。ショウガの申請は、かつてはアメリカも行っていたが、現在は日本だけである。ポスト

ハーベスト等では、製粉工場等のくん蒸、乾果等のくん蒸、建造物のくん蒸などで申請されている。クリは、日本のほかフランスが申請している。

各国の申請量に対する承認量の割合を、双方の数値が確定している2005年使用分および2006年使用分で見ると、2005年使用分が9.1-100%、平均80.8%、2006年使用分が44.2-100%、平均90.8%となっている。申請量がそのまま承認されたのは、ドイツ、日本、スイスの3カ国と、2006年使用分から新たに申請に加わったアイルランド、ラトビアおよびマルタの3カ国に過ぎない。ただし、ドイツはEC委員会による再査定の結果、締約国会合の承認量の一部を返上させられている(表2)。また、2007年使用分では、日本は申請量の一部を減量のうえ承認されている。

審査の過程では、技術的に代わりうるものがないこと、あるいは代わりうるものがあったとしても導入した場合の経済的なロスが大きいことを示さなければならない。各国からの申請に対しては、MBTOCから様々な問題点や疑問点が提起される。不可欠用途として認められるためには、提起された問題点や疑問点に対し、納得できるような論理的説明とデータの裏付けを提示する必要がある。日本の申請では、ピーマンモザイク病の病原ウイルスである *Pepper mild mottle virus* (PMMoV) が土壌伝染することの証明、ショウガの根茎腐敗病での代替技術と目される各種技術の防除効果が低いことの証明、ショウガの根茎腐敗病で防除効果が認められる技術でもマンガン過剰症の発生など他の要因により導入が困難なことの証明、ショウガ根茎腐敗病では代替技術に切り替えた場合に蒙る経済的ロスが大きいことの証明、ピーマンモザイク病やメロンえそ斑点病の抵抗性品種が利用できないことの証明など、データを示した上で説得に当たってきた。地域により処理薬量が異なる点なども、気象や土壌条件の違いなどを挙げて、論理的説明に努めてきた。日本以外の国でも、クロルピクリンが登録されていなかったり、D-Dの使用量や使用方法に法律的な規制がかかっていたり、除草剤のきかない特殊な雑草が広がっていたりという具合に、それぞれの事情をあげて、臭化メチルが不可欠であるとの説明を行っている。

こうした経緯を経て承認された不可欠用途向けの臭化

表2 EC委員会による承認量の再査定

国名	MOP承認量	EC決定量
ベルギー	59.824	49.126
フランス	474.635	194.750
ドイツ	45.25	19.60
ギリシャ	227.28	143.081
イタリア	2,298.225	1,453.780
オランダ	0.12	0.12
ポーランド	44.1	38.1
ポルトガル	50	35.0
スペイン	1,159	775.700
イギリス	153.881	68.076

表3 日本からの不可欠用途申請と審査結果

作物名	対象病害虫	2005年使用分		2006年使用分		2007年使用分	
		申請	承認	申請	承認	申請	承認
クリ	クリシギゾウムシ	7.1	7.1	6.8	6.8	6.5	6.5
キュウリ	緑斑モザイク病	88.3	88.3	88.8	88.8	72.4	72.4
ショウガ	根茎腐敗病	142.3	142.3	142.3	142.3	127.0	124.172
メロン	モザイク病	194.1	194.1	203.9	203.9	182.2	182.2
	えそ斑点病						
スイカ	緑斑モザイク病	129.0	129.0	98.9	98.9	94.2	94.2
トウガラシ類	モザイク病	187.2	187.2	200.7	200.7	169.4	156.7
合計		748.0	748.0	741.4	741.4	651.7	636.172

単位: t .

メチルは、その使用にあたって、厳しい制限が設けられている。締約国会合で不可欠用途承認量が確定すると、都道府県は「臭化メチル不可欠用途調査申請書」を提出した使用者（農家、農協、農業法人等）に対し、「審査結果通知書」を送付する。これを受け取った使用者は、購入希望月や数量を記した「購入予定票」を都道府県に提出する。都道府県は購入予定票を取りまとめて、地方農政局を経由して、不可欠用途臭化メチル管理事務局（メチルブロマイド工業会内に設置）に報告する。不可欠用途臭化メチル管理事務局は、使用者とも連絡をとりながら、不可欠用途専用臭化メチルの需給調整を行って、使用者が円滑に購入できるようにする。使用者は、定められた製造業者または農薬販売業者から不可欠用途専用臭化メチルを購入するが、その際「審査結果通知書」を提示する必要がある。購入した使用者には、不可欠用途専用臭化メチルの使用量、使用場所、使用期日、適用作物名、対象病害虫、使用方法などを記録しておくことが求められる。この記録は、後日取りまとめられてオゾン事務局に提出する報告書の基礎資料となる。不可欠用途専用臭化メチルの目的外使用や転売は、一切禁止されている。

UNEPでは、オゾン層破壊物質の生産規制を強化している。日本政府も、1985年に採択された「オゾン層保護のためのウィーン条約」、1987年に採択された「オゾン層を破壊するモントリオール議定書」を批准し、その後の数次にわたる改正内容を受け入れて、オゾン層保護のための活動を強化してきた。UNEPでは、オゾン層破壊物質ごとに規制内容を定め（表4）、規制が進んで不可欠用途のみの生産となった物質についても、最終的な全廃に向けた努力を続けている。臭化メチルについては、不可欠用途を申請する国に対して、臭化メチル不可欠用途を全廃するための「臭化メチル削減戦略」を2006年2月1日までに提出するよう求めている。この中では、①臭化メチル不可欠用途の消費を削減する努力、②技術的・経済的に実用可能な代替方法の開発、登録、普及促進の努力、③不可欠用途臭化メチルの申請数量を将来減少あるいは全廃するために、新しく開発された代替方法の普及情報あるいは将来使用される可能性のある代替方法に関する情報、④臭化メチルの放出を最小限としている

方法、⑤技術的・経済的に実用可能な代替方法が利用できるようになったとき速やかに臭化メチルの使用を全廃するために進めている戦略、などの内容を盛り込むことが求められている。UNEPのこうした努力の結果、大気中におけるオゾン層破壊物質の濃度は、1998年をピークに減少に転じている。大気中における臭化メチルの濃度も、1950年代半ばより急上昇したが、1998年からは減少傾向を示している。

現在、MBTOCやMOPでは臭化メチル不可欠用途の審査にあたっての標準的な基準の論議が進んでいる。この内容は、①臭化メチルの処理量は寒冷地粘土質土壌で最大45g/m²、砂質土壌で35g/m²、構造物の処理では最大20g/m²、収穫物処理ではヨーロッパ植物防疫機構（EPPO）の基準とする、②難透過性あるいは低透過性フィルムを使用する、③土壌病原菌対策用には、臭化メチルとクロルピクリンの混合比50:50のものを標準とする、④Nutgrassなど難防除雑草対策用には、臭化メチルとクロルピクリンの混合比67:33のものを標準とする、⑤圃場の全面処理でなく、畦処理を原則とする、といったことからなっている。この基準が合意されれば、基準に合致しない申請には、それなりのペナルティーが課される。例えば全面処理の申請に対しては承認数量は33%カットされ、難透過性あるいは低透過性フィルムを使用していない場合には、25%のカットということになる。現在この基準はまだ合意に達していないが、今後はこの基準に準拠した形で審査が進められるのは間違いないと考えられる。基準が合意された場合でも、各国それぞれの特殊事情については配慮するという事になっているので、この基準に合致していないからといって、直ちに不承認となったり承認数量が減らされたりするわけではない。しかしその場合には、基準通りの処理では不都合であることを示す必要がある。2007年使用分で、日本がピーマンやショウガで行った不可欠用途申請に対し、若干の減量勧告が行われている。これらは、「難透過性あるいは低透過性フィルムを全面導入して臭化メチル処理量の削減を図りなさい」というMBTOCおよびMOPからのサインと受け止める必要があると考えられる。

日本は、締約国会合公開作業部会の中で、土壌伝染性

表4 UNEPによるオゾン層破壊物質生産規制の概要

規制対象物質	ODP	規 制 内 容
ハイドロクロロフルオロカーボン（HCFC）	0.005～0.52	1996年から段階的に削減し2020年全廃。冷凍空調の補充用冷媒は2029年まで一部生産承認。
臭化メチル	0.6	1995年から段階的に削減し2005年（先進国）または2015年（開発途上国）以降全廃。検疫用は規制対象外。不可欠用途を認める。
クロロフルオロカーボン（CFC）	0.6～1.0	1996年以降全廃。不可欠用途を認める。
ハロン	3.0～10.0	1994年以降全廃。
四塩化炭素	1.1	1996年以降全廃。不可欠用途を認める。
1,1,1 トリクロロエタン	0.1	1996年以降全廃。不可欠用途を認める。
ハイドロプロモフルオロカーボン（HBFC）	0.1～1.4	1996年以降全廃。不可欠用途を認める。
プロモクロロメタン	0.12	2002以降全廃。

ODP：大気中に放出された当該物質がオゾン層に与える影響を、CF-11を1.0として評価した相対値。

ウイルス病に対して臭化メチルとクロルピクリンの混合剤の登録はない、畦処理では全面処理に比べて防除効果が劣ることがある、特に土壌伝染性ウイルス病では防除効果の確保が懸念される、難透過性あるいは低透過性フィルムは必要量が確保されない現状である上、価格や取り扱いに難があるなどと主張している。クリシギゾウムシのくん蒸処理では、処理基準はEPPOの基準と合致するわけではないが、クリの薬害回避とクリシギゾウムシの完全防除を図るためには、この基準が適当であると主張してきており、この点は審査の中で問題となっていない。審査基準の設定という流れの中で、難透過性あるいは低透過性フィルムの導入や畦処理を行った場合の防除効果についての検討は不足しており、現地での実証データの収集、難透過性あるいは低透過性フィルムの供給体制の確保、農薬登録など制度面からの検討など、対応を急ぐ必要のある課題も出てきている。

3 臭化メチル代替技術の国際動向

臭化メチルに代わって何を採用するかということは、農家や農業関係者にとって、大きな関心が寄せられているところである。オゾン事務局には、各国から代替技術に関する情報が寄せられていて、これらは「Methyl Bromide Alternatives」として時々のTEAP Reportに掲載され、オゾン事務局のWebsite (<http://www.unep.org/ozone/index.asp>) から閲覧することができる。この中で

臭化メチル代替剤として有力なのは、クロルピクリン、D-Dとクロルピクリンの混合剤、カーバムナトリウム塩やダゾメットなどのメチルイソチオシアネートが生成されて活性を示す剤、ホスチアゼート、アジ化ナトリウムなどとしている。表5に、代替剤に関する情報を要約して取りまとめた。

薬剤以外の技術としては、熱処理、太陽熱処理、少量土壌を用いた栽培、水耕栽培、接ぎ木、抵抗性品種の利用などがあげられている。Biofumigationは単独での効果よりも、投薬量の削減につながるとし、生物防除の採用も進んでいるとしている。表6に、農業に依存しない代替技術の情報を取りまとめた。

4 日本における代替技術開発と普及の現状

日本における代替技術は、抵抗性品種・台木の利用と、土壌消毒が中心となり、作物の種類によっては、たとえばイチゴで高設栽培が普及するなど、土耕栽培から離れて少量の土壌しか使用しない栽培法も普及している。技術の内容は、大筋では世界各地の動向と異なるわけではないが、日本オリジナルの技術として注目すべき技術もある。

その第1は、熱を利用した土壌の物理的消毒法である。日本で開発・実用化された物理的消毒法で代表的なものには、太陽熱消毒法とその改良型があり、最近では熱水土壌消毒の開発・実用化が、注目されている。

表5 オゾン事務局に寄せられた臭化メチル代替剤の情報

代替剤	技術内容
クロルピクリン	糸状菌に対する顕著な効果から臭化メチル代替薬として有力だが、使用が許可されていない国もある。中国では2002年に封入タイプの剤が登録され、普及始まる。フロー剤はイタリア、アメリカ、日本で登録。日本はクロルピクリンとホスチアゼートの連続処理体系を開発。両剤を用いることで効果のおよぶ範囲が拡大。
ホスチアゼート	土壌処理剤として線虫防除に有効。日本では、クロルピクリンとの組み合わせ処理で使用されることも多い。
カズサホスシアン	線虫や土壌害虫に有効。日本ではクロルピクリンとの組み合わせ処理で使用されることも多い。オーストラリアでイチゴやニンジンの糸状菌病や雑草に対する代替技術として評価されている。線虫に対する効果は未検討。
Dazitol †	アメリカで登録されているが試験例は少ない。トマトやシバの土壌病害虫に有効。ヨルダンではキュウリやメロンでも有効との試験例。臭化メチルに代わりうるかの評価のためには、より多くの試験例が必要。
D-D + クロルピクリン	臭化メチル代替薬として認識されつつある。オーストラリアやスペインではイチゴ産業で利用。フロー剤がアメリカで登録される。メロン、カンキツ、ブドウ、イチゴの土壌病害、線虫、雑草に有効。
カーバム・ダゾメット (MITC とその関連剤)	土壌病原菌と雑草の双方に効果があることから臭化メチル代替薬として有力。ただし、効果の安定性確保のための処理方法の改善、他剤との組み合わせ処理技術の開発が進む。チリ、南アフリカ、フランス、オランダ、ベルギー、スペイン、イタリアなどで採用されている。
ヨウ化メチル	臭化メチルと同様の効果を示す。オゾン層破壊に及ぼす影響は、非常に低い。アメリカではまもなく登録の予定。
ジメチルジスルフィド	フランスやイタリアで検討が進む。糸状菌や線虫に効果があるが、臭化メチル代替剤としての評価にはさらなる検討が必要。
プロピレンオキサイド	病原菌や雑草に効果。さらなる検討が必要。
アジ化ナトリウム	アメリカで検討が進む。糸状菌、線虫、雑草に有効。Nutsedge に対しては効果不十分。ネグサレセンチュウに対する効果も、十分でない。
スルフルプロライド	土壌病原菌や線虫に対する効果を確認。さらなる検討が必要。

† : トウガラシから抽出したキャプサイシンとカラシナ種子から抽出したアリルイソチオシアネートが主成分

表6 オゾン事務局に寄せられた農薬に依存しない代替技術情報

代替技術	技術内容
熱処理	臭化メチル代替技術として蒸気消毒が広がりがつつあることを指摘。オランダの花苺栽培では約50%が利用。熱水土壤消毒が日本で開発され、普及しつつある。オランダとイスラエルで、800°C以上の熱風を用いて土壤消毒を行う機械が開発された。この機械は250mの長さの畦を1時間で処理する能力を持つが、商業利用のためにはさらなる検討が必要。
太陽熱処理	気候と栽培条件に恵まれた地域で、その利用が拡大しつつある。コスタリカではメロン栽培地の20%で利用しているが、カーバムナトリウム塩と併用すると、その効果はより安定する。近年アメリカでは、育苗用土の消毒に太陽熱を利用するシステムを開発。
Biofumigation	単独では十分な効果は出ないが、薬剤と併用することにより、必要な薬量の削減が可能。本法では、植物の分解過程で生ずる揮発性物質あるいは根から直接分泌される揮発性物質を利用する。土壤病害、害虫、線虫防除に効果。
生物防除	イスラエルでは <i>Trichoderma harzianum</i> を用いたカーネーションとトマトの <i>Fusarium</i> および <i>Rhizoctonia</i> による病害の実用的な防除に成功。ケニア、チリ、コロンビアなどでも、蒸気消毒後の土壤に <i>Trichoderma</i> 菌を添加する技術を採用。
少量土壤・水耕栽培	少量土壤を用いた栽培や水耕栽培は、花きや種苗、野菜生産など、集約的な施設栽培で、増加している。初期投資が必要であるが、生産性の向上、収量増などを考えると、経済的にも有益。少量土壤のリサイクルのために必要な消毒は、蒸気消毒で対応可能。
接ぎ木	世界各地に普及。利用可能な台木品種の確保が課題。
抵抗性品種	抵抗性品種は、世界各地で採用されている。特にトマトとメロンでの採用は多い。

太陽熱消毒は、土壤に十分な水分を与えた後、表面を農業用ビニルまたはポリエチレンフィルムで被覆し、施設では密封処理を併用して、太陽熱を取り込むことによって地温を上げ、土壤消毒を行う。1970年代に奈良県でイチゴ萎黄病対策として体系化された¹⁻³⁾のが始まりで、その後他の病害に対しても広く適用されるようになった。実施可能時期が夏期に限られること、天候の影響を受けて防除効果が安定しないこと、北日本や高標高地での効果は期待できないこと、露地での効果は低いことなどの弱点をもつが、簡単でコストがかからない土壤消毒法である。海外では、イスラエルなどの乾燥地域や熱帯・亜熱帯地域に広く受け入れられている。

太陽熱消毒は、防除効果が気象条件の影響を受けやすいという弱点をもつが、この面の改良も我が国で進んだ。改良は2つの方向で行われた。第1は、施肥や作畦終了後に太陽熱消毒を行い、消毒終了後再び耕起することなくそのまま定植する方法⁴⁾である。宮崎県で開発されたので、「宮崎方式」とも呼ばれている。この方法は、消毒効果が十分に及んでいない下層土壤が表層部の土壤に混入することがないため、防除効果が安定する。宮崎県など暖地で取り入れられている。第2の方向は、分解されやすい有機物を土壤に混入した上で太陽熱消毒を実施するもので、「土壤還元消毒」とよばれる^{5,6)}。有機物としては、低価格であり入手が容易なことから、フスマや米ヌカが、一般に利用されている。本法では、混入された有機物を餌として微生物が急激に繁殖して、土壤が還元状態となる。また多量の有機酸が生成される。還元状態と有機酸による影響がプラスされることによって、通常の太陽熱消毒では効果がおよばない温度域でも、防除効果がおよぶようになった。本法は、太陽熱消毒では防除効果が期待できない北海道などの北日本でも、実施可能である。千葉県や岐阜県などで、広く取り入れられている。

熱を利用した物理的消毒法の中でもう一つ注目されている日本オリジナルの技術は、熱水土壤消毒である⁷⁾。本法は、高温の熱水（通常80-95°C）を圃場に注入することによって地温を上げ、消毒するものである。透水性に恵まれた圃場での防除効果は、非常に安定している。アメリカなどで試験的に試みられたことはあるが、実用化に成功したのは日本が最初である。熱水調製用のボイラーの整備など一定の初期投資が必要であるが、防除効果の安定性に加え、作物の生育促進効果を併せ持っている点が、高い評価を受けている。韓国では、この技術を導入して、実用化に取り組み始めている。

代替農薬ではホスチアゼート剤が、日本オリジナルの技術として注目されている。本剤はアセチルコリンエステラーゼの阻害作用をもつ接触型の薬剤で、他の土壤消毒剤のようなガス効果はない。線虫に対する防除効果が高く、クロルピクリン剤と併用することで、相互に補い合って、土壤病害虫に対する防除効果を高めることができる。

土壤消毒以外の技術の中にも、イチゴの高設栽培や育苗方式、抵抗性品種の育成など、日本で開発・実用化された技術に注目する点が多い。

代替技術の開発が十分に進んでいないのが、土壤伝染性ウイルス病対策である。弱毒ウイルスに期待が寄せられているが、防除効果や生育阻害作用など、現状では改良すべき点が多い。一部に抵抗性品種が育成されているが、病原ウイルスに新しい系統が出現して抵抗性が崩壊したり（ピーマンモザイク病）、抵抗性品種の販売価格が低すぎたり（メロンえそ斑点病）するなど、問題の最終解決には至っていない。熱水土壤消毒や蒸気消毒を繰り返しているとピーマンモザイク病が発生しなくなったという事例が一部の農家で認められているが、検証が必要である。当面は、不可欠用途専用臭化メチルの使用が可能であるが、いつまで継続して使用が認められるか

は不確定であり、代替技術の開発と実用化は急務である。

摘要

臭化メチルは、国連環境計画のもとで使用規制が次第に強化され、本年より不可欠用途など国際的に認められた用途に限ってその使用が許される新しい規制段階に入った。不可欠用途は、20カ国から申請されている。日本は、6作物7病害虫で申請しているが、これまではほぼ申請通り認められてきた。しかし、不可欠用途の廃止を含めた一層の規制強化、難透過性あるいは低透過性フィルムの使用による薬量の削減、畦処理の導入による処理面積の縮小などの動きもあり、不可欠用途の審査には厳しさが増している。臭化メチルに代わる土壤病害対策としては、クロルピクリン、D-D、メチルイソチオシアネートなどを用いた化学的防除法や、熱を利用した物理的防除法の開発と現場導入が進められている。特に太陽熱消毒法を改良した土壤還元消毒と、高温の熱水を圃場に注入することで土壤消毒を行う熱水土壤消毒は、日本で開発された新しい技術として注目されている。土壤消毒以外では、高設栽培などの導入による栽培法の改善、抵抗性品種の導入などの対策も進んでいる。しかし、土壤伝染性ウイルス病の防除対策は、現状ではまだ不十分であり、早急な技術開発が求められている。

引用文献

- 1) 小玉孝司・福井俊男. 1979. 太陽熱とハウス密閉処理による土壤消毒法について. I. 土壤伝染性病原菌の死滅条件の設定とハウス密閉処理による土壤温度の変化. 奈良農試研報. 10: 71-82
- 2) 小玉孝司・福井俊男・中西喜徳. 1978. 太陽熱とハウス密閉処理による土壤消毒法について. II. イチゴ萎黄病ほか土壤伝染性病害に対する土壤消毒効果と効果判定基準の設定. 奈良農試研報. 10: 83-92
- 3) 小玉孝司・福井俊男・松本恭昌. 1980. 太陽熱とハウス密閉処理による土壤消毒法について. III. ハウス密閉処理が土壤微生物数およびイチゴ萎黄病菌の行動に及ぼす影響. 奈良農試研報. 11: 41-52
- 4) 白木己歳・小岩崎規寿・串間秀敏・高橋英生・岩下 徹・野間 史. 1998. 太陽熱利用土壤消毒の効果安定策としての土壤管理体系の開発. 宮崎総農試研報. 32: 1-11
- 5) 新村昭憲. 2000. ネギ根腐萎凋病の原因と対策. 土壤伝染病談話会レポート. 20: 133-143
- 6) 新村昭憲. 2004. 還元消毒法の原理と効果. 土壤伝染病談話会レポート. 22: 2-12
- 7) 西 和文 (編). 2002. 熱水土壤消毒—その原理と実践の記録一. 日本施設園芸協会. 185p

岐阜県における代替技術普及の取り組み ～夏秋トマト栽培における土壌還元消毒法の普及事例～

渡辺 秀樹
岐阜県農業技術研究所

Alternative Technology to Fumigation with Methyl Bromide in Gifu Prefecture -Technical Extension of Soil Reduction to Control Soil Borne Diseases of Tomato Cultivated Under Rain Shelter-

Hideki WATANABE
Gifu Prefectural Research Institute for Agricultural Sciences

キーワード：土壌還元消毒，夏秋トマト，土壌病害，褐色根腐病，現地普及

1 はじめに

臭化メチルは、その適用可能な範囲の広さや効果の安定性、作業の簡便さなどから、これまで多くの作物で使用されてきた。岐阜県においては、主に施設園芸の土壌消毒や育苗培土の殺菌、クリのクリシギゾウムシ対策などに用いられてきたことから、1995年頃から代替技術を検討し、技術普及を推進してきた。このうち、クリについては他の代替技術がないため「不可欠用途」として現在も一部で使用が認められているが、その他については他のくん蒸剤等で対応が可能として、臭化メチルは事実上使用できなくなった。

トマトは県の主要な野菜品目であり、西濃地域等を中心とした低標高地帯（海拔0メートル）では施設型の冬春栽培、飛騨地域等の中～高標高地帯（標高300～800m）では、雨よけハウスによる夏秋栽培が行われ、ほぼ年間を通じた供給体制が整えられている（図1）。ところが、近年、夏秋栽培では長年の連作により褐色根腐病（病原菌：*Pyrenochaeta lycopersici*）の蔓延が生産不安定の要因となっている（図2）。罹病株は梅雨明け後の急激な日射に耐えられず、しおれ症状になり、中段以降の着果不良を引き起こす。本病に対して実用的な抵抗性台木はなく、夏秋栽培では夏期の太陽熱土壌消毒が困難なことから、防除対策としては土壌くん蒸剤に頼る以外に方法がなかった。しかし、本県では化学薬剤および化学肥料の使用量を低減し持続可能な農業生産を図るため、1995年から「ぎふクリーン農業」に取り組んでおり、トマト栽



図1 岐阜県のトマト生産地域



図2 トマト褐色根腐病

培においても化学薬剤に頼らない防除技術の導入が求められていた。

土壌還元消毒法^{1,2,3)}は、土壌にフスマや米ぬか等の易分解性の有機物を投入し、十分な水分と30℃以上の地温を与えることで土壌を早期に還元状態にして土壌を殺菌する技術である(図3)。新村らは、北海道における夏期の太陽熱土壌消毒の改善対策として本法を開発し、ねぎの根腐萎凋病(病原菌: *Fusarium redolens*)に対する本法の実用性を報告している。この方法は、太陽熱消毒ほどの高い地温を必要としないため、本県の雨よけ栽培トマトの栽培期間の前後に適用できる可能性があると考えられた。このため、関係機関が協力してこの課題に取り組んだ。

2 夏秋トマト栽培における土壌還元消毒法の適用時期の検討

岐阜県の夏秋栽培では、苗は4月下旬から6月上旬に定植し、10月から11月まで収穫するのが一般的である。このため土壌還元消毒を実施する場合、定植直前の春処理と栽培終了後の秋処理の2通りが考えられる。そこで、中山間地(標高約450m)の雨よけハウスを用いて適用時期について検討した。

試験は2000年6月1日～22日(春処理試験)と10月17日～12月6日(秋処理試験)の2回行い、褐色根腐病に対する防除効果を検討した。その結果、春処理試験の還元区の地温はハウスを密閉した6月1日以降徐々に上昇し、期間全体の平均地温は深さ15cmで31.4℃、同30cmで29.3℃であった。太陽熱区も還元区とほぼ同様の温度推移を示した。還元区の処理7日後の防除価は、深さ15cmで89、同30cmで65と高かった。また、21日後もそれぞれ100、73と高い防除効果が認められた。一方、太陽熱区の深さ15cmでは、処理21日後に防除価57を示したが、深さ30cmでは期間を通じて防除効果は全く認められず、還元区と比較して防除効果は劣った(表



図3 土壌還元消毒の作業風景
(フスマの混和作業)

表1 トマト褐色根腐病に対する土壌還元消毒の防除効果(春処理試験)

区	深さ (cm)	発病程度			防除価		
		処理後日数			処理後日数		
		7	14	21	7	14	21
還元区	15	0.3	0.5	0.0	89	86	100
	30	0.8	1.0	1.0	65	67	73
太陽熱区	15	3.0	2.7	1.3	0	27	57
	30	3.7	3.7	3.7	0	0	0
無処理区	15	2.7	3.7	3.0	—	—	—
	30	2.3	3.0	3.7	—	—	—

[注] 1) 岐阜県中津川市(標高450m), 2000年6月1日～22日
2) 発病程度指数 0: 根の発病なし, 1: 根の褐変25%未満, 2: 同25-50%, 3: 同50-75%, 4: 同75%以上

表2 トマト褐色根腐病に対する土壌還元消毒の防除効果(秋処理試験)

区	深さ (cm)	発病程度					防除価				
		処理後日数					処理後日数				
		10	20	30	40	50	10	20	30	40	50
還元区	15	2.4	2.7	1.7	1.6	1.2	0	0	41	56	65
	30	1.6	1.9	2.4	1.6	1.4	24	32	20	53	58
無処理区	15	2.1	2.7	2.9	3.6	3.4	—	—	—	—	—
	30	2.1	2.8	3.0	3.4	3.3	—	—	—	—	—

[注] 1) 岐阜県中津川市(標高450m), 2000年10月17日～12月6日
2) 発病程度指数 0: 根の発病なし, 1: 根の褐変25%未満, 2: 同25-50%, 3: 同50-75%, 4: 同75%以上満, 2: 同25-50%, 3: 同50-75%, 4: 同75%以上

1)。本試験では、現地のトマトの定植時期から考慮すると開始時期がやや遅かったため、2001年には4月下旬からトマト萎凋病菌を用いて同様の試験を行い、処理21日後には顕著な菌量の低下を認めた。

秋処理試験の10月中下旬のハウス外気温は15～18℃で、還元区の深さ15cm、30cmの地温は25℃前後であった。地温はハウス外気温の低下とともに徐々に低下し、処理期間中の平均地温は深さ15cmで20.2℃、深さ30cmで21.2℃であった。還元区では、処理30日後まで顕著な防除効果は認められなかったが、処理後40日になると15および30cmのいずれの深さでも防除価が50以上となり効果が認められた(表2)。しかし、その抑制程度は春処理試験と比較してやや劣った。

以上のことから、土壌還元消毒法は春期および秋期のいずれの処理でも褐色根腐病に対する防除効果が認められ、処理日数は標高約450m(岐阜県中津川市)の圃場において、6月上旬処理で7日間、10月中旬処理で40～50日間必要であることが分かった。トマト苗の定植時期を考慮すると春処理を行う時期は4月下旬から5月となる。この時期に行う場合、処理期間は地温の上昇日数も考慮して20～25日が必要と考えられる。また、秋処理は処理開始時期が遅れたり、気象条件が悪かったりすると防除効果が期待できないことも想定される。また、病原菌による圃場の再汚染等の危険性も考慮すると、春処理の方が実用的であると考えられた。

3 飛騨地域における土壌還元消毒法の現地実証

大野郡丹生川村（現：高山市丹生川町：標高 750 m）のトマト生産圃場において、2001～2003 年の 3 年間継続して試験を行った。なお、試験区は下表のとおりとし、同一生産者のハウス（A～D）を用いた。

ハウス	処理期間	処 理 区
A	2001.5.7-5.30	還元区（フスマ 1t,2t）, 対照区（太陽熱のみ）
B	2002.5.1-5.28	還元区（フスマ 2t）
C	2003.5.2-5.27	還元区（フスマ 2t）
D		無処理区

耕種概要：品種 桃太郎 8（自根栽培），定植 6 月上旬
 調査方法：2001 年, 2002 年および 2003 年の 10 月下旬～11 月上旬に根を抜き取り，褐色根腐病の発病程度を以下の指数によって求めた（0：無発病, 0.5：根の罹病面積が 5% 以下, 1：同 5～25%, 2：同 25～50%, 3：同 50～75%, 4：同 75% 以上）。発病度は， Σ （発病指数×同株数）×100/（4×調査株数）により求め，防除値は無処理区の発病度から算出した。また，2003 年 10 月 30 日に，各区の 1 株当たりの着果数を各区 15 株について調べた。

3.1 温度条件

2001 年に処理した時の温度推移を図 4 に示す。期間中の平均外気温は 17.1℃であった。ハウス内の地温が概ね 30℃に到達するまでに，深さ 15cm で 5 日，同 30cm で 9 日を要した。処理期間中の平均地温は，深さ 15cm で 31.8℃，同 30cm で 27℃であり，概ね 30℃を確保できた。

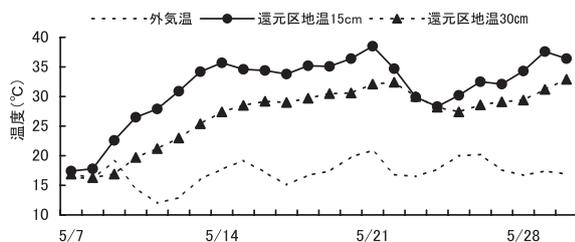


図 4 処理期間中の温度推移

岐阜県大野郡丹生川村（標高 750 m），2001 年，外気温はアメダスデータ（高山市）

3.2 防除効果

還元処理 1 年目の防除効果を表 3 に示す。褐色根腐病の発病度は，無処理区で 99，対照区で 95 と著しく高かったが，還元区（1 t）では 38，還元区（2 t）では 20 と低く，フスマを 2t 投入した区は安定して高い防除効果が認められた。

3.3 防除効果の持続性

2001 年に還元処理した圃場の発病程度を 3 年間継続して調査した結果を図 5 に示す。還元区 1 年目の平均発病指数は 1～1.5 で，無処理区の 4.0 と比較し著しく低かつ

表 3 トマト褐色根腐病に対する土壌還元消毒の防除効果^{a)}

処理区	調査株数	発病程度別株数 ^{b)}						発病度	防除値
		0	0.5	1	2	3	4		
還元区（1 t）	30	0	9	9	4	8	0	38	62
還元区（2 t）	30	1	14	13	2	0	0	20	80
対 照 区	15	0	0	0	0	3	12	95	4
無 処 理 区	30	0	0	0	0	1	29	99	—

a) 岐阜県大野郡丹生川村（標高 750m），処理期間 2001.5.7～5.30，調査 2001.11.1

b) 発病程度指数 0：発病なし，0.5：根の褐変 5% 未満，1：同 5-25%，2：同 25-50%，3：同 50-75%，4：同 75% 以上。

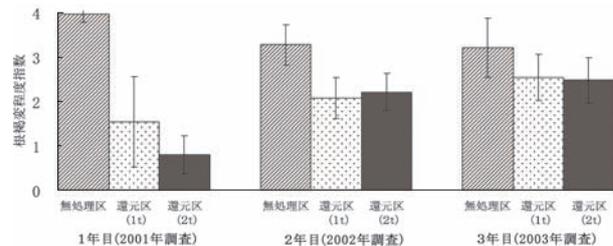


図 5 トマト褐色根腐病に対する還元処理効果の持続性

た。還元区 2 年目には 2.1～2.5 と高くなったが，無処理区の 3.3 と比較して明らかに低く，3 年目には無処理区との間に有意な差は認められなかったものの低い値を保った。また，1 年目と異なり還元区の 2 年目および 3 年目の発病指数にフスマの投入量による差は認められなかった。

3.4 生産性の向上効果

土壌還元消毒がトマトの着果数に及ぼす影響を表 4 に示す。調査は 2003 年秋に行った。無処理区では 5 段目が 2.6 個と著しく少なかった。また，9 段以降の着果はなく，株当たり平均着果数は 28.3 個だった。一方，還元処理区ではいずれの区も着果数が多く，処理当年は 37.5 個，2 年目で 29.8 個および 3 年目でも 34 個の着果があり，無処理区と比較して安定した着果数が得られた。

以上の結果，標高 750m の夏秋トマト栽培圃場において 5 月上旬に土壌還元消毒を開始したところ，25 日程度の処理で褐色根腐病に対して高い防除効果が認められた。根の発病程度は処理 3 年目でも無処理区に比較して低く，トマト果実の着果数も多くなり実用的な防除効果が認められた。

4 飛騨地域における土壌還元消毒の普及状況

飛騨地域の夏秋トマト栽培において，土壌還元消毒に取り組んでいる生産者は 2005 年には 51 戸 602a と年々確実に増加している（図 6）。当地域において本技術が普及しつつあるのは，定植時期などこれまでの栽培体系を大きく変更することなく導入可能であったこと，褐色根腐病の防除だけでなく同時に基肥を減らすことができることなどが大きな要因であろう。夏秋トマト栽培で土壌還元消毒を行う場合，投入した有機物からの窒素供給

表4 土壌還元消毒がトマトの収量に及ぼす影響（飛騨地域農業改良普及センター：田畑）

処理区 ^{b)}	各段の着果数 ^{a)}											計	無処理比 (%)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
還元1年目区 (2t)	3.0	3.4	3.0	4.6	4.4	4.4	4.2	4.0	2.5	2.0	2.0	37.5	133
還元2年目区 (2t)	2.6	2.6	4.0	4.8	4.4	2.6	3.2	2.8	2.8			29.8	105
還元3年目区 (1t)	2.4	3.2	3.2	3.2	5.2	3.2	3.8	3.6	3.3	2.0	2.0	35.1	124
還元3年目区 (2t)	3.0	3.8	4.2	4.8	4.4	3.2	3.0	2.6	3.0	2.0		34.0	120
無処理区	3.0	3.0	4.8	5.2	2.6	3.0	3.2	3.5				28.3	—

a) 岐阜県大野郡丹生川村（標高750m），調査2003.10.30

b) 還元1年目区（2003年），還元2年目区（2002年），還元3年目区（2001年）

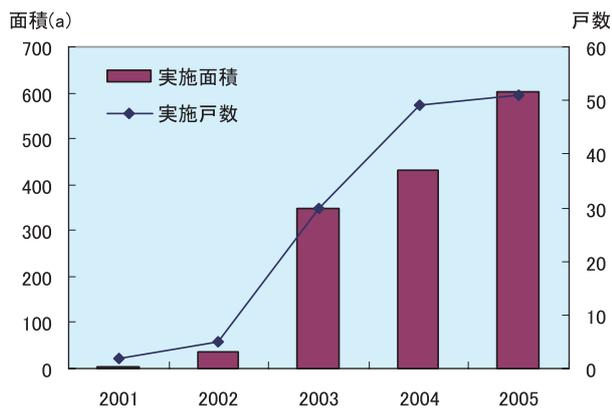


図6 土壌還元消毒の普及推移
（飛騨地域農業改良普及センター調べ）

があるため、基肥は基本的に施用しない。つまり、圃場に投入するフスマや米ぬかは消毒用素材としてだけでなく肥料の役割も兼ねている。また、土壌還元処理により1週間は多量の水を投入するため除塩効果もあるようで、土壌の塩類バランスが是正され「つくりやすくなった」と評する声が多い。根は細根量も多くなり生育後半まで安定した生育を示す（図7）。この点については、熱水土壌消毒でも同様な現象が確認されている⁴⁾。

このように、導入の目的が必ずしも病害防除だけではないことは注目に値し、この点が普及に拍車をかけている。有機物の購入価格はフスマで約28,000円/t、米ぬか



図7 収穫終了時の根の発病状況
（左：無処理区，右：還元区）

で約16,000円/tである。定植前の土壌消毒および基肥にかかる経費を算出すると、米ぬかで土壌還元消毒を行う場合は無処理（基肥のみ）と比較して約3,700円高くなるだけであり、クロルピクリン体系の1割程度と非常に安価である（飛騨農業改良普及センター調べ）。ただし米ぬかはフスマに比べて入手が困難な場合が多い。

今回の試験結果から、土壌消毒は3年に1度のローテーション体系を組むことによって作業の分散が図れる可能性があり、実際にそのような導入がなされつつある。また、高齢化等で生産ハウス面積を減少することにより圃場に余裕のある生産者では、休閑しているハウスを夏期に土壌還元処理する場合も見られる。さらに、新たな取り組みとして土壌還元処理を畝たてマルチ後に行って作業を省力化したり、育苗用土を土壌還元処理する試みもなされている。

5 おわりに

岐阜県では持続可能な農業生産を図るため、1995年度から「ぎふクリーン農業」に取り組んでいる。これは、従来の栽培に比べ化学合成農薬および化学肥料の使用量を慣行栽培に対していずれも30%以上削減した栽培を認定登録し生産物に表示するもので、トマト、ホウレンソウ、ニンジン、リンゴ、米、茶など約60品目、その生産登録面積は3,703ha（2004.1月現在）に及んでいる。このうち、トマトについては現在県内の7割以上の産地が認定され、安全安心な栽培への農家の意識も高くなってきた。そのきっかけ作りの一部を土壌還元消毒は担っているように思われる。

臭化メチルの代替技術には、主に代替農薬を利用した化学的防除法と、熱水や蒸気、太陽熱や土壌還元を利用した物理的防除法がある⁵⁾。昨今では、農産物の安全志向の高まりから物理的防除法が注目されてきており、本県においても夏どりホウレンソウを対象とした熱水土壌消毒法について以前から検討してきた^{6,7)}。また、飛騨地域のトマト栽培では前述のように土壌還元消毒が普及し始めているが、県内の東濃・中濃地域などでは定植時期が飛騨地域より約1ヵ月早く、十分な消毒条件が確保しにくいと、あまり導入が進んでいない。このため、これらの地域の一部では熱水土壌消毒の利用なども視野にいれて現在検討が進められている。

土壌還元消毒法は、国内各地で実証試験が行われ^{2,8,9,10,11,12,13}、熱水土壌消毒と併用した処理技術も報告されている¹²。また、その発病抑制のメカニズムについても検討が進められている^{14,15}。県内では、今回紹介した夏秋トマトのほかに、施設型の冬春トマトおよびキュウリ、飛騨地域の雨よけハウレンソウ、キクやトルコギキョウ、平坦地域の施設栽培イチゴ、ダイコン、ササゲなどでも土壌還元消毒の導入試験が進められている^{8,9,10}。特に冬春トマトおよびキュウリ栽培では、従来から太陽熱土壌消毒が普及していた地域であり、夏秋産地よりも急激に導入が進んでいる。しかし、本法は万能的な防除法というわけではなく、冬期の利用は困難で、標高によっても利用可能な時期は異なる。病害の種類や処理条件によっても防除効果は様々であろうし、透水性の非常に良好な圃場や露地作物への利用には課題が残されている。また、導入に当たっては投入する有機物からの窒素供給があるため、基肥量の調整について作物ごとに検討する必要がある。さらに、ハウレンソウのように年間数回作付けするような場合には消毒期間のさらなる短縮化、効果の安定性・持続性が求められている。

産地で発生している土壌病害は地域、品目により千差万別である。今後も代替技術の導入にあたっては、生産農家、農業改良普及センターおよび関係機関が一体となって、地域の気象条件、土壌条件および栽培体系等様々な要素を考慮しながら適切な代替技術を検討していく必要がある。

摘要

土壌還元消毒法は、従来の太陽熱消毒法より低い温度でも利用できることから、臭化メチル代替の一翼を担う技術として近年注目されている。岐阜県の夏秋トマト栽培において、定植前（春処理）および収穫後（秋処理）に処理したところ、いずれの時期でも褐色根腐病に対して防除効果が認められた。また、標高 750 m の現地圃場において、5 月上旬の処理で褐色根腐病に対して高い防除効果が認められ、その効果は 3 年間持続した。本法は、低コストで利用可能な環境保全型の技術として、飛騨地域の夏秋トマト産地で普及しつつある。

引用文献

- 1) 新村昭憲・坂本宣崇・阿部秀夫. 1999. 還元消毒法によるネギ根腐萎ちょう病の防除. 日植病報. 65 : 352-353
- 2) 新村昭憲. 2000. ネギ根腐萎凋病の原因と対策. 土壌伝染病談話会レポート. 20 : 133-143
- 3) 新村昭憲. 2000. 直接的土壌病害虫対策 - 土壌還元消毒法 - . 農業技術体系. 第 5 - 1 (追録 11 号) : 畑 212 の 6-9
- 4) 西 和文・池田剛志・猪野敏雄・西牟田康博・儀藤善行. 2002. 熱水土壌消毒 - その原理と実践の記録 -. 日本施設園芸協会 : 53-57
- 5) 西 和文. 2004. 臭化メチル代替技術の現状と展望. 今月の農業. 48 (5) : 15-19
- 6) 柳瀬関三. 2003. 夏どりハウレンソウの熱水土壌消毒法. 農耕と園芸. 58 (4) : 71-75
- 7) 浜崎健司・佐藤 衛・西 和文. 2005. ハウレンソウ萎凋病罹病株の地中埋設に対する熱水処理の効果について. 関西病虫研報. 47 : 117-118
- 8) 高井 啓・西 和文・田口義広・渡辺秀樹・勝山直樹・窪田昌春. 2003. キュウリ栽培施設における土壌還元消毒の効果と土壌 pH, EC, およびキュウリの生育に及ぼす影響. 関西病虫研報. 45 : 99-100
- 9) 渡辺秀樹・五十川悦司・田畑幸司・渡辺知文・峯村 晃・鈴木隆志・堀之内勇人・田口義広. 2004. 雨よけ栽培トマトの褐色根腐病に対する還元土壌消毒法の防除効果. 関西病虫研報. 46 : 15-21
- 10) 峯村 晃・野村康弘. 2004. 湛水還元処理によるナス青枯病及び雑草への影響. 関西病虫研報. 46 : 61-62
- 11) 上田賢悦・佐藤 玄・佐山 玲. 2002. 秋田県における土壌還元消毒によるハウレンソウ萎凋病の防除. 北日本病虫研報. 53 : 52 - 54
- 12) 植草秀敏・岡本昌広・草野一敬. 2002. 熱水と土壌還元処理の併用によるトマト萎凋病菌の密度低減効果. 関東東山病虫研報. 49 : 23-29
- 13) 小山田浩一・鈴木 聡・和田悦郎・齊藤芳彦. 2003. 土壌還元消毒法のイチゴ萎黄病に対する防除効果. 関東東山病虫研報. 50 : 49-53
- 14) 久保周子・片瀬雅彦・牛尾進吾・大塚英一・山本二美・竹内妙子. 2002. 還元消毒法の消毒効果に関する要因. 日植病報. 68 : 206
- 15) 門馬法明・宇佐見俊行・雨宮良幹・宍戸雅宏. 2003. 土壌の還元化がトマト萎凋病の生存に及ぼす影響因子の解析. 日植病報. 69 : 288

「ブランドニッポン6系・野菜」成果発表会

‘湘南ネギ’の新品種育成，作期拡大および新需要開拓

北 宜裕・河田 隆弘・高柳 りか・深山 陽子

神奈川県農業技術センター

Breeding, Extended Harvesting and an Alternative Use of Shonan Bunching Onion

Nobuhiro KITA, Takahiro KAWATA, Rika TAKAYANAGI and Yoko MIYAMA

Kanagawa Agricultural Technology Center

キーワード：根深ネギ，葉ネギ，新品種，作期拡大，湘南ネギ

1 緒言

ネギ生産においては，中国等からの輸入増加に伴い，生産現場ではコスト低減化が急務となっている¹⁾。ネギの品種育成においても，稚苗定植や管理・収穫作業の機械化に対応できる特性として，均一な生育や一本立ち性，葉折れの軽減化など作業性の向上が重要な育種目標とされている。一方で，地産地消が急速に進展する都市農業県である神奈川において，野菜の輸入急増に対抗して生鮮野菜を持続的に生産していくためには生産コスト低減も重要な目標ではあるが，最近の健康・安全志向等を反映して，高品質で安全・安心な個性化野菜の生産および商品としての付加価値を高め，販売を基軸に経営を展開する視点での育種も重要である。

神奈川県では，食味の良い根深ネギ品種‘湘南’が旧神奈川県園芸試験場で育成され，以来，平塚、藤沢を中心とした湘南地域で栽培され，年末から2月ころにかけて収穫・出荷されてきた^{2,3)}。この‘湘南’は，柔らかく，食味が良いのが特徴で，現在，県南部の湘南地区を中心に60haにわたる栽培面積があるが，分けつ性で葉折れが多いなどの作業性・商品性に関わる生育特性が最近の市販品種に比べ劣ることなどから，作付け面積が年々減少している。

そこで，本研究では，‘湘南’に比べ栽培上の諸特性および商品性に優れた個体の集団選抜により，実用性が高く，食味の良い根深ネギ新品種を育成するとともに，収穫期の前進化による作期拡大と集客力の強化のための新商品・新需要の開発に取り組んだ。なお，本研究の後半4年間は，農林水産省委託プロジェクト「国産野菜の持続的生産技術の開発」（2002年）および「新鮮でおいしい『ブランド・ニッポン』農産物提供のための総合研究」（2003～2005年）の参画課題として実施した。

2 根深ネギの新品種‘湘南一本’の育成

2.1 育成経過

根深ネギ‘湘南’は，1960年に命名・発表された他殖性集団による放任受粉品種である^{2,3)}。柔らかくて食味が良いのが特徴であるが，一方で分けつ性が強く，葉折れしやすいなど今の消費者ニーズには合致しない欠点を有している。そこで，1991年から‘湘南’が有する良食味はそのまま維持しつつ，直売等で消費者の要望を取り入れながら，①葉身分岐の間隔が長い，②葉身が硬く，真直ぐで細長い，③首の締まりが良い，④収量性が高いおよび⑤食味が良い，という特性を有する個体を1万株以上の母集団から，毎年10～30個体を順次選抜・集団採種することにより目標とする特性の改善を進めた。なお，選抜の過程で次第に分けつによる葉鞘部の不整形



図1 ‘湘南一本’

(いわゆる「だきねぎ」)が増加したため、1997年からはとくに分けつしていない個体に注目して選抜・系統育成を進めた。最終的に、2002年2月に約4,000株の個体群から389株を選抜し、その選抜個体群内で集団交雑による系統採種を行い、これを用いて特性検定を実施したところ、目的とする特性を有することが確認されたので、2005年3月に‘湘南一本’ (図1)と命名し、品種登録出願を行った。

2.2 生育・栽培特性

‘湘南一本’は、農林水産省が品種登録審査のために定めた「ネギ品種特性分類評価基準」によって評価すると、草姿は半開、草丈は中～高、葉数は中～多、葉折れは中、葉鞘部の長さは中、太さは中、しまりは軟～中、硬さは中～やや硬、葉身分岐・間隔は中～長、葉身分岐・しまりは中、分けつ数は中、抽苔の早晚性は中、耐寒性は中～強、耐暑性は中である。とくに対照品種とした‘石倉’と比較して、葉折れは少なく、葉鞘部は長く、葉鞘部は軟らかく、葉鞘分岐・間隔が長い(首伸びが良い)など優良な特性を有する。

2003年に実施した‘湘南一本’の特性検定試験における収量と生育特性を表1に示す。2003年3月24日には種、8月4日に株間3cmで定植したところ、‘湘南一本’の収量は10a当たり6.3tと‘湘南’および‘石倉’

の5.0tより25%也多収となった。また、伸長性の高い‘湘南’よりも葉鞘部の伸びがさらによいため、軟白部も40cm近くまで達した。また、分けつ株率についても9%と‘湘南’の11%よりも低い値を示した。なお、分けつは株間の影響を強く受けるので、株間を3cm程度まで狭めれば発生頻度をより低く抑えることが可能であると考えられた。葉折れについては、図2に示すように、‘湘南一本’は‘湘南’に比べ外観上、顕著に軽減されており、葉折率でも‘湘南’の79%に対して‘湘南一本’は51%と、明らかに葉折れが軽減されていることが確認された。一方、抽苔性については‘湘南’と変わらず、3月に入ると抽苔してくるので、収穫は2月末までとなる。

2004年11月上旬に上記で栽培した‘湘南一本’および‘湘南’の、対照品種として‘西田’および‘冬扇2号’の葉鞘部の硬度をレオメーター(RT-2010J-CW, RHEOTECH, プランジャーφ3.3mm, テーブルスピード6cm・min⁻¹)を用いた破断強度で評価した。その結果、‘湘南’および‘湘南一本’はいずれの対照品種よりも低い破断強度を示し、より軟らかいことが明らかになった(図3)。なお、消費者181名に対するアンケート調査でも、市販の対照品種‘宏太郎’より「軟らかくて食味がよい」という評価を得ている4) (データ省略)。

表1 ‘湘南一本’の収量と生育特性

品種	収量 ¹⁾ t/10a	草丈 ¹⁾ cm	1株重 ¹⁾ g	葉数 ¹⁾ 枚	葉鞘の ¹⁾			分けつ 株率 ²⁾ %	葉折率 ²⁾ %
					全長 cm	軟白長 cm	太さ mm		
湘南一本	6.3	94	114	3.0	46	39	17	9	51
湘南	5.0	85	98	2.1	42	37	17	11	79
石倉	5.0	80	114	2.3	41	34	19	2	— ³⁾

¹⁾ 2004年2月27日調査, ²⁾ 2003年12月25日調査, ³⁾ 調査せず。



図2 圃場における生育状況
左: ‘湘南一本’, 右: ‘湘南’. (2004年2月)

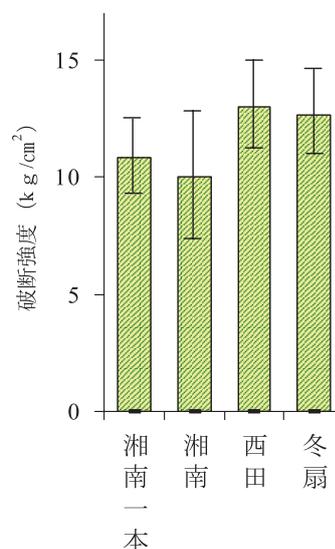


図3 葉鞘の破断強度の品種間差

表2 ‘湘南一本’の収穫時におけるは種期別生育状況

播種日 ¹⁾	定植日 ¹⁾	育苗 日数 ²⁾	収穫日 ³⁾	在圃 日数 ⁴⁾	栽培条件 ⁵⁾	草丈 cm	1株重		軟白長 cm	葉鞘径 mm	分けつ 株率 %	抽苔株 率 %
							調製前 g	調製後 g				
9月19日	12月29日	102	7月26日	211	無被覆	88	107	75	32	17	27.5	73.3
					トンネル (12/19~)	93	125	75	31	17	3.6	59.2
10月21日	1月13日	85	7月29日	199	無被覆	91	118	77	33	18	7.6	22.1
					トンネル (1/13~)	86	125	85	31	18	6.3	6.3
11月20日	2月12日	85	8月27日	198	無被覆	76	64	48	36	13	11.8	22.1
					トンネル (2/12~)	73	61	49	35	12	14.8	5.0
12月19日	3月9日	82	9月27日	203	無被覆	92	116	82	33	14	12.8	1.7
					トンネル (3/9~)	86	79	57	33	12	13.0	0.8
1月20日	4月6日	78	10月4日	182	無被覆	90	116	78	30	13	15.4	0
					トンネル (4/6~)	79	96	75	31	13	6.1	0

¹⁾ 2003~2004年, ²⁾ は種日から定植日までの日数, ³⁾ 2004年, ⁴⁾ 定植日から収穫までの日数, ⁵⁾ トンネル被覆期間はいずれも2004年5月6日までで, 3月31日まででは密閉被覆とした。

3 ‘湘南一本’の作期拡大

これまで‘湘南’は、湘南地区を中心に3月中旬まき、6月下旬定植で、11月から翌2月下旬までの4ヵ月にわたって収穫・出荷されてきた。しかし、都市農業の有利性を生かした直売が急速に進むにつれて、消費者から「販売期間をできるだけ長くしてほしい。」という要望が強くなってきた。そこで、新品種‘湘南一本’を用いて、従来の収穫・出荷期間を拡大するための収穫期の前進およびそのために必要な栽培技術体系の開発に取り組んだ。

3.1 は種期と栽培方法

収穫期を前進させるため、‘湘南一本’を9月中旬から1月下旬までおよそ1ヵ月ごとには種・育苗し、それぞれ12月下旬から4月上旬にかけて草丈30cm、葉鞘径2~3mm程度の大きさの苗を順次定植するとともに、定植後は生育促進を目的に3月8日までビニルトンネル被覆を行った。さらに、高温処理による花芽分化抑制、ひいては抽苔抑制の可能性について検討するため^{5,6)}、引き続き5月6日までトンネル被覆を行う高温処理区を設定した。いずれの処理区とも、5月6日以降は土寄せ、病害虫防除等を含め慣行にしたがって栽培管理した。

その結果を表2に取りまとめた。9月19日まきでは高温処理区で生育が早まり、6月中旬には軟白部が30cmに達し、収穫期を迎えた。抽苔株率は、5月上旬までは高温処理区の方が高かったが、それ以降は露地区と逆転し、最終的な抽苔株率は露地区では73%、高温処理区でも59%と極めて高くなった。高温処理区では、露地区と比べると花芽分化抑制効果は認められたものの、出

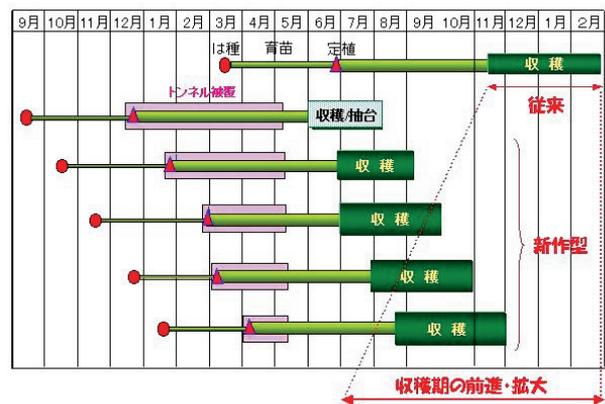


図4 ‘湘南一本’におけるは種期とトンネル被覆を利用した収穫期の前進・拡大

●：は種, ▲：定植.

荷可能な個体はほとんど得られず、本作型は実用には適さないことが明らかになった。一方、10月21日まきでは、初期生育については高温処理区が露地区を上回ったが、5月8日のトンネル除覆以降、生育差が認められなくなり、6月下旬にはいずれの処理区においても軟白部が30cmに達した。7月29日に収穫調査したところ、生育については処理区間で差は認められなかったが、抽苔株率については5月中旬以降露地区と高温処理区での差が顕著となり、最終的には露地区では22%とやや高い値を示したのに対し、高温処理区では6.3%と抽苔が顕著に抑制された。また、11月20日まきでも7月上旬には収穫期を迎えたが、10月21日まき同様、露地区と高温処理区での生育差は認められなかったものの、抽苔株率については、それぞれ22および5.0%と高温処理による抽苔抑制効果が認められた。一方、12月19日まきではいずれの処理区とも抽苔株率は2%以下となり、また、

1月20日まきでは抽苔株の発生は全く認められなかった。

以上の結果から、‘湘南一本’の収穫期を早めるために9月まきすると、トンネル被覆してもほとんどの株が抽苔してしまうため、出荷可能な個体はほとんど得られないが、10月中旬以降1月下旬までの間に順次は種し、厳冬期～早春に定植した後、5月上旬までトンネル被覆すれば、7月上旬から11月まで連続して収穫できることが明らかになった(図4)。さらに、これを従来の3月中旬まき、6月下旬定植の作型と組み合わせることによって、これまで11月から翌2月までの4ヵ月間であった収穫・出荷期間を、7月から翌2月までの8ヵ月間へと2倍に拡大することが可能となった。

3.2 抽苔条件

ネギの花芽分化は緑色植物低温感応性ではあるものの、その抽苔性は品種により大きく異なり、実用上は品種ごとに個別に抽苔・花芽分化特性を明らかにしておく必要がある^{5,7,8)}。‘湘南一本’では、収穫期を前進させるために9月中には種するとほとんどの個体が抽苔してしまうことおよび10～11月まきでも生育期が低温期に遭遇するときの植物体の大きさにより抽苔の危険性が出てくることから、抽苔特性が類似している‘湘南一本’

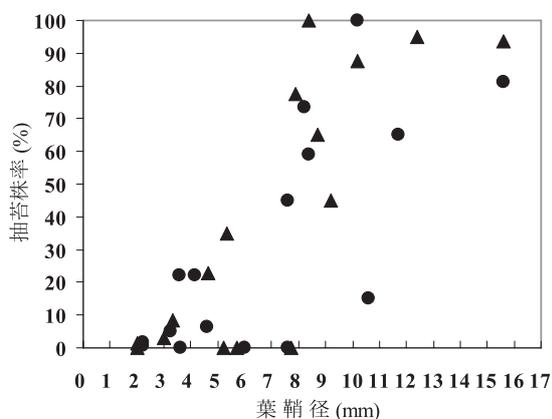


図5 3月上旬¹⁾における葉鞘径とその後の抽苔率との関係
¹⁾ 2004年3月9日。●: ‘湘南一本’, ▲: ‘石倉’

と‘石倉’を用いて、厳寒期を過ぎた2004年3月9日における葉鞘径とその後の抽苔株率との関係について解析を加えた。その結果、3月9日における葉鞘径が6mm以下であればその後ほとんど抽苔しないこと、逆にその時点での葉鞘径が7mm以上であれば50%以上の株が抽苔する可能性があることが明らかになった(図5)。

4 ‘湘南一本’の新需要開拓

都市農業の有利性を生かした直売が進展するなかで、集客力の強化のための新商品・新需要の開発が求められている。今回育成した‘湘南一本’は、柔らかくて食味が良いことから、葉ネギとして利用できればネギが品薄になる初夏に新たな需要が期待できる。しかし、一般に初夏どり用の葉ネギ栽培では葉鞘基部が顕著に肥大して、商品性が著しく低下してしまう。一方、ワケギでは、遠赤色光をカットすることにより鱗茎形成が顕著に抑制され、高品質化することが明らかにされている⁹⁾。そこで、遠赤色光カットフィルムを用い、主要な葉ネギ市販品種を対照に‘湘南一本’の春まき、初夏どりトンネル栽培を行い、葉ネギとして利用可能かどうかについて検

表3 トンネル被覆資材が葉ネギの生育及び葉鞘基部の肥大に及ぼす影響¹⁾

品 種	被覆資材	草丈 cm	葉 鞘 の			
			長さ cm	基部径 mm	首部径 mm	同左比
湘南一本	YXE5 ²⁾	62.9	11.3	5.7	5.3	1.07
	PO ³⁾	48.8	11.0	5.0	4.7	1.08
さとの香	YXE5	38.2	7.7	4.6	3.8	1.19
	PO	33.7	5.8	5.7	4.1	1.41
わかさま黒	YXE5	43.9	8.9	4.9	4.2	1.19
	PO	36.6	7.1	5.5	4.2	1.30
冬っこ	YXE5	51.3	8.5	6.9	6.6	1.04
	PO	54.2	10.1	7.1	6.5	1.09
小 春	YXE5	45.5	10.0	4.8	4.1	1.17
	PO	39.7	7.6	4.7	3.9	1.21

¹⁾ 2003年4月4日は種, 8月11日調査, ²⁾ 遠赤色光カットフィルム(メガクール, MKV プラテック社製), ³⁾ ポリオレフィンフィルム(ユウラック, みかど化工社製)

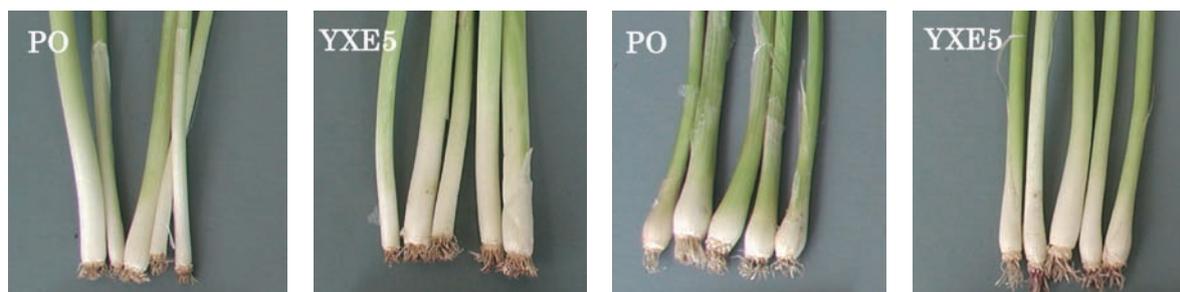


図6 遠赤色光カットフィルム(YXE5)とポリオレフィンフィルム(PO)でそれぞれトンネル被覆して栽培したときの葉鞘基部の肥大状況

A: ‘湘南一本’, B: ‘小春’

討した。

供試品種として、‘湘南一本’、‘さとの香’、‘わかさま黒’、‘冬っこ’、‘小春’の5品種を用い、2003年4月4日に、90cm幅のベッドに条間15cmで6条まきし、は種後は遠赤色光カットフィルム（YXE5；メガクル、MKVプラテック社）および対照としてポリオレフィン（PO）フィルム（ユーラック、みかど化工）でトンネル被覆して栽培した。施肥および病害虫防除等は慣行に従った。は種4ヵ月後の8月11日に収穫調査を行い、その結果を表3に取りまとめた。

葉鞘基部の肥大程度の指標となる葉鞘基部径／葉鞘首部径比は、YXE5被覆区では品種間で差が認められなかったのに対し、PO被覆区では‘湘南一本’以外のすべて品種がYXE5被覆区より高い値を示し、葉鞘基部が顕著に肥大することが示された。一方、‘湘南一本’では、被覆資材にかかわらず葉鞘基部はほとんど肥大せず、また、草丈の伸長性も良いことなどから、葉ネギとして高い商品性を有していることが明らかになった。この遠赤色光カットに伴う葉鞘基部の肥大状況の差は、肉眼でも明確な差として認められた（図6）。なお、全体として、草丈はYXE5被覆区がPO被覆区より高くなる傾向が認められた。

以上の結果から、一般の葉ネギ品種については、遠赤色光カットフィルムでトンネル被覆栽培することにより葉鞘基部の肥大が抑制されて商品性が向上することが明らかになった。一方で‘湘南一本’は、葉鞘が長くて太く、さらに遠赤色光カットフィルムを使わなくても葉鞘基部は肥大しないことから、極めて有望な葉ネギ用品種として利用できることが明らかになった。

5 今後の方向性

本研究で育成した‘湘南一本’は、市販品種に比べ柔らかな食感を有し、良食味品種として直売等での差別化販売に適した新品種である。また、夏季にもよく伸長するだけでなく、耐寒性にも優れるため、トンネル被覆栽培と組み合わせれば、7月から翌年の2月まで8ヶ月間に渡って収穫できる。さらに、春まき、初夏どりの葉ネギ用品種としても高い商品特性を有することなどから、地産地消を強力に推進している神奈川県内の生産者からは、有望な直売品目として期待されている。今後は、現地への普及を積極的に進めるとともに、育苗ハウスや簡易施設を利用した中ネギ栽培にも適用するなど、より多

様な利用を目指した技術開発に取り組んでいく予定である。

摘要

神奈川県で育成された根深ネギ品種‘湘南’から、良食味の特徴を維持しつつ、葉鞘部の伸長性向上、分けつおよび葉折れ等が顕著に軽減された商品性の高いネギ品種‘湘南一本’を育成した。この‘湘南一本’を用いて作期拡大のための作型開発に取り組んだ結果、10月中旬以降1月下旬まで順次は種し、厳冬期～早春に定植した後、5月上旬までトンネル被覆すれば、7月上旬から11月まで連続して収穫でき、従来作型と組み合わせることにより、収穫・出荷期間を7月から翌2月までの8ヵ月間へと2倍に拡大できた。さらに、春まき、初夏どりトンネル栽培による葉ネギとしての利用可能性について検討したところ、‘湘南一本’は遠赤色光カットフィルムを使わなくても葉鞘基部は肥大せず、葉鞘も長くて太いなど葉ネギ用品種としても利用できることが明らかになった。

引用文献

- 1) 農林水産省. 2001. 野菜の構造改革対策
- 2) 板木利隆. 1955. 根深葱の系統分離育種. 昭和30年度神奈川県農業試験場そ菜試験成績書. p.1-2
- 3) 日本園芸生産研究所. 2003. 蔬菜の新品種. 15:157-165
- 4) 北畠晶子. 2002. ネギにおける消費者の意識調査. 神奈川県農業総合研究所. 平成13年度試験研究成績書（経営情報）. p.45-46
- 5) 八鍬利郎・興水 晋. 1969. ネギ属植物の花成に関する研究（第1報）. 温度、日長と花房分化、抽台、開花時期との関係. 農業及び園芸. 44:1131-1132
- 6) Yamazaki,A.,K.Tanaka, M.Toshida and H.Miura.. 2002. Induction of devernalization in mid-season flowering cultivars of Japanese bunching onion (*Allium fistulosum* L.) by high day temperature. J.Japan Soc.Hort.Sci. 69:611-613
- 7) 渡辺 斉. 1955. 葱品種の花芽分化並びに抽台性に関する研究. 園芸学研究集録. 7:101-108
- 8) Rabinowitch,H.D.. 1990. Physiology of Flowering. In Onions and Allied Crops. Vol.I. p.113-134. J.L.Brewster and H.D.Rabinowitch (eds) .CRC Press, Boca Raton, Florida
- 9) 山崎博子. 2003. ワケギのりん茎形成制御およびりん茎形成・休眠の生理機構に関する研究. 野菜研報. 2:139-212

房どり収穫が可能な短節間ミニトマトの育成

松 永 啓

長野県中信農業試験場

Breeding for Bunch Harvestable Short-Internode Cherry-Tomatoes

Hiroshi MATSUNAGA

Nagano Chushin Agricultural Experiment Station

キーワード：房どり，短節間性，省力化，育種，ミニトマト

1 はじめに

トマトは労働作業量の多い作物で，比較的栽培期間が短い長野県での雨よけ大玉トマト，半促成大玉トマトおよび雨よけミニトマト栽培でも10a当たり610～1,006時間を要するため（表1），作業の省力・軽作業化が強く求められている。大玉トマトとミニトマトとは，ミニトマトの方が総作業量が多く，特にミニトマト栽培でその要望は強い。トマトの作業別労働時間を見ると，裁

培管理，収穫および調整・出荷を合わせると全体の5割を超える労働時間を占めている。そのため，これら作業の省力・軽作業化技術を開発することができれば，トマト栽培を大きく省力・軽作業化できる。

栽培管理作業には，芽掻き，誘引，下葉かき，ホルモン処理，蔓下げなどが含まれる。この中で，蔓下げ作業は植物に負担を与えるため，作業者が最も気を遣い，時間のかかる作業の一つである。トマトに草丈が短くなる短節間性を導入すると，蔓下げ作業の回数を減らすことができ，栽培管理作業の省力化が期待できる。

また，ミニトマトは，従来の個どり収穫に比べて，果房ごと収穫する房どり収穫を行うと，収穫作業時間の大幅な短縮が期待される。しかし，房どり収穫は，多数の果実が熟した果房を収穫するため，先端の果実が熟す頃には最初に熟した果実が裂果してしまうことが多い。また，1果房に多数の果実を着けるため，果房が長くなり，出荷・調整作業が煩雑になることも問題点としてあげられる。

当場では，1997年から農林水産省プロジェクト研究「画期的園芸作物新品種創出による超省力栽培技術の開発」（1997～2001年）および「国産野菜の持続的生産技術の開発」（2002年）に参画し，トマトの栽培管理作業の省力・軽作業化を育種面から解決すべく，短節間性を有するミニトマト系統の育成と短節間系統の栽培適性の解析を進めた。そして，矢ノ口・岡本（2001）は，*br* (brachytic) および *bu* (bushy) を導入したトマトは，節間が短くなり，誘引・蔓下げに係る作業時間が短縮されることを明らかにした¹⁾。そこで，節間だけでなく果房も短くする性質を持っている *bu* 遺伝子の特性（Rick, 1956）に着目し²⁾，*bu* 遺伝子由来の短節間性を有し裂果が少なく房どり収穫が可能なミニトマト（以後，短節間ミニトマト）の育種研究を進めてきた。農林水産省プロジェクト研究「新鮮でおいしい『ブランド・ニッポン』

表1 トマトの10a当たり作業別労働時間（h）
（2004年長野県農業技術課経営指針）

作業内容	雨よけ	半促成	雨よけ
	大玉トマト ^z	大玉トマト ^y	ミニトマト ^x
播種	14	—	—
接ぎ木	28	—	—
育苗管理	84	20	20
鉢上げ	14	—	—
施肥・耕起等	28	22	22
支柱立て	14	—	—
定植	40	28	56
病虫害防除	50	40	40
栽培管理	82	202	202
追肥	—	12	12
温度管理	—	40	100
かん水	—	64	62
収穫	186	164	240
調整・出荷	50	116	232
後片付け	20	20	20
合計	610	728	1006

^z 3月上旬播種～5月上旬定植～11月上旬収穫終了
農家育苗，出荷は共選

^y 2月下旬定植～7月下旬収穫終了
セル成型接ぎ木苗購入，天敵導入，出荷は個選

^x 4月下旬定植～10月下旬収穫終了
セル成型接ぎ木苗購入，天敵導入，出荷は個選

農産物提供のための総合研究」(2003~2005年)では、目標にかなう有望なF₁系統を作出するとともに、短節間ミニトマト系統の形態、収量および栽培特性について検討した³⁾。

2 短節間ミニトマト系統の育成経過

bu 遺伝子を持つ短節間性の育種素材として、旧野菜・茶業試験場(盛岡)で保有していた‘912-D1-BG2’を用い、‘ミニキャロル’と2回交雑し、その後代から固定系統(MNBU50系)を得た。さらに、MNBU50系F₄世代系統を短節間性の素材としてSIBU13系およびSIBU14系の固定系統を得た(図1)。本試験で用いた短節間性固定系統は、MNBU50系の‘STBU01’、SIBU14系の‘STBU02’および‘STBU03’である。なお、当场ではこれ以外にも多数の短節間ミニトマトの固定系統を得ている。

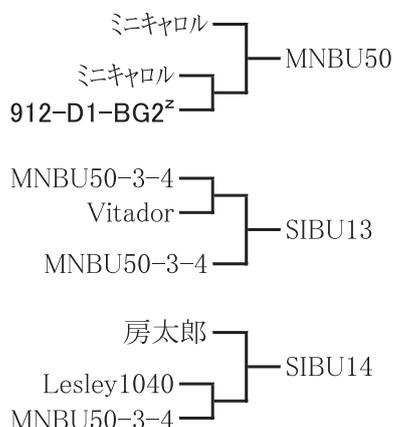


図1 短節間ミニトマト固定系統の育成図
²旧野菜・茶業試験場(盛岡)が育成したbu保有系統

3 試験方法

3.1 長期どり栽培試験

供試材料は当场育成の短節間ミニトマト‘STBU01’、‘STBU02’、‘STBU03’の3系統および対照品種の‘サンチェリー250’とした。栽培は、2003年4月1日に播種し、5月21日に雨よけハウス内に定植した。栽植密度はらね幅180cm、条間70cm、株間40cmの2条植とし、

試験区は1区10株の2反復とした。収穫終了日は、蔓下げ作業が必要となる長期どり栽培になるように10月26日に設定した。収穫は、‘STBU01’と‘STBU03’は房どり、‘STBU02’と対照品種は個どり(慣行)とした。房どり収穫では開花時に1果房当たり15花に調整し、先端果実が催色期~桃熟期に達した果房を、個どり収穫では桃熟期に達した果実を収穫した。調査は、地際部から第5果房着生部位までの長さ、最終収穫果房段数、収量性および収穫栽培期間中の芽掻き、ホルモン処理、下葉掻き、誘引、蔓下げ、収穫に要した作業時間について行った。収量調査では10g以下の小果や裂果等の不良果を除いた果実総量を上物収量とし、作業時間測定モニターは40代の男性とした。

3.2 短期どり栽培試験

供試材料は当场育成の短節間ミニトマト‘STBU01’、‘STBU03’の2系統および対照品種の‘サンチェリー250’とした。栽培は、2004年4月1日に播種し、5月19日に雨よけハウス内に定植した。栽植密度はらね幅200cm、条間70cm、株間50cmの2条植とし、試験区は1区9株の2反復とした。全品種・系統とも、第10段果房までの果実を長期どり栽培試験と同様に房どり収穫した。調査は、地際部から第5果房着生部位までの長さ、第2または3段果房の果房着生部位から15果目果実の果梗着生部位までの長さ、収量性、果実品質および栽培期間中の芽掻き、下葉掻き、誘引、蔓下げ、収穫に要した作業時間について行った。上物収量の基準は長期どり栽培と同様とし、作業時間測定モニターは30代の男性とした。

4 結果および考察

4.1 短節間ミニトマト固定系統の植物体特性

短節間ミニトマト固定系統の‘STBU01’、‘STBU02’および‘STBU03’の第5果房までの高さを対照品種と比べると、短節間系統が明らかに低く約6割であった(表2、表3)。また、短節間系統の果房の着生部位から15果目までの長さは、対照品種と比べ明らかに短く、約半分であった。このように、短節間ミニトマト系統はbu遺伝子の節間と果房を短くするという特性がよく表れて

表2 長期どり栽培試験における植物体特性および収量性

品種・系統名 ²	収穫方法	第5果房の高さ cm	蔓下げ回数 回	最終果房段数 段	総収量 kg/a	上物収量 kg/a	上物率 %	平均果重 g
STBU01	房どり	60	3	16.2	590	410	70	12.1
STBU02	個どり	63	3	14.0	544	500	92	9.6
STBU03	房どり	50	3	15.6	607	540	80	16.7
[対照品種]								
サンチェリー250	個どり	86	5	12.1	584	499	85	17.1

² SIBU01~03: 短節間ミニトマト固定系統

表3 短期どり栽培試験における植物体特性および収量性

品種・系統名	第5果房の高さ	果房の長さ ^y	収量	良果収量	上物率	裂果割合 ^x	一果平均重
	cm	cm	kg/a	kg/a	%	%	g
STBU01	57	12.3	392	236	60	0.8	9.4
STBU03	56	11.3	373	264	71	0.1	11.0
〔対照品種〕							
サンチェリー25	90	23.9	367	226	62	13.7	11.4

^z SIBU01, STBU03：短節間ミニトマト固定系統

^y 花房の長さ：花房基部から15果目までの長さ

^x 裂果割合：(裂果数/総果数)×100

いた。

4.2 収量性

4.2.1 長期どり栽培での収量性

試験終了時の収穫果房数には系統間差が認められ、対照品種と比べて、短節間系統は収穫果房数が2~4段多くなり、系統によっては収量が多くなった(表2)。これは、短節間系統の蔓下げ作業が対照品種の5回に対して3回であったこと、供試系統の早晩性が1回目の蔓下げを行う頃まではほぼ同じであったことから、蔓下げ等の管理作業による草勢の低下が対照品種で大きかったためと推察され、草勢管理面からも蔓下げ作業回数を低減できる短節間性の有効性が確認できた。

4.2.2 短期どり栽培での収量性

短節間系統と対照品種の総収量は同等であり、良果収量は‘STBU03’が多かった(表3)。房どり収穫では、対照品種は裂果が多かったのに対し、‘STBU03’はほとんど裂果しなかったことから、‘STBU03’は房どり収穫が適することが示唆された。なお、‘STBU01’は小果が多く良果収量が少なかったが、小果の基準を9g以下に設定すると良果の割合が大幅に増加することが観察されたので、極小果の消費ニーズもあることも考えれば、‘STBU01’も房どり収穫に適しているといえる。

4.3 栽培管理別作業時間

4.3.1 芽掻き・下葉掻き作業

短節間系統の芽掻き作業は、対照品種と比べ、長期どり栽培では作業時間が長くなったが、短期どり栽培では同等であった(図2)。下葉掻き作業は、対照品種と比べ、長期どり栽培では作業時間が短く、短期どり栽培では長くなった(図3)。長期どり栽培における芽掻きおよび下葉掻き作業時間は、短節間系統間でも差が認められ、短節間性以外の要因による影響も大きいと考えられる。

4.3.2 ホルモン処理作業

短節間系統のホルモン処理作業時間は、対照品種と比べ短かった(図4)。短節間系統はbu遺伝子を導入しているので果房が短く、ホルモン剤を散布する範囲が小さいため、作業時間が短くなったと推測される。以上の結果から、短節間ミニトマト系統はホルモン処理作業を軽

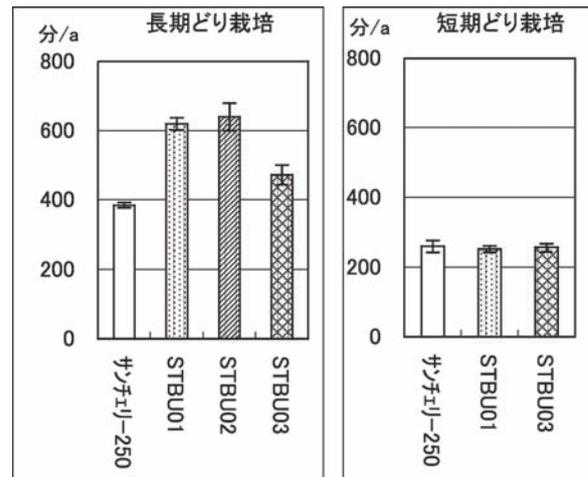


図2 芽掻き作業に要した時間(分/a)

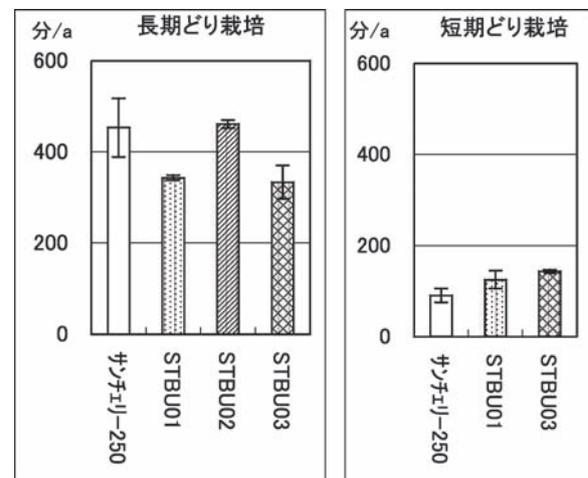


図3 下葉掻き作業に要した時間(分/a)

減できると考えられる。

4.3.3 誘引・蔓下げ作業

短節間系統の誘引・蔓下げ作業時間は、長期および短期栽培ともに対照品種より短かった(図5)。誘引・蔓下げ作業の合計時間と蔓下げ作業時に誘引と蔓下げに要した時間(図6)とを比べると、短節間系統と対照品種との作業時間の差は、主に蔓下げ作業時の時間に起因していることが示唆される。表2に示すとおり、蔓下げ作業は、長期どり栽培では短節間系統の3回に対し対照

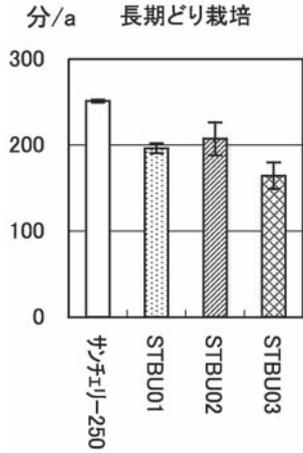


図4 ホルモン処理に要した時間 (分/a)

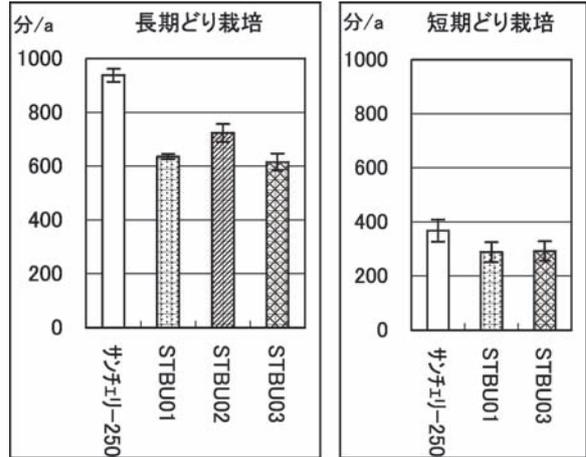


図5 誘引・蔓下げ作業に要した時間 (分/a)

品種は5回、短期どり栽培では短節間系統の0回に対し対照品種は1回であり、この回数の差が、作業時間の差として現れたと考えられる。以上の結果、短節間ミニトマト系統は蔓下げ作業を軽減できることが確認された。

4.3.4 収穫作業

長期どり栽培での収穫作業時間は、房どり収穫した‘STBU01’および‘STBU03’は個どり収穫した‘STBU02’および対照品種の‘サンチェリ-250’と比べ明らかに短かった(図7)。一方、短節間系統および対照品種ともに房どり収穫した短期どり栽培では、大きな差が認められず、短節間系統の方が少し長かったが、これは、短節間系統の方が収穫果房数が多かったためと考えられる。以上の結果、房どり収穫は収穫作業が大幅に軽減できることが確認された。通常ミニトマト品種は裂果が多く房どりに向かないが、短節間ミニトマトは裂果が少ないため、房どり収穫による収穫作業の大幅な軽減が期待できる。

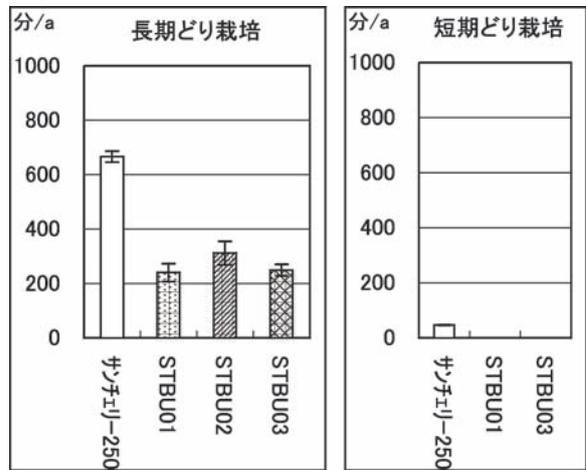


図6 蔓下げ作業時に誘引と蔓下げ作業に要した時間 (分/a)

5 有望F₁系統の育成

長野県中信農業試験場では‘STBU01’、‘STBU02’および‘STBU03’以外にもbu遺伝子を有し、裂果に強い短節間固定系統を合計25系統育成しており、この中には短節間性の程度、果実の大きさおよび果実糖度等に大きな系統間差異がある。これらの系統を用いて様々なF₁組合せ検定を行った結果、房どり収穫したときの収穫物が非常にコンパクトで(図8)、収量性および果実品質がやや優れる有望な3組合せが得られた。これら3系統は‘桔梗交41号’、‘桔梗交42号’および‘桔梗交43号’と系統名を付し、2006年度より特性検定試験および系統適応性検定試験を開始する予定である。

なお、通常ミニトマト品種では、房どり収穫すると、裂果による良品率の低下とともに、収穫果房が非常に大きくなり、出荷・流通の際に取り扱いが煩雑になるが、短節間ミニトマトの有望F₁系統では、コンパクトな出

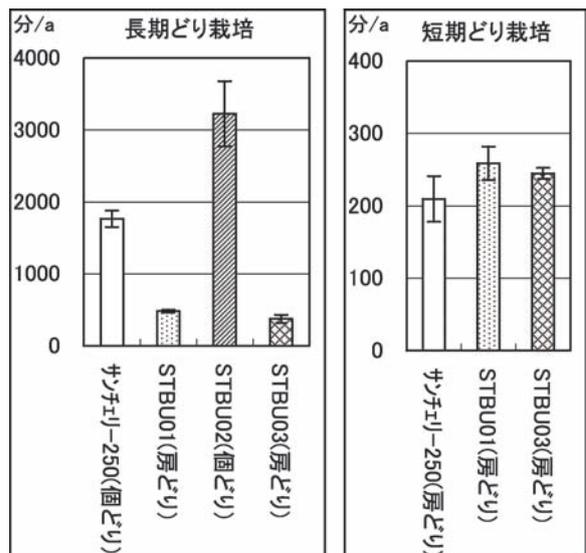


図7 収穫作業に要した時間 (分/a)

荷形態が可能で、出荷・流通・商品の陳列を省スペースで行える利点がある(図9)。



図8 房どりした短節間F₁系統の収穫物



図9 房どりした果房形態
上：短節間F₁系統，下：市販品種‘千果’

摘要

トマト栽培の省力・軽作業化を目指し、*bu* 遺伝子由来の短節間・短果房性を有し、裂果に強い短節間固定系統を選抜し、その形態的特性、収量性および栽培管理作業特性について検討した。短節間系統は対照品種と比べ、第5果房の高さが約6割、果房の長さが約半分で、明らかな短節間・短果房性を示した。短節間系統を房どり収穫したときの収量性は個どり収穫した対照品種とほぼ同等であった。短節間系統は、ホルモン処理および蔓下げ作業を軽減させ、更に房どり収穫することにより収穫作業が大幅に軽減させることが確認された。収量性、果実品質等で有望なF₁系統組合せを3系統選抜した。この中から、ホルモン処理、蔓下げおよび収穫作業が軽減で

き、省スペースで出荷・流通できる品種が育成されることが期待される。

引用文献

- 1) 矢ノ口幸夫・岡本 潔. 2001. トマトの節間長の品種間差異と短節間形質の遺伝様式並びに栽培適応性の解析. 長野中信農試報. 16 : 17-28
- 2) Rick, C. M. 1956. Cytogenetics of the Tomato. *Advances in Genetics*. Vol.8:267-382
- 3) 松永 啓・矢ノ口幸夫・村山 敏. 2005. 短節間性トマト系統の栽培管理作業別労働量. 園学雑. 74 別 1 : 298

施設を中心とした野菜生産の多様な展開と対応する新技術の開発方向

東北の冷涼な気象条件を生かした夏秋どりイチゴ生産

今 田 成 雄

独立行政法人 農業・生物系特定産業技術研究機構東北農業研究センター

Production of Strawberries in Summer and Autumn under the Cool Climate of the Tohoku Region

Shigeo IMADA

National Agriculture and Bio-oriented Research Organization
National Agricultural Research Center for Tohoku Region

キーワード：イチゴ，夏秋どり，寒冷地，短日処理，越年株，四季成り性品種

1 はじめに

我が国のイチゴ栽培は、おもに関東以西において冬から春にかけての促成栽培を中心として行われているため、イチゴ生産の端境期は夏秋期の7月～10月となる。全国主要都市でのイチゴの卸売取扱数量は年間で約15万トン（総生産量は20万トンとも言われている）、そのうち7～10月の取扱数量はわずか7百トン程度で、全体の0.5%にも満たない。しかし、洋菓子店を覗くと、夏でもイチゴケーキがショーウィンドウを飾っている。洋菓子店にとってはイチゴケーキはまさに看板商品であるために、イチゴは夏でも一定の需要があり、国内産での不足分を補うために年間4～5千トンのイチゴがアメリカ等から輸入されている（図1）。

輸入イチゴには外観や食味に難点があることに加え、最近の消費者の食に対する安心・安全への強い関心からも、夏秋期に輸入に代わる安全で高品質な国産イチゴの供給を望む菓子業界やケーキ業界等の実需者の声が強くなってきている。

また、生産者サイドには、近年のイチゴ価格の低迷などから、何か新しい取り組みでイチゴ産地の振興を図りたいという希望や、イチゴ以外の生産者でも、収益性の高いイチゴの栽培を何らかの新しい切り口で取り組んでみたいといった希望があり、夏秋どりイチゴ栽培という新技術に対して非常に関心が高まってきている。

そうした要望に応えるため、寒冷地の冷涼な気象条件を活用し、それらの地域で、夏秋期にイチゴを安定的に生産できる新技術を開発し、東北地域でのイチゴの周年供給体制を図ることを目的として、東北農業研究センターが中心となり、東北6県の研究機関も参画し、「地域農業確立総合研究「寒冷地におけるイチゴの周年

供給システムの確立」(略称：地域確立「寒冷地イチゴ」)という5カ年のプロジェクト研究を2003年度からスタートさせた^{1,2,3)}。現在輸入されている夏秋期のイチゴを国産品でまかない、さらには、夏秋期の新たな需要を掘り起こし、イチゴ産業に新たな旋風を巻き起こすことを目的として、本プロジェクト研究に取り組んでいるところである。

我々のプロジェクト研究がスタートして、約2年半が経過し、これまでの成果等を踏まえて、夏秋どりイチゴの栽培マニュアルを作成したところである⁴⁾。また、その間、アンケートなどにより実需者、消費者のニーズ調査も進めながら、直接お会いしてお話を伺う機会もあったので、ここでは、そうしたユーザーのニーズについてもふれながら、我々が本プロジェクト研究で開発を進めている新技術について紹介したい。

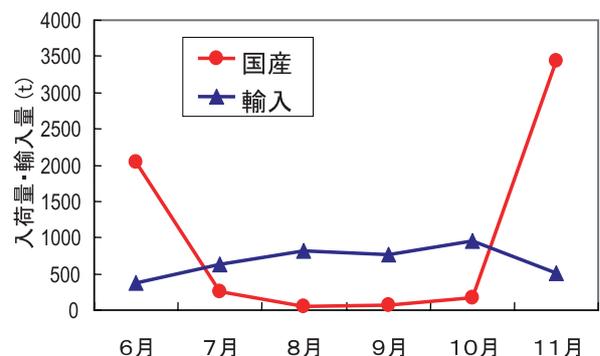


図1 夏秋期における国産および輸入イチゴの市場入荷量・輸入量

国産は1.2類青果市場取扱量，輸入は全量（2001）（山崎篤原図）

2 夏秋どりイチゴ栽培の新技术

2.1 短日処理による夏秋どり栽培（9～11月どり栽培）

一季成り性品種での花芽誘導，前進化技術として，夜冷短日処理が広く普及している。冷涼な地域においては，冷房の設備がなくとも，単に短日の条件を確保することで花成誘導されることを利用し，9月からの収穫を目指す技術である^{2,3,5)}。

短日処理装置は，トンネル，あるいは間口2m程度の小型のハウスに，朝夕開け閉めができるように100%遮光の資材を張っただけの簡易な装置で，通常，朝9時に開け，夕方17時に閉め，16時間暗黒の処理を行う（図2）。100%の遮光ができ，開閉が容易にできるものであれば，大きさや形状に特段の制約はない。

促成栽培用品種の‘女峰’，‘さちのか’，‘とちおとめ’では，約30日間，露地・半促成栽培用品種の‘北の輝’でも，40～45日間の短日処理で花芽分化することが確認されている⁶⁾（図3）。処理終了後直ちに定植するが，必要処理日数については地域による気象条件の違いや年次変動により長短が生じるので，検鏡による花芽分化の確認が必要である。

短日処理のより効果的な方法についても検討を行っている。短日処理装置を深夜に開放して夜間の温度を低下

させたり，明期に肩部までの半開状態にして昼間の温度上昇を抑制することにより，若干の効果を認めている^{4,7)}（表1）。

6月下旬から短日処理を開始し，7月下旬に定植することで，定植してから約2ヶ月後の9月下旬からの収穫が可能となる。早期の苗確保が可能であれば，短日処理開始を早めることにより，さらに収穫開始を早めることができる。

短日処理による夏秋どり栽培では，定植直後が高温の時期になるため，次の花房の出蕾が遅れてしまうことがある。いかにして連続出蕾を確保するか，また，初期収量を上げるためにいかにして頂花房を充実させるかなど，解決すべき問題もある。

2.2 越年株の利用による夏どり栽培（7・8月どり栽培）

前年の秋に採苗したポット苗を雪の下で越冬させ，休眠から覚醒ののち，2～3月に温度をかけはじめ，生育を進ませて花芽分化しにくい期間を経過させた後，冷涼な地域での春先の自然低温で花芽を分化させ，7,8月の収穫を目指す技術である。既存の一季成り性品種で盛夏期の収穫が可能となる^{8,9)}。ただし，この方法は育苗期間が長く技術が複雑との印象を受けること，収量，品質の向上などの改善の工夫が必要など，実用化に向けて解決



図2 短日処理装置の一例

（左）：朝9:00から夕方17:00まで開放。（右）：朝夕の閉まった状態。
写真の装置ではタイマー制御で自動開閉させている。

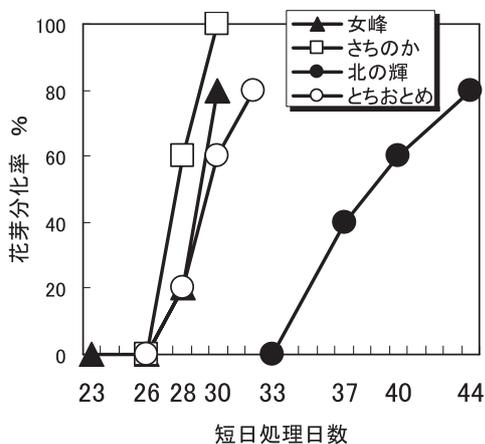


図3 短日処理中の花芽分化率の推移（山崎篤ら⁶⁾）

表1 短日処理の昇温抑制法が施設内気温および出蕾に及ぼす影響（山崎浩道ら⁴⁾）

短日処理法	施設内気温 (°C)			出蕾株率 (%)	出蕾日
	日平均	日最高	日最低		
通常	24.0	32.4	18.9	77	8月23日
夜間開放	23.5	32.8	17.7	71	8月22日
明期半開（遮光）	22.8	30.2	17.9	91	8月22日
夜間開放+明期半開	22.8	30.8	17.7	96	8月21日

通常短日処理：8時間日長，明期9～17時

夜間開放：通常短日処理+20時30分～翌3時30分の間，自動開放
明期半開：通常短日処理の明期の間，施設肩部までの半開として遮光
出蕾株率，出蕾日は品種（‘女峰’，‘とちおとめ’，‘さちのか’，‘北の輝’）の平均値

出蕾株率：短日処理により出蕾した株の割合

すべき問題がいくつかある。

前述の短日処理で秋にハウスに定植したイチゴを、上記と同様の考え方で春先から管理していけば、年内どりと組み合わせた二期どり栽培も可能となる。冬季の日照量が少なく、暖房による促成栽培の導入が難しい寒冷地において、有効な栽培法と考えられる⁵⁾。

また、促成栽培や半促成栽培により半休眠状態で経過させたイチゴは、夏季冷涼な地域では、春以降も連続的に出蓄することが確認されており、この性質をうまく利用することで、夏秋期の収穫をメインとした越年の据置き栽培も可能である¹⁰⁾。

2.3 四季成り性品種の利用

四季成り性イチゴは、高温・長日の夏季においても花芽が連続的に分化するので、花芽誘導させるのに複雑な栽培管理技術を必要とせず、夏秋どり栽培に適するといえる。日本では、歴史的に四季成り性品種の育成の取り組みが遅れてはいたが、近年、‘ペチカ’（ホープ）、‘エッチェス-138（夏実）’（北海三共）、‘夏ん娘’、‘きみのひとみ’（旭川ブリックス）、‘サマールビー’（ミカモフレック）など、民間種苗会社先行でいくつかの品種が出回り、冷涼な北海道や東北、本州の高冷地を中心として栽培が広がりつつある。こうした四季成り性品種の栽培の広がりが、夏秋どりイチゴ栽培への関心をさらに高めていると思われる。遅ればせながら、東北農業研究センターにおいても、高品質な果実形質を持つ四季成り性系統として‘なつあかり’、‘デコルージュ’を育成したところである（図4）。県の試験研究機関においても、長野県の‘サマープリンセス’、栃木県の‘とちひとみ（栃木18号）’などが育成されてきている。

四季成り性品種の栽培方法は、一般的には、春定植栽培と秋定植栽培がある⁴⁾。一概に四季成り性品種といっても、品種によりその性質は大きく異なるので、それぞれの品種にあった栽培管理方法を見出していく必要がある。現在、‘なつあかり’、‘デコルージュ’について、さまざまな作型での栽培の可能性を試しているところで

ある。

3 夏秋どりイチゴ栽培の取り組み事例

四季成り性イチゴの栽培面積は、北海道で今年は40ha以上、東北地域でも2003年の推計で約18haに及ぶ。四季成り性イチゴの産地化は民間主導で着々と進んでいる感がある。

我々東北農研が進めているプロジェクト研究でも、各県の試験研究機関等が中心となり東北各地に4つの地域に営農試験地を設定し、新技術の普及や産地形成に向けた取り組みを行っている^{1, 2, 3, 4)}ので、簡単に紹介したい。これらの地域では、それぞれ数戸の農家で試験を実施している段階であり、ごく小規模な取り組みではあるが、今後、これらの地域を核として東北全体にまで広げ、各地に適した夏秋どりの新作物型と既存作物型を組み合わせ、リレー的な出荷を行い周年供給を実現させたいと考えている（図5）。

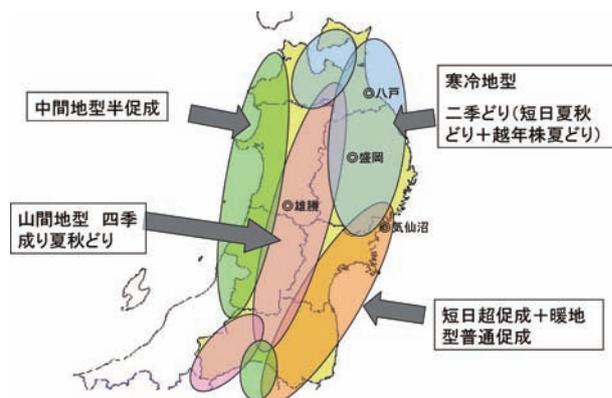


図5 東北管内での周年供給構想
各地に適した夏秋どりの新作物型と従来の作物型を組み合わせ、リレー的な出荷を行い周年供給を実現させる（地図中の◎印は営農試験地）



図4 東北農研で育成した四季成り性新品种
左：‘なつあかり’，右：‘デコルージュ’

3.1 青森県八戸市市川地区

半促成栽培の産地として古くから‘麗紅’が栽培されている。‘麗紅’の市場評価がかんばしくないこともあり、品種の切り替えとともに新たな栽培技術の導入が望まれている。この地域は、夏季冷涼なやませ地帯で、夏秋どりイチゴ栽培の適地といえる。実証試験では、‘とちおとめ’、‘さちのか’などを用いて短日処理、越年株栽培、越年据え置き栽培に取り組んでいる。越年据え置き栽培は、1年目の秋に定植し、冬季は半促成、あるいは促成栽培に準じた管理を行い、2年目は春から秋遅くまで連続的に収穫し、3年目も春から夏頃まで収穫を行い終了させるという方法であり、育苗や定植の労力の軽減にもつながる。

3.2 岩手県盛岡市太田地区、都南地区

‘北の輝’の低温カット栽培や露地栽培により、5~7月に収穫を行い、業務用を中心に以前から東京方面へ出荷している。実証試験では、‘北の輝’、‘さちのか’を用いて短日処理と越年株栽培あるいは低温カット栽培を組み合わせた二期どり栽培で、5~7月の収穫に加えて、9~11月にも収穫できるように、作期拡大の取り組みを進めている（図6）。

3.3 宮城県気仙沼市階上地区

‘とちおとめ’、‘章姫’、‘さちのか’で促成栽培を行っているが、花芽分化が不安定で収穫開始時期が年によって変動するため、低コストで安定的な花芽分化技術の導入が求められている。短日処理技術を導入して花芽分化の安定化をめざすとともに、やませによる夏季冷涼な地域であるため、前進化による夏秋どり栽培の取り組みも進めている。

3.4 秋田県湯沢市秋の宮地区

古くから業務用イチゴとして露地を中心として6~7月どり栽培を行っている。収穫期が短期間に集中するため、労力の分散を図るための新たな取り組みとして、‘なつあかり’などの四季成り性イチゴの試験栽培に取り組んでいる。

4 実需者・消費者が求める夏秋期のイチゴ

夏秋どりイチゴについては、栽培等の技術的問題も重要であるが、実需者、消費者のニーズや流通面での問題点を的確に把握する必要がある。

夏秋どりイチゴのターゲットは、主として夏秋期のケーキなどの業務用となるため、実需者のニーズに対応したイチゴの生産が必要となる。生食用と業務用ではいくつかの点で大きな違いがある^{11,12)}（表-2）。まず、果実の大きさは、生食用であれば、大きいほどよいが、ケーキ用では、大きすぎるとケーキの上に載らないので、MやLサイズが求められる。さらに、形もケーキの上に載せるので、きれいな円錐形である必要がある。次に、味は、生食用では甘いイチゴに人気があるが、ケーキのイチゴは生クリームの甘さとのバランスから、ほどよい酸味も必要である。これらは、季節を問わず業務用のイチゴとして具備すべき条件となるが、特に夏季においては果実が硬く、輸送性、日持ち性に優れることも重要な要素となる。また、輸入イチゴとの差別化を際立たせ、

表2 実需者が求めている夏秋どりイチゴの条件
（櫻井ら¹²⁾より抜粋）

	点数 (回答数)		
	1位	2位	3位
求めている品質条件			
鮮度（新鮮）	77	21	5
色づきの揃い	45	4	13
糖と酸のバランス	34	6	7
大きさの揃い	33	7	2
日持ち	32	1	10
糖度	10	1	1
適当なかたさ	8	1	2
減（無）農薬	5	1	0
酸味	2	0	0
求めているサイズ			
2S（1粒5g~）	6	1	1
S（7g~）	31	3	7
M（9g~）	92	23	9
L（11g~）	62	10	15
2L（15g~）	34	5	5
3L（25g~）	6	0	1
その他	4	0	1

重要な順に1位から3位までを記入してもらい、点数は1位に3点を、2位に2点を、3位に1点を配点した。



図6 盛岡の現地実証試験で実施しようとしている二期どり栽培の概要

さらに生食用としての用途も可能とさせるためには、単に外観に優れるだけでなく食味が優れることも今後は重要になってくると考えられる。

5 夏秋どりイチゴの問題点と将来展望

2004年は猛暑で、夏秋どりイチゴにとっては、とても厳しい夏であったし、2005年も8月は暑く同様に厳しかった。このような夏を経験すると、夏のイチゴ栽培は、やはり作りにくいと言わざるを得ない。この時期の重大な問題としては、虫害対策があげられる。春から夏にかけて栽培を続ける夏秋どりの作型では、根絶が難しい。害虫としてはアザミウマ類もさることながら、最近北海道や一部東北で広がり始めたシクラメンホコリダニが要注意である¹³⁾。

夏秋どりイチゴ栽培については、四季成り性品種の利用はもちろんのこと、一季成り性品種を用いてもいくつかの方法や作型が考えられる。現在我々のプロジェクト研究では4箇所の営農試験地を設置して実証試験を進めている。地域の気象条件や産地としての立地条件等を踏まえて、各地域においてどの方法を導入し、どのようにすればより低コストで、より収益性を上げられるかを十分に踏まえて取り組んで行く必要がある。

夏秋期のイチゴは、もっぱらケーキに使う業務用となる。洋菓子業界では夏秋期の国産イチゴを喉から手が出るほど必要としており、夏場のケーキ用としてのイチゴの需要は必ず伸びると思われる。

大手ケーキメーカーは、低価格、高品質、安定供給を望んでいる¹⁴⁾。低価格、高品質については、生産者は高品質なものを生産すべきであることは言うまでもないが、実需者はよいものをより安く買いたい、生産者側はより高く売りたいと、当然のことながら両者は利害が対立する構図にある。一方では、夏秋期にイチゴを作れば必ず高価格で取引されるだろうとの期待を持ちすぎないようにすべきではあるが、栽培しづらい時期に生産したイチゴが安く買いたたかれることになれば生産意欲をなくしてしまうことになる。夏秋どりイチゴの普及や産地育成のためには、実需者、生産者の両者が協調し、協力し合っていくことも重要と思われる。

安定供給については、一つの産地でロット数を確保して安定的に供給することはたやすいことではないから、地域や県を越えて、夏秋どりイチゴ農家や産地間でのネットワーク的な組織を構築することが必要となるであろう。

また、業務用という用途に適切に対応するためには、従来の生食用の場合とは異なる流通形態にならざるを得ないところがあり、新たな流通システムの構築が必要となってくる¹⁵⁾。北海道で四季成り性品種を育成し販売しているある民間会社では、苗販売のみならず技術指導、生産物流通販売まで、一貫したビジネスを展開し、シェ

ア-を広めてきている¹⁶⁾ので、そうした事例からヒントを得ることも重要である。

我々も、新技術を真に定着、普及させていこうとするなら、単に開発した新技術を生産者に提示するだけの受け身的な対応ではなく、もっと踏み込んで、開発した技術でどのようなものを作り、どのような流通形態でどこへ売っていくべきかということまで提示し実行するといった積極的な取り組みが必要と思われる。

摘要

国産イチゴが端境期となる夏秋期に、冷涼な東北地域の気候を活用して安全で高品質なイチゴを生産するための技術開発に取り組んでいる。夏秋どりイチゴ栽培の新技術として、簡易な短日処理装置を用いた9~11月どり栽培、越年株を利用した7・8月どり栽培、さらに、四季成り性品種の利用がある。これらの技術について、青森県八戸市、岩手県盛岡市、宮城県気仙沼市、秋田県湯沢市において現地実証試験を進めている。実需者のニーズは、M、Lサイズが好まれるなど、生食用のニーズとは若干異なる。夏秋どりのイチゴは主として業務用となるため、新技術の普及・定着を図るには、従来の生食用の場合と異なる新たな流通形態を考えていく必要がある。

引用文献

- 1) 今田成雄. 2003. 東北・寒冷地における周年供給システムの構築. 農耕と園芸. 58 (12) : 67
- 2) 今田成雄. 2004. 寒冷地におけるイチゴの夏秋どり作型の開発. 農耕と園芸. 59 (11) : 44-47
- 3) 今田成雄. 2005. 端境期を埋めるイチゴ夏秋どり技術の開発. 施設と園芸. 129 : 14-17
- 4) 今田成雄編. 2005. 夏秋どりイチゴ栽培マニュアル. 東北地域いちごの超促成栽培確立プロジェクトチーム事務局発行. pp78
- 5) 山崎 篤. 2004. 寒冷地における短日処理によるイチゴの夏秋どり作型の開発. 農業技術. 59 : 156-160
- 6) 山崎 篤・矢野孝喜・山田 修・佐々木英和. 2004. 寒冷地夏秋どりイチゴ栽培における花芽分化に必要な短日処理期間. 東北農業研究成果情報. 平成15年度. 222-223
- 7) 山崎浩道・濱野 恵・今田成雄. 短日処理時の昇温抑制法が10・11月どりイチゴの開花、収量等に及ぼす影響. 2004. 東北農業研究. 57 : 191-192
- 8) 矢野孝喜・山崎博子・長菅香織・山崎 篤. 2004. イチゴ越年株を利用した夏どり栽培に関する研究(第1報)低温遭遇後の加温開始時期が収穫時期に及ぼす影響. 園学雑. 73 (別2) : 409
- 9) 今田成雄・濱野 恵・山崎浩道. 2005. イチゴの越年株利用による夏どり栽培における加温開始時期、加温温度、短日処理の有無の影響. 園学雑. 74 (別1) : 304
- 10) 岩瀬利己・木村一哉. やませ地帯における半促成栽培イチゴの据え置き株の収量・品質. 2004. 東北農業研究. 57 :

- 187-188
- 11) 澁谷美紀. 2005. 夏秋どりイチゴの販売ターゲットとなる洋菓子店の特徴. 東北農業研究成果情報. 平成 16 年度. 282-283
 - 12) 櫻井晃治・佐々木俊彦・高橋真紀. 2005. 宮城県における夏秋どりイチゴに対する実需者の需要と利用実態. 東北農業研究成果情報. 平成 16 年度. 264-265
 - 13) 後藤忠則・土崎常男. 1980. シクラメンホコリダニ (*Steneotarsonemus pallidus* BANKS) によるイチゴの芽えそ症. 北海道農試研報. 128 : 1-6
 - 14) 山下悦男. 実需者が求める夏秋期のイチゴ産地における状況一. 園学雑. 74 (別 2) : 80-81
 - 15) 澤田 守・藤森秀樹・角田 毅・長谷川啓哉. 2005. 夏秋どりイチゴ生産流通システムの特徴と四季成り性イチゴの導入条件. 東北農業研究成果情報. 平成 16 年度. 280-281.
 - 16) 有馬 康. 2005. トータルアグリビジネスとしての夏秋どりイチゴの普及戦略ー夏秋どりイチゴの普及拡大への取り組み一. 園学雑. 74 (別 2) : 78-79

中山間地域の活性化を目指した少量多品目野菜生産

尾 島 一 史

独立行政法人 農業・生物系特定産業技術研究機構近畿中国四国農業研究センター

Revitalization of Hilly and Mountainous Areas by Small Scale and Diverse Vegetable Production

Kazushi OJIMA

National Agriculture and Bio-oriented Research Organization
National Agricultural Research Center for Western Region

キーワード：中山間地域，少量多品目野菜生産，農産物認証制度，栽培基準，環境保全型農業技術

1 はじめに

野菜流通の中心は、産地ごとに特定の品目を大量生産して、卸売市場を通して全国に分配する広域流通であるが、近年、農産物直売所の急増にみるように、地元で小規模に栽培された多品目の野菜をその地域の消費者が購入するという地産地消が増加している。一方、食品の安全性を求める消費者の要求が高まり、野菜についても輸入野菜の残留農薬問題等により、新鮮で安心な野菜への要望が高まっている。家庭菜園の延長のような小規模な面積で栽培された野菜は、消費者には生産者が自分で食べることを前提に栽培した新鮮で安心な野菜というイメージが強く、今後も需要の増加が見込まれる。近年増加している食材にこだわる総菜屋においても、特色をアピールできれば、大量に流通していない中山間地域で生産された多品目で少量の野菜の利用の増加が期待できる。さらに、少量多品目野菜生産は、高齢者や女性、定年帰農者等のより多くの生産者が取り組むことが可能であり、農産物直売所や産直での販売活動等を通して消費者との交流も行えることから、中山間地域の活性化の面からも期待されている。

しかし、高齢者や女性を中心とした少量多品目野菜生産は、生産の不安定さ、収穫集中時期への生産集中等の課題を抱えている。また、農業改良普及センターやJAの営農指導は、地域の中心品目に重点をおいて実施され、少量多品目野菜生産については、十分な営農指導がなされていない場合が多い。試験研究についても同様の傾向があると考えられる。今後、少量多品目野菜生産を振興するためには、どのような試験研究や技術指導を行うのがよいか検討する必要がある。

本報告では、京都府美山町（現南丹市美山町）におけ

る農産物認証制度を核とした少量多品目野菜生産振興と試験研究の取り組みを報告するとともに、中山間地域の少量多品目野菜生産に必要とされる技術について若干の考察を行う。

2 京都府美山町における少量多品目野菜生産振興と試験研究の取り組み

近畿中国四国農業研究センターでは、2001年度より、京都府美山町を営農試験地にして地域総合研究「中山間水田における害虫総合防除等による高品位野菜生産システムの確立」に取り組んでいる。本研究では、以下に述べる美山町の美山農産物認証制度の認証農家を技術の主な普及対象としており、この認証制度の運営に、制定準備段階から密接に協力している。具体的には、栽培基準の設定、農家への説明と参加呼びかけ、生産圃場の確認と巡回指導、栽培計画書・栽培記録簿の確認、認証農家を対象にした栽培技術研修会の開催、認証農産物の有利な販売方策の検討、等である。ここでは、美山町における認証制度を核とした少量多品目野菜生産振興の現状と、これと関連した近畿中国四国農業研究センターの少量多品目野菜に関する試験研究および技術普及の取り組みを報告する。

2.1 美山町における農産物認証制度の概要

2.1.1 農産物認証制度制定の経緯

美山町は、京都市の北約50kmに位置している山村であり、日本海側気候に属し、冬季は積雪する。伝統的な茅葺き民家が多く残る美しい自然環境に恵まれた町であり、近年観光客が増加している。1980年代前半～90年代前半にかけて、減・無農薬野菜の産直を行う様々なグ

ループが形成され、活発な産直活動を行っていたが、生産者の高齢化等により、産直活動が停滞もしくは休止するグループが出てきた。一方、美山町を訪れる観光客が増加してきたこともあり、野菜を中心とした直売所が1990年前半から設立されるようになり、現在は町内の5地区（旧村）それぞれに、常設又は休日ごとの直売所が設けられている。

このような実態を踏まえて、2004年4月に行政が中心となり、美山町の農産物の販売拡大、ひいては農家の所得向上につなげることを目的として、町独自の農産物認証制度を設けた。野菜を主な対象として認証を行っており、同年6月より認証した野菜の販売を行っている。2005年度の認証野菜の生産農家は、産直や直売所を通して野菜を販売する約70戸であり、ほとんどが65歳以上の高齢者である。美山町の農家戸数は861戸（2000年農業センサス）であり、兼業化、高齢化が進んでいる。野菜販売農家数は約200戸なので、野菜販売農家の1/3程度が認証野菜を生産していると考えられる。野菜販売農家の大半は、水田転作畑を中心に露地や簡易な雨よけハウスで少量多品目栽培を行っている。

2.1.2 栽培基準の概要

認証野菜の2005年度の栽培基準は、金ランクと銀ランクの2区分となっている。金ランクの施肥については化学肥料不使用であり、防除については有機JAS認証で使用が認められている農薬のみ使用を認めている。銀ランクの施肥については、基肥には有機質肥料もしくは有機質が概ね50%以上の有機配合肥料を使用することとし、追肥には化学肥料の必要最小限の使用を認めている。防除については有機JAS認定農薬の他に、普通物の農薬（劇物、毒物は使用禁止）の使用を総使用回数を制限して認めている。ただし、除草剤、土壌消毒剤の使用は認めていない。

2005年度の栽培基準の銀ランクについては、2004年度の栽培基準を緩める方向で変更した（表1）。変更した理由は、2004年度の栽培基準では対応できなかった病虫害に対応するため、認証野菜生産に取り組みやすくしてより多くの生産者の参加を促すため、厳しく農薬、化学肥料を制限しても、その内容を消費者にアピールすることが難しいため、等である。栽培基準を変更したことに

より、新たに認証制度に参加した生産者もあり、認証農家数は2004年度より約10戸増加した。

2.1.3 認証野菜の生産・販売体制

認証制度の運営、推進は役場が中心になって行い、認証は美山農産物認証推進協議会で行っている（図1）。認証基準で使用を認めている資材の確保、販売はJAで行い、技術支援は農業改良普及センターと近畿中国四国農業研究センターが行っている。認証野菜は、美山町内の各地区の農産物直売所で販売されている他、第3セクターの美山ふるさと（株）を主に經由して町外に販売されている¹⁾。美山ふるさと（株）は、認証野菜を消費者宅配産直（約200戸）や京都市内で経営しているアンテナショップで販売している他、自然食品店、レストラン等にも販売している。美山ふるさと（株）では、休止もしくは停滞していた産直グループの産直活動を引き継ぐとともに、新たに複数の消費者グループと産直を行っている。美山ふるさと（株）では、町として認証制度に取り組み始めてから、野菜取引の引合いが多くなり、条件のよい販売先を選択することが可能となった。町として認証制度に取り組むことにより、環境保全や安全・安心な野菜生産に努めている地域として評価が高まりつつあると考えられる。

2.2 認証制度の生産面における効果

2.2.1 農薬の適用基準の遵守

美山農産物認証制度では、農薬の安全性、美山町での

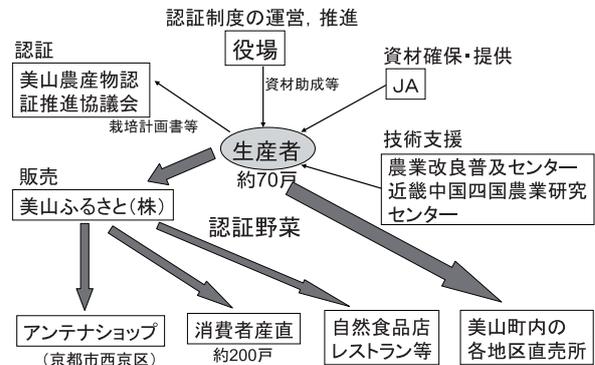


図1 認証野菜の生産・販売体制の概要

表1 美山農産物認証制度の栽培基準の銀ランクにおける変更点

	2004年度	2005年度
施肥基準	有機質が窒素成分量の概ね50%以上の有機配合飼料の使用を認める。 化学肥料の使用を認めない。	有機質が概ね50%以上含まれる有機配合飼料の使用を認める。 追肥においては化学肥料の必要最小限の使用を認める。
防除基準	普通物で魚毒性が低い農薬から使用可能農薬を8種類に限定。 総使用回数（種子、育苗段階は除外、有機JAS認定農薬を除く）1~3回。 有機リン系農薬、展着剤、植物成長調節剤の使用を認めない。	普通物の農薬の使用を認める。必要性、安全性、効果の面から27農薬を推奨農薬に選定。 総使用回数（種子、育苗段階は除外、有機JAS認定農薬を除く）1~6回。 有機リン系農薬、展着剤、植物成長調節剤の使用を認める。

病虫害の発生状況等を踏まえて、推奨農薬（2005年度27農薬）を選定している。そして、推奨農薬については、作物名別および適用病虫害別の適用農薬一覧表と、使用方法を生産者が見やすいように記載した冊子を、認証農家全戸に配布している。また、事前に美山農産物認証推進協議会に提出する栽培計画書に使用予定の農薬、化学肥料を記載することにしており、認証基準や農薬の適用基準に適合しているかを協議会の事務局がチェックし、改善が必要な場合は生産者に指導している。これらの取り組みにより、農薬の適用基準の遵守がより確実になされるようになってきている。

部会組織で特定品目の市場出荷を行う場合は、当該品目については通常栽培暦が作成され、それに基づいてJAや農業改良普及センターの栽培指導が行われるため、生産者は農薬の適用基準を遵守しやすい。これに比べ、少量多品目栽培の場合は、JAや農業改良普及センターの栽培指導を受けていない場合が少なくなく、農薬に貼付されている農薬適用表が少量多品目野菜生産の中心となっている高齢者にとっては小さく見づらいこともあり、農薬の適用基準を確実に守るのが困難な場合が少なくない。美山町では、農薬の適正な使用方法の指導を受けられることをメリットと感じて、認証を受けた生産者もいる。

2.2.2 安全性が高い農薬への変更と化学肥料の削減

美山町では、農薬については、安全性の高さ等から推奨農薬を選定するとともに、劇物、毒物の使用を禁止し、普通物のみの使用に限定していることから、より安全性の高い農薬への変更がなされてきている。農薬の総使用回数（種子、育苗段階は除外、有機JAS認定農薬を除く）については、作物ごとに農薬の必要性に応じて1～6回に制限している。美山町の野菜生産の多くは、小規模で家庭菜園の延長でなされており、農薬の使用回数は全体的に極めて少ないため、使用回数の制限が問題となることはほとんどない。化学肥料については、水田に使用している燐加安、NK化成、ケイ酸カリ等の化学肥料を野菜栽培にも使用している農家が少なくなかったが、美山農産物認証制度で基肥には有機質肥料もしくは有機質が概ね50%以上の有機配合肥料を使用することを義務づけていることから、化学肥料の使用が減少し、有機質100%の肥料や有機質が概ね50%以上の有機配合肥料の使用が増加している。

2.3 認証制度に関連した試験研究と技術普及の取り組み

2.3.1 害虫の発生状況の把握と防虫ネットの効果の検証

中山間地域では豊かな自然を抱える反面、多様な害虫による被害が予想され、少量多品目野菜生産の安定化のためには、害虫対策が極めて重要であるので、ここでは害虫対策に関連した試験研究と技術の普及を中心にして報告する。害虫対策を行うには、対象地域の害虫の発生状況を明らかにする必要があるため、美山町の現地圃場

調査や、各生産圃場に設置したプランターで栽培したコマツナに発生した害虫の調査等により、美山町で最も多く栽培され害虫の被害も受けやすいアブラナ科野菜の害虫の発生状況を明らかにした。また、防虫ネットの効果を検証するために、アブラナ科野菜の害虫について防虫ネットの目合いごとに通過率を明らかにした²⁾。そして、アブラナ科野菜の主な害虫の写真や美山町での発生消長、防虫ネットの効果等を掲載した冊子「美山町で見られるアブラナ科野菜の害虫」を作成し、認証農家に配布するとともに、その防除方策を含めて栽培技術研修会で説明した。生産者が主な害虫の名前と地域での発生消長を知っていることは、使用農薬の適切な選定に必須であり、効果的な防除を可能とするだけでなく、農業改良普及センターや試験研究機関が生産者とコミュニケーションを図りながら、害虫防除技術の指導や普及を効率的に行う上でも重要である。

2.3.2 太陽熱処理とネットトンネルを組み合わせた栽培技術の確立と普及

美山町で大半を占める露地栽培における少量多品目野菜生産を安定化させる技術としては、太陽熱処理とネットトンネルを組み合わせた栽培技術の確立と普及を図った^{3,4)}。この技術は、高齢者でも実施することが比較的容易であり、多くの品目で使用可能な、汎用性の高い技術と考えられる。「コマツナ無農薬露地栽培マニュアル」および「太陽熱処理マニュアル」を作成し、認証農家に配布するとともに、栽培技術研修会の開催と圃場巡回指導を行い、技術の普及、定着に努めた。その結果、2004年度は、認証農家の約半数の31戸が取り組み、18戸は成功、7戸は不十分な成績、6戸は失敗した⁵⁾。実施品目はキャベツが最も多く、次いでハクサイ、ダイコン、カブ、コマツナ、ミズナ、レタス、ホウレンソウ等である。失敗の最大の原因は、防虫ネットの裾押さえがきちんと行われず、ネットと地面との隙間から害虫が進入したことである。また、ネットの上あるいは附近の雑草で孵化したヨトウの幼虫等のネットの網目からの侵入も問題となった。太陽熱処理については、実施圃場のほとんどで顕著な雑草抑制効果が認められ、キスジノミハムシ等の害虫抑制効果を評価する農家もあった。

2005年度は、技術の一層の普及、定着を図るために、認証農家だけでなく、野菜販売農家全てを対象に栽培技術研修会や圃場見学会を行うとともに、12戸の認証農家において、キャベツとコマツナの試験栽培を実施している。試験栽培では、ネットの裾押さえをきちんとすることを徹底するとともに、害虫が進入した場合はBt剤等の有機JAS認証農薬のみで防除し、肥料も有機質肥料のみを使用して、美山農産物認証制度の金ランクで栽培することを目指している。

2.3.3 認証制度と関連した試験研究の課題

生産者が目標とする認証制度の栽培基準を守りながら、より安定した生産を行えるようにする必要がある

が、有機農産物の生産方法に近い栽培基準となっている美山農産物認証制度の金ランクでの栽培では、アブラムシ、ネキリムシ、カブラハバチ、ダイコンサルハムシ、カメムシ、ニジュウヤホシテントウ等の重要害虫が品目によっては防除するのが難しく、対応が困難な病害も少なくないため、生産が不安定になりがちである。太陽熱処理とネットトンネルを組み合わせた栽培技術は、適用するのが困難な品目もあり、春作では太陽熱処理が使えないので、土壌中に潜むネキリムシ等の害虫や雑草に対処できないという問題がある。金ランクでの認証野菜生産を安定化させるためには、環境保全型農業技術の開発に一層努める必要がある。同様に、有機JAS認証を受けている生産者や農薬、化学肥料を全く使用しない生産者に対応できる技術の開発も必要である。有機JAS認証や都道府県等の認証制度の栽培基準は、技術開発の目標水準や普及させる技術の内容と関連し、試験研究や技術開発を行う上でも重要となる。また、生産者が認証を受けるために、栽培基準に適合した栽培に取り組む中で、環境保全型農業技術を導入する場合もあり、技術の普及においても認証制度は重要である。

3 中山間地域の少量多品目野菜生産に必要とされる技術の特性と内容

3.1 技術の特性

中山間地域の少量多品目野菜生産に必要とされる技術の特性としては、①高齢者、女性でも使用しやすいように簡便で、軽労であること、②多くの品目に使用できるように汎用性が高いこと、③販売額が少なくても導入しやすいように低コストであること、等がある。また、中山間地域の自然環境を維持保全し、安全・安心な野菜を求める消費者の要望に応えられる環境保全型の技術であることが望ましい。

3.2 病害虫対策

露地における少量多品目野菜生産では、圃場面積当たりの販売額は農家によって大きな差がある。美山町でも農家によって少量多品目野菜生産による10a当たり販売額は、30万円程度から100万円程度といった開きがある。この差は、商品化率と輪作体系の違いによる面が大きい。

商品化率の違いは、販売先の違いによる場合もあるが、病害虫対策の巧拙により生じている場合が少なくない。施設野菜では、天敵の利用が進み成果を上げているが、露地での少量多品目野菜生産に適用するのは困難である。コンパニオンプランツやバンカープランツの利用、圃場周辺の植生管理等により、土着天敵や害虫の管理を行うような、中山間地域の少量多品目野菜生産でも適用可能な虫害低減技術が望まれる。病害については、病害を発生させない条件づくりとともに、植物が持っている

病害抵抗性を引き出す技術が望まれている。また、輪作を行う少量多品目野菜生産においても、ナス科の青枯病、アブラナ科の軟腐病、根こぶ病等の土壌病害が問題となっており、これらに対応できる、コンパニオンプランツの利用等の化学農薬に依存しない環境保全型の技術が必要となっている。

なお、病害虫対策に関わる技術開発は重要であるが、基幹となる技術の周辺技術や実施ノウハウを合わせて普及する必要がある。太陽熱処理とネットトンネルを組み合わせた栽培技術についても、ネットの裾抑えをきちんと行うかどうか、Bt剤を適期に使用するかどうか等によって、栽培成績に大きな違いがでるのは上述した通りである。

3.3 輪作体系

輪作体系については、圃場面積当たりの販売額が大きい農家は、収益性の高い品目を選択し、収穫が集中する時期を外した栽培を行う等の工夫をしている。農家にとって収穫集中時期の売れ残りの問題は大きく、収穫集中時期を外し、栽培が比較的困難な時期でも安定的な栽培が行えるような技術が望まれている。特に、育苗に関する技術は、効率的に輪作を行う上でも重要であるが、育苗段階で病虫害、生育不良等によって失敗している農家も多く、なるべく農薬を使用しないで、安定して生産できる育苗技術の必要性は高いと考えられる。また、美山町のように積雪がある地域では、冬季に野菜不足となり、直売所の運営や産直活動において苦慮しており、冬季でも収穫できるようにする技術が望まれている。

3.4 土づくり

少量多品目野菜生産の安定化のためには、病害虫対策とともに、土づくりが重要であるが、土づくりのために家畜糞堆肥を投入するのが一般的である。また、認証制度においても、減農薬と同時に、減化学肥料が求められる。肥料成分の供給源としても家畜糞堆肥を投入することが多い。そして、結果として家畜糞堆肥を過剰に投入している場合が少なくない。美山町においても、家畜糞堆肥が過剰に投与され、肥料成分が過剰になっている圃場もある⁶⁾ことから、前述の地域総合研究においては、有機物の蓄積状況によって、施肥方法を変えるように、有機物の蓄積状況別に土壌管理マニュアルを作成している。当マニュアルでは、肥料成分の過剰を是正するためには、稲わら、麦わら、笹、ススキ等を直接圃場にすき込むことが有効とされている。中山間地域の豊富な植物質の有機物資源を有効活用するためにも、植物質有機物の圃場への施用方法、堆肥化方法等の技術の確立が望まれている。良質な堆肥づくりのための技術は、病害虫を減らし、野菜生産の安定化を図る上でも重要である⁷⁾

4 おわりに

中山間地域において少量多品目野菜生産を中心的に担っているのは、高齢者や女性であるが、栽培技術の習得に熱心な生産者が多い。美山町で行っている栽培技術研修会においても、毎回熱心に参加し、紹介した技術についても積極的に試してみる生産者が多い。中山間地域の少量多品目野菜生産に適し、本当に役立つ技術であれば、普及するのは難しくないと考えられる。中山間地域の少量多品目野菜生産には、技術開発のニーズもあり、普及対象となりうる生産者も存在している。

また、少量多品目野菜生産を行っている農家には、栽培経験が豊富で、技術レベルが高く、様々な工夫をして栽培している生産者や、有機農業に情熱的に取り組み、海外からも技術情報を手に入れて実行している生産者も存在する。このような生産者と協力して、効果が期待できそうな農家の技術については、検証し、効果のメカニズムを解明し、より普及性を持った技術として確立することも試験研究機関の役割の一つと考えられる^{8,9)}。

摘要

少量多品目野菜生産の振興による中山間地域活性化の試みの事例として、京都府美山町における農産物認証制度を核とした少量多品目野菜生産振興と試験研究の取り組みを紹介するとともに、中山間地域の少量多品目野菜生産に必要とされる技術について考察した。地域として農産物認証制度に取り組むことにより、環境保全や安全・安心な野菜生産に努めている地域として評価を高め、野菜取引を有利に行うことが可能であり、生産面においても農薬の適正使用や化学肥料削減が期待できる。また、認証制度の栽培基準を守りながら、より安定した生産を

行えるようにするための試験研究や技術指導が重要となる。少量多品目野菜生産に必要とされる技術は、高齢者や女性が導入しやすいように簡便、軽労で、汎用性が高く、低コスト、環境保全型であることが重要である。

引用文献

- 1) 尾島一史・萩森 学・長坂幸吉・安部順一郎・田中和夫. 2005. 市町村独自の農産物認証制度による認証野菜の販売方策. 農林業問題研究. 158 : 141-144
- 2) 長坂幸吉・熊倉裕史. 2004. 防虫ネットの被覆栽培におけるネット目合い選定の目安. 野菜園芸技術. 31 巻 5 月号 : 18-22
- 3) 田中和夫・尾島一史・長坂幸吉・中川 泉・熊倉裕史・濱本 浩. 2002. 防虫ネットによる葉菜類の食害軽減. 近畿中国四国農業研究成果情報 : 397-398
- 4) 熊倉裕史・長坂幸吉・藤原隆広・吉田祐子. 2005. 初冬どりハクサイでの防虫ネットトンネルと太陽熱処理の併用による虫害抑制. 近中四農研報. 4 : 1-14
- 5) 萩森 学・尾島一史. 2005. 安全農産物認証制度での環境保全型技術の活用・普及. 「高度先進技術研修」テキスト(野菜の減・無農薬, 減・無化学肥料栽培システム) : 87-105
- 6) 堀 兼明・福永亜矢子・浦嶋泰文・須賀有子・池田順一. 有機栽培農家圃場の土壌の実態. 近中四農研報. 2002. 1 : 77-94
- 7) 橋本力男. 2005. 良質な堆肥の作成技術. 「高度先進技術研修」テキスト(野菜の減・無農薬, 減・無化学肥料栽培システム) : 48-86
- 8) 佐倉朗夫. 2004. 有機農業と野菜づくり. 筑波書房 : 54-69
- 9) 西村和雄. 2004. スローでたのしい有機農業コツの科学. 七つ森書館 : 279-285

高軒高施設を利用したトマト生産

鈴木 克己

独立行政法人 農業・生物系特定産業技術研究機構野菜茶業研究所

Tomato Production in High-eaved Greenhouses

Katsumi SUZUKI

National Agriculture and Bio-oriented Research Organization

National Institute of Vegetable and Tea Science

キーワード：オランダ，夏季高温，高軒高ハウス，施設園芸，トマト，ハイワイヤー誘引

1 はじめに

トマトは世界で一番生産量が多い野菜である。我が国においても米に次ぐ農業生産額2位の品目であり、年間約2,000億円の生産額がある。年間1人当たり約10kgの消費があり、欧米各国に比べると少ない。これはほとんどが生食用に利用されているためだと思われる。栽培は主にハウス内でなされて、暖地では冬春にかけて、冷涼地や高冷地では夏秋に生産され、消費者に供給されている。ここ数年トマトの単価は下降傾向にあり、最近では300円/kgを切っている。トマトも近年輸入されるようになってきている。輸入量が増減するのは色々な要因があると思われるが、単価が250円/kgを切ると輸入量が減少する傾向にある(図1)。このため今後250円/kgでもなりたつトマト生産が望まれる。このような厳しい状況下でとられる戦略としては、市場価格に左右されず消費者に高く支持される高品質な果実を生産し高価格での販売を目指す路線と、一定品質の果実を大量生産しできる限り低価格で販売する薄利多売の路線が考えられる。1農家当たりのハウス面積は、これまで家族経営で標準とされてきた20a~30a規模の数が減り、それ以下や、それ以上のハウスの割合が増えている。このことから今

後、手間暇をかけ高品質を狙う路線と、低コスト栽培で大量生産を狙う路線になることが伺える。

2 低コスト・大量生産の方向

利益率を向上させるには、生産コストを引き下げ、販売額を増加させることである。生産コストを下げるためには、ハウスの建設から栽培方法、病虫害防除、販売、作業等すべてにわたり無駄をなくすとともに、さらに低コスト技術を開発する必要がある。販売額を増加させるには、同じ労力でこれまで以上の多収を目指す必要がある。この結果、これまで以上のトマトが市場にでまわることが予想される。トマトの消費形態を含めた消費拡大の努力も必要になる。

多収の方向としては、葉菜類のように、露地で大面積で生産しただけ機械化するか、もしくはハウス面積を拡大し、そこで播種期をずらし、定期的に収穫してゆき、低段密植栽培により生産効率を向上させる方法である。または、トマトが連続的に生長してゆく作物である特性を生かす長期多段栽培による栽培である。この場合、空間的にトマトを配置した方が物質生産面で有効で、そのために高軒高ハウスが使用される。いずれの場合も周年にわたり安定した生産ができることが必要となる。トマトを高くつるハイワイヤー誘引法はオランダで確立され、現在様々な技術革新により50t/10a/年間以上の収量を上げている。我が国においてもオランダ型の栽培方法が1980年代から導入され、最近では企業的な経営によるトマト栽培が拡大しつつある。

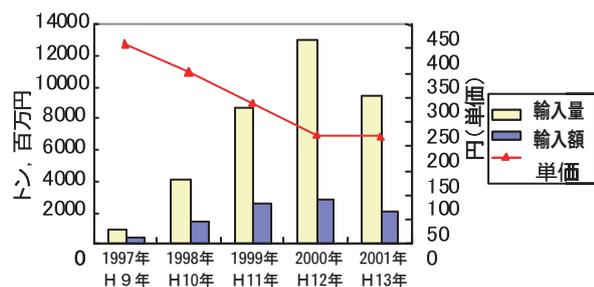


図1 トマトの国内単価と輸入量の関係

3 オランダでのトマト栽培¹⁾

オランダでもトマトは重要な野菜であり、1,250haで

栽培され、540 のカンパニー（生産農家）がある。平均すると 2ha を超え、なかには 30ha 規模のところもある。ハウスの軒高は 4m、新しい温室では 5m を超えるなど高くなる傾向にある（図 2）。平均収量では 50kg/m²/年を超え、スペインの 8~10 倍にあたる。トマトは 1 月頃定植し、4 月頃から収穫を開始し、11 月に終わる作型が多い。オランダの気候は冬は比較的温暖で、夏は冷涼のため、ハウス内は環境制御により年間を通じて約 20℃ で管理されている。生育温度が一定のためトマトの生産は CO₂ 濃度や、光量により制限を受ける。このため、夏の日照を有効利用した夏回りの栽培と、各種環境制御技術や CO₂ 施肥、補光などの技術により高収量をあげている。栽培方法はロックウールを使用した養液栽培で行われ、養液のリサイクルなど環境にも配慮されている。品種は養液栽培に適する品種で、約 40 品種ほどが栽培されている。トマト増収の要因としては補光の効果が大きく、周年栽培が可能となった。補光はトマトの価格次第で、価格が低迷しているときは行わず、高めの場合は行い、これにより生育調整をしている。第二の増収要因としては高軒高ハウスの利点であるハンギングシステムの導入をあげていた。また、労働力の効率化、機械化が増収に寄与している。

4 我が国でのオランダ型栽培

我が国でも北海道や東北や山間地などの冷涼地ではオランダ型の夏回りの栽培は技術的には可能である（図

3）。しかし、冬季の寡日照、雪、低温（エネルギーコスト）などの問題で周年栽培は困難となっている。寡日照は補光により、雪害は頑丈なハウス構造により、低温は暖房により解決可能である。問題はコストであり、補光、ハウス建設、燃料等が安価になるか、新しいエネルギー技術が開発されれば周年栽培が可能になると思われる。

一方、暖地では夏季高温による高温障害のためトマトの物質生産に有利な日照が一番ある時期に生産を中止し、日照が少ない時期にトマトを栽培しているのが現状である。このため、オランダ型の高軒高ハウスでハイワイヤー誘引によるトマト栽培を行っても、年間約 30t/10a ほどとなる。これは、品種、冬の暖房温度、補光技術を導入していないことも影響していると思われる。暖地において年間の生産量を増やすためには、冬季に補光、CO₂ 施肥、暖房などを行い収量を上げるか、もしくはこれまで作っていなかった夏季にトマトを栽培するかである。

いずれにせよオランダの技術はオランダの気象環境下・社会状況で構築された技術であり、我が国に適合するように修正するか、合わないところは新しい技術を作らなくてはならない。特に夏季高温対策については大きな問題となっておらず我が国が率先して研究を進める必要がある。

5 我が国における高軒高ハウスの普及状況

高軒高ハウスはパイプハウスと比較すると建設費が高



図 2 軒高が 5 m のオランダの温室



図 4 屋根の持ち上げ



図 3 日本に導入されたオランダ型栽培温室



図 5 完成したハウス

い。オランダ型のフェンロー温室を輸入し建設しようとする初期投資がかなりかかり一般的な農家では導入が困難であった。しかし、近年、補助事業などにより、高軒高の低コスト耐候性ハウスが建設され全国各地に普及しつつある。また、古いハウスでも軒をかさ上げるハウスリフォームにより高軒化する事例も増えている。

最近、軽量鉄骨、パイプ基礎、ユニット工法、ユビキタス環境制御など新技术を組み合わせた超低コストハウスも開発された(図4, 5)。野菜茶業研究所の武豊研究拠点にこの方法でハウスが建設され、今後、トマトを栽培し、内部環境などを調査する予定である。

6 夏季におけるトマト栽培

夏季にトマトを栽培するためには、ハウス内の気温を低下させることが必要となる。夏季高温対策として、高温期に栄養生長期や果実肥大期になる作型にすること、耐暑性品種の利用、施設面では、冷房、根域冷却(培地冷却)、細霧冷房、パッドアンドファン、散水によるガラスの冷却、遮光資材の利用、換気効率の改善、フルオープンハウス利用、赤外線カットガラス使用、吹きつけ剤利用などがある。高軒高ハウスは普通軒高ハウスと比較して高温に有利とされ、上記の技術を組み合わせた対策が行える。しかし、トマトの群落内での環境状態や、高温下でのトマトの生理状態が十分解明されていないため、生産に理想的な対策方法はまだ確定しておらず今後研究を進める必要がある。

7 高軒高ハウスの気象特性²⁾

高軒化により改善される効果として夏季高温の緩和が上げられる。野菜茶業研究所では軒高の違いにより夏季の温度環境がどの程度違うのか明らかにするために、夏季晴天日の昼間の内外気温差について、高軒高ハウスと、隣接する協力農家の普通軒高ハウス内の気象環境について、連続的に測定を行った。温度は正確に測定するために温度計に小型ファンを取り付け通風して測定した。

比較したハウスは軒高4m、400 m³の合掌型連棟鉄骨組硬質プラスチックハウス(高軒高ハウス)と約30m離れた軒高2m、1,513 m³のアーチ型連棟ビニルハウス(普通軒高ハウス)でいずれもトマトを栽培した。高軒高ハウスでは側窓天窓に0.6mm目合いの防虫ネットを展張した。

2003年、2004年2年間実測を行ったが両年とも、5月~6月の晴天日昼間の施設内気温(11時~12時の高さ2mの平均気温)は、高軒高ハウスの方が普通軒高ハウスよりも有意に低いことが明らかになった(図6)。高軒高ハウスと普通軒高ハウスの気温差は、2004年のような空梅雨の年の場合、5月より日射が強くなる6月の方がより大きくなった。高軒高ハウスでは5月、6月の外

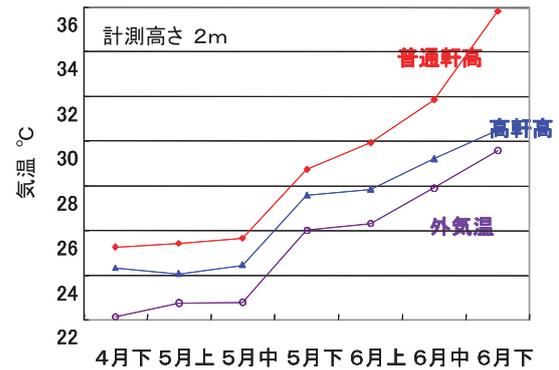


図6 軒高の違いによる日最高気温の変化

気温とハウス内温度の回帰直線はほぼ同じであった。普通軒高のハウスが2.7°C~4.6°C外気温より高くなるのに比べ、高軒高ハウスでは1.1~1.4°Cの上昇にとどまっていた。高軒高ハウスでは防虫対策のため0.6mm目のネットが側窓および天窓に張ってあるが、普通軒高のハウスよりも気温は低くトマト栽培に有効的であるといえた。

通常ハウス内では上部ほど気温が高くなる。温度の鉛直分布を調べたところ高軒高ハウスでも同様の傾向が見られた。晴天・高温日のトマト栽培ハウスの内外気温差は、13時頃をピークに最も大きくなった。軒高の異なるハウスの気温差もその時間帯に最も大きくなり、高軒高ハウスの方が低かった。高軒高の上部の3.5mの気温は普通軒高ハウス内の2mの気温に近かった。

また、高軒高ハウスでは栽培しているトマト上部の空間が大きいために、軒が低いハウスでは導入が難しい遮光カーテンや細霧冷房装置等を装備できるメリットがある。実際に高軒高ハウス上部に取り付けた細霧冷房により、高軒高ハウスの気温は外気温より3°C程度低下した。

当然のことながら、各種環境制御装置の有無など、種々のハウスの条件によって実測数値は異なると思われるが、軒を高くすることは夏の高温対策に有効であることが実証された。

8 ハイワイヤー誘引トマトの光合成特性^{3,4)}

トマトのハイワイヤー誘引法は、高軒高温室の空間を有効に利用できる誘引法である。光合成速度および測定葉の付近のPPFD(光合成有効量子束密度)は、1日を通して葉位が高いほど高く推移した。光-光合成曲線は葉位によって異なり、上位葉ほど光飽和点、光補償点とも高く、呼吸速度も大きい傾向があった。現地試験ハウス(栽植密度2,614個体/10a、誘引高さ280cm)のトマトでは、①個葉面積が小さい植物体ほど、群落の下層まで光が浸透し、各葉当たりの受光量が多くなる傾向があった。②ハウス内の光強度の範囲では、個体当たり光合成速度は飽和する傾向はみられないので、水や高温のストレスがかからないような管理をすれば、ハウス内の光条件の改善程度に応じて個体(群落)当たり光合成生

産が増大するものと考えられた。また、ハウス内 PPFD が $100 \mu \text{ mol/m}^2/\text{s}$ 以下になると、日中の個体当たりの光合成量がマイナスになる可能性があった。③3月の平均的なハウス内光条件下では、受光割合がハウス内日射量の5%以下となるような下位葉数枚において、見かけの光合成量がマイナスとなることが示唆されたので、これら下位葉の摘葉が有効と思われた。4月、6月では見かけの光合成量がマイナスとなる葉はみられず、これらの時期では摘葉程度を軽減することによって個体の光合成量が増大する可能性があると考えられた。

9 トマトの収量⁵⁾

大府地域総合研究では、有機養液土耕栽培と、窒素日施用方法による養液栽培によりトマト（品種ルネッサンス）の長期多段栽培を行った。10月定植で12月から7月半ばまでの収穫で、10a当たり可販果収量は養液栽培で18t、養液土耕で19tであり、果実糖度6度前後であった（図7）。冬季の暖房温度は12°Cであり、収穫段数は25段であった。開花後から収穫までの日数と平均気温には正の相関が見られた。

今後収量を増加させるには、定植時期を早め12月以前の収穫量を増加させることがグラフから読み取れる。しかし20tの収量を30t、40tとするためには収穫時期全般にわたり収量そのものを増加する必要がある。これには品種、環境制御、栽培方法等すべての面から技術革新を行う必要がある。当所における品種比較試験では夏季においてもオランダ品種の一部は日本品種に比べて障害果発生が少なく可販化収量は多かった。しかし、その糖度は低く、品質がよく夏季に収量が上がる品種の開発が望まれる。また、夏季対策のみならず、冬季の加温、CO₂施肥、補光などの試験も行いどの技術がどれくらい収量に影響を与えるか調査する必要がある。そこで、日本のトマト生産を取り囲む環境における、適正な収量提示による栽培技術の構築が必要である。

10 高収益施設園芸システムを目指して

少子高齢化に伴う国内での消費低下、トマトの低価格

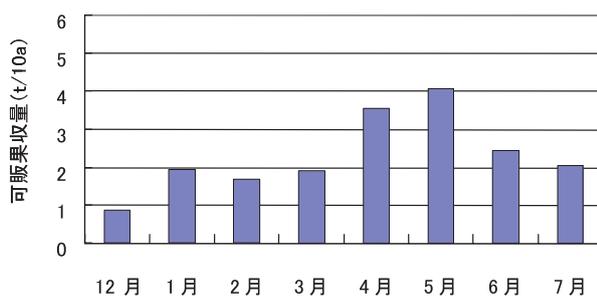


図7 大府地域総合試験での月別収量

化、中国等途上国でのエネルギー需要拡大によるエネルギー価格の高騰、ハウス材料費の上昇など、今後、国内の施設園芸を取り囲む状況はますます厳しくなると予想される。生産者自体も高齢化しハウスの更新や、後継者など問題も多い。このような状況下で、それぞれの路線に適する品種開発、栽培技術開発、作業技術、病虫害防除、環境対策など、トマト生産に関わるすべての部分での見直しが必要となる。

高収益のためには言うまでもないが、作るコストを下げて経費を削減し、高く販売することで売り上げを増加する努力が必要である。コスト削減では、ハウス本体は新しい工法を用いたハウスや、新しい環境制御装置など技術革新が始まっている。今後、ランニングコストを削減するために、労働生産性を向上させるような、栽培管理技術および省力・自動化技術の開発が必要である。また、環境制御により快適な空間を作り出すことは作業者を快適にさせ、作業性も向上する。それはトマト等作物においてもストレスを軽減し、増収につながる。よって、適切な環境制御法の開発は今後も重要となる。

販売額を増加させるには、品質が高く値段も高いものを多く販売することが必要である。だが、多収と特に糖度などの品質はどちらかという負の相関を示すため、どちらかに重点を置く必要がある。安定して多収を目指す場合、現時点は養液栽培を用いることがベストであると考えられる。しかし養液栽培で収量が高く品質も高い日本型の品種は開発されておらず、今後、品種特性の解明も含め、開発へ向かっていかなければならない。養液土耕栽培や簡易な養液栽培方法などの技術革新も必要であろう。また、作期を長期化するためには、夏季高温の克服が重要となる。環境制御技術の開発とともに、作物側の生育制御技術や、適正品種の選定なども進めなくてはならない。基礎研究ではトマトゲノムに関する研究も急速に伸展している。今後、育種や栽培技術を効率的に開発するには生産に関わる植物の形質について明らかにし、ゲノム情報なども積極的に利用することも重要となる。

高付加価値のためには、食味を含めた品質や機能性の研究も重要である。これは消費拡大のためにも有効となる。少子高齢化の社会となっていくにつれて、野菜生産への要望は高まると思われる。病虫害の総合防除は、収量、作業、品質などすべてに絡む問題であり、各ハウスに適した防除技術が必要となる。さらに植物残渣の処理や、養液の廃棄など環境問題にも対応しなければ国民の支持を得ることは難しい。これら色々な問題が考えられるが、野菜茶業研究所では新しい高軒高ハウスである超低コストハウスを基本に、トマトの生産に関わる問題に取り組み高収益園芸を旨とし研究を進める予定である。

摘要

トマトを栽培している高軒高ハウスの夏季日中の気温

は、防虫ネットを展張しても防虫ネットを展張していない普通軒高ハウスより低く、さらに細霧冷房を併用すれば外気温より低下し高温対策に有効であった。ハイワイヤー誘引法は、高軒高温室の空間を有効に利用でき、群落の下層まで光が浸透した場合、各葉当たりの受光量が多くなる傾向があり、有機養液土耕栽培による長期多段栽培では年間 19t/10a の収量が得られた。高軒高ハウスは普通軒高ハウスよりもトマト栽培に有効的であることが示唆された。今後低コスト・多収を目ざし、高軒高ハウスにおけるトマト栽培に関する技術開発の必要性を解説した。

引用文献

- 1) 鈴木克己. 2005. 海外情報オランダの最先端施設園芸を見
て. 施設と園芸. 128 : 51-55
- 2) 細野達夫・細井徳夫・川嶋浩樹・古谷茂貴・鈴木克己.
2005. 高温期のトマト栽培中の高軒高ハウス内の気温特性.
平成 16 年度 野菜茶業研究成果情報 : 29-30
- 3) 高浪弘好. 2005. トマトハイワイヤー誘引の特性. 地域先
導技術総合研究「東海地域における快適で環境負荷低減を
目指した施設野菜生産システムの確立」研究成果選 : 21-22
- 4) 渡辺慎一. 2005. ハイワイヤー誘引トマトの光合成特性.
地域先導技術総合研究「東海地域における快適で環境負荷
低減を目指した施設野菜生産システムの確立」研究成果選:
19-20
- 5) 川嶋浩樹・中野明正・林 清忠・古谷茂貴・上原洋一.
2005. 有機質液肥を用いた養液土耕によるトマト促成長期
栽培技術. 平成 16 年度 野菜茶業研究成果情報 : 22-24

中山間の傾斜地を利用したトマトの施設生産

東 出 忠 桐

独立行政法人 農業・生物系特定産業技術研究機構近畿中国四国農業研究センター

Protected Cultivation of Tomato in a Sloped Greenhouse by a Hydroponics System Suitable for Use on Sloping Land

Tadahisa HIGASHIDE

National Agricultural and Bio-oriented Research Organization

National Agricultural Research Center for Western Region

キーワード：中山間，傾斜ハウス，養液栽培，給液，雨よけ，トマト，収量

1 はじめに

中山間地域は我が国の国土のおよそ70%を占めている。その中でも、我々が研究対象としている四国では、傾斜地の占める割合が全国平均に比べて高いものとなっている¹⁾。四国では傾斜地に居住する人々は少なくなく、傾斜地圃場で農業を営み、生計を立てている者も多い。このような傾斜地の利点の一つは、標高が高いことによる夏季の冷涼な気候である。

我が国のトマト栽培では、降雨による病気のまん延が問題となるため、露地栽培は少なく、施設栽培が行われている。しかし、多くの地域では、夏季に施設内でトマトを栽培することは高温のため困難である。四国の中山間傾斜地では、夏季でも気温が比較的低いため、夏秋期のトマト生産が可能である。

2 傾斜地の野菜栽培と平張型傾斜ハウス

傾斜地では、我が国で広く普及しているアーチ型のパイプハウスの建設は極めて困難である。傾斜地のトマト栽培は、畝ごとにプラスチックシートで簡単な被覆を行う簡易雨よけ施設によって行われている(図1)。しかし、簡易雨よけでは、強風や害虫、降雨による裂果等の被害を生じる。

これらの問題を解消して傾斜地でも施設栽培を可能にするため、四国研究センターでは傾斜地用の施設「平張型傾斜ハウス」を開発した^{2,3,4)}。平張型傾斜ハウスは、建設現場の足場用の安価な48.6mm径の鋼管やクランプ類を材料とし、ハウスの屋根は傾斜圃場とほぼ平行な平面となる。資材費は、一般のパイプハウスと同等で、坪当たり1万円程度である。傾斜地では不整形な圃場が多



図1 簡易雨よけ施設によるトマト栽培

いが、圃場の形に合わせて建設できる点もこのハウスの特徴の一つである。また、側面を屋根近くまで開放でき、傾斜地特有の風である斜面風も利用して、換気性が良いことも特徴である。

現在、近畿中国四国農業研究センターでは、地域先導技術総合研究「傾斜地特性を活用した野菜等の高付加価値生産技術体系の確立(2002~2006)」として、中山間傾斜地を対象とした研究プロジェクトを進めている。この研究では、徳島県三加茂町K地区に平張型傾斜ハウスを導入し、実証試験を行っている。三加茂町K地区は、吉野川上中流域で標高300~600m程度に位置する山腹型傾斜畑地域であり、トマトをはじめとした野菜生産が行われている。

3 傾斜地野菜栽培の2つの問題点

平張型傾斜ハウスによって傾斜地でも施設栽培が可能となったが、傾斜地の野菜栽培には、依然、深刻な2つ

の問題がある。その一つが傾斜圃場内の表土の崩落とそれに対応するための土揚げ作業である。傾斜圃場では、作業や人の移動によって少しずつ表面の土壌が下方方向に落ちていく。このため、土揚げが必要であるが、この作業は非常に労働強度が大きく、危険も伴うため、高齢化が進む生産者らに大きな負担を強いている⁵⁾。

もう一つの問題は、土壌伝染性病害である。実証試験を行っているK地区では、30年以上、トマト栽培が続けられており、土壌消毒を行っているが、毎年、青枯病等の被害がみられる。

これらの問題の解決には、養液栽培の導入が適当と考えられる。しかし、傾斜地用の養液栽培システムはこれまで開発されておらず、平地用のシステムをそのまま導入したのでは様々な問題が生じる。そこで、われわれは傾斜地用の養液栽培システムを開発した。

4 傾斜地における給液のばらつきとその解決

傾斜地では平地で問題にならないようなことが問題となる。傾斜地用養液栽培システムの開発に当たり、まず、給液方法について検討した^{6,7)}。検討に用いた傾斜ハウスは、徳島県三好市K地区、傾斜約20°の東南東斜面に建設されており、等高線方向に約40m、傾斜方向に約13m、面積は約440m²であった。養液土耕で一般に用いられる点滴チューブ12本を等高線方向に1.2あるいは0.8m間隔で設置したところ、1番上のラインと下のラインの高低差はおよそ4.5mであった。チューブからの液の吐出について、高低差の異なる位置で測定を

表1 高低差のある傾斜地養液栽培トマトにおけるベッド列ごとの収量に及ぼす給液方法の影響

ベッド列 ²⁾	収量 (g 株 ⁻¹) ¹⁾	
	給液が不均一な場合	給液が均一な場合
1-2 列 (上側)	4504 ± 646 a	5217 ± 1284 a
3-4 列	4410 ± 791 a	4768 ± 928 a
5-6 列	5066 ± 664 ab	5359 ± 1099 a
7-8 列 (下側)	5125 ± 665 b	5555 ± 1095 a

¹⁾ 1列が最も高く、8列との高低差は約2m。²⁾ 平均±標準偏差 (n=16~22)

³⁾ 同列内で異なる文字は5%水準で有意差あり

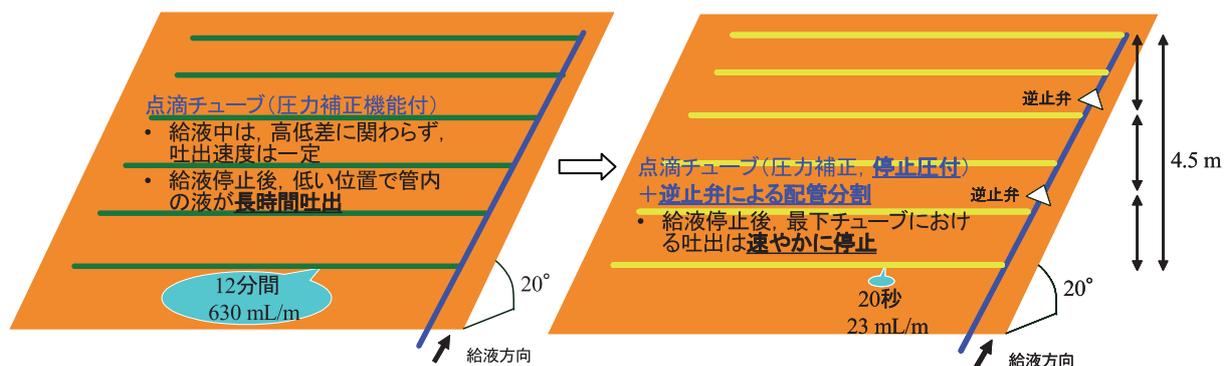


図2 傾斜地圃場における給液のばらつきの発生と点滴資材と配管法による解消

行ったところ、吐出速度は、給液バルブの開いている間は位置に関わらず、ほぼ同じであった。用いた点滴チューブは、動作圧の範囲では一定の吐出が維持される「圧力補正機能」を持っており、このため、高低差による水圧の違いがあっても均一に吐出できたと考えられた。

これに対してバルブの閉鎖後には、一番低いラインのみからかなりの量の液が吐出した。この吐出は、およそ12分間継続し、吐出量は点滴チューブ1m当たり630mlにもなった(図2)。これは点滴チューブ内に残った液が低い位置から漏出したものと考えられた。このように傾斜地の給液では、一般的な点滴資材・配管方法では位置によって給液量にばらつきが生じることが示された。

そこで、点滴チューブを変更し、内部の水圧が一定以下(停止圧)になると自動的に吐出を停止し、液を内部に保持したままになる液だれ防止点滴チューブを用いた。その結果、給液バルブ閉鎖後、一番下のラインからの吐出は5分間で終了し、吐出量は1m当たり250mlに減少した。さらに各チューブを接続している本管に逆止弁を挿入し、給液ラインを3つのセクションに区切ったところ、最下部からの吐出は、給液バルブ閉鎖から20秒で停止し、吐出量も1m当たり23mlのみとなった。以上のように、停止圧以下で吐出の停止する点滴チューブと配管方法の検討により、傾斜地における給液量のばらつきが解消され、均一に給液することが可能となった。

実際に傾斜地でトマトの養液栽培を行ったところ、通常の点滴給液を行った場合、給液が不均一になり、その結果、収量に位置的な差が生じた(表1左)。しかし、管内水圧が一定以下になると液の吐出が停止する点滴資材と配管法を工夫した傾斜地用養液供給システムを用いた場合、給液の不均一とそれに伴う収量の位置的な差は解消された(表1右)。

5 栽培槽に水抜きを設けないエブ&フロー方式装置によるトマト苗生産

エブ&フロー方式の育苗は、鉢物栽培等では広く用いられているが、小規模で育苗時期が限られる野菜栽培

では普及していない。この原因として、市販装置が高価なこと、自作装置では施工の不備による水漏れや、あふれたりするトラブルの生じることがあげられる。一般にエブ&フロー式装置では、栽培槽に水抜きを設け、水位センサを用いて給排水を行うことが多いが、配管中のエアーカーミ、センサの誤作動によるトラブルがあり、生産者が自ら作成して安心して導入するには至っていない。そこで、これまでの装置のトラブルの原因である水抜き法を改善し自作が容易な育苗装置を開発し、中山間傾斜地における苗生産のコストダウンと栽培の安定化を図った⁸⁾。

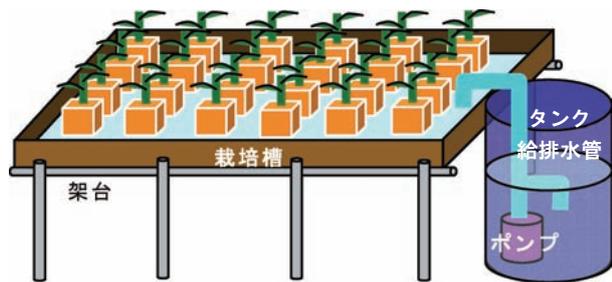


図3 栽培槽に水抜きのないエブ&フロー方式育苗装置

開発した育苗装置は栽培槽、水中ポンプ、給排水管、架台から構成され、苗底部から培養液を間欠的に給液するもので、容易に自作できる(図3)。サイフォン原理を利用した給排水兼用の管で給排水を行い、栽培槽に水抜き穴を設けないために水漏れの危険がなく、タンク容量を栽培槽容量よりもやや少なくすることによってオーバーフローが防止される。また、給排水管を培養液タンク内で枝分かれさせることで給水中にタンクが空にならず、ポンプの空回りが防止できる(図4)。

本装置による育苗にはロックウールポット(5~10cm角)や培養土を入れたポリポットを用い、24時間タイマにより、1日4~6回、園試処方50%濃度液等の給液を行う。300株程度のトマト苗の育苗には、90×360cmの栽培槽、塩ビパイプ(VP20)、水中ポンプ(50W)等が必要で、装置の総資材費は約5万円、製作時間は2人・時であった。また、低温期には培養液タンク内に投げ込みヒーターを入れ加温する。ポンプを制御する単極双投式(C接点方式)タイマへの接続により、給水中にヒーターが切となり、空焚きによるタンクおよびヒーターの破損が防止できる。

K地区の夏秋トマト栽培のため、本装置による育苗(品

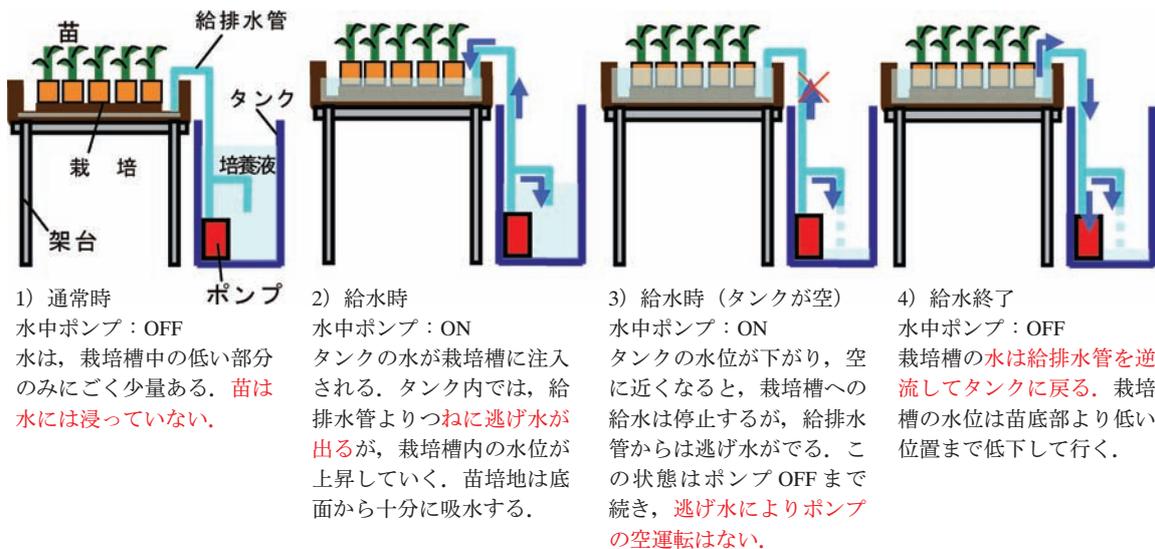


図4 育苗装置の概要と栽培槽への給液および排液の動作



図5 無加温ハウス²⁾で育苗した場合の播種日と定植日のシミュレーション
(²⁾徳島県三加茂町、標高350m)

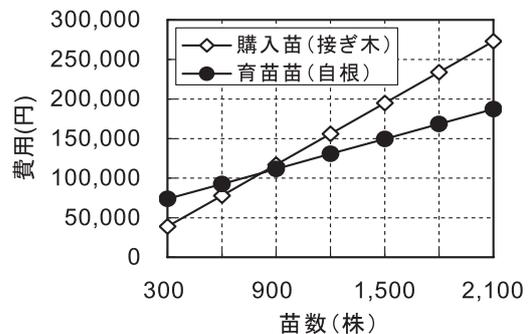


図6 本装置による育苗²⁾と購入苗¹⁾とのコスト比較
(²⁾労賃950円/時間(02年農業臨時雇賃金(全国))で試算,¹⁾130円/株、品種はどちらも‘桃太郎ファイト’)

表2 本育苗装置によるトマト育苗の実績および苗生産の連携

育苗開始日	品種	育苗数	育苗場所	苗の供給先と用途
2003/1/1	桃太郎ファイト	82	所内 ^z	暖地半促成 (所内)
2003/2/10	桃太郎ファイト	117	所内 ^z	暖地半促成 (所内)
2003/4/11	桃太郎ファイト	436	所内 ^z	中山間傾斜地夏秋
2003/6/24	桃太郎ファイト他	500	所内 ^z	中山間傾斜地夏秋
2004/3/31	桃太郎エイト	837	中山間傾斜地 ^y	中山間傾斜地夏秋
2004/3/31	桃太郎ファイト	387	中山間傾斜地 ^y	中山間傾斜地夏秋
2004/4/19	桃太郎エイト	1000	中山間傾斜地 ^y	中山間傾斜地夏秋
2004/4/19	桃太郎ファイト	270	中山間傾斜地 ^y	中山間傾斜地夏秋
2004/9/7	ごほうび	720	中山間傾斜地 ^y	暖地 (平地) ^x 促成

^z香川県善通寺市・標高 90m, ^y徳島県三加茂町・標高 300~360m, ^x徳島市・標高 0~10m

種：桃太郎ファイト、桃太郎エイト)を行った。本装置による育苗において、装置に起因するトラブルはなく、均一なトマト苗が育苗でき、定植後の生育も順調であった。また、育苗中に必要な作業は鉢上げ以外には培養液の残量の確認と生長に伴うスペーシングだけであり、省力的であった。

育苗中の日平均気温の積算と葉数の関係式は、葉数 = $0.2736 \cdot e^{0.0041 \cdot \text{積算気温}}$, $R^2=0.96$ となり、徳島県 K 地区 (標高 300m 以上) で、4 月中下旬に 5~6 葉期のトマト苗を定植する場合、播種時期は 2 月下旬と算出された (図 5)。

購入接ぎ木苗と本装置による育苗とのコストを比較したところ、苗数が約 900 株以上、すなわち、定植面積が約 4a 以上の場合に、本装置による育苗が有利となった (図 6)。

中山間傾斜地における本装置による育苗は、同地域の夏秋トマト栽培だけでなく、冷涼な夏秋期の気候を利用して、平地暖地の促成栽培用の苗供給を可能にした (表 2)。なお、本装置による育苗は、トマト以外にメロンやセルリーにも利用実績があり、その他の作目にも利用できるが、給液濃度・回数には検討の余地がある。

6 傾斜地用の低コスト・省エネルギー養液栽培システム

先に述べたように、傾斜地における均一な給液が可能となったことから、この技術を用いて傾斜地用の養液栽培システムを開発した^{6,7)} (図 7)。開発に当たり、傾斜地の特性を最大限に活かし、低コスト・省エネルギーを重視した。

開発した養液栽培システムは、液だれ防止点滴ドリッパー、液肥タンク、ディスクフィルター、無動力液肥混入器、排液タンク、アスピレーター、電磁弁、タイマ等から構成される。栽培ベッドは、根が外に出るのを防ぐ防根シートで培地を包み、それを厚手のプラスチックシートで包み、架台等を用いず、直接、地面に置いた。培地にはロックウール、ヤシガラ等の成型培地のほか、バッグカルチャーとして、スギ、ヒノキ等の樹皮をポリエチレン袋につめて利用する。ベッドは、傾斜ハウスの等高線方向に設置する。植物に吸収されなかった余剰培

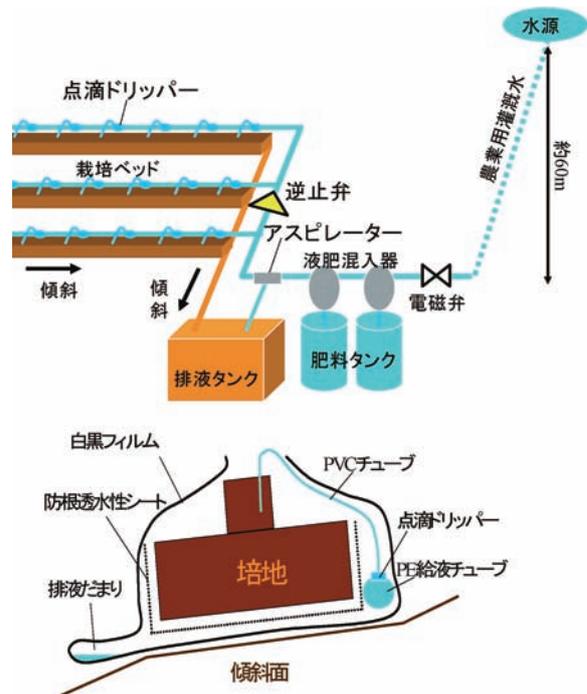


図7 傾斜地用の低コスト・省エネルギー閉鎖系養液栽培システム

(上図：システム概要、下図：栽培ベッド断面図)

養液は傾斜の下方方向のシート内のたるみに一旦、蓄積される。給液および肥料の混入希釈には、電気やポンプを用いず、原水の水压を原動力として用いた。栽培ベッドは、おおむね等高線方向に設置し、吸収されなかった培養液 (排液) は圃場の傾斜を利用して排液タンクに回収した。排液タンクに回収された培養液は、実験室等で一般に用いられるアスピレーターによって、新鮮な培養液に混入して再利用した。なお、アスピレーターによる排液の混入率は、水压が 0.31MPa の場合、給液量の 22% であった。したがって、開発したシステムでは、約 20% は再利用した培養液であるが、80% は新鮮な培養液である。このため、循環型の NFT システム等でみられる培養液中の養分組成の乱れは、小さいものと考えられる。

本システムには、一般の養液栽培で用いられる大きなタンク、EC センサ、pH センサ、高価なコントローラ等は

必要でない。また、給液には、原水の水圧を利用するため、ポンプや精密な液肥混入機も必要でない。オランダ式のロックウール栽培で、近年、普及が始まっているハイガターシステムでは、栽培ベッドを宙吊りにし、温室構造の勾配を利用して排水を回収する。本システムでは、圃場の勾配を利用して排水を回収するため、栽培ベッドの配置方法を工夫している。さらに排水はアスピレーターを用い、水流を利用して混入するため、定量ポンプ等も不要である。このように傾斜地の特性である原水の水圧、圃場の傾斜等を利用することにより、システムの大幅な低コスト化が実現できた。この結果、本システムの導入費用は10a当たり116万円となり、平坦地用の市販装置の300~450万円に比べて極めて安価なものとなった。

本システムは、ランニングコストや省エネルギーの面でも優れている。先に述べたように本システムの動力源は主に原水の水圧である。電磁弁とタイマ以外には電力は必要でない。タイマや電磁弁は電池での作動が可能のため、電気のない場所での利用も可能である。

全給液量に対する排水量の割合、すなわち、排水率は、一般のロックウール栽培では20~30%が目安となっている。排水量を連続的に測定して、その情報を元にフィードバック制御すれば、自動的に作物や気象条件に合わせた給液を行うことができる^{9,10)}。しかし、これには排水を測定する装置、給液コントローラ等が必要である。一般に、養液栽培では精密な栽培管理によって収量増、高品質化、省力化等をねらうため多額の投資を行う場合が多い。一方、本システムは、中山間傾斜地の生産者をターゲットにしたものである。中山間傾斜地では、土地の制約上、規模拡大が難しく、スケールメリットも得られにくいと考えられる。また、生産者は、高齢化も進んでいることもあり、施設や装置等にお金をかけたがらない傾向にある。中山間地の生産者にとっては、高価なセンサーやコントローラで精密な給液管理や自動化を行うよりも、低コスト化の方が重要であると考えられる。後述するが、養液栽培の経験が全くない中山間傾斜地の生産者が、本システムを用いておおむね適切な給液管理を行い、慣行雨よけ栽培にくらべ大幅な収量増加を達成している。生産者が養液栽培における栽培管理に習熟すれば、さらなる収量増等が期待できると考えられる。

7 傾斜ハウスおよび傾斜地対応型養液供給システムによる夏秋トマト栽培

傾斜地において点滴方式で均一に給液を行うことのできる養液供給システムと平張型傾斜ハウスを用いて、夏秋トマトの栽培実証試験を行った。使用した養液供給システムは、給液が不均一になることを防ぐため、管内水圧が一定以下になると液の吐出が停止する点滴資材を用い、本管の途中に逆止弁を設置して点滴管どうしの高低差を分割しており、原水圧を原動力として給液および肥

料混入を行う低コスト、省エネルギー型のシステムである。栽培試験は、2002~2004年まで、徳島県三加茂町の3戸のトマト生産者圃場において行った。この地域は、標高300~600m、傾斜度4~25°の山腹型傾斜畑地域であり、傾斜が急なために通常ハウスの建設ができず、畝だけを被覆する簡易雨よけ施設によってトマト栽培を行っている地域である。傾斜ハウスでは、慣行雨よけでは設置が不可能な防虫ネット（側面のほぼ全面に設置、約0.6mm目合い、ポリエステル製）および非散布型製剤（黄色テープ）を利用した。

なお、傾斜地対応型養液供給システム、すなわち、液肥給液部の資材費は10a当たり50万円であり、自作は容易である。杉皮培地バッグカルチャーやロックウール等の培地を用いて養液栽培を行う場合はさらに66万円程度必要である。また、傾斜ハウスの資材費の初期投資額は10a当たり300万円程度であった。

栽培試験の結果、この地域の標高300m以上の中山間傾斜地における夏秋トマト栽培の作型は、傾斜ハウスおよび傾斜地対応型養液供給システムを利用した場合、4月中旬定植、収穫期間6月中旬~12月中旬が適当であると考えられた。この作型では、慣行の簡易雨よけ栽培に比べて収穫期間は無加温でも前後に拡大され、収量は大幅（3農家平均で約2倍）に増加した。また、これにより販売額も慣行の2倍以上（10a当たり330万円程度）となった。さらに防虫ネットおよび非散布型製剤（黄色テープ）の利用により、殺虫剤の使用量を大幅に削減できた。ただし、この作型では、慣行雨よけに比べ殺虫剤の使用は大幅に削減できるが、栽培期間が延長されており、多湿状態になる時期には葉カビ病等の防除が必要である¹¹⁾。

摘要

中山間傾斜地のトマト栽培で問題となる土揚げ作業や土壌伝染性病害を回避するため、傾斜地用の養液栽培装置を開発した。まず、傾斜地において点滴給液を行う際、管内水圧が一定以下になると液の吐出が停止する点滴資材と配管法を工夫した傾斜地用養液供給システムを構築し、給液の不均一とそれに伴う収量の位置的な差を解消した。次にこの給液システムを用い、高低差による水圧や圃場の傾斜を利用した傾斜地対応型の低コスト・省エネルギー養液栽培システムを開発した。傾斜ハウスとこの養液供給システムを用いて夏秋トマトの栽培実証試験を行ったところ、慣行の簡易雨よけ栽培に比べて、殺虫剤使用量は削減され、収穫期間は無加温でも前後に拡大され、収量は大幅に増加した。

引用文献

- 1) 金野隆光. 1990. 傾斜地（中山間地）利用農業. 農林水産技術研究ジャーナル. 13 (6) : 21-31
- 2) 近畿中国四国農業研究センター. 2002. 平張型傾斜ハウスの

- 施工マニュアル．近畿中国四国農業研究センター.1-25
- 3) 長崎裕司・川嶋浩樹・野中瑞生・吉川省子.1999. 不整形な傾斜圃場に適した低コスト平張型傾斜ハウス.平成 11 年度四国農業研究成果情報:18-19
 - 4) 長崎裕司.2005. 中山間傾斜地の施設生産における省力化・快適化の現状と課題.野菜茶業研究集報.2:45-50
 - 5) 猪之奥康治・角川 修・岡戸敦史・田中宏明.2003. 中山間傾斜地における土揚げ作業について(1).農業機械学会関西支部報.93:42-45
 - 6) 東出忠桐・笠原賢明・伊吹俊彦・角川 修.2005. 傾斜地トマト栽培のための低コスト・閉鎖系養液栽培システムの開発.園芸学研究.4(1):33-40
 - 7) 東出忠桐.2004. 中山間傾斜地のための低コスト・省エネルギー養液栽培システム.農林水産技術研究ジャーナル.27(11):34-38
 - 8) 東出忠桐.2005. 栽培槽に水抜きを設けないエプ&フロー方式装置によるトマト苗生産技術.近畿中国四国地域における新技術.4:85-86
 - 9) HIGASHIDE,T., H.SHIMAJI and H.HAMAMOTO. 2002. Feedback control of nutrient solution supply based on flow rate of drainage in a mist culture of cucumber. Acta Horticulturae. 588:39-42
 - 10) HIGASHIDE,T., H.SHIMAJI, H.HAMAMOTO and M. TAKAICHI. 2004. A method to measure low drainage flow and to control nutrient solution supply in aeroponics system. Environment Control in Biology. 42(4):277-286
 - 11) 東出忠桐.2005. 傾斜ハウスおよび傾斜地対応型養液供給システムによる夏秋トマト栽培体系, 近畿中国四国地域における新技術.4:83-84

トマト産地における生産の動向と生産者の技術開発へのニーズ

森田 敏 雅

熊本県農業研究センター農産園芸研究所

The Trend of Production in a Tomato Production Center and Technical Development Needs of the Producers

Toshimasa MORITA

Agricultural Horticultural Research Institute Vegetables Dept
Kumamoto prefectural Agricultural Research Center

キーワード：トマト，生産動向，技術開発ニーズ，熊本県，周年供給体制，輪作体系

1 はじめに

熊本県は、遠隔輸送園芸県としてトマトの栽培面積が1,000haを超え、出荷量も70,000tに達しており¹⁾名実ともに日本一のトマト産地となっている。トマトは2000年から野菜の中で市場取り扱ひ量がキュウリを抜いて1位となり、最も市場から注目される品目となった。しかし、トマト栽培を取り巻く環境はこの間、海外からの輸入の問題、バブル崩壊以降の単価の低迷、巨大な台風の襲来、産地偽装、無登録農薬および海外からの新たな病虫害の侵入等があり、産地の抱える問題はますます大きくなってきている²⁾。

こういう状況の中で、野菜茶業研究所をはじめ広域の研究機関や県の研究機関による研究が産地の維持発展に寄与する度合いは益々大きくなっている。これは、当県の試験研究要望課題を見てもはっきりしている。

2 熊本県における主要産地の概要

熊本県は、平坦地の冬春トマトの産地と、標高が400mを超える地域に夏秋のトマト産地があり、熊本県として周年供給がとれる体制となっている。

2.1 玉名地域

促成トマトを中心としており、播種は8月で翌年の6月までの収穫という長期の作型となる。作型の関係と生産者の努力によって比較的TYLCVの被害が少ない。軒高が低い従来のかまぼこ型鉄骨ハウスでの栽培で、長期にわたる収穫のため角度の低い斜め誘引を行っており、寡日照期に空洞果や病害発生等の問題を抱えている。

ミニトマトの作付も多く、‘千果’を中心とした品種

構成となっている。ミニトマトも同様に斜め誘引を行っているため低温寡日照期の草勢低下、着果数の減少が起こっている。

2.2 阿蘇，山都町産地

阿蘇を中心とした高原地域で、基本的には夏秋期の作型で、暖房機等の設置は必要なく、経費は少ない作型である。TYLCVは冬季に厳寒となるため媒介昆虫であるシルバーリーフコナジラミの越冬がなく、夏秋期に人や風によって持ち込まれても被害は一部にとどまっている。

問題点は、九州の500m程度の標高のために、7月から9月にかけては昼間が高温となり着果が不安定であること、高温の影響を減らすため単棟栽培が主で、降雨によるサイド部からの水の侵入による裂皮・裂果の発生が多く、品質が不安定なことである。また、この時期のトマト果実は着色が早く、糖度は冬春トマトに比べ若干低くなる。

観光地阿蘇を抱えるため、レストラン需要で調理用トマトが契約栽培されている事例もあり、熊本県高原農業研究所（阿蘇市）では、これらの品種検索をおこなっている。

この地域は標高が高く、風が強いため、単棟施設では補強材を入れて施設の強化を図っており、新しく耐候性施設の導入も進んでいる。このような耐候性施設では、高温期の外気導入設備や暖房機を導入して施設投資に見合う作型延長を図る経営や、トマト栽培後のベビーリーフ栽培のような施設の高度利用を図る農家が増えている。

2.3 八代・宇城地域

主に7月中旬に播種,9月上旬に露地状態で定植,台風来襲の危険性が極めて少なくなる10月中旬に天井被覆を行い,10月下旬~1月末まで収穫する抑制作型が今までの中心であった。この作型では,トマト栽培後に春メロンを栽培するトマト・メロンの経営が長く続いてきた。最も栽培歴が長い圃場では,40年にも達する。トマト栽培後のメロンには基肥施肥は行わず,メロン栽培後の夏季に除塩と称して湛水期間を設ける。青枯れ病,褐色根腐病予防のための接ぎ木も約30%程度に止まり,夏季の湛水期間中に土壌還元層が十分に確保され,土壌病害が作土中に問題とされないレベルまで低下するかどうかは,経験的に地下水位の高さによって決まると考えており,現地では,地下水位の高さによって接ぎ木栽培であったり,自根栽培されたりする。

近年は,メロンの単価が安く,トマト集出荷施設の維持管理のためトマトを長期にとる作型やトマトの植え替えによる2作型栽培等も増加している。この地域は1戸当たりの経営面積が大きいいため,作型毎に品種を組み合わせ本来の抑制作型に適する品種と長期栽培で品質が保てる品種を収穫,栽培管理に労働時間の突出が出ないような,雇用型農業経営となっている。

また,産地が大きいため,販売は各グループ別に行われ,競争原理が働き,各グループごとに特徴のある販売方法をとっている。最も大きいJAグループは,各出荷グループを総括し,鱗翅目害虫忌避のため黄色灯を設置する等「はちべえトマト」としてブランド化を図っている。

TYLCVの被害については,最も大きな作型が中心であり,被害面積は2005年度現在100%近くに達している。育苗期の防除の徹底により1圃場当たりの被害株率は小さくなっているが,根本的な防除技術確立を産地は望んでいる。また,育苗期等の耕種的防除で微細ネットによるサイド部分の被覆により,育苗期が夏季にあたるため施設内は高温となり,トマトの花芽分化・発育への影響が生じており,熊本県農研センターで対応試験を実施している。

3 熊本県における主要トマト産地の抱える生産面の問題

3.1 病害虫問題

TYLCV対策では,【生物機能を活用したシルバーリーフコナジラミの防除を中心とするトマト黄化葉巻病防除技術の体系化と実証】および【トマト黄化葉巻病対策を機軸としたトマト栽培法の開発】の試験によってかなりの知見の蓄積が進み,育苗ハウス対策の方向性は出来上がった。しかし,本圃については,抑制栽培産地では1戸当たりの規模が大きい(大きいところでは2haを超える経営面積を持つ)ため,経営的に対策を採れない



図1 トマト黄化葉巻病



図2 育苗(UVCと微細ネットによる被覆)

(図1,2)。

TYLCVが感染しない抵抗性品種が世界的にまだ育成されていないが,罹病はするが病徴が進まない,または,植物体内でウイルスが増殖しない弱い抵抗性を持つTYLCV抵抗性品種が開発されている。産地ではこれらの抵抗性品種の導入が先行する事態となっている。しかし,従来の品種を栽培する農家からは,このような抵抗性品種の栽培によるウイルスの蔓延を心配する声が大きく,リスク評価が強く望まれている。なお,これら弱い抵抗性品種も,当初,海外の育種メーカーから赤系のトマトが持ち込まれ,日本人の食感に合わないと評価されていたが,最近では各メーカーとも日本人の食感にあった抵抗性品種の育成が行われている。このような弱い抵抗性しか持たない現状の抵抗性品種を用いた場合にも,幼植物期に感染すると低段から病徴が現れるため,収量の減少による経営への影響が懸念される。そこで,弱い抵抗性品種を用いる時は抵抗性の程度に合わせたウイルス対策技術を確立する必要がある。

ミニトマトについてはもう一つの問題がある。農薬登録上の作物としてミニトマトがトマトから分離されたことである。このため,大玉トマトに使える農薬が残留基準をクリア出来ないのもそのままミニトマトで登録することが出来ない。生産者の強い要望で各県,各農薬会社とも力を入れて登録のための試験を行っているが,多数の農薬を確保できない状況にある。

3.2 台風対策

1991年の台風19号の来襲以来、2004年まで巨大な台風が熊本県に3度来襲しており、地球温暖化に伴って台風が巨大化しているのではと危惧する声が多い。台風被害については、来襲するたびに対策技術の知見の集積が進み、施設園芸の被害額は確実に減少している。先頃、野菜茶業研究所で取り纏められた「野菜類に対する台風・豪雨被害発生要因に関する緊急調査報告」に記載されている熊本市西部地域におけるナス栽培の事例がその傾向を示しており³⁾、耐候性ハウス等の研究も進んでいる(図3)。

しかし、バブル崩壊以降の野菜単価の下落傾向が長く続き農家経営は疲弊しており、先のTYLCV対策での資材も高価であり、加えて中国需要で農業資材も暴騰が続いているため新たな投資にはなかなか出来ないのが現状である。そこで、災害被害回避のために新たな施設を導入させるためには、その他の何らかの付加価値が必要である。例えば、高軒高で垂直誘引を行えば、増収、高品質を確保できること等の実証が必要であるという。これについては、野菜茶業研究所をはじめ長年の成果があり、県として普及への橋渡しをする必要がある。

3.3 燃料

世界的な原油価格上昇を受けて、当然我が国の施設園芸農家も危機感を抱いているところであるが、情勢は、アメリカのハリケーンカトリナ被害等冬場を前に一層悪化をたどっている。温暖な気候を背景にトマトを中心とした果菜類が順調に伸びてきた熊本県であるが、A重油に頼った経営をしてきた産地では、存亡の危機に瀕している(表1)。

過去に省エネルギー技術として開発をすすめてきたところだが、その技術だけで乗り越えていけないようであ



図3 低コスト耐候性ハウス

表1 促成トマトの光熱費の試算(10a当たり/円)

年 度	1998	2005
暖房用重油	148,800	285,200
農業用経由	11,700	5,000

る。一部産地では、今までの栽植様式を変化させて低段密植による無加温栽培を取り入れる作型を模索している。ただし、この作型では、トマト収穫後の有利な植え付け作物が無いのが現状である。

最近果樹等でコジェネレーションシステムの技術が目されているが、熊本県のトマト生産の現場でも自動換気装置、循環扇、細霧冷房装置、黄色灯等の電力を使う装置が増え、ガスによる起電のメリットが出てきている。しかし、その燃焼ガスの主力は、原油生産に伴うガスの利用であり、原油の高騰とともにガスの高騰も懸念される。また、コジェネレーションシステムで電気を起こして電気器具による加温冷却システムとなれば農家に新たな大きな負担を強いることとなる。

南九州は、畜産が大規模に行われており、畜産廃棄物等の未利用資源が多くあるところであり、メタンガスの利用等バイオマスを利用した技術を確立する必要がある。ただし、2重幕構造カーテンの利用や暖房機廃熱の効率的利用、循環扇等周辺技術を駆使してより省エネを実現する必要がある。

もう一つの燃料問題は、輸送費の値上げである。先年、輸送トラックのスピード抑制策が実施されたところ今回の軽油代の高騰が追い打ちをかける形で輸送費の増大が現実となっている。

3.4 輪作体系と経営上の問題

先に述べたトマト産地の移動現象が現れなかった原因の一つは、輪作体系が守られていたことにあると考えられている。

1戸当たりの経営面積が広いことに加え、トマトとメロンの組み合わせという経営の中では、作業時間から考えてもメロン栽培のすべての面積でトマトを作ることは不可能であった。そこで、①抑制トマト+初夏メロン(6月~7月出荷)、②春メロン(4月~5月出荷)単作の2タイプをハウス群毎に分け、輪作してきた。その春メロン栽培後の夏季に充分期間が取れるため病害対策を含めた土作りが実施されて、その後抑制トマトが植えられ①タイプとなり、2年で①②が交替していた。

この輪作体系は、メロン単価の低迷、集出荷施設の重装備化に伴う高額化の中で農業経営の環境が変わって、続けにくくなっている。①のトマト播種期や定植期を変えずに収穫期を延長するタイプや抑制トマトの後に植え替えと称して2月定植のトマトを作付けるタイプが増加している。これらの作付け体系は、開始後の年数が少ないが、確実に病害は増加している。

夏秋の生産では、夏季に太陽熱消毒が出来ないために連作が以前から困難であった。このため、単棟パイプハウスによる圃場移動で対処してきたが、気象災害対策として導入した耐候性ハウス等施設の大型化・固定化により、なお困難となっている。産地では、土壌分析により土壌の化学性の適正管理や土作りに力を入れてこの問題

を乗り切ろうとしている。

3.5 塩害

主要産地の多くは、海岸線が近く、干ばつが続くと地下水の塩分濃度が上がり、灌水に利用出来なくなる。また、地域によって地下水の灌水の利用が元々出来ない地区もあり、施設規模拡大や生産安定のネックとなっている。また、台風の高潮被害によってトマトの施設に海水が流入する事例も増えている。

産地では、逆浸透膜等を使った灌水設備等を検討した経緯もあるが、施設の維持管理に経費がかかるため中断している。雨水の利用を図るための低コストで安全な濾過法等の開発を産地側は希望している。

3.6 夏季高温対策

夏秋産地では、夏季の一時期に着果不安定となっており、産地では大型のインレットファン等の装置をつける対策をしている。

また、平坦地での作型でも育苗が7月、8月に当たる栽培では、低段の花芽分化や発育が不安定となり、初期収量の不安定化、その後の草勢維持や不良果発生等への影響が増えている。遮光や高温でも花芽分化・発育の安定した品種への切り替え等で対処しているが、遮光の度合いが大きいとトマトの生育自体に影響しており、遮熱はするが、光合成能が確保できる技術の確立が課題となっている。

3.7 産地オリジナルブランドと品種開発

熊本県は、野菜品種の育種に取り組む体制を作るのが遅れたが、最近いくつかの品種を登録普及に移している。促成イチゴの‘ひのしずく’、ナス‘ヒゴムラサキ’、そして、本年度にはニガウリの新品種を登録申請している。これらのどの品種も味にこだわったものとなっており、市場でもある一定の評価はいただいている。

このような状況の中で、トマトについても県オリジナル品種の育成を求める声が上がっているが、県としてはトマトには慎重である。一つは、トマトの品種育成に関しては野菜の中でもかなり技術的に進んでおり、これから取り組もうとしても、要請に応えられるまでにはかなりの時間を要すること、また、民間育種が熊本県の産地と密接に関与しており、熊本の気候風土にあった品種の育成に非常に協力的であることがあげられる。県としては、産地の要求する品種を民間育種が進める事に協力できる体制が最も理想と考える。

品種ではなく、糖度にこだわった栽培によってオリジナル品目とする工夫も行われている。いわゆる塩トマトとして販売を行っている産地が多数あることや、独自の栽培法をとり糖度が8度に達していないが十分に美味しいと考えられるトマトを「こだわりトマト」(図4)として販売しているケースもある。塩トマトに関しては、



図4 こだわりトマト

前述した塩害の項にあるように毎年安定して数量が確保できると言うことはなく、干害の年にはトマト生産さえも出来ない状況となる。ハウスの一部に必ず塩トマトが出来るところがあるが、その面積は年によって異なる。

そのような状況の中で、安定した高糖度トマト生産を目指す動きも産地にはある。すなわち、根域制限により安定的に高糖度トマトを生産しようとする生産者が現れており、隔離床を利用し、水分ストレスにより高糖度トマトを生産する方式が当農業研究センター方式隔離床をはじめ、複数の方法で検討されている。

3.8 苗生産

欧米の園芸生産では、苗生産の分離が行われている。当県でも民間育種メーカー系列の苗生産施設と農協系統の苗生産施設が複数存在している。だが、実際単位面積当たり栽植本数の多いトマトでは、全てを苗生産施設に頼ることは不可能であると考えられる。例えば、少なく見積もっても300haの栽培面積がある抑制トマトを例にとると、定植期に必要な苗の数は、2,000本/10aと計算して600万本となる。接ぎ木を考えると穂木と台木があり、倍の苗を育苗することとなる。7月中旬は種から8月下旬までのトマト育苗以外の時期に面積を埋められる品目がない状況の中では苗生産施設の経営が成り立たない。

そこで産地では自家育苗を行い、接ぎ木が必要であれば自家での簡易幼苗接ぎ木を行っている。それでも、2ha経営の農家では、1ha以上のトマト栽培に向けて2万本以上の苗を育苗することとなる。そのため、接ぎ木苗は一部に限定しているのが現状である。

3.9 雇用の確保

大面積経営の農家では雇用の確保が大きな問題となっている。農業の担い手不足で農家の数も減少しているが、農作業を分担してくれる雇用労働力も減少している。一部の産地では、東南アジアを中心とした研修生を受け入れることにより、労働力を確保している事例がみられるが、いわゆる気心の知れた長期の雇用確保が望ましいとして周辺地域の女性労働力に期待をしている。

雇用される側からみても労働条件や失業保険等、未整備な問題が多くあり、県および市町村等では経営体の法人化を指導している。

4 熊本県における主要トマト産地の抱える流通面の問題

4.1 加工調理用トマト

熊本県では、加工用トマトは5a程度で栽培されており、この面積も縮小の方向にある。契約単価がkg当たり約70円と生食用トマトに比べ極端に安く、収量が多いわけでもないことが面積拡大に向かわない理由と考えられる。

先に述べた夏秋産地の調理用トマトは、地産地消的な観光地レストラン消費という形態で単価が高く設定されており、生産者には魅力である。また、契約ではなく、生産者が生産したトマトを使って自ら加工を行い直売する形式の販売は広まっている。

4.2 高糖度トマト生産

ブランド化の項目で述べたように高糖度トマト生産を行う農家は増加しつつあるが、組織化されにくい面を持っている。現在のところは、生産された果実を判断して高糖度トマトとして販売するにとどまっており、量が安定しているものではない。また、糖度も8度を超えるものがkg当たり1,000円で取引されているが、8度に達しない高糖度のものを「こだわりトマト」として販売されている事例もある。経営の安定のためには根域制限を確実に行う必要があると考えられる(図5)。

4.3 契約(ブランド契約と使用目的契約)

契約には加工用とブランドものがある。先述したように加工用トマト生産は非常に少量であること、将来に増加の意向もない。一方、大型量販店の中にブランド野菜としてコーナーを設けるところが多くなり、その中に契



図5 根域制限による高糖度トマト

約野菜がある。これらの契約は、指定された栽培法を実施するか、集出荷グループの中で品質評価の高い個別の農家を指定して行われている場合に分かれ、両者とも市場価格より若干高く販売されている。

また、ハンバーガーやサンドイッチ用のトマトとしての使用目的がはっきりした販売契約もあり、ゼリー部分の流れが少ない品種を栽培している。

4.4 コールドチェーン問題

大消費地である東京、大阪から大きく離れた熊本、北海道が面積を増やしている。圃場で完熟したトマトを収穫して消費地へ送るために産地側では予冷库や保冷車の整備を行っているが、市場側にその設備がなければ消費者に高品質のトマトを届けることは出来ない。市場側からは時折、各産地毎の品質評価を行い、その結果報告があり、農家まで伝えられるが、問題はもっと市場側にある。東京市場では、相対取引が多くなり、商品としてのトマトは直接量販店に送られるケースが多くなったが、関西ではまだセリが多く、解決が急務である。特に夏秋のトマトにその問題が大きく、整備が望まれる。

4.5 輸入問題

韓国産ミニトマトの農薬問題の発生により一時のような危機的な輸入問題は取り上げられなくなっているが、潜在的にはまだまだこの問題が存在している。燃料による単価の高騰、台風等の災害等により国産ミニトマトの供給不足がおこれば消費地での量販店ではすぐさま輸入の大量増加に走り、恒常的な輸入依存となって現れる。これに対抗するためには、低コストで高品質生産が可能で、災害に強い産地への脱皮が必要となってくる。この意味での試験研究への要望も高い。

5 生産者が望む技術開発

5.1 生産コスト

最も大きい要望は、生産コストの削減である。TYLCV対策、中国やインドの経済発展によるハウス資材および世界的な原油高騰によって生産コストは、極めて高くなっている。

このため、試験研究に対して、効果的なTYLCV対策や低コストにつながる多収技術(品種を含む)、耐候性ハウス等の施設低コスト化や省エネ技術が求められている。

5.2 産地価格と消費地価格

もう一つは、最近の野菜販売単価の下落に生産者が不信感を抱いている。産地での単価は需要と供給のバランスで毎日のように変化するが、単価が安くなっても消費地での小売単価はほとんど変化していないという声が多い。「コレでは、産地販売の単価安でも需要が増えるこ

とはないのではないか！」「産地での単価が高くなれば小売りでも高くなり、買い控えが出る。しばらくすると安価な海外物が出回る。逆の場合は、生産者にかぶるだけではないか！」「いわゆる再生産価格を割ってしまうと農家は生き残れない。昔は市場が強く、市場の力が上手く機能したが、今では、市場等が産地維持を望まなくなったとしか言いようがない！」と不満を持つ生産者は多い。このような不満には消費構造および小売り販売の変化で市場側だけで解決出来る話ではないことも事実ではある。

これらは我々研究が関与できる範囲外といわれるかもしれないが、技術確立を負っている研究としては出荷予測や気象災害に強い生産技術の構築等でサポートする時期ではないかと考える。

6 県行政、流通組織および熊本県農研センターが取り組む問題解決のためのニーズ収集法

6.1 各種専門部長会

熊本県では、各品目毎の園芸部長会を組織して実際の生産者の声をダイレクトに取り入れるようにしている。地域ごとに11の部長達に集まって貰い、品目毎の生産者の意向を行政、普及、研究に生かしていくようにしている。

6.2 ニーズ調査と試験課題

また、熊本県では毎年試験研究のニーズ調査を実施しており、行政、普及、生産現場、流通、消費地の意見を取り上げ、試験研究専門部会を通して試験研究への取り

組みを検討している。当県の試験研究課題はその流れに沿った課題となっている4)。

摘要

トマトは、最も重要な野菜となり、需要供給とも順調に増加している。

しかしながら、栽培・産地は大きな問題を抱えている。周年供給を行っている熊本県の産地を例にとって問題点をみると、TYLCV対策をはじめとした病害虫対策、地球温暖化によって巨大化してきている台風対策、不安定な供給体制にある原油の価格変動を反映している燃料問題、社会情勢からくる作付け体系の変更による作の不安定等数々の解決すべき問題があり、それぞれについては、解決への道が示されているものもあれば、問題が顕在化しつつある課題もある。

このような背景に立つて試験研究機関の役割はより一層大きくなっている。そこで、熊本県に例を取って、研究へ取り上げ課題設定するシステムを紹介した。

引用文献

- 1) 熊本県熊本経済農業協同組合連合会. 2005. くまもとの野菜統計 2004年版. (社)熊本県野菜振興協会: 6-7
- 2) 熊本県. 2001. 第7次熊本県野菜振興計画
- 3) 荒木陽一・前田昭一. 野菜類に対する台風・豪雨被害発生要因に関する緊急調査報告(配付版)(独)農業・生物系特定産業技術研究機構野菜茶業研究所: 68-70
- 4) 熊本県農業研究センター. 2005. 2005年度試験研究要望課題

低段密植栽培による新たなトマト生産

渡 辺 慎 一

独立行政法人 農業・生物系特定産業技術研究機構九州沖縄農業研究センター

New Growing System for Tomato with Low Node-Order Pinching and High Density Planting

Shin-ichi WATANABE

National Agriculture and Bio-oriented Research Organization
National Agricultural Research Center for Kyushu Okinawa Region

キーワード：トマト，低段密植栽培，糖度，多収，軽労化，高設栽培

1 はじめに

トマト低段密植栽培とは、多段栽培よりも密植して、1～3花房程度を残して摘心する短期栽培を繰り返す栽培法の総称である。第一花房の上で摘心する場合は一段密植栽培、第二花房の上で摘心する場合は二段密植栽培などという。国内では、試験研究機関等によって30年近くにわたって数多くの研究が行われてきている¹⁾が、なかなか実用化に至らなかった。しかし、最近になって実用化事例が出てきはじめ、トマトの周年安定生産技術として、新たな展開がみられつつある。ここでは、筆者が現在生産者と共同研究を行っているトマト一段密植栽培を中心に、低段密植栽培の特徴や、実用化されている事例の紹介と今後の展望等について述べる。

2 トマト低段密植栽培の特徴

低段密植栽培の中で最も単純化された一段密植栽培については、小林(1991)によって特徴が整理されている(表1)²⁾。二段、三段と花房数が多くなっても、基本的には一段密植栽培とメリット、デメリットは同じである。なお、周年生産を考えた場合、短期栽培の繰り返しであるため片付け・定植の回数が多くなることから、養液栽培で、しかも培地が少なく片付けやすい方式で行うことが省力化の観点からは望ましい。

表1では触れられていない一段密植栽培の特徴として、以下のことが挙げられる。

2.1 果実の容易な高糖度化

塩類ストレスや水ストレスなどをかけて果実の高糖度化を図る場合、一般に着果後のストレス処理開始時期が

早いほどストレスの影響が強く、果実糖度は高くなるが、果実重は小さくなる(図1)。また、特に高温期において、開花直後など、あまり早い時期から塩類ストレスをかけると、尻腐れ果が多発する。一段密植栽培では第一花房の果実のみを考慮してストレスをかければよいので、以上のことをふまえた上での果実の高糖度化が単純・容易であり、高度な技術を必要としない。一方、多段栽培で高糖度トマトを生産する場合には、上位花房の尻腐れ果の発生や、樹勢を考慮しつつストレスをかけなければならないので熟練技術を必要とする。私見としては、この果実高糖度化のしやすさこそが多段栽培と比較した場合の一段(低段)密植栽培の最大の特長であると考えている。実際に、低段密植栽培の実用化事例では、多段栽培と比べて周年的・安定的に高糖度果実を生産できるというメリットを生かしている事例が多い。

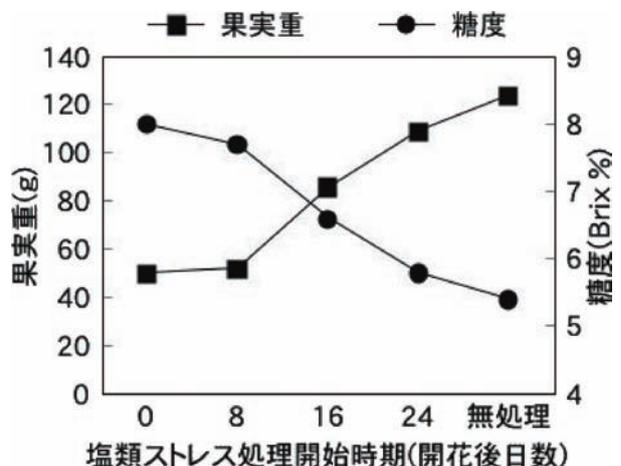


図1 果実重および糖度に及ぼす塩類ストレス処理開始時期の影響

表1 一段トマト栽培の特徴 (小林, 1991²⁾)

一段トマト栽培のメリットとデメリット		従来のトマト栽培との比較
品質	花房間の競合がなく、一段花房だけにしぼった管理ができるため、高品質で均一な果実生産が可能である。	栄養生長と生殖生長のバランスを崩すと、空洞化や小玉果が多発し品質が低下する。
収量性	密植栽培と移動ベンチの組合せにより無駄なスペースがなく単位面積・時間当たりの収量が高くなる。	長期穫り栽培では、定植直後の無駄なスペースが多い。
栽培の安定性	シンプルでパターン化した生育過程を繰り返すため、ルーチンワーク化しやすい。また、前作の栽培管理に修正を加え、次作の管理に反映させることができ、学習効果が高く、技術の向上、修得が早くなされ、完成度の高い栽培法となる。	年間1作ないし2作の作付けでは、経験を積み重ねるのに年数を要し、熟達が遅い。
装置	1作の期間が短いため、根圏の容量が小さくてすみベットの軽量化が可能。	長期穫り栽培では、根量が多くなり容量の大きいベットの必要。
管理作業性	高架ベンチを用いると立ったままの姿勢で全ての作業ができ、脚や腰への負担が少ない。また、同じ高さに開花着果するので誘引、ホルモン処理、収穫等の作業性が良い。	定植時やその直後は、すわったままの作業が多い。また、後半は、つる降ろし等の誘引作業に労力がかかる。
病害虫対策	栽培期間が短いため、生育前期に病害虫の防除を徹底しておけば、定植後は薬剤防除を行わずに低農薬栽培ができる。	栽培の途中で病害虫が蔓延するとその後の栽培が続けられなくなるため、定期的な防除が必要である。
育苗	密植多作栽培のための大量の苗を要する。	苗の本数が少ない。
デメリット	植付け回数が多いため、栽培終了後の後片付けと、次作の苗の運搬や植付け回数が多くなる。	植付けや後片付けの回数が少ない。

2.2 雇用労力による生産に適している

周年生産で軽作業的であることから雇用労力の導入が容易であるとともに、栽培管理が単純、平易であることから雇用労力主体での生産が可能である。

2.3 リスク分散

短期栽培の繰り返し（経営レベルでは年間20作以上に及ぶ）であることから、年1〜2作の多段栽培と比べて栽培に失敗した場合のリスクが分散される。そのため、多段栽培がいかに失敗しないかという「守り」の姿勢になりがちであるのに対して、生産者自体も試行錯誤がしやすく「攻め」の姿勢で栽培に取り組める。

2.4 作付け計画の重要性

一段密植栽培は短期栽培の繰り返しであることから、周年安定生産を行うためには、収穫期間が連続するような適切な作付け計画をたてる必要がある。作付け計画が不十分であると、収穫の山・谷が多段栽培以上に大きくなってしまふ。実際には生産者が蓄積した栽培データをもとに、適切な作付け計画を作ることになるが、研究レベルでは、積算気温と積算日射量からの予測に基づく作付け計画図を作成することによって計画的生産が理論上

可能となっている³⁾。

3 トマト低段密植栽培における定植苗齢，摘心段数と労力，収量・品質との関係

低段密植栽培の中での定植苗齢，摘心段数と労力，収量・品質との関係について、特徴を整理したのが図2である。

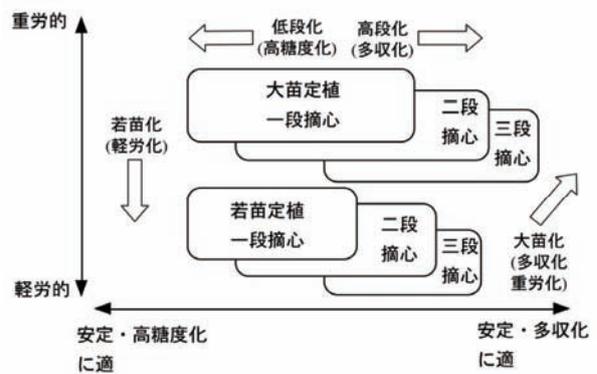


図2 低段密植栽培における定植苗齢，摘心段数と労力，収量・品質との関係

同じ摘心段位の場合、若苗定植では、育苗期間、面積とも少なくすみ、定植時の運搬、定植作業の労力も少なくなるため、大苗定植に比べて軽労的な方向にシフトすると考えられる。一方、大苗定植では、定植から収穫までの期間が短くなり、年間作付け回数を増加させることが可能であるため、労力がかかるが若苗定植に比べて多収化の方向にシフトすると考えられる。ストレス付与による果実の高糖度化の難易は、低段摘心の場合は定植苗齢による差は小さいと思われる。

同じ定植苗齢の場合、摘心段位が高いほど多収化の方向にシフトするが、その効果は一段二段のほうが、二段三段よりも大きいと考えられる⁴⁾。一方、ストレス付与による果実の高糖度化については、摘心段位が低いほど果実の発育ステージの差が小さくなり、果実の大きさや糖度の揃いが良くなることから、安定生産しやすい方向にシフトすると考えられる。摘心段位と労力の関係については、摘心段位の違いによって栽植本数や整枝、誘引、着果処理等の回数が変わるので、今後明らかにする必要があろう。

4 野菜茶業研究所方式のトマト一段密植栽培システム⁵⁾

(独)農研機構野菜茶業研究所では、若苗定植による保水シート耕方式の一段密植栽培システムを開発した。その手順を図3に示す。ロックウール細粒綿を詰めたセルトレイを用いて、底面給液方式で育苗することによって育苗の省力化を図り、本葉数枚の若苗で定植することにより定植の軽労化を図っている。

養液栽培方式は、毛管水耕と湛液水耕の折衷型である

保水シート耕方式を用いる(図4)。根系は湿ったシート上に発達し、先端部は液貯留部に到達する。株元の根は空气中に露出するため、純粋な湛液水耕よりも酸素欠乏の危険は小さい。不織布内への根の進入は遮根シートで防がれ、栽培終了後は簡単に根を除去できる。シート類は洗浄して再利用できる。栽培ベッドは、ハウス用パイプ、発泡スチロールを用いて自作が可能である。液貯留部に水位センサを設置すれば、植物体の吸収分だけ培養液を補充する無排液・閉鎖型の培養液管理も可能である。

5 トマト低段密植栽培の実用化事例

5.1 野菜茶業研究所方式の一段密植栽培(宮崎県)^{6,7)}

宮崎県門川町の生産者2名が、若苗定植・保水シート耕方式の一段密植栽培に取り組んでいる。もともと土耕での高糖度トマト栽培に取り組んでいたが、より確実に高糖度トマトの周年安定生産ができる可能性があるとして試作を経た後、2001年秋から全面的に導入した。一部二段栽培を取り入れることについても試行錯誤中であ

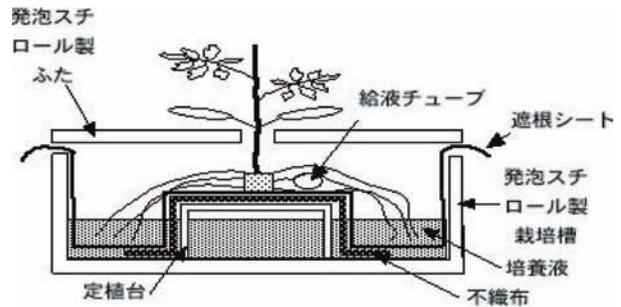


図4 保水シート耕方式の養液栽培ベッドの構造(断面図)

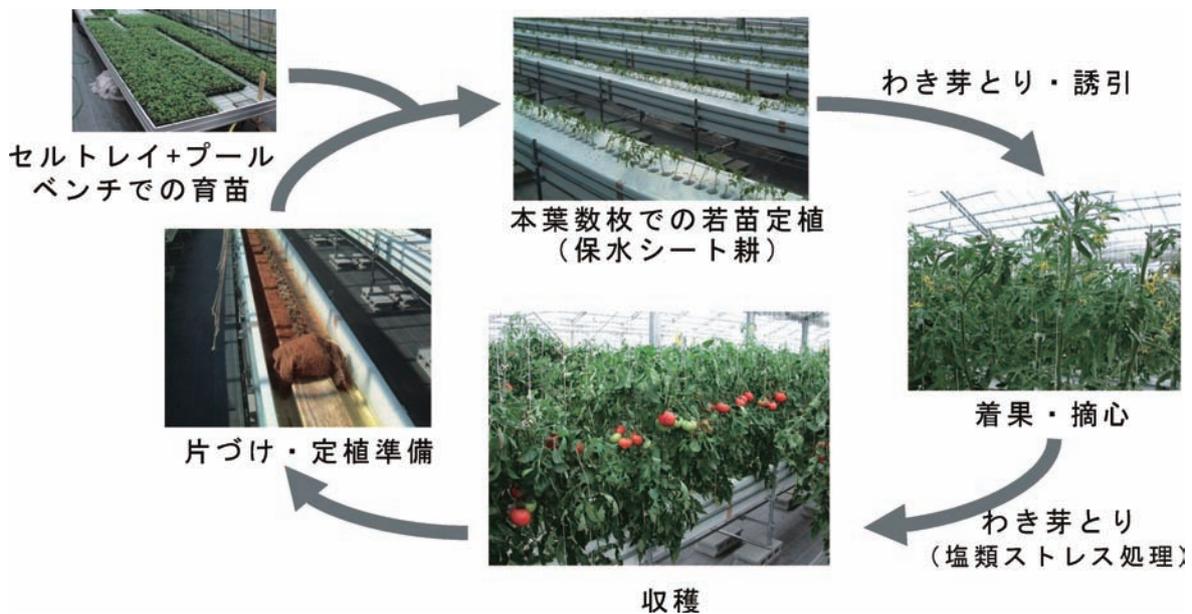


図3 トマト一段密植栽培(野菜茶研方式)の栽培手順

る。1名は6連棟30aの鉄骨ハウスで、もう1名は7連棟15aのパイプハウス+低コスト耐候性ハウス40aの計55aで周年栽培している。ハウス内を区画分けし、播種期をずらして周年生産を図っているため、ハウス内には生育ステージの異なるトマトが混在する形となる。目標糖度(Brix)は1年中7度以上としている。あまり糖度が高くなりすぎないようにして収量を確保する方針である。年間収量は現状で10t/10a程度である。

5.2 アメーラトマト(静岡県)

静岡県大井川町、藤枝市、静岡市、沼津市の生産者グループでアメーラ会という組織を形成して、高糖度トマトの周年生産・販売を行っている。合計栽培面積は5.6haである。栽培方式は静岡農試開発の不織布ポットを用いた養液栽培システムでの低段密植栽培である。中でも大井川町の営農組合「アメーラ倶楽部」は2ha以上の大規模温室で生産を行っている。この施設では年間を通して安定的に良苗を生産するため、閉鎖型苗生産システムを導入している。年間収量は8t/10a程度である。冬場から春にかけては最低糖度8度、夏場から秋にかけては最低糖度7度を出荷基準としており、平均糖度は9~10度である。夏場の生産量確保のため高冷地での生産も開始している。なお、本年5月にサンファーマーズというアメーラのブランド管理、商品管理、販売管理、その他あらゆる戦略管理等を行う会社を立ち上げており、アメーラ会の事業を近々すべてこの会社に移行する予定である。
(注) アメーラ会では技術的な説明や農場視察は基本的に受け付けていないとのことなので、この資料を見てのお問い合わせはご遠慮下さい。

5.3 カンジンファーム(栃木県)⁸⁾

栃木県大田原市(旧湯津上村)にあり、2002年に竣工、2004年に一般に公表された。株式会社誠和のトマト4段摘心による上下立体時間差連続栽培方式の実証農場である。栽培槽が上下2層式になっており、下段の収穫が終了したら上段の栽培槽を下ろし、下段の栽培槽を上段に移動して定植する。低段栽培の安定性と、ハイワイヤー誘引の空間の有効利用という両方の特長を狙ったシステムといえる。温室面積約1.2ha、本圃面積約90aで、本圃を3ブロックに分け、1ブロック年8回(4回×2段)定植し、3ブロック全体で年間24作となる。収穫物の90%を外食産業へ出荷している。5.1、5.2と異なり、多収を目指した低段栽培システムであり、現状で40t/10aレベルはクリアしたとし、50t/10a達成を目標としている。

この他、茨城県内でも底面給液法を利用した生産方式(茨城農総セ園研式)による低段密植栽培による高糖度トマトの生産が実用化されている。

以上、実用化の事例について紹介したが、いずれも高単価を確保する戦略で出荷を行っている。

6 夏場の不安定生産克服への取り組み

低段密植栽培で周年安定生産を実現するためには、夏季の生育、収量が不安定であることが大きな問題である。そこで2003~2005年度の間、(独)農研機構、神奈川県農業技術センターおよび5.1の宮崎県門川町のトマト一段密植栽培生産者で、先端技術を活用した農林水産研究高度化事業「トマト一段密植栽培による高温期の高品質果実安定生産技術の確立」の課題名で共同研究を行っている。目標は8~10月の収穫期に、果実糖度7以上、一果重100g以上で1作当たり4t/10a(1株約400g)である。その中で得られた試験結果についていくつか紹介したい。なお、いずれの試験も、保水シート耕方式で、果実肥大期に培養液EC5dS/m程度の培養液を供給し、塩類ストレスをかけている。

6.1 品種^{9,10)}

2003年、2004年に延べ22品種について検討した結果を図5に示す。2003年は冷夏、2004年は猛暑と対照的な夏であった。全体として、一果重、収量は2003年が高く、一方、果実糖度、尻腐れ果発生は2004年が高かった。2003年の試験でほとんど尻腐れ果の発生しなかった「強力米寿2号」、「豊福」、「征福」は果実糖度が低い傾向がみられた。収量、糖度、食味等で2003年に有望と判断した「おおひめ」、「甘福」、「強力光玉」、「桃太郎」、「桃太郎ヨーク」については2ヵ年も試験に供試したが、2004年では2003年よりも尻腐れ果が多発してほとんど

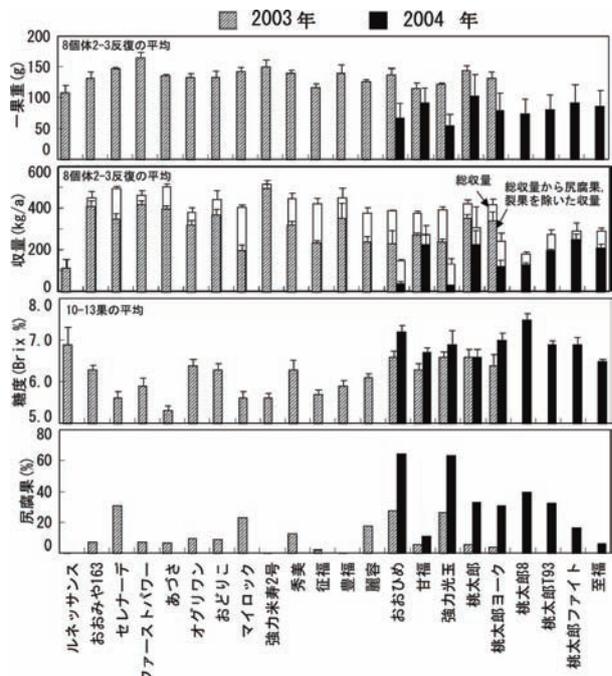


図5 一段密植栽培による夏季高温期の高糖度果実生産における果実収量・品質の品種間差
定植日 2004年：7月2日、2005年：6月25日。誤差線は標準誤差。

の品種で収量が低下した。特に‘おおひめ’と‘強力光玉’でこの傾向が顕著であった。このように、ストレスがかかりにくい条件下で果実糖度が上がりやすい品種は、ストレスの影響を受けやすく、環境条件で生育が左右されやすいのではないかと推察された。ただし、‘甘福’は両年とも尻腐れ果発生が少なく、収量の低下程度も小さかったことから、ストレスの影響を受けにくく、環境に対する安定性があるのではないかと推察された。同様に2004年に供試した‘至福’、‘桃太郎ファイト’もこのタイプに属するものと推察された。

また、19品種についてクロロフィル蛍光測定法を用いて高温ストレス処理ならびに塩類ストレス処理による高温馴化の度合いを調査したところ、両者には正の相関が認められ、塩類ストレスによる高温馴化が明らかに認められた品種群(A)と、認められない品種群(B)の2群に大別された(図6)。そして、前者の方が多収となる傾向、後者の方が塩類ストレス処理時の果実糖度が高くなる傾向があった。

以上の試験結果から、夏季高温期の一段密植栽培においては、高糖度果実を生産する場合にはストレスを受けやすい品種をいかにうまく栽培するかが、また多収生産を目指す場合には、ストレスへの馴化能が高く、ストレ

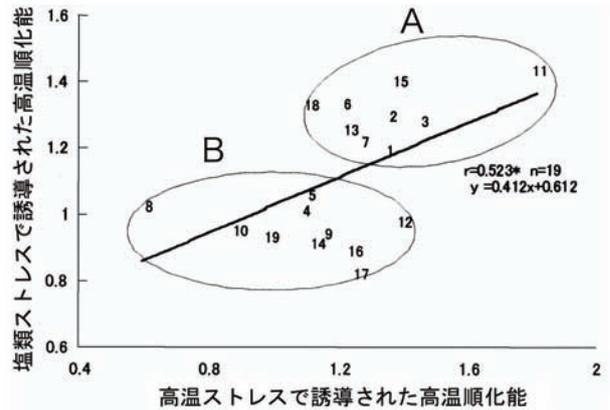


図6 高温ストレスならびに塩類ストレス処理葉の高温馴化能(佐藤ら, 2004を一部改変)
1以上の値でそれぞれのストレスによって高温馴化能が誘導されたことを示す。図中の番号は品種の違いを示す。

スの影響を受けにくい品種を用いることがポイントとなると考えられる。

6.2 糖度7を目標とした果実生産のための培養液管理法

2003年, 2004年に‘桃太郎ヨーク’を用いて行った試験区での栽培槽内の培養液ECを図7に示す。目標としている7度前後の果実糖度が得られた試験区の培養

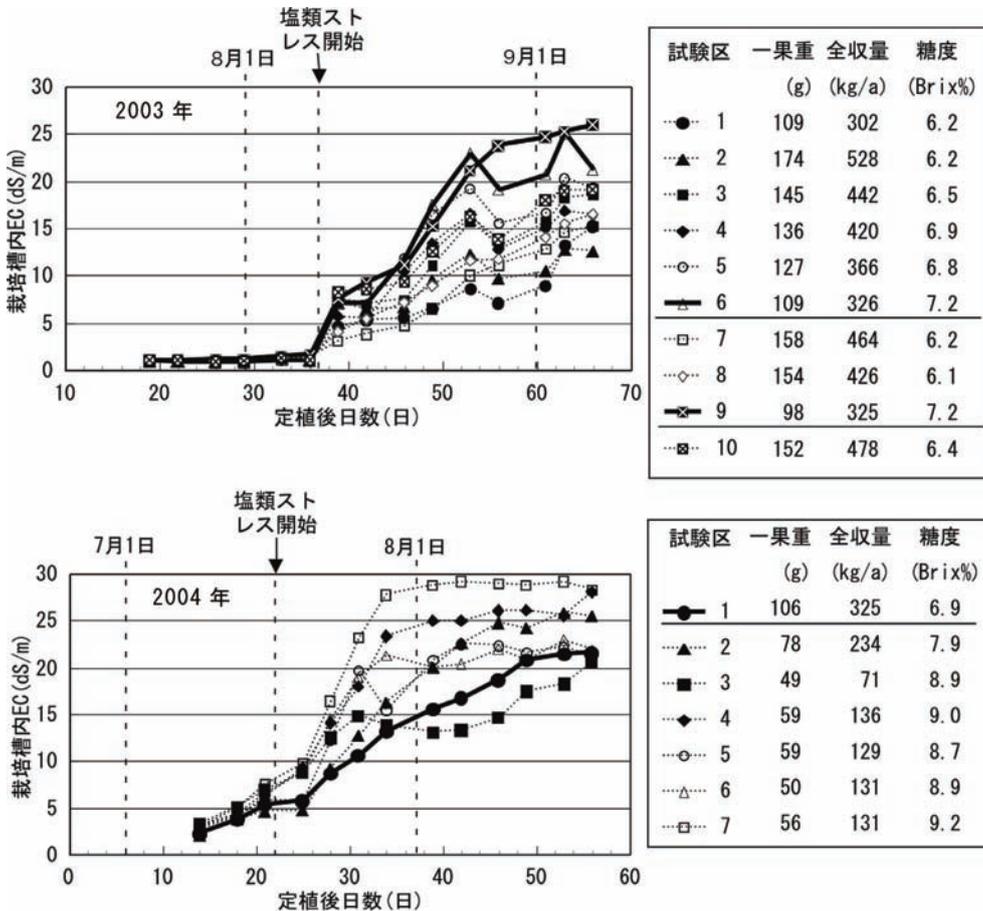


図7 様々な試験区の栽培槽内ECの推移と収量および糖度
グラフ内の太線および収量、糖度の下線部は、その年の試験で比較的成绩が良かったと判断される区。

液 EC を太線で示している。平均収穫日が 2003 年の試験では 9 月 4 日前後、2004 年の試験では 8 月 18 日前後である。2003 年の 6 区、9 区は塩類ストレス付与後、栽培槽内 EC がほぼ直線的に増加し、EC20dS/m のレベルを平均収穫日の 10 日前に超え、EC22~23dS/m 前後で上昇程度が緩やかになっている。2004 年の 1 区は、塩類ストレス付与後、同様に栽培槽内 EC が直線的に増加し、EC20dS/m のレベルを平均収穫日の 8 日前に超え、その後頭打ちになっている。また、これまでの観察から、EC25dS/m を超える期間が 1 週間以上続くと植物体の葉枯れが目立ってくるように思われる。以上のことから、非常に独断的ではあるが、塩類ストレス付与後から予定される平均収穫日の 10 日ほど前までに EC を 20dS/m 程度まで直線的に上昇させ、その後は EC20~25dS/m の範囲で栽培槽内の培養液を管理することが、夏季高温期に糖度 7 度程度の果実を生産する際の目安になるのではないかと思われる。

6.3 閉鎖型苗生産システムでの育苗による生産安定化¹¹⁾

高温期の育苗では、着果節位の上昇や、花芽が充実しないなどの問題点があることから、閉鎖型苗生産システム（苗テラス、太洋興業株式会社）で育成された苗の夏季高温期の栽培適性について検討した。育苗時の環境条件は、閉鎖型苗生産システムでは気温 19℃、光強度 250 μmol/m²/s（蛍光灯）、12 時間日長、CO₂ 濃度 1,200ppm、培養液 EC 2.4 dS/m、対照区ではガラス室内でなりゆき、培養液 EC 2.0 dS/m であった。閉鎖型苗生産システムで育苗することにより、定植時の草高、展開葉数が減少し、着果節位が顕著に低下した（表 2）。また、トマトトーン処理日（開花日）、収穫日のばらつき

表 2 閉鎖型苗生産装置での育苗が一段密植栽培トマトの定植時生育および第一花房の状態に及ぼす影響

育苗	定植時		第一花房		
	草高 (cm)	展開葉数	着果率 ^z (%)	花数	花房下本葉数
対照	25.1	5.1	95.8	5.9	11.1
閉鎖型	8.9	3.6	95.8	4.3	6.7
t 検定 ^y	**	**	—	**	**

^z(第一花房に着果した個体数 / 全個体数) × 100。
^y*, ** はそれぞれ 5%, 1% 水準で有意。— は無検定。
 播種日: 対照 6 月 1 日, 閉鎖型 6 月 2 日, 定植日: 6 月 25 日。

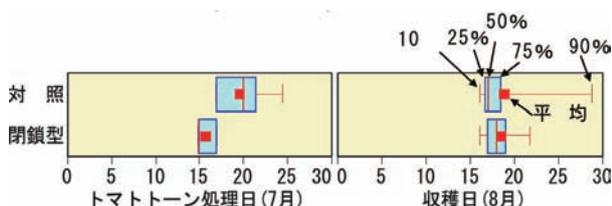


図 8 トマトトーン処理日および収穫日の揃いに及ぼす育苗法の影響
 トマトトーン処理日: 第 3 花開花時。図中の数値 (%) は、収穫果実の総数を 100% とした場合の収穫始めからの割合を示す。

が小さくなった (図 8)。そして、尻腐れ果発生が低下し、収量も増加したことから (表 3)、閉鎖型苗生産システムで育苗することにより、夏季高温期のトマト一段密植栽培の生産が安定する可能性が示唆された。

表 3 閉鎖型苗生産装置による育苗が一段密植栽培トマトの果実収量および障害果発生に及ぼす影響

育苗	全収量 ^z		障害果 (%) ^y		可販果収量 ^x	
	着果数 (個/個体)	一果重 (g)	尻腐果 (%)	裂果 (%)	一果重 (g)	収量 (kg/a)
対照	2.0	74	146	74.7	0	95 80
閉鎖型	2.8	102	273	21.3	9.3	105 214
t 検定 ^w	NS	**	*	—	—	** *

^z30g 以上の果実を調査。^y10g 以上の果実での発生率。^x全収量から尻腐果と裂果を除いた収量。

^w*, ** はそれぞれ 5%, 1% 水準で有意。NS は有意差無し。— は無検定。

6.4 ハウス密閉による高温処理による害虫抑制¹²⁾

これまで、ナス、キュウリ等でハウスを短時間密閉して高温処理を行うことによって、病虫害抑制に効果があることが知られている^{13,14)}。トマト一段密植栽培では、花房が一つで生育ステージが揃っているため、高温処理の障害を受けやすい生育ステージがあったとしてもその時期を避けて処理を行いやすいこと、短期作の繰り返しなので仮に高温処理に失敗しても多段栽培よりも被害が限定的であることから、本処理の一段密植栽培への適用性は高いと考え、検討を行った。ハウス内温度が 45℃ で 1 時間程度継続する高温処理を行ったところ、コナジラミ類成虫、ハモグリバエ類成虫が顕著に減少し、これら害虫の抑制に有効であることが明らかとなった (表 4)。また、少なくとも着果後であれば高温処理による生育、収量への悪影響は認められなかった。

7 トマト低段密植栽培の今後の展望

今後、低段密植栽培の更なる普及のための課題や、新たな可能性について、一段密植栽培を例に述べたい。

7.1 品種

一段密植栽培用の品種には、多段栽培とは異なる特性が求められると考えられる。たとえば、第一花房 (一

表 4 高温処理がトマト一段密植栽培における害虫防除に及ぼす影響 (佐藤ら, 2005)

調査地点	コナジラミ類成虫		ハモグリバエ類成虫	
	高温処理前	高温処理後	高温処理前	高温処理後
1	0	0	96	0
2	2	0	36	4
3	0	0	98	3
4	4	0	44	1
5	28	0	24	1
平均	6.8	0	59.6	1.8

(頭/100 株)

段目)から着果や果実肥大が良すぎる品種は、多段栽培を行う場合には適切に摘果しないと樹勢が弱ってしまうが、一段密植栽培の場合には着果安定のために好ましいと考えられる。また、多段栽培の10倍以上の苗を使うことになるので、一段密植栽培用の固定品種が育成できれば、生産者のメリットは多段栽培よりも非常に大きい。

7.2 育苗

一段密植栽培では年間を通して育苗を行うので、先に述べた閉鎖型苗生産システムを用いて周年安定した苗、あるいは季節に適した苗を生産することは、安定した計画生産を行う上でも非常にメリットが大きいと考えられる。閉鎖型苗生産システムは非常に高価ではあるが、一段密植栽培ではシステムの稼働率も高いので導入の意義は高いと考えられる。また、本圃の植物体の側枝を苗として利用できれば苗コストの削減に大きな効果があるが、苗の揃いが悪いことが一段密植栽培の計画生産には向いていないとされている。しかし、ある程度ステージの揃った側枝を閉鎖型苗生産システムを用いて育苗すれば、揃った良苗生産の可能性もあると考える。

7.3 連棟ハウスの分割利用や小規模多棟ハウスの利用による減農薬・省エネルギー栽培

一段密植栽培で周年生産を行う場合、ハウスが一つであればハウス内を区画に分けて播種期をずらして栽培を行う必要がある。静岡農試では、フェンロー型温室での新たな温室メロン生産技術の開発に取り組んでおり、温室谷部で内張り用農ビを用いて区画を仕切ることにより、区画毎の温度管理が可能であることを明らかにしている¹⁵⁾。また、トマトにおいて、果径が1~5cm以上に達した時期に、培地温を14℃程度確保すれば、夜間前半の気温を約8℃、夜間後半の気温を2.5℃で管理しても果実収量、品質、成熟日数はほとんど変わらないことが報告されている¹⁶⁾。花芽分化~果実成熟までの異なるステージが混在する多段栽培と比べて、花房が一つしかなく果実の生育ステージが揃っている一段密植栽培では、ハウス内を仕切り、例えば着果期までは夜間通常暖房、着果期以降は夜間無暖房等、ステージにあわせた温度管理を行うことにより暖房の省エネ化を図れる可能性がある。また、区画毎に先に述べた高温処理を行って害虫抑制を行うことにより、減農薬化を図れる可能性もある。

複数の小規模ハウスを持って各ハウスを区画と考えれば、上述の連棟ハウスの分割利用による省エネ、減農薬効果に加えて、連棟ハウスの分割利用ではできない栽培終了時のハウス内全体の消毒が可能である。このオールイン・オールアウト方式であれば、栽培終了後に病害虫をリセットできることから、短期作である一段密植栽培では栽培期間中の病害虫発生には寛容に対処できるので、さらなる減農薬化、あるいは無農薬化も図ることが可能であると考えられる。

7.4 新たな担い手層に適した栽培法としての一段密植栽培

国内の高齢者人口が増加していく中で、定年退職者を中心に市民農園の人気の高まるなど、精神的充足感等を求めて非農家高齢者の園芸に対する関心が高まっている。一方、育児等の制約があり定職に就くのが難しい非就業女性層についても、賃金は高くなくとも時間的制約が少なく比較的自由に働ける職場に対する要望は大きいと考えられる。労働対価を高くは求めないこのような高齢者、非就業女性層等を果菜生産の潜在的な担い手と考えた場合、新たな低コスト生産システム構築の可能性があると考えられる。この生産システム実現のためのキープポイントとしては、専門的知識が無くても作業が楽でわかりやすく、いつでも誰にでもできる栽培技術や快適な労働環境の整備等が考えられる。高設栽培で栽培管理が単純、かつ周年生産でいつでも何らかの作業があるトマト一段密植栽培は、このような低コスト生産システムへの可能性を秘めている栽培法の一つであるといえる。

また、その作業性の良さ等から、園芸福祉的な利用にも応用できると思われる。

8 おわりに

トマトの低段密植栽培の最大の特長は多段栽培と比べて高糖度果実の周年安定生産がしやすいことにあると個人的には考えているが、実用化事例でも紹介したように、多収をめざした栽培においても周年安定生産の可能性のある栽培法である。短期作の繰り返しである低段密植栽培は、四季がはっきりしており、気候の変化が激しい日本においては、トマトの周年安定生産技術における一つの選択肢であると考えられる。

摘要

トマトの低段密植栽培は、最近になって実用化事例がみられるようになり、トマトの周年安定生産技術として新たに展開しつつある。ここでは、一段密植栽培を中心に、低段密植栽培の特徴や、実用化されている事例、高温期の生産安定化のための試験研究の取り組みについて紹介するとともに、今後の課題や展望等について述べた。トマトの低段密植栽培は通常が多段栽培と比べて、高糖度果実の周年安定生産や、さらなる多収生産実現の可能性のある栽培法であり、トマトの周年安定生産技術の一つの選択肢であると考えられる。

引用文献

- 1) 渡辺慎一. 2003. 低段密植栽培. 野菜栽培の低コスト・省力化技術. 農林水産研究文献解題 No.28. 農林水産技術会議事務局編:185-186
- 2) 小林尚司. 1991. 1段トマト栽培を例とした省力化技術. 野菜・花き生産における省力化技術の現状と課題. 平成3年度課題別研究会資料:20-26

- 3) 小林尚司・島地英夫・池田英男.1998. 養液栽培によるトマトの一段どり栽培に関する研究(2)－環境要因とトマトの生育－. 農業施設, 28:203-208
- 4) Logan S. Logendra et al. 2001. Greenhouse tomato limited cluster production systems: crop management practices affect yield. HortScience 36:893-896
- 5) 岡野邦夫. 2001. 省力・軽作業の一段密植連続養液栽培. 農業技術大系野菜編2 トマト. 農山漁村文化協会, p. 基 654 の 12-18
- 6) 曾川政司. 2002. ファーストパワー・養液栽培による一段密植栽培. 農業技術大系野菜編2 トマト. 農山漁村文化協会, p. 宮崎・曾川 1-11
- 7) 新門 剛. だれでも簡単に高糖度トマトの一段栽培. 現代農業. 2005年4月号 :168-173
- 8) 中野明正. 2005. 話題の大規模施設を検証する! 「カンジンファーム」訪問記. 野菜園芸技術, 32(8):6-11
- 9) 渡辺慎一・高市益行・佐藤達雄・曾川政司・新門 剛・中野有加・川嶋浩樹. 2005. トマト一段密植栽培における夏季高温期の塩類ストレス処理下での果実収量, 品質の品種間差. 第68回九州農業研究発表会専門部会発表要旨集, 218
- 10) T. Sato et al. 2004. The effect of high temperature and high salinity stress on summer single-truss tomato cultivation. Acta Horticulturae. 659:685-692
- 11) 渡辺慎一・高市益行・佐藤達雄・曾川政司・新門 剛・中野有加・川嶋浩樹. 2005. 人工光閉鎖型苗生産装置での育苗が夏季の一段密植栽培トマトの生育・収量に及ぼす影響. 農業環境工学関連7学会2005年合同大会講演要旨集, 710
- 12) 佐藤達雄・渡辺慎一・中野有加・川嶋浩樹・高市益行・曾川政司・新門 剛. 2005. トマト一段密植栽培における, 施設密閉による高温処理が生育ならびに害虫抑制に及ぼす影響. 園芸学会雑誌, 74(別1):110
- 13) 東勝千代・森下正彦・矢野貞彦. 1990. 施設栽培ナスにおけるハウスの密閉処理によるミナミキイロアザミウマの防除. 和歌山県農業試験場研究報告, 14:35-44
- 14) 佐藤達雄. 2003. 施設雨よけキュウリの病害虫防除におけるヒートショック処理の利用(1). 農業および園芸, 78:808 - 813
- 15) 大須賀隆司・佐藤展之. 2003. 温室メロン生産用に改良したフェンロー型温室の光・温度環境の特徴. 静岡県農業試験場研究報告, 48:1-12
- 16) 田中和夫・安井秀夫. 1986. 施設内における果菜類の省エネルギー栽培に関する研究 II トマトの生育に及ぼす低温の影響. 野菜試験報告 A, 14:159-168

トマト生産の今後の方向と育種・養液栽培をめぐる諸問題

トマト黄化葉巻病抵抗性育種の現状と問題点

齋 藤 新

独立行政法人 農業・生物系特定産業技術研究機構野菜茶業研究所

The Present Situations and Problems of Tomato Breeding Resistant to Yellow Leaf Curl

Atsushi SAITO

National Agriculture and Bio-oriented Research Organization
National Institute of Vegetable and Tea Science

キーワード：トマト黄化葉巻病，TYLCV，抵抗性，育種，トマト近縁種

1 はじめに

トマト黄化葉巻病は1940年頃にイスラエルにおいて発生が最初に確認され¹⁾、地中海沿岸、オセアニア、アジア、中南米、北米など、世界各地の温暖な地域で発生が確認されている。本病はタバココナジラミ (*Bemisia tabaci*) により伝搬する²⁾。このタバココナジラミの系統 (バイオタイプ B) は後に、別種のシルバーリーフコナジラミ (*B. argentifolii*) として区別されることになった³⁾。病原体はジェミニウイルスの一種である Tomato Yellow Leaf Curl Virus (TYLCV) である⁴⁾。病徴は初期に新葉の葉縁が退緑して黄化し、葉巻状になる (図1)。病徴が進行すると成長点付近の葉が変形して縮葉となり、トマトの成長が著しく抑制されるため、収量が大幅に減少する。日本では1996年に静岡県、愛知県⁵⁾ および長崎県⁶⁾ において本病の発生が確認され、その後関東以西の温暖な地域、特に九州、四国、中国地方において被害が拡大している。

トマト黄化葉巻病による被害を回避するため、耕種的な方法や薬剤の散布を組み合わせた総合防除体系の確立が検討されているが、完全な防除を行うことが難しく、抵抗性品種に対する期待は大きい。そこで、本稿におい

てはトマト黄化葉巻病抵抗性育種の現状と問題点を取りまとめた。なお、病害虫に対する抵抗性の新たな定義が国際種子連盟 (ISF: International Seed Federation) において2004年に採択された (表1)⁷⁾。本稿では、ウイルスに感染するが病徴の発現は抑制されるものを抵抗性、ウイルスの感染または増殖を阻止するものを免疫 (抵抗性) と表記した。

2 接種検定方法について

接種方法として汁液接種法、保毒虫を用いた方法、接ぎ木による方法およびアグロバクテリウムによる方法が検討されている。汁液接種法については特定の条件でトマトへの感染が成立したと報告されているが⁸⁾、一般的



図1 トマト黄化葉巻病の病徴 (初期)

表1 国際種子連盟 (ISF) による抵抗性程度の表記 (2004)

抵抗性程度	定義
Immunity	免疫 (抵抗) 性 病害虫による攻撃や侵入による影響がない。
High/standard resistance (HR)	高度抵抗性 * 病害虫の成長や発達を強く阻止する。病害虫の量により病徴や被害が現れることがある。
Moderate/intermediate resistance (IR)	中度抵抗性 * 病害虫の成長や発達を阻止する。病徴や被害が現れる。
Susceptibility	罹病性 病害虫の成長や発達を阻止できない。

Tolerance は非生物的なストレスに対して使用する。

* 日本語の表記については今後、議論が必要である。

には非常に困難である。保毒虫を用いた方法は、ガラス温室や接種箱のような閉鎖的な空間内においてはすべての個体を感染させることが可能であったが、常発圃場のような開放的な空間においては困難であった⁹⁾。接ぎ木による方法はTYLCVに感染したトマトを台木または穂木に用いて、穂木または台木を確実に感染させることが可能である¹⁰⁾。感染性クローンをアグロバクテリウムにより接種を行う方法も開発されているが¹¹⁾、保毒虫を用いた接種の結果と異なることが指摘されている¹²⁾。抵抗性育種においては選抜を行う過程ですべての個体に接種を行う必要があり、保毒虫を用いた方法と接ぎ木による方法を場面に応じて使い分けしている例が多い。

一般的に抵抗性程度は病徴の観察とウイルスの検出によって評価される。ウイルスの検出方法には抗血清を利用した方法としてDAS-ELISA法、DIBA法およびTPI法などが、DNAの増幅を利用した方法としてLAMP法^{13,14)}およびPCR法¹⁵⁾などがあり、それぞれ利用する場面で使い分けされている。当研究所ではLAMP法およびPCR法を用いて検出を行っている。

3 抵抗性素材について

トマト栽培種 (*Lycopersicon esculentum*) では現在のところ、十分な抵抗性を示す素材はないが¹⁶⁾、トマト近縁種において複数の抵抗性素材が見出されている (表2)。

L. pimpinellifolium である‘LA121’の有する抵抗性は単因子による不完全優性と推定され、それを素材に育成された系統はTYLCV感染時に病徴の発現が軽減するものの、生育の抑制と収量の減少が生じた¹⁷⁾。*L. peruvianum* である‘PI-126935’を用いて育成された‘TY-20’ではTYLCV感染時に病徴の発現が抑制され、ウイルスの蓄積が軽減した²¹⁾。抵抗性は劣性であり、複数の因子によると推定された²²⁾。異なる*L. peruvianum*を用いて育成された‘TY172’は接ぎ木による接種を行っても、病徴の発現が抑制され、収量の減少も少なかった^{23,24)}。*L. chilense* である‘LA1969’では不完全優性の抵抗性遺伝子 *Ty-1* が第6染色体上に存在すると報告されている²⁵⁾。*L. hirsutum* である‘B6013’を用いて‘H24’が育成され、抵抗性遺伝子 *Ty-2* が第11染色体上に存在すると報告されている²⁶⁾。この他に*L. cheesmanii* においても素材が見出されている²⁶⁾。

虫に対する抵抗性としては物理的障壁(毛茸)により、シルバーリーフコナジラミとの接触(吸汁)を阻害し、シルバーリーフコナジラミの増殖を抑制する素材が見出された。*L. peruvianum* および*L. hirsutum* では抑制効果が高かったが、これらと栽培種との交雑後代では抑制効果が低下した²⁹⁾。

このように複数の素材が見出されており、抵抗性遺伝子は複数存在すると考えられる。今後はそれぞれの素材の抵抗性程度を評価するとともに、場合によっては遺伝

表2 トマト黄化葉巻病抵抗性素材および育成品種・系統

系統名もしくは‘育成品種名’ (素材系統名)	特徴	文献 番号
<i>Lycopersicon pimpinellifolium</i>		
LA 121	病徴の発現が軽減されるが、ウイルスの蓄積が確認される。抵抗性は不完全優性の単因子による。	17
Hirsuto-INRA	抵抗性は優性で、単因子 (<i>Ty1c</i>) による。	18
‘Rty Azur’ (Hirsuto-INRA)	RAPD マーカーによる解析では抵抗性遺伝子が第6染色体上に存在するが、 <i>Ty-1</i> とは遺伝子座が異なる。	19
<i>Lycopersicon peruvianum</i>		
LA385	接ぎ木による接種では病徴の発現が抑制される。	20
‘TY20’ (PI-126935)	病徴の発現とウイルスの蓄積が軽減され、収量の減少も軽減される。	21
‘M60’ (PI-126935)	抵抗性は劣性の5つの因子による。	22
‘TY172’ (不明)	接ぎ木および保毒虫による接種では病徴の発現が抑制され、収量の減少は軽減される。 抵抗性は少なくとも3つの主働遺伝子による。	23 24
<i>Lycopersicon chilense</i>		
LA1969	不完全優性の主働遺伝子 <i>Ty-1</i> が第6染色体上に存在し、2つの修飾遺伝子が第3染色体上と第7染色体上に存在する。病徴の発現が抑制され、ウイルスの蓄積が軽減される。	25
<i>Lycopersicon hirsutum</i>		
LA386	抵抗性は優性の1つ以上の遺伝子による。	26
‘902’ (LA386, LA1777)	抵抗性は優性の主働遺伝子と2~3の劣性遺伝子による。	27
‘H24’ (B6013)	抵抗性遺伝子 <i>Ty-2</i> が第11染色体上に存在する。	28
<i>Lycopersicon cheesmanii</i>		
LA1401	抵抗性は劣性である。	29

子の集積を図ることが必要と考えられる。また、より高度の抵抗性を示す素材の検索を引き続き行う必要がある。

4 遺伝子組換え技術等の利用による抵抗性の付与

現在のところ、免疫（抵抗）性を示す素材が見出されていないことから、遺伝子組換え技術を利用した高度抵抗性の素材開発が行われている。TYLCVの外被タンパク質（V1）遺伝子を導入したトマトでは病徴の発現が遅延した³⁰⁾。TYLCVの複製関連タンパク質遺伝子（C4）を導入したトマトでは病徴の発現が見られず、TYLCVが検出されなかった³¹⁾。また、TYLCV複製関連タンパク質遺伝子（C1）のアンチセンスRNAを導入したタバコではTYLCVによる感染が抑制された³²⁾。この他に、RNA干渉（RNAi）の利用がジェミニウイルスに関してキャッサバなどで検討されている³³⁾。

このように、遺伝子組換えによって高度抵抗性の付与を確認できた事例もあるが、日本においては社会的受容性の問題もあることから、品種として利用に至るまでには時間を要すると考えられる。

5 抵抗性品種の利用について

産地においては海外で育成された抵抗性品種の栽培が始まっている。インターネットにおいて検索を行ったところ、表3に示したように、国内外の種苗メーカー4社から計15品種が発売されている。インターネット上に発表していないメーカーもあることから、実際にはさらに多くの品種が発売されていると考えられる。これらの品種については抵抗性（resistance）および耐病性（tolerance）という表記があるが、表1における中程度もしくは高度抵抗性と考えられ、各品種の抵抗性程度を明らかにする必要がある。国内では複数のTYLCV系統が存在すると報告されている^{34,35)}。系統が異なることによって、各品種の抵抗性程度も異なる可能性があり、ウイルスの系統毎に抵抗性程度を評価する必要がある。さらに、現在発表されている抵抗性品種では病徴の発現がほとんど見られなくても、植物体内でTYLCVが増殖し、

病原となりうる点に注意が必要である。なお、これらの品種はすべて完熟果色が赤色の品種であることから、桃色である品種の育成が急がれている。

6 抵抗性育種の今後について

抵抗性育種は世界各地で精力的に行われ、素材の検索も行われているが、現在のところ、免疫（抵抗）性を示す素材は見つかっていない。当研究所も愛知県農業総合試験場との先端技術を活用した農林水産研究高度化事業「LAMP法と黄化葉巻病常発地を活用した抵抗性トマト選抜法」において素材の検索を行っているが、免疫（抵抗）性を示す素材の発見には至っていない。今後も継続するとともに、既存の抵抗性品種・系統の抵抗性程度を評価し、抵抗性遺伝子の集積による、より高度抵抗性の育種素材開発に取り組む予定である。また、遺伝子組換え技術を利用した抵抗性の付与も検討していく予定である。

摘要

トマト黄化葉巻病抵抗性育種の現状と問題点について取りまとめた。いくつかの接種方法が開発されているが、抵抗性育種においては保毒虫を用いた方法および接ぎ木による方法が利用されている。*L. pimpinellifolium* や *L. peruvianum* などのトマト近縁種から様々な抵抗性素材が見出されて品種が育成されているが、いずれも中程度もしくは高度抵抗性と考えられ、各品種の抵抗性程度を評価する必要がある。また、これらの品種は免疫（抵抗）性ではないため、植物体内でTYLCVが増殖し、病原となりうる点に注意が必要である。今後も免疫（抵抗）性を示す素材の検索を継続するとともに、抵抗性遺伝子の集積や遺伝子組換え技術の利用による、より高度抵抗性の素材開発が必要である。

引用文献

- 1) Pico, B., Diez, M. J. and Nuez, F. 1996. Viral diseases causing the greatest economic losses to the tomato crop. II. The tomato yellow leaf curl virus - a review. *Scientia Horticulturae*. 67 (3-4) :151-196
- 2) Cohen, S. and Harpaz, I. 1964. Periodic, rather than continual acquisition of new tomato virus by its vector, the tobacco whitefly

表3 国内で販売されているトマト黄化葉巻病抵抗性品種

	果実タイプによる品種分類					品種数	抵抗性の表記
	大玉	中玉	プラム	小玉	ミニ		
A社	1	1			1	3	抵抗性
B社	2	1	1	2		6	耐病性
C社	1					1	耐病性
D社	2	3				5	抵抗性・耐病性
合計	6	5	1	2	1	15	

調査方法

Yahoo! JAPAN (<http://www.yahoo.co.jp/>) において2005年10月9日にキーワードを「トマト黄化葉巻病抵抗性品種」および「トマト黄化葉巻病耐病性品種」として検索を行った。

- (*Bemisia tabaci* Gennadius). Ent. Exp. & appl. 7:155-166
- 3) Bellows, JR. T. S., Perring, T. M., Gill, R. J. and Headrick, D. H. 1994. Description of a species of *Bemisia* (Homoptera: Aleyrodidae). Ann. Entomol. Soc. Am. 87(2):195-206
 - 4) Czosnek, H., Ber, R., Antignus, Y., Cohen, S., Navot, N. and Zamir, D. 1998. Isolation of tomato yellow leaf curl virus, a geminivirus. Phytopathology. 78(5):508-511
 - 5) Kato, K., Onuki, M., Fuji, S. and Hanada, K. 1998. The first occurrence of tomato yellow leaf curl virus in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) in Japan. Ann. Phytopathol. Soc. Jpn. 64(6):552-559
 - 6) 大貫正俊・小川哲治・加藤公彦・花田 薫. 1997. 長崎県のトマトに発生したジェミニウイルスの塩基配列. 日植病報. 63(6):482
 - 7) 塩見 寛・五十嵐充・村尾和則. 2005. ISFにおける病害虫コードと抵抗性に関する言葉の統一について. 種苗界. 58(7):10-12
 - 8) Makkouk, K. M., Shehab, S. and Majdakani, S. E. 1979. Tomato yellow leaf curl: incidence, yield losses and transmission in Lebanon. Phytopath. Z. 96(3):263-267
 - 9) Pico, B., Diez, M. J. and Nuez, F. 1998. Evaluation of whitefly-mediated inoculation techniques to screen *Lycopersicon esculentum* and wild relatives for resistance to tomato yellow leaf curl virus. Euphytica. 101(3):259-271
 - 10) Ioannou, N. 1985. Yellow leaf curl and other virus diseases of tomato in Cyprus. Plant Pathology. 34(3):428-434.
 - 11) Zeidan, M. and Czosnek, H. 1994. Acquisition and transmission of agrobacterium by the whitefly *Bemisia tabaci*. Mol. Plant-Microbe Interact. 7(6):792-798
 - 12) Kheyr-Pour, A., Gronenborn, B. and Czosnek, H. 1994. Agroinoculation of tomato yellow leaf curl virus (TYLCV) overcomes the virus resistance of wild *Lycopersicon* species. Plant Breeding. 112(3):228-233
 - 13) Fukuta, S., Kato, S., Yoshida, K., Mizukami, Y., Ishida, A., Ueda, J., Kanbe, M. and Ishimoto, Y. 2003. Detection of tomato yellow leaf curl virus by loop-mediated isothermal amplification reaction. J. Virol. Methods. 112(1-2):35-40
 - 14) 福田至朗・穴井尚子・加藤政司・吉村幸江・深谷雅博・矢部和則・大矢俊夫・神戸三智雄. 2005. 簡易な鋳型調製による loop-mediated isothermal amplification (LAMP) 法を用いたトマト黄化葉巻ウイルスの検出. 関西病虫研報. 47:37-41
 - 15) Navot, N., Zeidan, M., Pichersky, E., Zamir, D. and Czosnek, H. 1992. Use of the polymerase chain reaction to amplify tomato yellow leaf curl virus DNA from infected plants and viruliferous whiteflies. Phytopathology. 82(10):1199-1202
 - 16) Nitzany, F. E. 1975. Tomato yellow leaf curl virus. Phytopath. medit. 14(2-3):127-129
 - 17) Pilowsky, M. and Cohen, S. 1974. Inheritance of resistance to tomato yellow leaf curl virus in tomatoes. Phytopathology. 64(5):632-635
 - 18) Kasrawi, M. A. 1989. Inheritance of resistance to tomato yellow leaf curl virus (TYLCV) in *Lycopersicon pimpinellifolium*. Plant Dis. 73(5):435-437
 - 19) Kasrawi, M. A., Suwwan, M. A. and Mansour, A. 1998. Sources of resistance to tomato-yellow-leaf-curl-virus (TYLCV) in *Lycopersicon* species. Euphytica. 37(1):61-64
 - 20) Chague, V., Mercier, J. C., Guenard, M., de Courcel, A. and Vedel, F. 1997. Identification of RAPD markers linked to a locus involved in quantitative resistance to TYLCV in tomato by bulked segregant analysis. Theor. Appl. Genet. 95(4):671-677
 - 21) Rom, M., Antignus, Y., Gidoni, D., Pilowsky, M. and Cohen, S. 1993. Accumulation of tomato yellow leaf curl virus DNA in tolerant and susceptible tomato lines. Plant Dis. 77(3):253-257
 - 22) Pilowsky, M. and Cohen, S. 1990. Tolerance to tomato yellow leaf curl virus derived from *Lycopersicon peruvianum*. Plant Dis. 74(3):248-250
 - 23) Friedmann, M., Lapidot, M., Cohen, S. and Pilowsky, M. 1998. A novel source of resistance to tomato yellow leaf curl virus exhibiting a symptomless reaction to viral infection. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 123(6):1004-1007
 - 24) Lapidot, M., Friedmann, M., Lachman, O., Yehezkel, A., Nahon, S., Cohen, S. and Pilowsky, M. 1997. Comparison of resistance level to tomato yellow leaf curl virus among commercial cultivars and breeding lines. Plant Dis. 81(12):1425-1428
 - 25) Zamir, D., Ekstein-Michelson, I., Zakay, Y., Navot, N., Zeidan., Sarfatti, M., Eshed, Y., Harel, E., Pleban, T., van-Oss, H., Kedar, N., Rabinowitch, H. D. and Czosnek, H. 1994. Mapping and introgression of a tomato yellow leaf curl virus tolerance gene, *Ty-1*. Theor. Appl. Genet. 88(2):141-146
 - 26) Hassan, A. A., Mazayd, H. M., Moustafa, S. E., Nassar, S. H., Nakhla, M. K. and Sims, W. L. 1984. Inheritance of resistance to tomato yellow leaf curl virus derived from *Lycopersicon cheesmanii* and *Lycopersicon hirsutum*. Hortscience. 19(4):574-575
 - 27) Vidavsky, F. and Czosnek, H. 1998. Tomato breeding lines resistant and tolerant to tomato yellow leaf curl virus issued from *Lycopersicon hirsutum*. Phytopathology. 88(9):910-914
 - 28) Hanson, P. M., Bernacchi, D., Green, S., Tanksley, S. D., Muniyappa, V., Padmaja, A. S., Chen, H., Kuo, G., Fang, D. and Chen, J. 2000. Mapping a wild tomato introgression associated with tomato yellow leaf curl virus resistance in a cultivated tomato line. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 125(1):15-20
 - 29) Channarayappa, Shivashankar, G., Muniyappa, V. and Frist., R. H. 1992. Resistance of *Lycopersicon* species to *Bemisia tabaci*, a tomato leaf curl virus vector. Can. J. Bot. 70(11):2184-2192
 - 30) Kunik, T., Salomon, R., Zamir, D., Navot, N., Zeidan, M., Michelson, I., Gafni, Y. and Czosnek, H. 1994. Transgenic tomato plants expressing the tomato yellow leaf curl virus capsid protein are resistant to the virus. Bio/Technology. 12(5):500-504
 - 31) Yang, Y., Sherwood, T. A., Patte, C. P., Hiebert, E. and Polston, J. E. 2004. Use of *Tomato yellow leaf curl virus* (TYLCV) Rep gene sequences to engineer TYLCV resistance in tomato. Phytopathology. 94(5):490-496
 - 32) Bendahmane, M. and Gronenborn, B. 1997. Engineering resistance against tomato yellow leaf curl virus (TYLCV) using antisense RNA. Plant Mol. Biol. 33(2):351-357
 - 33) Vanitharani, R., Chellappan, P. and Fauquet, C. M. 2005. Geminiviruses and RNA silencing. TRENDS Plant Sci. 10(3):144-151
 - 34) Ueda, S., Kimura, T., Onuki, M., Hnanada, K. and Iwanami, T. 2004. Three distinct groups of isolates of *Tomato yellow leaf curl virus* in Japan and construction of infectious clone. J. Gen. Plant Pathol. 70(4):232-238
 - 35) 上田重文. 2005. トマト黄化葉巻ウイルスと2004年の発生事例から見たトマト黄化葉巻病. 今月の農業. 49(2):20-23

高軒高ハウスの立体空間を利用したトマトの高生産システム

新堀 健二
有限会社カンジンファーム

The Tomato Mass Production by Two Storied Solid Culture Method in High Side Wall Structure of Greenhouse

Kenji NIIBORI
Kanjinfarm co.

キーワード：養液栽培，トマト，高軒高ハウス，立体栽培，周年栽培，低段栽培，排液利用

1 はじめに

近年トマト生産において、従来型の小型ハウスでの年2作型に加え、オランダの方式にならった高軒高ハウスを使った大面積での年1作型が出現してきている。年2作型では定植から約3ヵ月後の収穫開始までの期間2回の計6ヵ月間が未収入期間となってしまうが、年1作型はそれが1回で済み、従来型より高生産性となっている。

しかし、日本のように四季の変化の大きな地域では、従来、促成型と夏秋型とで管理や品種を変え対応してきたが、年1作型では管理が非常に難しく、篤農家のように熟練生産者をもってしても30 t/10aを超え40 tに近づけるには並大抵のことではない。

一方農業全体の構造は、担い手の高齢化、後継者不足が年々進行すると共に、輸入に対抗するために国際競争力をつけ、食糧自給率アップさせる新たな施策も急務となっており、規模拡大、高収量、周年安定、環境対応、

作業性アップ、新規就農者でも運営しやすいような管理方法など一般産業に近づける要素が重要になってきている。

そこで今回、その答えの一つとして、私どもが試みているトマトの高軒高ハウスでの上下立体時間差連続栽培方式「鮮力農場」という世界ではじめての生産方式を紹介する。

2 開発経緯と開発目標コンセプト

2.1 開発経緯

1989年：親会社である㈱誠和内で、将来に向けた検討プロジェクトスタート。農業高齢化・後継者不足の動きや人口増に対する需要供給に対応するための大規模化の方向に進む動きに対し、対応する先行技術開発の必要性を痛感。

作物マーケット調査し、需要側の人気と世界で通用する商品として、「トマト」を選定。日本で年間約70万ト



図1 世界特許「トマトの上下立体時間差連続栽培方式」を背景に当社従業員一同



図2 (有)カンジンファーム全景中央

ン生産されるが、世界中では日本の100倍生産されていることも再認識。世界を見つめると、オランダを超える技術を持たないと世界で勝てない。必然的に収量目標は当時収量最高水準のトマトで50t/10aと設定。さらに、高度栽培技術が必要な長段栽培ではなく、栽培技術の弱い国でも普及しやすい低段栽培を選定する。

国内生鮮トマト市場の中では、スーパー・八百屋等を通じた一般消費市場と外食業務用市場に大別できるが、品質仕様が絞り込みやすい外食業務用市場に注目。外食業務用市場では原価計算ができる仕組みが希望・・・定時定量一定価格の希望強い。さらに、その他一流外食専門家からいろいろな意見・要望が提出された。それを参考に構想に入った。

- 1990年～：具体的事業構想開始
- 1992年：本格的技術開発プロジェクトスタート
- 1993年：200坪周年栽培実験開始
現栽培方式考案
- 1996年：200坪での第2回周年栽培実験にて総収量で52t/10a達成
周辺技術開発
- 1999年：小面積育苗法基本技術確立
3000坪実証農場計画開始
- 2001年：現カンジンファーム用地取得
3月造成開始
8月建設開始
10月（有）カンジンファーム設立
- 2002年：2月25日農場竣工
4月末～収穫開始
現在に至る

2.2 開発目標コンセプト

コンセプトを整理すると以下のようなものとなる。(図3)

- ・作物：トマト
- ・大規模：3,000坪以上
- ・高収量：50t/10a
- ・周年安定：切れ目無い出荷、計画生産
- ・簡易性：低段、管理の自動化
- ・環境対応：リサイクル、省資源化
- ・作業性：3Kの排除、周年雇用
- ・安全性：省農薬、履歴の記録
- ・市場：外食業務用トマト市場

2.3 最終決定した栽培方式

外食業務用に強い要望のある定時定量を実現できるシステムを検討。多数の構想・試作・メカニック実験・栽培実験を繰り返し、行き着いた方式が、「上下立体時間差連続栽培方式」で、4段階摘心のトマトを生育ステージの時間差をつけて上下2段で連続栽培する方式であった。

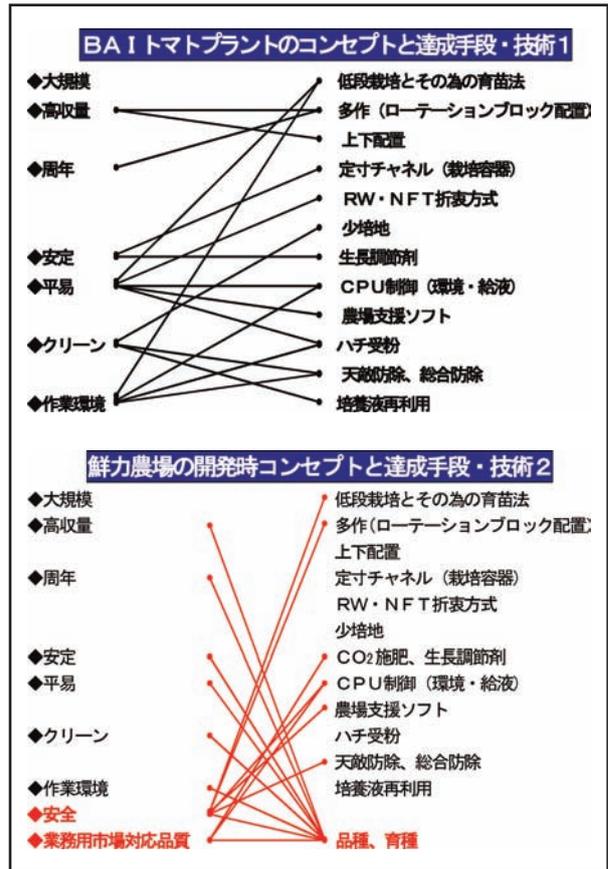


図3 鮮力農場の開発時コンセプトと達成手段

3 トマトの上下立体時間差連続栽培方式「鮮力農場」とは

本栽培方式は上下2段で栽培され、下段には収穫株が、上段には次の若い株が栽培される。4段階摘心のトマトが下段で収穫し終わると、上段で育った収穫直前のトマトが下段に降り、収穫開始となる。上段にまた別の場所で育成させた苗を定植し、これを繰り返すことにより文字通り周年栽培が可能になっている(図4, 図5)。高生産



図4 上段から収穫株を下段に移動

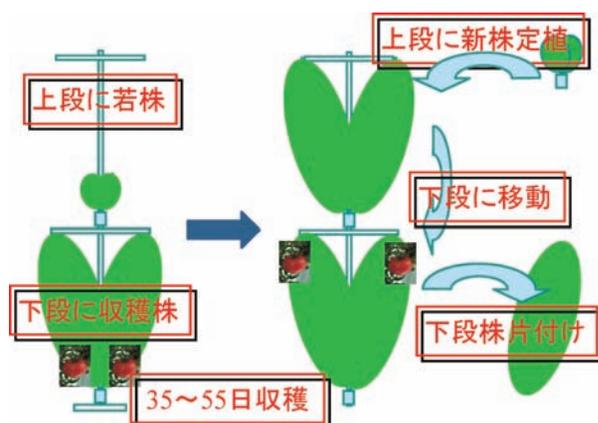


図5 株配置～移動の模式図

性と品質安定を追及でき、しかも年間切れ目なく収穫・出荷が可能な方式である。なお本栽培方式は、(株)誠和において国内はもとより海外20カ国で基本特許を既に取得済のものである。

4 カンジンファーム耕種概要

- ・敷地：18,115 m²
- ・温室：12,080 m²
- ・本圃面積：9,240 m²
その他：育苗・選果出荷・洗浄
- ・栽培区画：3区画
- ・培地：7.5cm キューブ・ロックウールポット
+ 2m 毎の栽培容器
- ・栽培方式：4段摘心密植栽培の上下2段の養液栽培（上段若株，下段収穫株）
- ・品種：麗容・麗夏（(株)サカタのタネ）
- ・作型：株連続切り替えによる周年栽培，区画毎に定植日をずらしてある。
(同一区画で年8回定植)

5 運営の状況（現在までの主な成果）

5.1 収穫量

収穫量は2004年度が40.2t/10a、2005年度実績は丸7カ月で30t/10aを超え、12カ月では47～48t/10aの予想。運営開始4年目でようやく50t/10aが身近になった。単位面積当たりの日本一の生産性は達成できたと思われる（図6）。

5.2 計画性（栽培スケジュール）

(株)誠和での実験から栽培期間のデータも取り続けていたため、スケジュールは季節や天候の変動に対しても長年の実験により7日以内の誤差で管理が出来る。

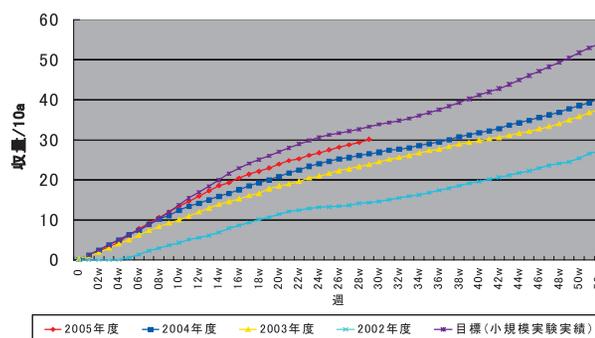


図6 週別収量実績推移

5.3 簡易性

低段栽培ではより専門的な管理が不要となり、作業も細分化しやすく且つ上下で生育ステージが区分されるため、作業の標準化・単純化が図りやすい。栽培の基本的環境管理では最新設備や技術も採用しており、自動化や省力化ができています。

5.4 環境対応

カンジンファームのカンジンは人間の血液浄化機能のある肝臓・腎臓のカン（肝）とジン（腎）より命名し、各種環境にも配慮した生産を行っている。

①立体栽培の上段若株の排水を下段収穫株で再利用。特別な処理設備なしでリサイクル化している。ただし、残念ながら年間10%程度は調整のための排出が必要となっているので、これを0にすることが次の目標となっている（図7）。

②リサイクル可能なロックウール培地を使用している。また7.5cm立方のポットのみで栽培しており、省資源となっている。

③暖房のLPガス燃焼排ガスの一部をCO₂施肥に活用する等を行っている。

栽培終了時の残渣についてはまだその有効利用方法が見つからず、現在は産廃処理となっている。近年技術開発が進んできている分野のため再調査中である。

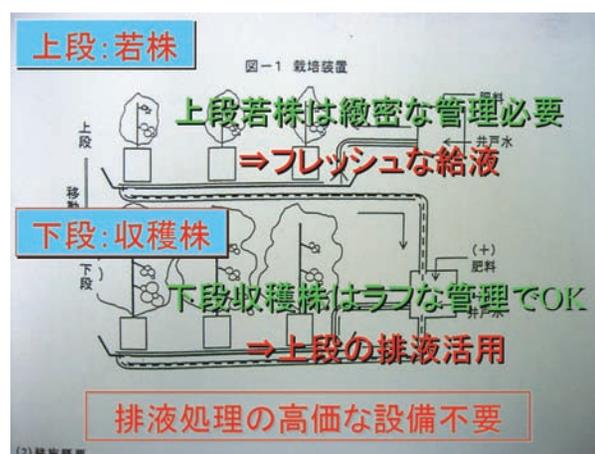


図7 給液の排水利用システム模式図

5.5 作業性

従来の農業と違って土を使わず、作業者にとっても清潔で、作業しやすい環境になっている。周年業務が途切れずバランスよく作業が入るため、従業員の周年雇用がしやすく、従業員も安心して勤務できている。また作付けが1区画当たり年間8作繰り返されるため、通常では年1回しか体験できない作業も8回行われ、しかも低段栽培で作業の単純化が図りやすく、学習効果がすぐに得られ、作業の上達が早いと思われる。その他、暖房の配管を利用してレールが敷設され各種作業車が走るようになっていたり、多数省力化設備を導入し、作業性改善が図れている(図8)。

5.6 安全性

安全性については極力農薬を控える管理をしており、無菌培地、天敵防除、環境制御にて、省農薬栽培を行っている。しかし、本栽培方式は圃場に休みがないため、害虫と天敵のバランスが崩れやすい時期や病気が発生しやすい時期には、天敵に影響の少ない薬剤を使用して、定期的に薬散を行わなくてはならない。この点が今後解決すべき課題である。

もう一つの安全の意味である経営リスクについても分散しやすくなっている。そもそも低段栽培は、植物の栄養成長と生殖成長を分離した管理ができることで、長段栽培より管理技術は簡単と思われる。さらに連続で作付けすることで、万が一何らかの生育不良の株が発生しても、本方式は年間の1/8の不作ということで、損失を最少限で食い止めることが出来る。

5.7 トマト販売先評価

現在生産しているトマトは国内品種の‘麗容’・‘麗夏’で、その生産量の95%が外食業務用に販売している。完熟しても実が硬く、調理しやすく、品質も安定した安全で安心できるトマトと、高い評価(図9)をいただいている。

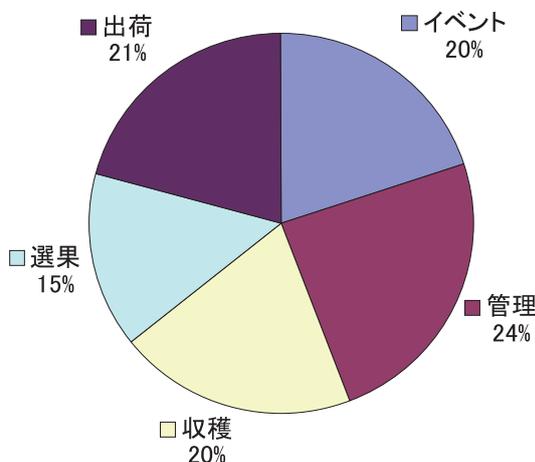


図8 作業工数割合(2004年度)

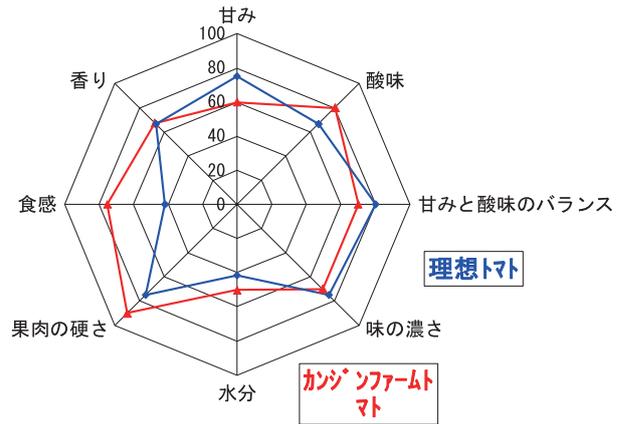


図9 品質の現状評価
業務用トマトの理想品質とカンジンファームトマト
品質の現状評価(内容品質仕様)

5.8 周年小面積育苗

本栽培方式を年間運営するためには、周年安定育苗技術が必要になる。当社では(株)誠和時代から10年以上育苗管理技術を積み上げてきた。従来本圃面積の1/3~1/5必要とされた育苗面積を、同1/25以下で、しかもほぼ計画通り管理することが可能などまでできている。

6 今後の課題~更なる増収と安定性のために

現状の栽培管理では、まだ一般生産者と比較すると不備な点が多々あり、そこを改善して行く必要があるが、目標の50t/10aは間違いなくクリア出来るレベルには達している。更なる増収や運営の安定化のためにも、改善の可能性がまだ多々あると考えられる。

6.1 夏季高温環境改善

年間収量は高レベルとなったが、春季の最多収穫期と秋季の最少収穫期ではまだ3倍近い差がある。特に、夏季高温の影響による秋季の収量落ち込みが極端に大きい。夏季管理環境が少しでも改善できれば、5t/10a以上の増収が図れると共に、外食業務用市場で要望される周年定時定量出荷への対応の幅がより広がることになる。

6.2 周年育苗技術のレベルアップ

低段栽培の場合、育苗管理の影響が直接年間収量に大きく影響を及ぼしてくる。そのために、育苗管理には力を入れてきており、現状では着果節位の安定化はコントロール可能な範囲になってきている。しかし、花数まではコントロールできていない。いつでも1花房当たり5花以上の花を分化させる技術が確立できれば、ここでも5t/10a以上の増収が図れるものと思われる。

6.3 病害虫管理

全ての生産者が農薬は使用したくないと考えているが、圃場を休まない期間が長くなればなるほど、病害虫管理は難しくなる。特に本方式のように休みなく365日連続栽培していく場合、いかに病害虫の進入を最小限にするか、いかに被害の早期発見をし、初期防除を徹底できるかがかぎとなる。願わくは、病気に強い育て方、病気に強い品種の開発が理想あり、これらが開発されるとさらに数t/10a以上の増収および葉散の経費・工数の削減が期待できる。

6.4 作業性向上

大規模での企業的経営を行い、省力化を図ったつもりでも、経費における人件費の割合は大きなウェートを占めている。その中で特に現在一番の課題は、①作物同様夏季の作業環境の改善と②出荷部門の工数削減にある。

①高軒高ハウスの特徴は室内の熱が煙突効果で天井部分に集まり、下部は高温を抑制できることにあるが、それでも外気温プラス1~2度あり、作物には日射が必要であるので遮光にも限度がある。高温期は生育スピードが一番速い時期であり、効率を求めたいが、作業者が少しでも快適さを感じながら作業に当れるようにしないと、作業軽減は現状では非常に難しい。

②一方外食業務用に出荷する場合、クレームを出さない、1個でも品質基準から外れたものは出荷しないという気構えでないと信用は得られないと考え、当社では「出荷」の部分に20%前後の工数をかけている。どんな製品を出荷する場合でも1個たりともクレームを出さない姿勢が本来の姿と思われるが、農業では自然の産物であるがゆえに、品質基準外のものも生産されやすく、一箱に1~2個基準外のもが含まれる場合も多い。当社ではそこを徹底するために出荷品質管理のチェックを重視し、その結果必要以上の工数がかかっている。従って大規模選果場と違い、一農場単位では選果から出荷までの品質管理と作業効率化がまだ画一化できてなく、当社での一番の作業改善テーマとなっている。

その他、小さな道具類や細かい作業まで含めると、農場内での作業性改善テーマはまだ多数残されている。

6.5 環境対応性

地球環境を大切にしていくことは、農業界においても重要なことである。当社でもいくつか取り組みつつあるが、まだまだ課題も多い。

本栽培方式では、日常管理上のわき芽や、栽培終了時の残渣株が定期的に発生してくる。現在は費用対効果の点で残念ながら産廃処理となっているが、安価で資源に有効活用可能な方法を模索中である。

下段でリサイクル利用している給液排水も年間10%程度はまだ排出しているため、排水ゼロでも管理が可能な方法の計画を詰めているところである。

その他、屋根に降った雨水の活用など利用できることはすべて利用していき、最終的にはゼロエミッション化が図れることを目標としている。

6.6 設備コスト

当社の設備は上下立体栽培の先行事例的なこともあり、特別仕様のもの、試作的なものが多々ある。その為まだ高額設備となっており、償却費負担が人件費の次に大きな費用ウェートを占めている。今後、上記の作業性の更なる改善のための省力設備開発のみならず、低コスト化の設備が必要である。農業は一般産業界のように高付加が得られる商品は少ないので、生産設備に高額なものを使用できないし、かといって大量生産設備でもなく、それだけではコストが抑えにくい。しかし、今世界中にはあらゆる設備・部品などが氾濫している時代であるので、他産業界で汎用していて流用できるようなものがあれば、さらなる低コスト化が図れるものと思いを期待している。

6.7 品種改良のお願い（低段栽培・養液栽培に適した品種）

最後に、一番の大きな課題は品種である。現在の品種は土耕栽培で中段や長段の栽培に向く品種である。しかし、本方式の低段栽培では4段までで100%のエネルギーを果実に移行できる品種があれば飛躍的な増収が可能である。品種改良でおそらく10t/10a以上の増収は可能と思われる。

例えば、果房段数の間の葉が3枚でなく2枚で花が咲く品種や生育スピードの早い品種、短節間で空間の有効利用の図りやすい品種があれば期待は大きい。

また、養液栽培に向く品種、養液栽培での生育環境を生かしやすい品種が望まれる。根圏や地上部の病気に抵抗性のある品種ができれば、接ぎ木の必要もなく、管理の簡素化や、何より無農薬栽培にかなり近づきやすくなると考えられる。オランダを中心にヨーロッパでは養液栽培が普及し、現在トマトの収量のトップレベルは70t/10a付近まできており、しかも無農薬栽培に近い管理が出来ていると言われているが、養液栽培に向き、根腐れ病抵抗品種をいち早く改良してきたことも収量増に大きく起因しているとのことである。

その他、摘芯作業の不要な芯止まり品種やホルモン処理やマルハナバチが不要となる単為結果性品種、外食業務用の多様化した用途に合う品種も魅力的であるし、今後輸出まで考えると、日本の栽培技術で外国の消費者ニーズに合う品種も面白いのではないかと考えている。

7 まとめ

当社は約3年半以上、この「鮮力農場」という上下立体栽培方式でトマトの生産を行ってきたが、この短い期

間でも日本一の生産性を自負できるところまでにすることができた。まだまだ栽培管理上荒削りなことから、不備な点も多々ある中、向上改善点を多数残していることを考えると、本方式は大きな可能性のある方式ではないかといっても過言ではない。

今後、上記の課題をクリアしていくことは、当社や親会社である㈱誠和だけでは困難で、各研究機関や企業の方々との連携をとりながら解決していくことが必要と判断している。本栽培方式がやがてオランダを超える生産技術の一つに育ち、日本の生産技術でトマトの輸出や海外での技術普及に発展できることも遠い夢ではないであろう。

摘要

トマト生産の高収量と一般産業並みの合理化を目指す

事例として、高軒高ハウスを利用した上下立体時間差連続栽培方式の「鮮力農場」という、世界で初めての生産方式を開発し、栃木県で大規模生産を開始した。4段摘心のトマトを、生育ステージの時間差をつけて上下2段で連続栽培する方式で、空間で上下2段の栽培槽を配置し、下段には収穫株が、次の若い株をその上段で栽培する。4段摘心のトマトが下段で収穫し終わると、上段で育った収穫直前のトマトを栽培槽ごと下段に下ろし収穫が始まる。上段にまた次の株を定植し、これを繰り返すことによって周年栽培を可能とする。新しい栽培体系で、まだまだ荒削りなどところがある状態の中、50t/10aという周年高収量の目標が見えてきた。本方式は大きな可能性を秘めた栽培方法と思われる。

トマト穂木品種の育種について

畠 中 誠

タキイ種苗株式会社

Developing New Varieties of Tomato Plants

Makoto HATANAKA

Takii & Company, Limited

キーワード：トマト, 育種, 店持性, 耐病性, 葉カビ病, TYLCV (トマト黄化葉巻病)

1 はじめに

タキイのトマト品種の歴史は、1948年世界初のF₁品種‘福寿1号’‘福寿2号’から始まる。その後、‘強力米寿’‘サターン’‘ときめき’等の品種が育成されたが、大きな転換点となったのが、20年前の1985年に発表された夏秋栽培用‘桃太郎’である。

それまでの品種に比べて、硬玉でしかも甘くて美味しい果実が消費者の指示を受けて、トマトの販売単価が2割程度高くなったために、トマト生産農家がこぞって桃太郎トマトを生産するようになった。それから4年後、冬春栽培用‘ハウス桃太郎’が育成され、桃太郎系トマトが全国に普及した。その後、‘桃太郎8’‘桃太郎ヨーク’‘桃太郎ファイト’等が作出され、本年新発表された‘桃太郎はるか’で桃太郎兄弟10品種目となっている。

元祖‘桃太郎’は、食味は良いがチッソ肥料に敏感で栽培が難しい品種であった。その後の品種改良の中で、耐病性を付与し栽培性の向上を図り、各作型により適した品種に改良されてきている。

2 各作型に適した桃太郎トマトの開発

海に囲まれた島国日本においては、生鮮野菜を安定して海外から供給することは難しい。タマネギやカボチャとは異なり、店持性の劣るトマトは輸入が困難な野菜である。一部韓国から生食用のトマトが輸入されているが、大部分は国内で生産されている。

日本国内でトマトを周年供給するために、各地で様々なトマトの栽培形態が発達し作型が分化している。それに伴い、品種に対する要望も分化しており、桃太郎トマトが普及するに連れて、それぞれの作型にあった品種の育成が必要となってきた。夏秋用の‘桃太郎’‘桃太郎8’、冬春用の‘ハウス桃太郎’の他に、抑制栽培用として‘桃

太郎ヨーク’や半促成栽培用として‘桃太郎ファイト’が育成された。

3 耐病性品種の育成

トマトは園芸品目の中で最も耐病性育種の進んでいる品目であり、生産者の要望も高い。

‘桃太郎’は萎ちょう病レース1 (F₁)、半身萎ちょう病 (V)、ネコブセンチュウ (N) の耐病性しか付与されていなかった。‘ハウス桃太郎’はそれにトマトモザイクウイルス (T o MV; 当時のタバコモザイクウイルス) が付与され、更に‘桃太郎8’では夏秋産地で問題になっていた萎ちょう病レース2の耐病性が付き、青枯病に対しても中程度の強さを持たせた。冬春栽培で多く発生する根腐萎ちょう病 (J₃) の耐病性は‘桃太郎J’に付与されている。‘桃太郎ヨーク’‘桃太郎ファイト’はこれらの土壤病害耐病性に地上部病害の葉カビ病耐病性 (Cf4) を、‘桃太郎コルト’は更に強い Cf9 の葉カビ病耐病性因子を持たせた。

昨今、幼苗接ぎ木が普及し、接ぎ木苗の購入が一般的になるに従い、土壤病害耐病性は台木に、穂木の品種には地上部の耐病性を付与する、言わば分業化が進んでいる。

穂木の耐病性で現在焦点になっている耐病性は葉カビ病で、タキイの最新品種 (T201・T193等) には全て Cf9 が付与されてきている。また、トマト黄化葉巻病 (TYLCV) の発生地域ではこの病気の耐病性品種が待望されている。

しかし、この TYLCV も日本で最も問題になる土壤病害の青枯病も耐病性因子がポリジーンであるために、なかなか育種が進まないのが現状である。このような育成に時間とコストの掛かる課題に関して、欧米の様な産官学の共同研究が進むことを期待している。

4 店持性の向上

1990年代、海外の有支柱型トマトはイスラエルのハゼラ社が販売する‘ダニエラ’が世界中に普及した。最大の要因は店持性であった。‘ダニエラ’の果実は完熟収穫後常温で2~3週間もの長期間店持ちする。輸送距離が長くしかもインフラが十分に整備されていない国においては非常に重要な形質である。F₁の母親に着色しないrin因子を用いてその店持性を実現している。ただ、この‘ダニエラ’には食味が悪いという大きな欠点がある。食味に対して繊細な日本の消費者には到底受け入れられない味と食感である。

しかし、店持性は日本においても必要な形質で、収穫後2週間以上も店持する必要はないが、1週間程度の店持性は必要であり、特に、大型量販店からの要望は高い。そのニーズに応えるべく、タキイが現在取り組んでいる育種の課題は、「食味と店持性の融合」である。

図1は‘ダニエラ’と‘桃太郎8’の果実硬度を比較したデータである。通常の着色基準で収穫した果実を25℃の室温下で保存し、フランスのCOPA-TECHNOLOGIE社製の硬度計で調査した。目安として、硬度50は消費者が店頭でトマトを購入する限界の柔らかさである。‘桃太郎8’は1週間程で硬度50になってしまうが、‘ダニエラ’は2週間たっても硬度60を維持して販売可能な硬さを保っている。

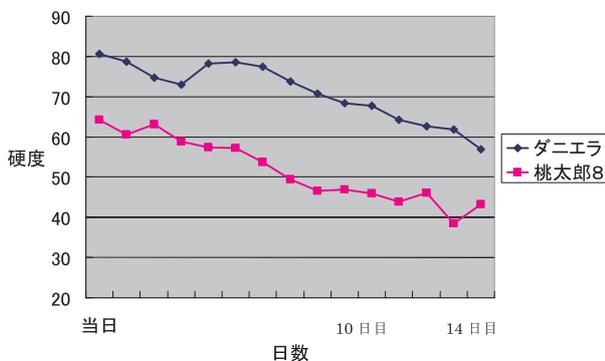


図1 ‘ダニエラ’と‘桃太郎8’の果実硬度比較

これに対して、図2は‘ダニエラ’と‘桃太郎8’の味を比較したものである。これを見ると明らかなように食味の違いは歴然としている。生食中心の日本の消費者からは‘桃太郎8’の味が求められる。また、味以上にダニエラの食感はゴリゴリしており、生食用としては問題である。

「食味を落とさずに店持性を向上させる」ことをコンセプトに開発されたのが‘T201’である。‘T201’は10日前後硬度50を維持し、‘桃太郎8’よりも2~3日程店持性が向上しているのが分かる(図3)。

また、食味も若干酸味が強いものの、十分に消費者に納得していただけるレベルであると考えている(図4)。今後は、更に両形質を高い次元で融合させた品種を育成

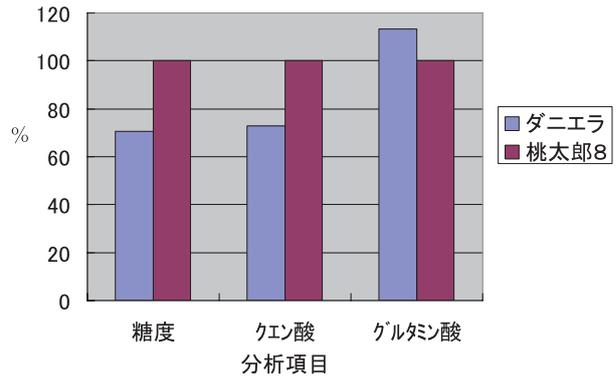


図2 ‘ダニエラ’と‘桃太郎8’の成分比較 (桃太郎8を100とした比)

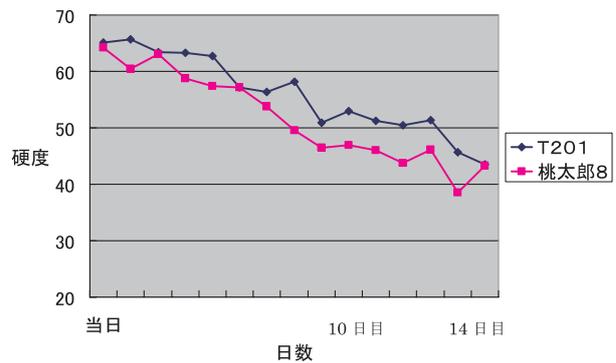


図3 ‘T201’と‘桃太郎8’の果実硬度比較

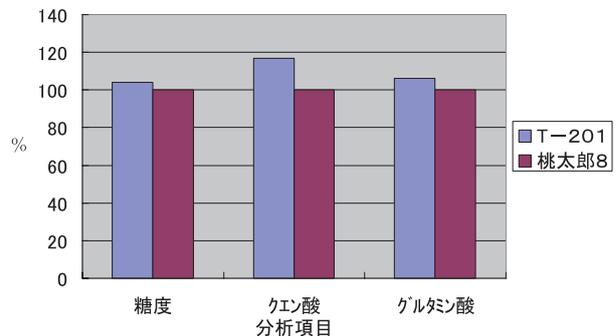


図4 ‘T201’と‘桃太郎8’の成分比較 (桃太郎8を100とした比)

していきたいと考えている。

摘要

タキイのトマト品種の歴史において、夏秋栽培用トマト‘桃太郎’ (1985年発表) が大きな転換期となった。それ以前の品種に比べ、硬玉で甘くて美味しくなった。以後、各作型にあった品種や耐病性品種の育成が必要となり、現在までに「桃太郎シリーズ」は10品種に及ぶ。また、市場のニーズとして1週間程度の店持性が求められており、これまで「食味と店持性の融合」という育種課題に取り組んできた。今回、「食味を落とさずに店持性を向上させる」ことをコンセプトに開発されたのが‘T201’である。今後は更に、両形質を高い次元で融合させた品種を育成していきたいと考えている。

生鮮トマト事業の展開と商品開発

細井 克敏

カゴメ株式会社総合研究所

Development of Fresh Tomato New Products and Business Deployment

Katsutoshi HOSOI

Kagome Co., Ltd. Research Institute

キーワード：トマト，マーケティング，商品開発，施設園芸，野菜消費量

1 はじめに

カゴメ(株)は1903年にトマトソースの生産を開始して以来、トマトケチャップ(1908年)、トマトジュース(1933年)と一連のトマト加工品を商品化し、国内におけるトマト加工品メーカーとして事業を拡大してきた。現在は、トマトだけでなくその他の野菜加工品も含めて事業を展開しているが、新たな商品を開発するに際して、「よい原料」と「よい技術」を「最適に組み合わせること」によって「価値ある商品」を創出することを研究開発の基本的な考え方としており、近年は、野菜に含まれる色素の機能性に注目した研究を行うとともに、研究成果を活用して、野菜の摂取量不足を補うことのできる商品開発を進めている。

加工食品から生鮮野菜への事業領域の拡大においても前述の考え方は同じである。さらに、企業として生鮮野菜事業に取り組むに際して、①生鮮トマトの新しい需要創造、②野菜流通の改革、③国際レベルの施設生産、の「3つの革新」を図り¹⁾、野菜の消費を促進するとともに、消費者の健康に貢献したいと考えている。

2 トマト消費の実態と生鮮野菜事業の可能性

我が国の国民一人当たりの野菜の摂取量は、野菜全体および緑黄色野菜とも厚生労働省の推奨値の約80%にしか達しておらず²⁾、近年の推移をみても短期間で改善される傾向にはないのが現状である(図1)。

このような状況であるにもかかわらず、多くの国産野菜の生産量は減少を続けている。その中で、トマトの年間生産量は75~80万トンで推移し、なんとか減少を食い止めている状況であり³⁾、健闘している野菜の一つといえる(図2)。なお、国産野菜の年間産出額は約2兆1千億円であるが、そのうち約2,000億円をトマトが

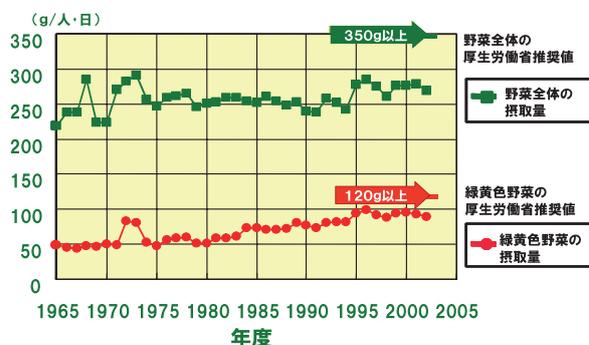


図1 国民一人当たりの野菜摂取量の推移
出典：平成14年国民栄養調査

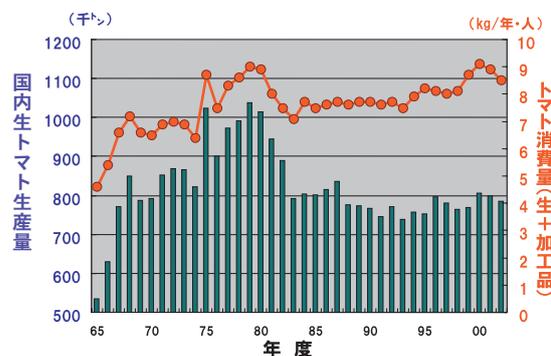


図2 我が国のトマトの生産、消費量の推移

占めており、我が国の農業政策上、最も重要な野菜の一つでもある。

生鮮トマトの消費量も当然増加傾向にはない。トマト加工品も含めた場合、国民一人当たりのトマト摂取量はやや増加傾向にあるものの、世界各国と比較すると非常に少なく⁴⁾、トマトの消費量という面では、日本は発展途上国といえる(図3)。

生鮮トマトの消費が横ばいであると同様、小売段階での売上高でも大きな伸びはない。農業経営面も同様である。このため、生産側は高く売れるもの、単価の高いも

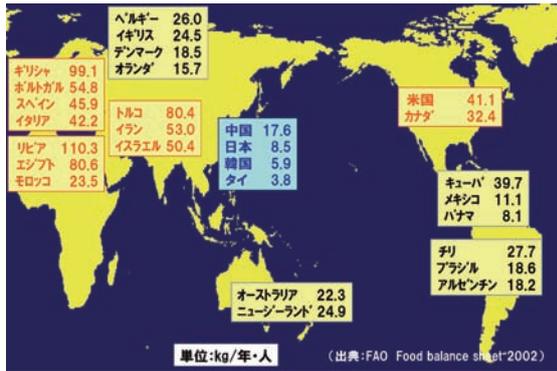


図3 世界各国のトマト摂取量

のを模索する。農業生産側としては当然の考えではあろうが、視点をかえてみると、今の75~80万トンという市場の規模の中でシェア争いをしているだけで、「消費量を増やす」「生産量を増やす」という本質的な解決にはなっていないのである。新しい需要を創造し、消費量を拡大しないかぎり発展はないと考える。

前述したように、当社は、トマトジュース、野菜ジュースに含まれるカロテノイドの機能的価値を研究し成果をアピールしてきた。そして、ジュース工場を見学されたお客様の「この赤いトマトを生鮮トマトとして売れないか」という言葉をきっかけに1998年から事業化への取り組みを始めた。実はこれ以前にも赤系トマトを生鮮トマトとして販売しようとテストをしたことがある。卸売市場を経由する一般の流通で、量的にも少なかったこともあるが、ピンク系主体の我が国の市場には受け入れられず失敗した経験もある。

このため、新たに事業として取り組むに際して、種子、栽培方法から消費者の口に入るまでの過程を一貫して自ら責任を持って取り組むこととした。つまり、種苗開発・栽培技術開発・栽培システム設計・生産・流通・販売の一連の機能を自らが保有することで、事業展開を図ることとした。

3 カゴメ生鮮トマト事業の取り組み

3.1 消費の革新

新たな事業領域、事業分野として取り組むのに、現状と同じことをやっているとは多くの経験を有する競争相手に勝つことができない。そのためには、生産・流通・消費の全てを革新する必要がある。つまり部分的な変革では大きな変化は生じないのである。

数年前までは、市場に出回っているトマトはピンクの大玉系が90%、赤系のミニが10%で、アイテム数は限られたものであった。しかし最近では、果実外観色のバラエティ化、ミディタイプをはじめとするサイズのバラエティ化などの取り組みやフルーツトマト系の甘さを訴求した品揃えの取り組みも行われてきている。

甘みの強いトマトの多くは、節水栽培あるいは肥料濃

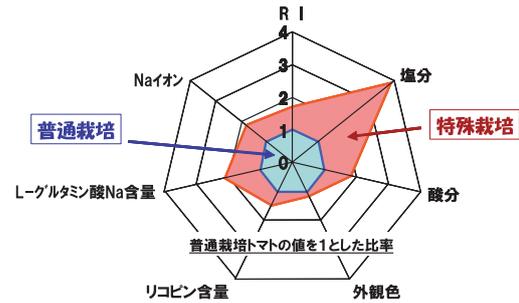


図4 フルーツトマトの品質 (2005年5月市販トマトの平均値を比較)



図5 こくみトマトのアイテム

度を高くして栽培され、果実の屈折計示度を高くする方法で栽培される。糖、酸、色素、旨味成分などの含量は向上するものの、それ以上に塩分の含量も向上するようである(図4)。一方で生産性が低下し、単位重量当たりの販売価格は高くなるため、トマトの消費量を増加させる方向ではないと判断される。また、いずれの商品もほとんどがサラダ用途を意識したものであり、用途の開発、提案をしない限り消費量の増大は見込めない構造であると考えられる。

以下に当社の取り組みを紹介する。まず商品の大きな枠となる果実の外観色を赤系とした。赤系トマトはピンク系トマトよりリコピン含量が高く、今まで加工商品で取り組んできた野菜に含まれる色素の価値をアピールできるものでもある。家庭消費向けの商品では、果重100g前後のラウンドトマト、果重30g前後のプラム型のトマト、果重40g前後のミディトマトの3アイテムを「こくみトマト」として展開している(図5)⁵⁾。

生鮮野菜事業に取り組むに当たり、野菜としてのトマトの消費量を増加させることができなければ成功にはつながらない。したがって、品種あるいは生産されたトマト果実だけをただ販売するのではなく、いかに多くの価値を付与するかが商品化に際して重要となる。つまり、①野菜としてのおいしさ、栄養価、生理的機能性、②用途の広さ、楽しさなどである。もちろん安全・安心であることはいうまでもない。

赤系トマトの価値としては、リコピン含量が高いことに加え、ピンク系トマトでは難しい調理用としての適性を有している点である。なお、調理専用トマトというアイテムの展開も検討したが、消費者調査において、調理用として購入しても80%以上の人はまず生で食べるこ

とが明らかになった。したがって、消費量を拡大するために生食以外の用途提案をするにしても、生食での適性を有することは不可欠と判断される。

我が国のトマト消費量の少なさは、生食以外に知られていないことが大きく影響しているように思える。このため、数百種類におよぶトマトを利用したメニューを開発し、店頭でメニューの一部を提案、試食していただくことも行っている。この店頭での販売促進活動は、事前に特別な教育研修を受けた専属の販売員「こくみレディー」が担当している（図6）。

一方、業務用ユーザーには「デリカトマト」を販売している（図7）。現在、国内で生産されている生鮮トマトの約半分が業務用として使われているものと推定される。将来的には家庭消費より業務用消費の方が比率は高くなるものと考えている。用途としては、ハンバーガー、サンドイッチ、ピザなどである。家庭消費とは用途は異なるのに、使用するトマトは家庭用と同じもので、ユーザーからは用途別に最適な商品の供給が望まれている。

現在販売している「デリカトマト」は、薄くスライスしてもドリップが少なく、形がくずれにくい特徴を有している（図8）。今後はさらに用途の広がりも見込まれ、生産・流通も合わせた個別対応を行うことでさらにビジネス機会も増えるものと考えている。

以上のように、家庭用では「こくみトマト」、業務用では「デリカトマト」でナショナルブランド化の実現を目指している。

なお、全商品には①生産した菜園番号、②パック日、③お客様相談センターのフリーダイヤルを表示し、トレサビリティを確立するとともに、お客様からの要望、意見も直接いただけるようにしている。

3.2 流通の革新

こくみトマトは各契約菜園において完熟状態で収穫し、パック包装される。その後全国8カ所の生鮮センター



図6 「こくみレディー」による店頭での販促活動



図7 デリカトマト

に納入され、さらに、お客様である大規模小売店の配送センターに納品される。この間、商品は12℃前後で管理される。以上のように、系統への出荷や、卸売市場を経由しない産地直送、直接販売方式を採用している。

3.3 生産の革新

新たな事業として取り組むに際して、種苗から販売、品質保証まで一連の機能を一貫して保有していることは前述した。そこで、ヨーロッパ、米国、カナダなど施設生産の先進地を調査し、世界で最も生産性の高いシステムである大規模ガラス温室でのロックウール栽培に取り組むことを決断した（図9）。すなわち、年間を通して安定した量・品質・価格で生鮮トマトを販売するには、小さな規模では競争力が出せないことから、ある程度以上の規模が必要であり、大規模化（図10）、システム化が不可欠と考えた次第である。

1997年に総合研究所に実験温室を建設、その成果をふまえ1999年に美野里菜園（茨城県）を立ち上げた。以降、生産拠点の拡大を進めている（図11）。なお、北欧との気象環境の違い、作業方法の違い、水質の違いなどで失敗もあったが、現在は日本の環境にあった管理マ

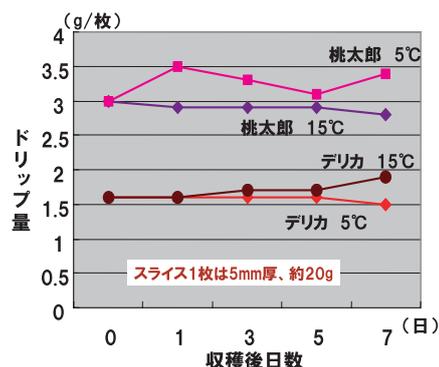


図8 デリカトマトのドリップ量



図9 こくみラウンドトマトの栽培



図10 いわき小名浜菜園（福島県, 10ha）



図 11 菜園ネットワーク

ニューアルも完成しつつある。

3.4 衛生管理および信頼性

大型菜園の栽培方式は、年1作の長期多段階収穫方式を採用している。したがって、栽培環境の整備・清浄化、病害持込・侵入に対する防御、感染（伝染）拡大の抑制には特に注意が必要である。作業で栽培室に入るときには、①手指をアルコール消毒し、②エアシャワー室を通り、③靴底を消毒しなければならない。作業に際しては、①畝単位で作業者を固定し、②鋏、作業機器は定期的にアルコール消毒している。さらに、栽培室、荷造り棟などの境界域は、エアカーテンで分離している。これらの管理は病虫害予防だけでなく、生産施設、作業者の衛生管理にも通じるものでもある。

消費者が食品に対して不安を感じていることの第一位は「残留農薬」であり、第二位に「食品添加物」がある(表1)⁶⁾。こくみトマトの生産方式は自社施設での生産および各菜園との契約栽培である。契約栽培では生産されたトマトは全量を購入するだけでなく、生産のための技術支援、安全確保のための使用農薬の合意も実施している。病虫害防除のために天敵生物、生物農薬を積極的に取り入れ、化学農薬を減らす取り組みも行っている。しかし、現時点では、化学農薬を使用せざるをえない場合もある。このため、化学農薬の選定においては、独自の自主基準を設定している。すなわち、登録農薬を消費者視点・環境保護視点・生産者視点で評価し、使用する農薬を絞り込み、栽培契約を実施している。当然使用記録を提出してもらうとともに、生産されたトマトをサンプリングし、当社分析センターにて残留農薬分析を行い、信頼性の裏づけを行っている。

4 おわりに

カゴメ(株)の生鮮事業への取り組みは、生産・流通・消費それぞれを革新することによって成立するものと考えている。そのために、機能分化から機能統合へと考え方を変換するとともに、不足する機能の充足を進めてきた。

表 1 食品に対する不安

順位	要素	割合 (%)
1	(残留) 農薬	88%
2	食品添加物	83%
3	BES	75%
4	生産地・原産地	61%
5	遺伝子組み換え	60%
6	食品表示	59%
7	衛生・品質管理	46%
8	環境ホルモン	45%
9	アレルギー	27%

中央調査社、アンケート調査、n = 1,026 人うち不安があると感じている人 (81%, 838 人) に対して、不安要素を調査 (複数回答)

当然リスクを負うことにはなるが、既存の体制ではできないことを強みとして付加し、新たな価値とすることで、今後も事業展開を図って行きたい。

お客様にとって「そこまでやるの?」ということが差別化、価値につながる時代であり、ニーズに対応するだけでなく、新たな提案を常に行うことが求められる時代である。一方で、消費者、社会の要求レベルは向上することから、それに見合う技術革新への継続的な取り組みが不可欠であることは言うまでもない。

私たちは、我が国のトマトの消費量拡大に貢献するという信念を持って今後も取り組んでいきたい。さらには、この取り組みが日本の新しい農業の方向性のひとつとして参考になれば幸いである。

摘要

カゴメ(株)が取り組む生鮮トマト事業を紹介する。野菜の摂取量が不足している状況で、中でも主要野菜としてのトマトの消費拡大を目標に事業展開を図っている。生産・流通・消費の革新が必要と考え、生産においては大規模施設での周年栽培、流通においては顧客への直接納入、消費においては生食以外の新たな用途提案を行い、トマト消費の拡大を目指している。市場の拡大を図るためには、ピンク系トマトを中心とする既存の市場でのシェア争いをするのではなく、リコピン含量の高い赤系トマトを中心とする商品での事業展開が重要と考え、家庭用で「こくみトマト」、業務用で「デリカトマト」のブランド化を進めている。

引用文献

- 1) 佐野泰三. 2004. カゴメが拓く生鮮トマト事業のビジネスモデル. フレッシュフードシステム. Vol33.No.2
- 2) 厚生労働省. 国民栄養調査結果の概要 <http://www.mhlw.go.jp/houdou/2003/12/h1224-4.html>
- 3) 農林水産省. 統計データ <http://www.maff.go.jp/tokei.html>
- 4) FAO statistical Databases <http://faostat.fao.org/>
- 5) カゴメ(株). 生鮮野菜ホームページ <http://seisen.kagome.co.jp/>
- 6) 社団法人中央調査会. 食品の購入と不安意識 <http://www.crs.or.jp/54212.htm>

トマト黄化葉巻病と媒介コナジラミ、 防除法を巡る研究情勢と問題点

本 多 健 一 郎

独立行政法人 農業・生物系特定産業技術研究機構野菜茶業研究所

Recent Progress on Tomato Yellow Leaf Curl and its Vector Whitefly Researches

Ken-ichiro HONDA

National Agriculture and Bio-oriented Research Organization

National Institute of Vegetable and Tea Science

キーワード：トマト，トマト黄化葉巻病，ウイルス病，TYLCV，媒介コナジラミ，タバココナジラミ

1 はじめに

トマトの黄化葉巻症状は1939~40年頃イスラエルで最初に報告され、これまでに地中海沿岸諸国、アフリカ、オーストラリア、アジア、中米、北米など世界各地で発生している。この病害はコナジラミが媒介するベゴモウイルスによって引き起こされ、発病初期には新葉が葉縁から退緑しながら葉巻症状となり、後に葉脈間が黄化して縮葉となる。病勢が進行すると、頂部が叢生し株全体が萎縮する(図1)。なお、発病前に着果した果実は正常に発育するが、発病後は開花しても結実しないことが多い。

日本では、*Tobacco leaf curl Japan virus* (TbLCJV: ベゴモウイルス) を病原とするトマト黄化萎縮病が近畿地方の露地栽培トマトで1940年代から発生していたが¹⁾、その発生頻度は低く分布も局所的であった。しかし、



図1 トマト黄化葉巻症状(トマト黄化葉巻病)

1996年にイスラエル原産の *Tomato yellow leaf curl virus* (TYLCV: ベゴモウイルス) を病原とするトマト黄化葉巻病が長崎県と愛知県、静岡県で同時に発見され^{2,3)}、その後施設栽培トマトの生産地で急速に発生が拡大した。2005年12月現在、TYLCVによるトマト黄化葉巻病の発生が報告された地域は西南日本を中心に23府県となり、今後さらに分布拡大と被害の増加が懸念されている。

2 病原ウイルス

トマトの黄化葉巻症状 (Tomato yellow leaf curl あるいは Tomato leaf curl) を引き起こす病原ウイルスは中近東、南アジア、アフリカを中心に10種類以上報告されており、いずれもジェミニウイルス科 (*Geminiviridae*) ベゴモウイルス属 (*Begomovirus*) に分類される。ベゴモウイルスは1種類もしくは2種類の環状1本鎖DNAをゲノムとして有し(図2)、粒子形態は約20×30nmの双球状である。

これらのウイルスには、これまで Tomato yellow leaf curl virus (TYLCV) あるいは Tomato leaf curl virus (ToLCV) といった互いに良く似た名称が使われていたため、ウイルス種間の違いや類縁関係がわかりにくかった。

近年各ウイルスゲノムの全塩基配列が明らかにされつつあり、ゲノムの塩基配列情報に基づいたベゴモウイルスの再分類が進められている。こうした検討の結果、トマト黄化葉巻症状を引き起こすベゴモウイルスはアジア

産とアフリカ産の2グループに大別され、イスラエルなど地中海沿岸で発生しているウイルス群と中国やタイなどで発生しているウイルス群は互いに類縁関係が離れていることがわかった。表1には、Fauquetら⁴⁾の分類に基

づくトマト黄化葉巻症状の主な病原ウイルスを示した。ここでは、ベゴモウイルスの種を分ける基準として全塩基配列の相同性を重視しており、DNA-Aの塩基配列相同性が89%未満のものを別種と判定している。この考え方はウイルスの国際的な分類基準を定めたICTV8次報告書⁵⁾にも踏襲されている。

日本で発生しているTYLCVのうち、静岡県および愛知県の分離株は、イスラエル産TYLCVマイルド株(TYLCV-Mld)との相同性が全塩基配列レベルで98%ときわめて高かった⁶⁾。一方、長崎県の分離株はTYLCVマイルド株とは92%、TYLCVイスラエル株とは98%の相同性が認められ、長崎株はTYLCVイスラエル株とほぼ同じウイルスと考えられた³⁾。さらに2004年に高知で発生が確認された土佐分離株もTYLCVイスラエル株に属するが、長崎株とはやや塩基配列が異なる遺伝子型であった⁷⁾。これまで日本の周辺国ではアフリカ産ベゴモウイルスの発生は報告されておらず、東アジアでは日本にだけ異なるタイプのベゴモウイルスが海外から持ち込まれ、トマト黄化葉巻病の流行を引き起こしたと考えられる⁸⁾。なお、TYLCVイスラエル株は激症型、TYLCVマイルド株はマイルド型と呼ばれることもあるが、病徴の発現にはトマトの品種や感染時期の影響もあるため、発病株の症状のみから病原ウイルスの系統を区別するこ

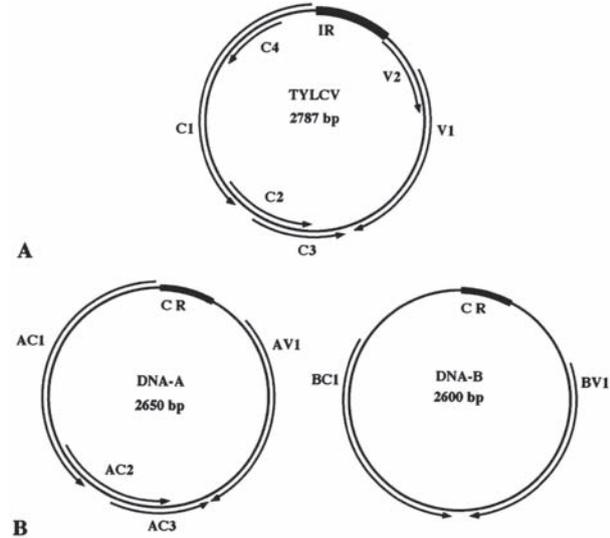


図2 タバコナジラミが媒介するベゴモウイルスの構造模式図
Aは1種類の遺伝子のみを持つタイプ(monopartite)、
Bは2種類の遺伝子(DNA-AとDNA-B)を持つタイプ(bipartite)である。AタイプのウイルスとしてTYLCVを例示した³⁷⁾。

表1 トマトに黄化葉巻症状を引き起こす主な旧世界産ベゴモウイルス
(Fauquetら, 2003)より抜粋

種名	略号	分離株が得られた国名
アジア産グループ(インド, 東アジア)		
<i>Tobacco leaf curl Japan virus</i>	; TbLCJV	日本
<i>Tomato leaf curl Bangalore virus</i>	; ToLCBV	インド
<i>Tomato leaf curl Bangladesh virus</i>	; ToLCBDV	バングラデシュ
<i>Tomato leaf curl Gujarat virus</i>	; ToLCGV	インド
<i>Tomato leaf curl Karnakata virus</i>	; ToLCBV	インド
<i>Tomato leaf curl Laos virus</i>	; ToLCLV	ラオス
<i>Tomato leaf curl New Delhi virus</i>	; ToLCNDV	インド
<i>Tomato leaf curl Sri Lanka virus</i>	; ToLCSLV	スリランカ
<i>Tomato leaf curl Taiwan virus</i>	; ToLCTWV	台湾
<i>Tomato leaf curl Vietnam virus</i>	; ToLCVV	ベトナム
<i>Tomato yellow leaf curl China virus</i>	; TYLCCNV	中国
<i>Tomato yellow leaf curl Thailand virus</i>	; TYLCTHV	タイ
アフリカ産グループ(地中海沿岸地方, オーストラリア*を含む)		
<i>Tomato leaf curl virus</i>	; ToLCV	オーストラリア
<i>Tomato yellow leaf curl Gezira virus</i>	; TYLCGV	スーダン
<i>Tomato yellow leaf curl Malaga virus</i>	; TYLCMaIV	スペイン
<i>Tomato yellow leaf curl Sardinia virus</i>	; TYLCSV	イタリア, スペイン
<i>Tomato yellow leaf curl virus</i>	; TYLCV	イスラエル, サウジアラビア, スペイン, ポルトガル, キューバ, ドミニカ, 日本
<i>Tomato yellow leaf curl virus</i>	; TYLCV-IR	イラン
<i>Tomato yellow leaf curl virus</i>	; TYLCV-IR	イラン
<i>Tomato yellow leaf curl virus</i>	; TYLCV-Mld	イスラエル, 日本
<i>Tomato yellow leaf curl virus</i>	; TYLCV-SD	スーダン

ウイルスの系統樹は、以下のwebサイトを参考にした。

Fauquet, C.M. et al. Updated revised proposal for naming geminiviruses.

<http://www.danforthcenter.org/iltab/geminiviridae/naming/howtoname.html>



図3 国内でトマト黄化葉巻病の発生が報告された地域と確認されたTYLCV分離株（2005年12月現在）

とはできない。

日本で確認された4種類のTYLCV分離株およびそれと相同なウイルス株の発生分布を、図3に示した。TYLCVマイルド株（静岡株あるいは愛知株）の分布は東海地方および関東地方の一部と中国地方の一部に、TYLCVイスラエル株（長崎株あるいは土佐株）の分布は九州のほか、四国、中国、紀伊半島と関東地方の一部にそれぞれ飛び離れていることがわかり、媒介虫の移動よりも感染苗の人為的な移動による分布拡大が起きていることをうかがわせる。

3 媒介コナジラミ

トマト黄化葉巻症状の病原ウイルス（ベゴモウイルス）は、タバココナジラミ *Bemisia tabaci*（図4）によって永続的に媒介される。

タバココナジラミは形態的に区別できる特徴が乏しいため、過去に世界各地で様々な植物から採集された多くのコナジラミ個体群が、単一の「タバココナジラミ」として整理・記載された。このため、タバココナジラミは世界中に分布し、おびただしい数の作物を加害する「大害虫」として扱われている。しかし、タバココナジラミには寄主植物の異なる寄主レースや形態以外の生物学的特徴が異なる数多くのバイオタイプが知られており、なかでも北米産のバイオタイプAと世界各地に分布を広げているバイオタイプBの間には、生化学的な特徴、遺伝子解析による特徴、寄主植物に与える生理障害の有無、個体群間の交雑能力などで大きな差異が存在する。このため Bellows ら⁹⁾は両者が種のレベルで異なっていると、バイオタイプBを別種シルバーリーフコナジ



図4 タバココナジラミのバイオタイプB（成虫）

ラミ *Bemisia argentifolii* として記載した。

現時点では、タバココナジラミは潜在種（cryptic species）であるシルバーリーフコナジラミを含めて、数多くのバイオタイプからなる種複合（species complex）として扱われている¹⁰⁾。

Perring¹⁰⁾は近年の遺伝子解析の成果をふまえて、これまでに報告されたバイオタイプのグループ化を試みた（表2）。データが不十分あるいは相互に矛盾しているため今回のグループ化に含まれなかったバイオタイプも多く残されている。また同じグループ内にまとめられながら地理的に大きく離れたバイオタイプも存在しており、今後さらに検討が必要である。

De Barro ら¹¹⁾はミトコンドリアCO1とリボソームITS1遺伝子の配列データを解析し、世界各地のタバココナジラミがアジア、バリ、オーストラリア、半サハラ-アフリカ、地中海・小アジア・アフリカ、新世界という6種類の主要なレース（遺伝的に判別可能だが形態的に差異が認められないグループ）と、いずれのレースにも関係づけられないアジア地域の多数の遺伝子型に分けられることを示した。

日本では、従来からスイカズラ、サツマイモ等に生息するタバココナジラミ在来系統が本州以西に分布することが知られていたが¹²⁾、1989年にタバココナジラミのバイオタイプB（シルバーリーフコナジラミ）が海外から侵入し、国内各地で野菜や花卉を加害するようになった^{13,14)}。また、沖縄県石垣島には、本州の在来系統とはアイソザイムのバンドパターンやミトコンドリア16S rRNAの塩基配列が異なる別のタバココナジラミ在来系統が分布している^{15,16)}。

隣国である韓国にも、バイオタイプBが近年侵入したが、在来のタバココナジラミ（非B系統）も分布している。

LeeとDe Barro¹⁶⁾が行ったミトコンドリア16S rRNAの塩基配列の系統解析によれば、本州以西に分布する在来系統のタバココナジラミは、韓国の非B系統のタバココナジラミ（寄主植物ダイズ）と近縁であり、Perring¹⁰⁾

表2 Perring (2001) により提示されたタバコナジラミ種複合のグループ化

グループ名	分布	バイオタイプ名	グループ化の根拠と生物学的特徴
グループ 1	新世界 (北米, 中米, 南米)	A, C, N, R	リボソーム DNA の ITS 領域およびミトコンドリア DNA の CO1 領域の相同性により, これら新世界のバイオタイプは同一集団に分類される。
グループ 2	世界各地	B (<i>B. argentifolii</i>)	カボチャ葉の白化症状やトマト果実の着色異常はこのバイオタイプ B のみが引き起こす。他のバイオタイプとの間で様々なレベルの生殖不適合が認められるが, 世界各地に生息するバイオタイプ B 間では交配可能。エステラーゼバンドパターン, 遺伝子解析などの結果, 北米のバイオタイプ A と B の間には種レベルにふさわしい差異が存在すると判断され, 別種 <i>B. argentifolii</i> Bellows and Perring として記載された。
グループ 3	西アフリカ・ スペイン	E, S	ベニン (西アフリカ) の <i>Asystasia gangetica</i> (ガンゲティカ: キツネノマゴ科) から採集されたバイオタイプ E は, アロザイム解析や遺伝子解析によりスペインのサツマイモ属 <i>Ipomea</i> から採集されたバイオタイプ S が近縁とされ, 他のバイオタイプとは異なる集団に分類される。
グループ 4	インド	H	ケララ州 (インド) でスイカから採集された個体群はカボチャの白化症状を引き起こさないことが確認されている。遺伝子解析の結果, 他のどのバイオタイプとも異なる集団に分類される。
グループ 5	アフリカ・ スペイン	L, Q, J, ? (エジプト)	バイオタイプ L はスーダンでワタから採集され, カボチャの白化症状は引き起こさない。ミトコンドリア DNA の 16S および CO1 領域の解析によれば, バイオタイプ L はバイオタイプ A, B, E, H と区別される。リボソーム DNA の ITS 領域の解析では, エジプトの <i>Lantana camara</i> (シチヘンゲ: クマツヅラ科) から採集された個体群 (バイオタイプ名なし), スペインのトマトから採集されたバイオタイプ Q, ナイジェリアのササゲから採集されたバイオタイプ J と同一集団に分類される。
グループ 6	トルコ, 中国, 韓国	M, ? (海南島), ? (韓国)	トルコでワタから採集されたバイオタイプ M は, バイオタイプ B, K, D とは交配せず, カボチャの白化症状を引き起こさない。リボソーム DNA の ITS 領域を使った系統解析で, 海南島の個体群 (バイオタイプ名なし) と韓国の個体群 (バイオタイプ名なし) と同じ集団に分類される。
グループ 7	オーストラリア	AN	クイーンズランド南部とダーウィンでワタから採集されたバイオタイプ AN はオーストラリア土着の個体群と考えられ, リボソーム DNA の ITS1 領域を使用した系統解析で, 世界の他のバイオタイプとは別集団に分類される。バイオタイプ AN とバイオタイプ B の交雑個体と見なされるエステラーゼバンドパターンを持つ個体が発見されているが, 交配実験によって妊性を持つ子孫は得られていない。

が提示したグループ 6 (表 2) に属すると推定される。台湾には, 1990 年にバイオタイプ B が侵入したが, 在来のタバコナジラミも分布しており, バイオタイプ AN とバイオタイプ Nauru が報告されている¹⁷⁾。

最近, 上田¹⁸⁾ によってタバコナジラミのバイオタイプ Q が日本に侵入し, 九州地域を中心に分布を拡大していることが明らかにされた。バイオタイプ Q は, かつてイベリア半島南部に局在的に分布していたが, 近年分布を広げ, イタリアやイスラエル, 中国でも発生が報告されている^{19,20,21)}。イスラエルでは, バイオタイプ Q の個体群で殺虫剤ピリプロキシフェンに対する抵抗性が高度に発達していることが明らかになり, 一方同時に採集されたバイオタイプ B はピリプロキシフェンに感受性であった。タバコナジラミの異なるバイオタイプ間では交雑が起きないかまれであるため^{22,23)}, ピリプロキシフェン散布による淘汰圧の下で殺虫剤抵抗性に関して遺伝的に異なる系統の選抜が起きた可能性がある。

4 タバコナジラミのバイオタイプとウイルス媒介能力

TbLJCJV が病原ウイルスであるトマト黄化萎縮病は,

在来系統のタバコナジラミによって媒介されるが¹⁾, 1996 年に海外から侵入した TYLCV は, 1989 年に同じく海外から侵入したタバコナジラミのバイオタイプ B (シルバーリーフコナジラミ) によって媒介され, 日本国内での分布を拡大している^{23,24)}。ベゴモウイルスの種類とタバコナジラミのバイオタイプ間の媒介親和性については, まだ十分に調査されていないが, バイオタイプによって媒介されるベゴモウイルスの種類が異なる場合があるものの, コナジラミとウイルスを獲得・接種する寄主植物との親和性の方がより重要であると言われている²⁵⁾。

Jiang ら²⁶⁾ によれば, タバコナジラミのバイオタイプ Q はバイオタイプ B (シルバーリーフコナジラミ) と同様な広い寄主植物選好性とウイルス媒介能力を有しており, 今後日本国内で新たな TYLCV 媒介虫となってトマト黄化萎縮病の流行を引き起こす危険性が高い。既に九州ではバイオタイプ Q が広範囲に分布しており, 事実上 TYLCV の媒介虫になっていると考えられる。また, これまで発生が稀であったトマト黄化萎縮病の発生事例も各地で増加しているため, バイオタイプ Q による土着のベゴモウイルス媒介にも警戒する必要がある。

5 タバココナジラミによる TYLCV の媒介条件

野菜茶業研究所で行った実験（北村ら、未発表）では、罹病トマト株からタバココナジラミ（バイオタイプ B）成虫がウイルスを獲得し無病トマト苗に感染させるためには、6 時間の獲得吸汁では足りず、24 時間の獲得吸汁が必要であった（感染株率 75%）。また、3 日間獲得吸汁を行ったコナジラミ成虫を無病トマト苗に接種吸汁させた場合、最短 15 分の吸汁で感染株が生じた（感染株率 20%）。接種吸汁時間が長くなるにつれて感染株率も増加し、24 時間接種吸汁させた場合は 60~83% の感染株率となった。また Pico ら²⁷⁾によれば、供試するコナジラミとウイルス系統の組み合わせによっては獲得吸汁時間 15~30 分、潜伏期間 21~24 時間の後、15~30 分の接種時間でウイルス媒介が可能であるという。従って、タバココナジラミ成虫がウイルスを保毒するためには一定時間が必要であるが、一旦保毒虫となった場合、新たなトマト株での接種吸汁によるウイルス感染は速やかに起こると予想される。

なお、TYLCV はコナジラミの吸汁と接ぎ木によって伝染するが、種子からは伝染しない。Ghanim ら²⁸⁾は TYLCV を保毒したタバココナジラミ（バイオタイプ B）成虫が次世代にウイルスを経卵伝染すると報告したが、善ら²⁹⁾および北村ら³⁰⁾の調査では、日本で発生しているタバココナジラミ（バイオタイプ B）と TYLCV の組み合わせによる経卵伝染は確認されなかった。バイオタイプ Q による経卵伝染については不明であり、今後調査が必要である。

6 野外における TYLCV のウイルス源

TYLCV の感染植物として、トルコギキョウ、インゲン、ピーマン、タバコ、ウシハコベ、エノキグサなどの農作物、雑草類が報告されている^{8,31)}。しかし、こうした調査で各種の植物からウイルスが検出されても、感染植物からコナジラミによって再度ウイルスが媒介されるかどうか（すなわちこれらの植物がウイルス源となるのかどうか）は明らかでなく、今後ウイルス源となる危険性を定量的に評価する必要がある。TYLCV の感染が報告された植物の中には、タバココナジラミがほとんど寄生しないものもある。また、静岡県で発生している TYLCV マイルド株（静岡株と愛知株）については、集中的な野外調査にもかかわらずトマト以外の感染植物は発見されていない²⁴⁾。

現時点で確実に野外での TYLCV のウイルス源となっていることが確認されている植物は、栽培施設周辺に放置された野良生えのトマトと家庭菜園の無防除トマトである。

7 TYLCV の伝染環

タバココナジラミ（バイオタイプ B）は冬季に野外でほとんど死滅し、野外の罹病トマトも枯死するため、トマトなどの栽培施設が TYLCV と媒介コナジラミの主たる越冬場所になっている。

春になって気温の上昇とともに越冬したコナジラミは施設内で増殖し、TYLCV 罹病株が存在した場合は施設内の他の株にウイルスを媒介する。こうした過程を繰り返すことにより、施設内の罹病株率とコナジラミの保毒率は高まる。

施設内のコナジラミ密度が高まるにつれて、施設から野外へ脱出する保毒コナジラミも増加し、初夏にトマト栽培を終了する際には、何も対策をとらない場合、多量の保毒コナジラミ成虫が野外に放出され、野良生えのトマトや家庭菜園のトマトに TYLCV を媒介することになる。ウイルスに感染した野良生えトマトや家庭菜園トマトは新たなウイルス源となり、そこで発育・吸汁したコナジラミが保毒虫となって、夏から秋にかけて定植された施設トマトに TYLCV を媒介する。トマト周年栽培地帯における TYLCV の伝染環（模式図）を図 5 に示した。

8 ウイルス源の除去と施設への侵入防止等による被害の軽減

タバココナジラミ（バイオタイプ B）は夏季には多くの種類の寄主植物で育ち、これら罹病トマト以外の植物で発育した個体は TYLCV を持たない無毒虫である。熊本県の調査によれば、雑草地で捕獲されたコナジラミ成虫はすべて無毒虫であり、発病トマトの栽培施設内で捕獲された個体のみが保毒虫であった³²⁾。野菜茶業研究所が 2004 年に三重県北部のトマト栽培地帯で行った調査では、夏から秋にかけて野外に設置したトマト苗で捕獲されたコナジラミ成虫の保毒率は、全体で 10~15% 以下という低い値であった³³⁾。

大部分が無毒虫である野外コナジラミ個体群を殺虫剤散布などによって徹底防除しても、保毒虫に対する防除効果は低い。保毒虫の発生源である罹病した野良生えトマトの除去や家庭菜園トマトでの防除を行って保毒虫そのものを減らす方が防除効果は高い。また、トマト栽培終了時に作物が完全に枯死するまで施設を閉鎖し、保毒コナジラミの脱出を防止すれば、病原ウイルスの野外への放出量を低下させる効果がある。

施設開口部への防虫ネット展張や紫外線除去フィルムの使用による保毒虫侵入の防止、定植時の粒剤の施用等を組み合わせることによって、トマト黄化葉巻病の発生を効果的に抑制できることが示された^{34,35)}。加えて、黄色粘着板によるコナジラミ成虫の捕殺や適時殺虫剤散布、春のコナジラミ増殖を防止するための殺虫剤施用あるいは生物農薬（天敵）の利用など、各種防除手段を組

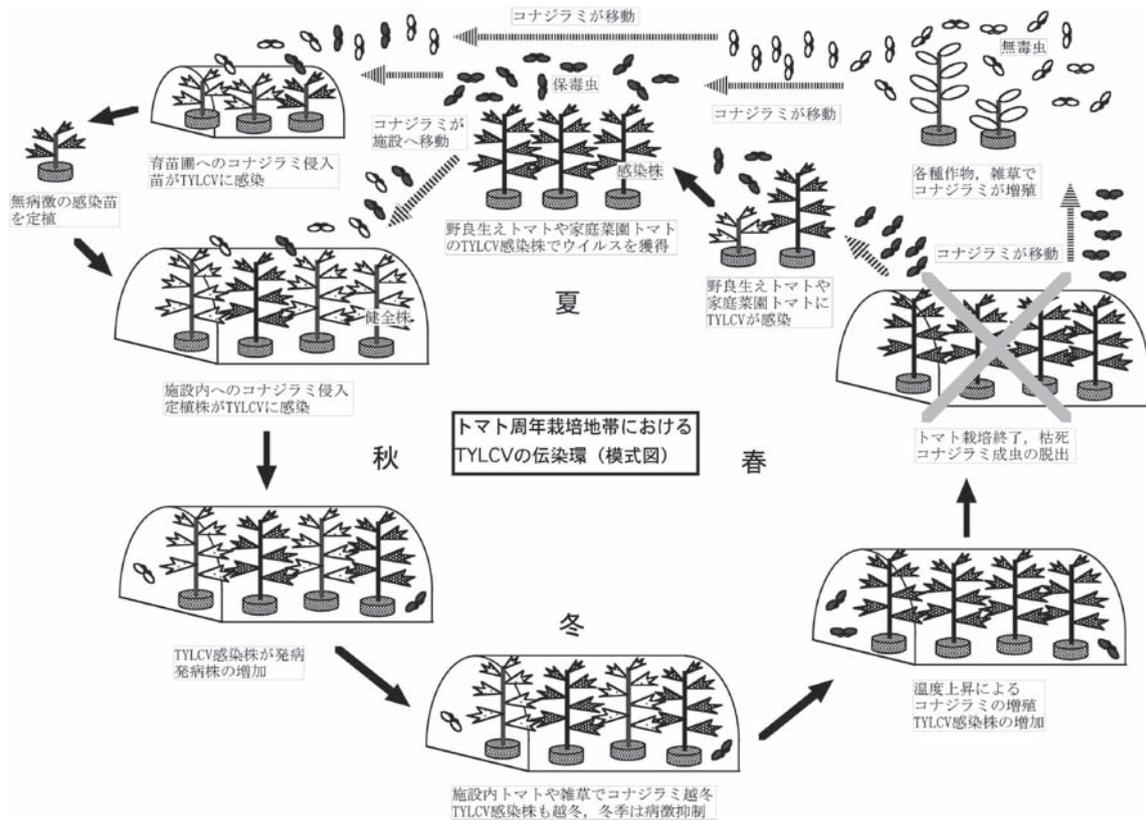


図5 トマト周年栽培地帯における TYLCV の伝染環 (模式図)

み合わせて施設内外での保毒虫とウイルス量を減少させることが、黄化葉巻病の流行防止につながると言えよう。

9 抵抗性品種の活用と問題点

現在知られているトマト黄化葉巻病抵抗性品種では、ウイルス濃度が低下し病徴は抑制されるものの、ウイルスの感染が阻止されるわけではない³⁶⁾。従ってこうした抵抗性品種を不用意に導入してコナジラミ防除を怠った場合には、新たなウイルス源を供給する危険性もあるので注意が必要である。今後非罹病性品種(免疫性品種)の開発を進めるとともに、ウイルス感染性の抵抗性品種も黄化葉巻病対策の一手段として適切に位置づけ、地域の実情に応じた総合的な防除体系を組み立てる必要がある。

摘要

近年世界各地で発生が拡大しているトマト黄化葉巻病症状の病原ウイルスと媒介コナジラミについて最新の知見を紹介した。日本で黄化葉巻病を引き起こすウイルスには、*Tobacco leaf curl Japan virus* (TbLCJV) と *Tomato yellow leaf curl virus* (TYLCV) がある。TYLCV は 1996 年に日本で初めて発見され、ウイルス株の原産地はイスラエルであると判明した。同ウイルスは同じく 1989 年に海外から侵入したタバココナジラミのバイオタイプ B (中東地域原産) によって永続的に媒介される。タバコ

コナジラミは世界各地で数多くのバイオタイプが知られており、それぞれ生理生態的特徴や殺虫剤に対する感受性などが異なる。最近バイオタイプ B に加えて、タバココナジラミのバイオタイプ Q (イベリア半島原産) も日本国内に分布していることがわかった。いずれのバイオタイプも TYLCV を媒介できる。日本国内での TYLCV 伝染環はトマトの周年栽培に依存しており、トマト栽培施設で越冬したコナジラミとウイルス感染株が翌年夏季のウイルス保毒虫発生源となっている。TYLCV によるトマト黄化葉巻病を防除するためには、栽培施設からの保毒虫分散と施設周辺の野生生えトマト、家庭菜園トマトでの感染株除去等によるウイルス密度の抑制が重要である。黄化葉巻病に対する抵抗性のトマト品種も存在するが、病徴は軽減されるもののウイルスには感染するため、コナジラミが発生すればウイルス源となる危険性があり、導入する際には注意が必要である。

引用文献

- 1) 尾崎武司・小島博文・井上忠男. 1976. ワタコナジラミで媒介されるトマトの新病害「黄化萎縮病」. 植物防疫 30: 458-462
- 2) 加藤公彦. 1999. トマトの新しいウイルス TYLCV の発生. 植物防疫 53: 308-311
- 3) 大貫正俊. 2000. トマト黄化葉巻病. 農業および園芸 75: 108-113

- 4) Fauquet, C. M., D. M. Bisaro, R. W. Briddon, J. K. Brown, B. D. Harrison, E. P. Rybicki, D. C. Stenger and J. Stanley. 2003. Revision of taxonomic criteria for species demarcation in the *Geminiviridae*, and an updated list of *Begomovirus* species. *Arch. Virol.* 148: 405-421
- 5) Fauquet, C. M., M. A. Mayo, J. Maniloff, U. Desselberger and L. A. Ball. 2005. *Virus Taxonomy: Classification and Nomenclature of Viruses; Eighth Report of the International Committee on Taxonomy of Viruses*. Elsevier Academic Press. 1259pp
- 6) Kato, K., M. Onuki, S. Fuji and K. Hanada. 1998. The first occurrence of *Tomato yellow leaf curl virus* in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) in Japan. *Ann. Phytopathol. Soc. Jpn.* 64: 552-559
- 7) 上田重文. 2005a. トマト黄化葉巻ウイルスと2004年の発生事例から見たトマト黄化葉巻病. 今月の農業 49 (2) : 20-23
- 8) 上田重文. 2004. トマト黄化葉巻ウイルス病 トマト黄化葉巻ウイルス病の現在及び新系統発生の可能性. 植物ウイルス病研究会レポート 7: 101-109
- 9) Bellows Jr., T. S., T. M. Perring, R. J. Gill and D. H. Headrick. 1994. Description of a species of *Bemisia* (Homoptera: Aleyrodidae). *Ann. Entomol. Soc. Am.* 87: 195-206
- 10) Perring, T.P. 2001. The *Bemisia tabaci* species complex. *Crop Protection* 20: 725-737
- 11) De Barro, P. J., J. W. H. Trueman and D. R. Frohlich. 2005. *Bemisia argentifolii* as a race of *B. tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae): the molecular genetic differentiation of *B. tabaci* populations around the world. *Bull. Entomol. Res.* 95: 193-203
- 12) 宮武頼夫. 1980. 日本産コナジラミ類総目録. *Rostria* 32: 291-330
- 13) 松井正春. 1993. タバココナジラミの最近における発生と防除. *植物防疫* 47: 118-119
- 14) 松井正春. 1995. タバココナジラミ新系統 (仮称: シルバーリーフコナジラミ) の発生とその防除対策. *植物防疫* 49: 111-114
- 15) 大泰司誠・岡田忠虎. 1996. タバココナジラミの防除に関する研究. 生理, 生態の解明. 農林水産技術会議事務局. 研究成果 311: 8-24
- 16) Lee, M.L. and P.J. De Barro. 2000. Characterization of different biotypes of *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Homoptera; Aleyrodidae) in South Korea based on 16S ribosomal RNA sequences. *Korean J. Entomol.* 30: 125-130
- 17) Ko, C.C., S. C. Chang and C. C. Hu. 2005. Survey of the whitefly status and their transmission of plant viruses in Taiwan. *Proc. International Seminar on Whitefly Management and Control Strategy*. ARI Taiwan. 109-131
- 18) 上田重文. 2005b. シルバーリーフコナジラミの biotype 及びタバコ葉巻ウイルスに対する媒介能. 九病虫研究会報 51: 123
- 19) Horowitz, A.R., I. Denholm, K. Gorman, J. L. Cenis, S. Kontsedalov and I. Ishaaya. 2003. Biotype Q of *Bemisia tabaci* identified in Israel. *Phytoparasitica* 31: 94-98
- 20) Rauch, N. and Nauen, R. 2003. Identification of biochemical markers linked to neonicotinoid cross resistance in *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae). *Arch. Insect Biochem. Physiol.* 54: 165-176
- 21) Zhang, L.P., Y. J. Zhang, W. J. Zhang, Q. J. Wu, B. Y. Xu and D. Chu. 2005. Analysis of genetic diversity among different geographical populations and determination of biotypes of *Bemisia tabaci* in China. *J. Appl. Entomol.* 129: 121-128
- 22) Bedford, I. D., P. G. Markham, J. K. Brown and R. C. Rosell. 1994. Geminivirus transmission and biological characterization of whitefly (*Bemisia tabaci*) biotypes from different world regions. *Ann. Appl. Biol.* 125: 311-325
- 23) Moya, A., P. Guirao, D. Cifuentes, F. Beitia and J. L. Cenis. 2001. Genetic diversity of Iberian populations of *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) based on random amplified polymorphic DNA-polymerase chain reaction. *Mol. Ecol.* 10: 891-897
- 24) 芳賀 一・土井 誠. 2002. 静岡県におけるトマト黄化葉巻病の多発要因と防除対策. *植物防疫* 56: 153-156
- 25) Brown, J. K., D. Frohlich and R. Rosell. 1995. The sweetpotato/silverleaf whiteflies: biotypes of *Bemisia tabaci* (Genn.) , or a species complex? *Annu. Rev. Entomol.* 40: 511-534
- 26) Jiang, Y.X., C. de Blas, I. D. Bedford, G. Nombela and M. Muniz. 2004. Short communication. Effect of *Bemisia tabaci* biotype in the transmission of *Tomato yellow leaf curl virus* Sardinia virus (TYLCSV-ES) between tomato and common weeds. *Spanish J. Agric. Res.* 2: 115-119
- 27) Pico, B., M. J. Diez and F. Nuez. 1996. Viral diseases causing the greatest economic losses to the tomato crop. II. The *Tomato yellow leaf curl virus*. *Sci. Hortic.* 67: 151-196
- 28) Ghanim, M., S. Morin, M. Zeidan and H. Czosnek. 1998. Evidence for transovarial transmission of *Tomato yellow leaf curl virus* by its vector, the whitefly *Bemisia tabaci*. *Virology* 240: 295-303
- 29) 善正二郎・古田明子・糸山 享・篠田徹郎・河合 章. 2001. 佐賀県におけるトマト黄化葉巻病の発生経過とその要因について. 九病虫研究会報 47: 25-28
- 30) 北村登史雄・河合 章・善正二郎. 2003. 日本に分布するシルバーリーフコナジラミは TYLCV を経卵伝染しない. 平成 14 年度野菜茶業研究成果情報 : 87-88
- 31) 石井貴明・嶽本弘之・上田重文. 2003. トマト黄化葉巻ウイルス (TYLCV) の宿主範囲について. 九病虫研究会報 49: 128
- 32) 長崎県総合農林試験場・福岡県農業総合試験場・熊本県農業研究センター. 2004. トマト黄化葉巻病の病原ウイルス及びシルバーリーフコナジラミの生態解明に基づく環境保全型防除技術の確立. 九州新技術地域実用化研究成果 No.47. 156pp
- 33) 本多健一郎・北村登史雄. 2005. シルバーリーフコナジラミが媒介するトマト黄化葉巻病の感染時期とコナジラミ密度, 保毒率の関係. 第 49 回日本応用動物昆虫学会大会講要. 198

- 34) 小川恭弘 . 2004. 物理的防除法によるコナジラミ類およびトマト黄化葉巻病の防除効果 . 今月の農業 48 (7) : 58-62
- 35) 小川恭弘・内川敬介・嶽本弘之・石井貴明・行徳 裕・古家 忠・江口武志 . 2004. 植物ウイルス病研究会レポート 7: 111-120
- 36) Lapidot, M., M. Friedmann, M. Pilowsky, R. Ben-Joseph and S. Cohen. 2001. Effect of host plant resistance to *Tomato yellow leaf curl virus* (TYLCV) on virus acquisition and transmission by its whitefly vector. *Phytopathology* 91: 1209-1213
- 37) Nakhla, M.K. and D.P. Maxwell. 1998. Epidemiology and Management of Tomato Yellow Leaf Curl Disease. A. Hadidi, R. K. Khetarpal and H. Koganezawa. eds. *Plant Virus Disease Control*. APS Press. 565-583

野菜・茶の「おいしさ」の評価研究の方向性

野菜の品質評価の現状と展望

堀江 秀樹

独立行政法人 農業・生物系特定産業技術研究機構野菜茶業研究所

The Present and the Future of the Quality Evaluation on Vegetables

Hideki HORIE

National Agriculture and Bio-oriented Research Organization

National Institute of Vegetable and Tea Science

キーワード：野菜，アミノ酸，糖，有機酸，食感，味，分析法

1 はじめに

新しい食材を紹介する健康番組がテレビ報道を賑わし、逆にいわゆる健康食品による健康の被害も後をたたない現代社会においては、国民の食と健康に対する異常なまでの関心の高さがみられる。一方で「健康のため野菜を多く摂取しよう」というキャンペーンを官民あげて実施してはいるものの、野菜の消費量はここ20年間減少傾向にあり、目標とする1日350gの摂取にははるかに及ばない状況にある。こうした状況のもとで、健康機能という新たな光をあてて、野菜にも消費者の注目を向けようというのも消費量増加に向けたひとつの方向ではある。しかしながら、野菜の健康効果については栄養ドリンクやポパイのハウレンソウのように食べればたちどころに元気が出るというものではなく、何十年か食べ続ければガンや生活習慣病のリスクが低下するといった効果なので、「健康のために野菜を食べよう」と聞かされ続けている国民に対して、機能性に関する新しい情報の呈示だけで、野菜への消費意欲を大幅に向上させるのは困難かもしれない。

一方で、食生活の中での野菜の位置づけを考えれば、肉や魚の添え物のように扱われているのが実情であり、野菜本来の香味や食感についての研究やPR活動が不十分であったように思われる。主菜にもなりうるおいしい野菜を提供できれば、肉類に奪われていた食の主役の座を奪い返し大幅な需要拡大が期待できる。また、脂肪や塩分の過剰摂取が問題となっているが、野菜本来の味がよければ、ドレッシングや調味料の使用を控えることにより、これらの摂取量が低減され国民の健康増進に寄与できる。

これらのことから、高品質でおいしい野菜の供給が

望まれるところであるが、従来野菜品質に絡む研究は主に外観や流通適性を中心に行われてきた。そこで、内質の研究が比較的進んでいる茶での品質研究と比較しながら、野菜の内質研究の問題点について整理し、おいしさを評価するための取り組みと方向性について述べる。

2 野菜と茶の内質評価の比較

茶については品質が価格に反映されてきたため、品質成分に関する科学的研究は盛んに行われてきた。さらに、品質を評価するための官能評価法も確立されている。これに対して、野菜の品質研究には多くの困難さが伴う。野菜と茶の品質研究について表1にまとめた。

茶について、例えば「二番茶と秋冬番茶とではどちらがおいしいか？」という問題があったとする。これに答えるには、同じ茶の樹から二番茶と秋冬番茶を製茶し、標準的な官能審査法に従い比較すればよい。茶は乾燥しているので、低温保存可能である。秋冬番茶が採れるまで二番茶を低温保存しておいて、あとは官能審査の要領で飲み比べればよい。審査員には100点満点の茶についてのイメージが共有できているので、複数の審査員で行っても審査結果は揃うものと考えられる。これを確認するために成分を比較するとすれば、アミノ酸の分析を行えばよい。品質のよい茶にはテアニンやアルギニンが多く含まれる¹⁾。

野菜について、例えば「夏のナスと秋のナスとどちらがおいしいか」という一見簡単そうな問題を解決しようとしても、実際はかなり難しい。ナスを夏と秋に収穫できるように、同一条件で栽培して品質を比較すればよいということになるが、品種や栽培方法が全く同じで、収穫時期のみが異なる栽培など容易ではない。また、夏に

表1 野菜と茶の品質研究の比較

	野菜	茶
摂取部位	根・茎・葉・花・果実等多様	新芽
種	多様	<i>Camellia sinensis</i>
家庭での主な摂取方法	生食（調味料使用）・多様な調理素材	主に浸出液の飲用
加工用ニーズ	漬物・総菜・冷凍食品・加工食品など多様	ドリンク・食品素材（茶ソバなど）・工業原料（カテキン入りフィルターなど）
官能評価パネル	品目や調理法等が多様なため専門パネルの育成や確保が困難	
官能評価用試料の均一性	個体や部位間の差をキャンセルすることが困難	試料を混合し均一化可能
官能評価の繰り返し	辛味やえぐ味の強い試料では繰り返しができない	比較的疲労は少ない
試料の保存	そのままの状態での保存は困難	窒素充填すれば低温で長期保存可能
品質指標	一部の果菜類では糖度や滴定酸度が用いられるが、品質と成分の関係が明らかでない野菜が多い	遊離アミノ酸（テアニン・アルギニン）・全窒素
特殊成分の入手	野菜の辛味等に関連する成分のうち市販されているものは少ない。ポリフェノール類についても配糖体として存在する 경우가多く、標準品の入手が困難	カテキン類なども安価ではないが購入可
香味成分	野菜に内在する以外に、切断等により酵素作用で生成するものも多い	葉に内在
物理性	食感は重要な品質構成要素であるが、数値化が遅れている。口腔内でのフレーバーリリースに関与する	上級茶の「とろみ」については未解明

収穫したナスと秋に収穫したナスを食べ比べようにも、夏に収穫したナスを秋まで保存できない。そこで、記憶に残った夏のナスの味を、現在食べている秋のナスの味と比較することになる。しなしながら、おいしさには食べる人の生理的条件も関与し、例えば夏場に食べるかき氷はおいしいが、同じかき氷を冬に食べたらおいしくない。同様に、全く同品質のナスでも、食欲の秋に食べれば夏バテした時よりもおいしく感じるかもしれない。あるいは、新米といしょに食べれば、どんなおかずもおいしく感じられるかもしれない。

仮に夏のナスと秋のナスの食べ比べができるとしても、生で食べるのではなく、どのように前処理（調理）するかが問題となる。漬物にする場合と、焼く時と、マーボーナスにする時とでは求められる品質要因は異なると考えられる。また味つけしなければ旨くないナスでも、醤油などを少し加えれば、味が格段によくなるかもしれないし、生では硬すぎるナスも煮れば美味かもしれない。

さらに官能評価する際にも、おいしいナスについてのイメージは各パネル毎に異なり、統計的に有意な審査結果を出すのは困難と思われる。その上、果実や部位ごとに性質は異なるため、仮に全く嗜好性が同じ（あるいはよく訓練された）パネルがいたとしても、たまたま口に入れた試料の特性によっては異なる結果が出される可能性もある。ジュサー等を用いてナスジュースの形に調製して比較すれば、比較する試料のばらつきはキャンセルされるかもしれないが、果実を噛むことによって果肉から放出されるエキスの味を味わうのと、ジュースを飲むのでは、感覚的に異なるものと考えられる。さらに当然のことであるが、ジュースでは食感の評価ができ

ない。

夏のナスと秋のナスを直接官能比較できないとすれば理化学的な評価をして数値を統計処理することになる。アミノ酸分析など行えば数値は出るが、どのアミノ酸が多い（少ない）のがおいしいのか解明されていない。さらにナスの場合食感も重要な要素であるが、物性の測定法として決まった方法はない。

このように「おいしさ」を評価する上では、茶は野菜よりも系として極めて単純であり、それ故食品産業をリードする先導的な研究が期待できる。野菜関係では、今後も香味については茶における先進的な手法を取り入れつつ、これに加えて物理性を中心に独自の評価手法の開発を続ける必要がある。

3 各種野菜のおいしさに関連する品質要素

野菜の品質指標として糖度が用いられることが多い。トマトやイチゴ、メロンなどの果菜類の一部では糖度が甘さの指標として一定の機能を果たしている。しかしながら、糖以外の成分を総体的に多く含む葉菜類については、糖度を官能的な甘さの指標にするには無理な場合もあり得る（例えばネギの甘味は糖度とは関係の低いことが示されている²⁾）。還元糖や全糖として糖含量を測定する場合があるが、前者ではショ糖が評価されない。果糖>ショ糖>ブドウ糖の順に甘味が低下することを考慮すれば、高速液体クロマトグラフィーなどを用いて糖組成として評価することが望ましい。

また、うま味（あるいは旨味）の指標としてアミノ酸の定量が行われる場合がある。研究例としてはトマト等

特定の野菜では比較的多いものの、他の野菜において公表されている個別アミノ酸の測定例は少なく、分析法等も一定ではない。アミノ酸の中でもグルタミン酸はうま味が強いので、多くの食品において重要視されるが、トマト以外の多くの野菜では味の弱いグルタミンの方が含量が高い。市販のアミノ酸分析計を用いる場合にはこれら2成分のピークが近接するため、分離に注意を要する。また、多くの報告では遊離アミノ酸含量が高いことが品質のよさと関連するよう期待して書かれているように思われるが、例えば、キュウリは貯蔵するにつれてうま味のあるグルタミン酸や甘味のあるアラニンが増加する。一方で、味の好ましさは当然低下することが官能的に評価されている³⁾。

有機酸については、トマト、イチゴなど一部の野菜では酸味との関係で重要と考えられる。一方、シュウ酸は腎結石の原因物質ともされ、またカルシウムの吸収も阻害するため含量は低い方が望ましい。サトイモではシュウ酸カルシウムの針状結晶がえぐみと関係するとされる⁴⁾が、ホウレンソウについては、針状結晶は観察されず⁵⁾、シュウ酸とえぐみの関係については多くの研究がなされているものの、えぐみのメカニズムや味とシュウ酸含量の関係について未だ十分に解明されているとはいえない⁶⁾。

野菜には糖や有機酸、アミノ酸以外にも特有の成分が含まれ、香味に大きな影響を与えている。ネギやタマネギには *alk(en)yl cysteine sulphoxide* が含まれ、組織が破壊されると、酵素の作用でこれらの成分から特有の辛み成分や香気成分を生成する。アブラナ科野菜の場合も、それぞれ特有の *glucosinolate* を含み、組織の破壊によって、辛味成分 *isothiocyanate* を生成する。辛味や香気の評価の上で *alk(en)yl cysteine sulphoxide* や *glucosinolate* の定量は必須であるが、一部を除きこれらの標品の入手は困難である。ただし、タマネギの場合には、酵素反応により生成する *pyruvate* を定量することにより、辛味や *alk(en)yl cysteine sulphoxides* のおおよその推定ができる⁷⁾。

キュウリの苦味成分として *cucurbitacin C* やレタスの苦味成分として *sesquiterpene lactones* が知られている。これらの成分含量の品種間差や栽培条件との関係について解析が求められるところであるが、標品の入手が困難で、分析法が確立されていないため研究は進んでいない。

野菜において、香りも重要な要素である。すでに多様な香気成分が同定されており、ニンジンにおいてはテルペン類、イチゴにおいてはエステル類などが重要とされる。ネギなどのアリウム属では、前述の *alk(en)yl cysteine sulphoxide* に酵素が作用することで、*disulfide* 類を生じ、これが特有のニオイを示す。ニンニクのニオイ成分 *diallyl disulfide* は *allicin* と呼ばれるが、それ以外のアリウム属野菜では *allicin* の生成量は少なく、多様な *disulfide* 組成を示す(ネギ、タマネギ等のニオイも *allicin* によるものと多く的一般書に記載されているが、野菜成分に関してはこういった誤解が多く、啓蒙活動

をしながら研究に理解を求めることも必要と思われる)。*alk(en)yl cysteine sulphoxide* の組成が野菜によって異なるためである。

上述のような野菜の化学成分研究については大きな困難はあるものの、分析機器の高度化に伴い今後高精度で省力的な手法の導入が期待される。一方で、杉山らが大学生を対象に野菜の嗜好イメージについてアンケート調査した結果、第1位にイメージした嗜好特性は、テクスチャー、味、香り、色が、生の場合それぞれ、35.6%、25.4%、10.4%、27.8%とされ、加熱の場合では、36.7%、29.4%、10.9%、24.2%と、野菜の嗜好特性のうちテクスチャーが最も重要とされる⁸⁾。しかしながら、テクスチャーあるいは食感に関する野菜の物理的な特性についてはここ数十年、手法的に大きな進展がみられない。多くの野菜で、円柱形のプランジャーを突き刺すことにより「硬さ」に関するデータを得ているのみである。野菜にとって食感是非常に重要であり、「硬い」か「柔らかい」かのような単純には表現できない部分が大きい。官能評価において、各野菜に適切な食感の評価用語を当てはめるとともに、このような評価項目を物理化学的に表現できるような手法を開発しなければならない。

4 野菜の品質評価法に関する展望

野菜を対象とする研究者が扱わねばならない野菜品目は多様であり、さらに地域特産野菜やスプラウト、ベビーリーフなど新しい利用形態の野菜や、いままでなじみのなかった外国野菜等に対する研究需要も拡大し続けている。その一方で、研究勢力の拡大は望めず、十分とはいえない国公立の試験研究体制のもとでは、品質に対しても精度測定など通り一遍の品質評価になりがちかと推測される。こうした中で、効率的に品質評価を行うには、優先的に評価すべき項目を定めることが重要である。例えば、レタスに含まれるカロテンはニンジンの数百分の1である。特殊な機能性を有するカロテノイドを発見しないかぎり、レタスのカロテン含量の品種間差を調べたとしても、研究のための研究にしかならないと思われる。抗酸化関連成分等についても近年分析例が増加しつつあるが、他の野菜や食品との比較や、摂取量を勘案した上で、どのような項目を優先的に評価すべきかランクづけが必要である。

おいしさの理化学的評価に関しても、単に分析のための分析を行うのではなく、官能評価結果をいかに数値化するかが重要と思われる。最近神田らは山口県の伝統野菜「田屋」ナスを「筑陽」ナスとの間で官能比較し、その結果を化学分析によって解釈している⁹⁾。野菜のおいしさを評価するうえで、ひとつの方向性を示すものといえる。

先にも述べたように、糖類は個別に分析することが望ましいが、有機酸の組成についても同様であり、例えば、

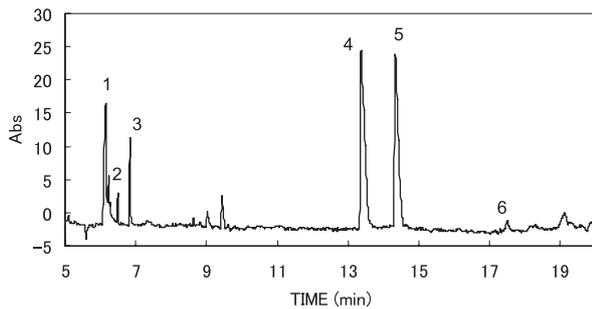


図1 キャピラリー電気泳動法によるトマト抽出液の測定
1: citric acid, 2: aspartic acid, 3: glutamic acid, 4: fructose,
5: glucose, 6: sucrose.

多くの野菜ではリンゴ酸が多いのに対し、トマトなど一部の野菜ではクエン酸が主になるなど、野菜の種類によって特徴があるからである。また、トマトのうま味にはグルタミン酸の関与が考えられる。このように糖、アミノ酸、有機酸について、可能なら個別に求めたいが、従来の方法ではそれぞれの分析に時間と労力を要する。堀江らは、キャピラリー電気泳動法を用いた成分分析を行い(図1)¹⁰⁾、1試料当たり40分あれば、有機酸、アミノ酸、糖についておおよその定量が可能であることを報告している。分析結果からは各成分の閾値なども考慮しながら、重要と思われる成分をピックアップできる。試料は、野菜ジュースを水で希釈し、メンブレンフィルターを通すだけなので、収穫・貯蔵あるいは調理したそのままの野菜について、一方で味見をしながら、その成分を分析できる。従来の研究方法では、試料は凍結乾燥や冷凍しておき、まとめて分析するという場合が多いが、この場合には、個々の試料の微妙な呈味特性については、記憶に残っていない。ここに示したような方法で試料を味わいながら分析できれば、味と成分の対応関係について明確化しやすいものと期待される。

キャピラリー電気泳動法は野菜の味評価において有力な手法とは考えられるが、糖度計のような手軽さがなく、糖度計に代わって現場でも使えるような手法の開発も期待される。堀江らは、キャピラリー電気泳動法などによる分析の結果、甘くておいしいキュウリについては糖含量が高いことを、またキュウリには果糖とブドウ糖が等量含まれていることを認めている。キュウリの甘味には果糖の寄与が大きいと推測されるが、ブドウ糖を定量できれば、果糖量は推定できる。そこで、糖尿病患者が血糖値をモニターするためのセンサーの利用による迅速・簡便な測定を試み、キュウリ果汁中のブドウ糖の定量に成功している¹¹⁾。このようにおいしさの指標となるような重要成分が解明できれば、それを簡便・迅速に評価できる手法の開発に繋げることが重要である。

無機イオン、有機酸、アミノ酸、糖類など標品が入手しやすいものについては、高速液体クロマトグラフィーが普及した今日において、分析は簡便・容易になりつつ

あり、さらに前述のキャピラリー電気泳動法等新しい分析法の導入により、分析のさらなる簡便化が期待できる。しかしながら、野菜の辛味成分や苦味成分の多くは、試薬として入手困難である。そこで、堀江らはキュウリ葉から苦味成分 cucurbitacin C を精製し、高速液体クロマトグラフィーにより、品種や果実の部位間差異について解析を開始した¹²⁾。他の特殊成分についても、分析法が確立され、標準品が入手できれば研究が飛躍的に進展するものと期待される。このような成分については、大学も含めて全国的に組織的に分業体制をとることによって、標準品と標準的な分析法の共有化が望まれる。

野菜の香りの評価については、イチゴ¹³⁾やメロンの香気成分なら、ヘッドスペースガスを濃縮すれば、比較的簡単に分析・評価できるかもしれない。一方で、キュウリでは、(E,Z)-2,6-nonadienal と (E)-2-nonenal を主要な香気成分とするが、これらは組織が破壊されたときに linoleic acid と linolenic acid が急速に分解されて生じる¹⁴⁾。ネギやタマネギの disulfide 類にしても、組織の破壊によって生成する。従って香気の品種間差等を評価する場合には、破碎して発生する香気成分を収集し分析することになり、おいしさを品種間や栽培条件間で比較するには、定量性や再現性をいかに高めるかが問題である。

さらに野菜では、食感あるいはテクスチャーに対する要望も香味と同等かそれ以上に大きい。テクスチャーの評価法として、ヒトに噛ませて筋電図等で計測する手法もある¹⁶⁾が、被験者間で歯型や咀嚼の仕方が異なるため、品種間差の評価等に用いるには限界がある。当面の間は従来の咀嚼を模した機器を利用した方法が、食感評価の主力となる場面が多いと考えられる。成分分析法については、野菜品目間で共通の手法が使用できるが、テクスチャーについては品目毎にあるいは調理・加工等に依りて、官能的な食感を表現するのに最適な方法を選択する必要がある。プランジャーを突き刺す時の最大応力を測定する方法が多くの野菜で採られてきたが、品種間の微妙な食感の相違を表すにはこれでは十分ではない。堀江らは、キュウリを噛むとき、最初に歯がくい込む時よりも、それに続いて果肉部が破壊される時の方が、歯切れ感に関連するように考えた。そこで、プランジャーが果肉中に突き刺さる間にかかる力の変化を Crispness Index (CI) として表現することを試みた¹⁷⁾。CIがある程度高いキュウリの方がパリパリという歯切れ感が楽しめる。一方トマトにとっては粘粉質が重要な品質要素である。完熟トマトのジューシーさを表現するのに、伊達らは Cellular Integrity Test¹⁸⁾を提案しているが、物性測定機器を用いない点で興味深い方法である。このように、各野菜やその利用目的毎に要求される食感を数値表現するための手段を、それぞれの野菜について考案する必要がある。

先に述べたように野菜は個体間や部位間で均一ではないため、体系的な官能評価には大きな困難を伴う。従っ

て細かいデータの積み上げは物理化学的な数値を統計処理することによりなされる場合が多いと予想される。しかしながら、得られた数値は単なる指標のひとつであり、おいしさとして総合的に評価できるのはヒト以外にない。おいしさの指標の設定から品種毎のおいしさの比較などの各段階で適切な官能評価は必須となる。それぞれの野菜についておいしさを客観的に評価できる分析型パネルの育成も今後必要になるものと考えられる。

以上のことから限られた予算・労力のもとでおいしい野菜を開発するには、まず研究機関の分業により、1種類の野菜について研究者が集中的に研究できる環境を設けることが必要であろう。各研究者は、各種野菜の特性に応じた官能評価試験を設定し、その結果を数値化するための理化学評価法を選定することになる。選定された手法は、他の研究者や関係者との議論の中から標準化され、他の研究者も使えるような形でマニュアル化される必要がある。また、野菜の呈味成分のなかには市販されていないものも多く、これらについても全国的な分業体制のもとで成分を精製あるいは合成し、必要とされる機関に供給できる体制が望まれる。このような共通の手法によって得られた指標を元に、全国的な規模で育種や栽培試験が展開されれば、切磋琢磨の中から香味や食感に特徴のある野菜の誕生が促進されるものと期待される。

摘要

野菜のおいしさに関する研究は非常に困難が多い。茶の品質研究とも比較しながら、野菜のおいしさに関連する研究の現状と問題点を総括し、さらにおいしさを評価するための新しい手法を紹介した。限られた労力と予算の中でおいしい野菜を開発するには、まず各野菜毎においしさの評価法の標準化に取り組む必要がある。

引用文献

- 1) 向井俊博・堀江秀樹・後藤哲久, 1992. 煎茶の遊離アミノ酸と全窒素の含量と価格との関係について. 茶研報, 76: 45-50
- 2) 本居総子, 2005. 分析型パネルによるネギの食味スコアと機器分析値との関係. 農流技研会報, 263: 14-16
- 3) 中町敦子・吉川光子・香西みどり・畑江敏子, 2002. キュウリ呈味成分の分布と貯蔵変化および味との関係. 日調科誌, 35: 234-241
- 4) 田中正信・中島寿亀・森 欣也, サトイモ組織内におけるシュウ酸カルシウム結晶の形成及びその分布, 2003. 園学雑, 72: 162-168
- 5) 藤原 勲, 1990. ホウレンソウおよびその近縁種におけるシュウ酸カルシウム結晶の外観と所在. 永原学園西九州大学佐賀短期大学紀要, 20: 145-152
- 6) Horie, H. and H. Ito, 2004. Oxalate in tea and spinach. Proceedings of 2004 International Conference on O-Cha (tea) Culture and Science, 274-275, Shizioka
- 7) Crowther, T., H. A. Collin, B. A. Smith, B. Tomsett, D. O'Connor and M. G. Jones, 2005. Assessment of the flavour of fresh uncooked onions by taste-panels and analysis of flavour precursors, pyruvate and sugars. J. Sci. Food Agric, 85: 112-120
- 8) 杉山法子・鈴野弘子・三好恵真子・澤山 茂・川端晶子, 1993. 野菜の官能特性の評価. 調理科学, 26: 315-326
- 9) 神田知子・高橋須眞子・重藤祐司・内藤雅浩・刀祢茂弘・安藤真美・足立蓉子・島田和子, 2005. 山口県伝統野菜「田屋」ナスの嗜好特性. 日調科誌, 38: 410-416
- 10) 堀江秀樹・伊藤秀和・一法師克成・東 敬子・五十嵐勇, 2002. キャピラリー電気泳動法を用いた野菜呈味成分の同時分析法. 第22回キャピラリー電気泳動シンポジウム要旨集, 83-84
- 11) 堀江秀樹・伊藤秀和・坂田好輝, 2005. キュウリのおいしさ評価法の開発. 3. おいしさの簡易評価. 園学雑, 74(別2): 568
- 12) 堀江秀樹・伊藤秀和・一法師克成・東 敬子・坂田好輝・五十嵐 勇, 2004. キュウリのおいしさ評価法の開発. 2. 苦味成分. 園学雑, 73(別2): 519
- 13) Azodamlou R.C., C. Darbellay, J.-L. Luisier, J.-C. Villettaz and R. Amado, 2003. Quality assesment of strawberries (Fragaria Soecies). J. Agric. Food Chem, 51: 715-721
- 14) 畑中顕和, 1975. においの発現, 青葉アルコールに関する研究. 香料, 111: 37-44
- 15) Palma-Harris C., R. F. McFeeters and H. P. Fleming, 2001. Solid-phase microextraction (SPME) technique for measurement of generation of fresh flavoe compounds. J. Agric. Food Chem, 49: 4203-4207
- 16) 神山かおる・中山裕子・福田節子・檀 はるか・佐々木朋子, 2003. 薄切りキュウリにおける咀嚼量の増加. 食科工, 50: 339-343
- 17) 堀江秀樹・伊藤秀和・一法師克成・東 敬子・五十嵐 勇, 2004. キュウリ果肉部の物理性評価方法の開発. 園学研, 3: 425-428
- 18) 伊達修一・山崎亜希・並木隆和, 1997. cellular integrity test を応用したトマト果肉における紛質性の簡易測定法. 園学雑, 66(別2): 736-737

日本茶の品質評価の現状と展望

山口 優 一

独立行政法人 農業・生物系特定産業技術研究機構野菜茶業研究所

Quality Evaluation of Japanese Green Tea

Yuichi YAMAGUCHI

National Agriculture and Bio-oriented Research Organization

National Institute of Vegetable and Tea Science

キーワード：茶，煎茶，品質評価，官能検査，審査用語

1 緒言

茶は中国を起源とする飲料であり，その味わいや機能性については神代から知られていたとされる．中国における最も古い系統的な茶の専門書として，唐代の8世紀に陸羽が記した茶経がよく知られており，これには茶の栽培，摘採，製造法から飲用法，茶器など広い範囲の記述がなされており，当然その善し悪し（いわゆる品質）についてもふれられている．

ヨーロッパとアジアの本格的な交易が始まった16世紀以来，一貫して茶は主要な貿易産品であり，世界の近代史に大きく影響を与えた．今日，世界中で地域ごとに緑茶，紅茶をはじめとする様々な種類のお茶が広く飲用されているが，これはそれぞれの民族の嗜好を反映したものである．たとえばヨーロッパの場合，交易が始まった当初はもっぱら緑茶が好まれたが，紅茶が出現してからはそれに砂糖を加えて飲用するスタイルが急速に定着し，18世紀には中国からの輸入はほぼ完全に紅茶に置き換わっている．消費者の嗜好が反映された結果といえよう．

一方，茶が日本に伝来したのは，茶経が記されたのとはほぼ同時期とされる．その後，日本の茶は独自の発展をとげ，室町から戦国時代には茶道としての精神文化にまで到達した．茶道は，独特の礼儀作法や茶室，茶道具などを要素とし，いわゆる侘・寂（わび・さび）を精神とする総合芸術であるが，その中心には「抹茶」を味わうという基本的な目的があったはずである．茶道は大名をはじめとする特権階級の茶であったが，江戸時代中期には京都の宇治で煎茶の手揉み製法が発明され，急速に庶民の間に飲茶が普及した．幕末には茶の海外への輸出が始まり，明治から第二次大戦後までの間，重要な輸出産品としての地位を占めることになる．それにともない，茶の製造方法についても，機械化・大量生産化がすすみ，

流通形態も整備されて今日に至っている．

以上のような世界・日本における茶の発達，変遷をみると，その根底には機能性ととも嗜好性や品質が大きく関与している．古い食品であるためと思われるが，茶の品質評価法には特徴的な点が多々あり，良い点，悪い点ともに他の食品における品質評価にも何らかの示唆を提供することができるものと思われる．そこで，本稿では現在日本で行われている茶の官能検査法を中心に解説する．

2 日本茶の流通形態と品質評価

日本茶はいわゆる加工食品の一つであるが，その生産・流通の形態に若干一般的な加工食品とは異なる特徴がある．茶の官能検査法は通常の食品にくらべてかなり統一されているが，そこには茶の生産・流通の特徴が反映されているものと思われる．

チャは永年生の樹木であり，その新芽を乾燥・成型したものが製品としての茶である．摘採された茶芽はすぐに加工する必要があるため，通常製茶工場は茶園に隣接している．製茶を実施するのは生産者であり，ここで製造されるものが荒茶である．荒茶は5%程度の水分を含み，主体となるいわゆる本茶のほかに，茎や粉なども含むやや雑ばくなものである．産地で製造された荒茶は，多くの場合茶市場に搬入され，ここで競売がなされて流通業者の手に渡る．流通業者には様々な業態があるが，単に荒茶を小分けして小売りするのではなく，荒茶の再製（いわゆる仕上げ）を行った上で製品の特徴，価格に基づいてブレンド（合組）した後個別包装し，小売りに回される．荒茶の再製には，選別，火入れ，合組の工程があり，流通業とはいえそのような再製工場を有する業者が大半である．その意味で，茶の流通業者は二次加工

業者でもある。

荒茶は、生産者からみれば生産物であり、流通業者からみれば仕上げ茶を製造するための素材である。荒茶の品質は、産地や生産者が同じでも、天候等の条件により一定ではないため、求める仕上げ茶を作るためには、仕入れる荒茶の品質も厳密に吟味されなければならない。そのような場を提供するのが茶市場の役目であり、官能検査の手法も茶市場で発達してきたといえる。単に値をつけて競り落とすのであれば官能検査法の統一は不要と思われるが、取引の透明性を確保するためには重要である。生産者にとっても、なぜ自分の製造した荒茶の値段が低いのかといった根拠を示されれば、次年度以降の製造方法の改善にもつながるのである。

3 日本茶の官能検査方法

上記のように、茶の官能検査法は茶市場での商取引から発展したものであり、さらにそれを厳密に定め審査基準としたものが品評会における審査方法である。ここではまず、荒茶の品評会である全国茶品評会¹⁾での審査基準と審査方法を中心に解説し、その後、研究場面での審査方法に言及する。

3.1 審査項目

茶の審査項目には外観、香り、水色、滋味の4項目がある。外観は一定量の茶を審査盆に載せて評価する。香り、水色、滋味は外観に対して内質と総称され、茶葉に湯を注いでから評価するものである。当然、外観、内質ともに優れたものが優良品となるが、その配点比率は品評会の種類によりやや異なり、それは審査対象とする茶の性質や、品評会の目的などにより決定される。たとえば、「手揉み茶品評会」では手揉み技術の高さが茶の外観に反映されることから、外観の比率が高い配点となる。全国茶品評会の場合は表1のような配点となっており、茶種によって若干異なるが、全体的に内質重視の配点といえる。

実際の審査では、審査項目ごとに出品茶を点数の高いものから並べ換えた上で一つ一つに付点し、合計をもって順位を決定する。最終的な付点は、審査員の合議制により決定する。合計が同点の場合は、内質の得点の多い

ものを上位に、内質の得点が同点の時は、香气と滋味の合計が多いものを上位として、以下、滋味の得点の多いもの、香气の得点の多いもの、水色の得点の多いものの順とする（全国茶品評会の場合）。

多くの品評会では、はじめに外観審査を行い、外観審査評点の高いもの順に並べ換えた上で内質審査を行う。茶の場合、総じて外観の優れたものは内質も高く、多点の内質審査では茶の並べ換えが煩雑であることから、この方法は審査の能率化につながるものである。

3.2 審査方法の詳細

外観については、茶を黒色の審査盆に載せ、形状と色沢を評価する（図1）。この時、審査会場の採光には充分注意する必要がある。特に、場所により光の条件が異なっている場合は公平な審査ができない。

香りについては、均等に計り取った茶葉3gを審査茶碗に入れ、熱湯を注いだ後、掬い網で茶葉を持ち上げて匂いを嗅ぎ審査する。水色・滋味については、18メッシュのネットカップを用い、熱湯注入後、普通煎茶で5分、玉露で6分間浸出して評価する。水色については、外観同様、光の条件によって色の見え方が大きく異なるので注意が必要である。さらに、審査用の水の水質も適切なPH、硬度である必要がある。事前に水質検査を行って公表することとなっている。また、滋味と水色については沸騰後の加熱時間によっても影響を受けるので、これも3~5分程度に揃える必要がある。図2に茶の審査に用いられる審査茶碗、ネットカップ、掬い網の写真を示す。

3.3 各項目の評価基準と付点

表2に全国茶品評会における「普通煎茶」の、表3に「玉



図1 審査盆による外観審査



図2 内質審査に用いられるネットカップ（左）と掬い網（右）

表1 全国茶品評会における配点基準

茶種	内質				外観	合計
	香り	水色	滋味	から色		
普通煎茶	75	30	75		20	200
深蒸し煎茶	70	30	80		20	200
かぶせ茶	70	30	70		30	200
玉露	65	30	65		40	200
てん茶(碾茶)	65	20	65	10	40	200
蒸し製玉緑茶	75	30	75		20	200
かまいり製玉緑茶	75	30	75		20	200

露」の審査基準を示す。各審査項目毎に基準が定められているが、「評価基準」の欄に記述されているものがいわゆる理想的な茶の定義であり、チェック項目に記述されているのが欠点となる用語である。付点は、基本的に、理想的なものを満点とし、欠点項目に当てはまるものを下げる、いわゆる減点法で行われる。下げる場合の点数度合いについては、その欠点の程度により勘案され、その意味では、絶対評価的な付点といえる。出品数が多い場合は、似たもの同士をグループにし、グループ毎に付点される。下位のものについては、減点の理由となった減点項目を付して公表する。

3.4 研究場面での官能検査方法

日本における茶業研究は、1896年に東京西ヶ原に農商務省製茶試験所が設立されて以来、100年以上の歴史があり、育種、栽培、加工の分野で数々の研究が行われてきた。茶業研究においては、あらゆる技術開発の場面

で茶の品質検査がまず第一に重要であり、熟練した研究員が官能検査を担当してきた。研究場面における茶の官能検査方法も、品評会で行われている方法と基本的には同一であり、欠点項目も同様であるが、付点の方法については研究上の目的であることからさらに統一されている。以下に、野菜茶業研究所で行われている標準審査方法の概略を説明する。

審査項目は、形状、色沢、香気、水色、滋味の5項目とする。すなわち、品評会と比べて、外観が形状・色沢に分割されている。各項目の点数配分は20点とし、したがって、総合評価の合計は100点満点となる。付点方法は原則的に絶対評価とし、概ね下の区分にしたがう。

優	17.0以上	品評会で入賞するようないわゆるまれ物
良	16.5～14.0	市場で上級品として扱う茶
普通	13.5～11.0	市場で最も多い茶

表2 全国茶品評会における「普通煎茶」の審査基準

項目	評価基準	チェック項目
外観	形状	◎減点項目 i 形状 ・大形・伸び不足・縮り不足・扁平 ・不ぞろい・破碎・雑ばく ii 混入 ・粉・茎・硬葉・黄葉・浮葉 ・小玉 iii その他 ・仕上げ風
	色沢	◎減点項目 i 形状 ・大形・伸び不足・縮り不足・扁平 ・不ぞろい・破碎・雑ばく ii 混入 ・粉・茎・硬葉・黄葉・浮葉 ・小玉 iii その他 ・仕上げ風
香気	①爽快な若芽の香りのあるもの ②新鮮味のある香りのあるもの	◎減点項目 ・かぶせ香・青臭・硬葉臭・茎臭 ・火香・こげ臭・むれ臭・萎凋臭 ・葉いたみ臭・湿り臭・変質臭・煙臭 ・油臭・移り臭・異臭
水色	黄緑色で明るく澄み、濃度感のあるもの	◎減点項目 i 色調 ・にごりのもの ・青にごりのもの ・薄いもの ・黄色で濃度感のないもの ・沈さの多いもの ii 水色 ・赤み・赤黒み・黒み・青黒み ・青み・黄色み iii その他 かぶせ風
滋味	①甘み、渋味、苦味と旨味が適当な濃さで調和したもの ②舌にまろやかに当たり喉越しがよいもの ③口の中に清涼感を与えるもの	◎減点項目 ・かぶせ味・青臭味・硬葉味・茎味 ・苦味・苦渋味・渋味・淡泊・雑味 ・火入れ味・こげ味・むれ味・萎凋味 ・葉傷み味・湿り味・変質味・煙臭味 ・油臭味・移り味・異味

表3 全国茶品評会における「玉露」の審査基準

項目	評価基準	チェック項目
外観	形状 ①縮りがよく細よれで良く伸びたもの ②芽揃いが良いもの ③手のひらにのせて重量感のあるもの	◎減点項目 i 形状 ・大形・伸び不足・縮り不足・扁平 ・不ぞろい・破碎・雑ばく ii 混入 ・粉・茎・硬葉・黄葉・浮葉 ・小玉 iii その他 ・仕上げ風
	色沢 ①冴えて、鮮やかな色合いで、鮮緑色または濃緑色のもの ②光沢があるもの	◎減点項目 i 形状 ・大形・伸び不足・縮り不足・扁平 ・不ぞろい・破碎・雑ばく ii 混入 ・粉・茎・硬葉・黄葉・浮葉 ・小玉 iii その他 ・仕上げ風
香気	①覆い香（海苔様の香り）があり新鮮み（煎茶、かぶせ茶のミル芽香*でなく覆い香と一体のもの）と良く調和したもの ②温和な甘い香りが豊かで持続性のあるもの	◎減点項目 i 香気 ・覆い香不足・青臭・硬葉臭・茎臭 ・火香・こげ臭・むれ臭・萎凋臭 ・葉いたみ臭・湿り臭・変質臭・煙臭 ・油臭・移り臭・異臭 ii その他 ・普通煎茶風・かぶせ茶風
水色	①色調の明るいもの ②色あいは、煎茶やかぶせ茶よりやや淡く（着色程度または彩度が小さい）まろやかな滋味を感じる濃度感のあるもの	◎減点項目 i 色調 ・色調の暗いもの・にごりのもの ・青にごりのもの・薄いもの ・沈さの多いもの ii 水色 ・赤み・赤黒み・黒み・青黒み ・黄色み iii その他 かぶせ茶風
滋味	①覆い味と旨味や新鮮み（煎茶、かぶせ茶のミル芽香*でなく覆い味と一体のもの）が良く調和した温和なもの ②舌触りがまろやかな感じの濃度感のあるもの	◎減点項目 ・かぶせ味・青臭味・硬葉味・茎味 ・苦味・苦渋味・渋味・淡泊・雑味 ・火入れ味・こげ味・むれ味・萎凋味 ・葉傷み味・湿り味・変質味・煙臭味 ・油臭味・移り味・異味

*ミル芽香・ミル芽味：熟度の若い新芽特有の良質な香気・風味

やや劣る 10.5～8.0 市場で下級品として取り扱う茶
劣る 7.5 煎茶であっては柳もしくは番茶に近いもの

このように付点することにより、研究実施機関や研究者が異なっても、点数をみればどの程度の茶であるかが想像できる。ただし、最近では試験研究機関の体制が昔と異なり、標準審査法による評価が困難になりつつある。

3.5 茶の審査用語の特徴

表1、表2に普通煎茶と玉露における審査用語を示したが、茶は伝統食品であることから、歴史的経緯により定められた特殊な用語がきわめて多い。また、香気と滋味を比べると重複した特徴を示す用語が多いが（例えば、「かぶせ香」と「かぶせ味」、「青臭」と「青臭味」など）、

これは滋味であっても舌のみではなく、鼻で感ずる風味を含めて審査しているためである。

全体的に、本表で詳細に定められている用語の多くは欠点用語であり、良い評価となる用語は少ない。品評会によっては、良好な形状として「細よれ」「丸よれ」、色沢として「濃緑」「鮮緑」「つやあり」、香気として「新鮮香」「ミル芽香」「温和」、水色として「濃厚」、滋味として「うま味」「こく」「濃厚」「爽快味」といったいわゆるほめ言葉を上位の出品茶に付することがあるが、あまり一般的ではない。欠点用語が多い理由として、茶の審査用語が、いわば茶を安価に仕入れることに主眼を置く、流通業者の側から定められたものであることによるものと考察される。このように、欠点用語が重視されるというのは生産者にとっては厳しいが、それぞれの欠点には表4のような原因があり、欠点を指摘されることにより摘採

時期のあり方や、製茶における問題点などを考察することが可能となり、より高品質な茶生産には大いに役立つものである。

3.6 審査員間での一致について

上記のように、日本茶の官能検査においては審査基準や欠点を表現する用語がかなり整備されており、これは日本のみならず世界的にみてもかなり希有な食品ではないかと思われる。しかしながら、いかにこのような点が整っていても、パネル間でのばらつきがあっては無意味である。当然、品評会はそれなりの実務経験のある者を審査員とし、茶市場での仕入れにおいても各社の熟練した担当者が判断を行っているが、実際に適切な判断がなされているかを常に検証しているわけではない。外観、水色のように視覚による項目は審査員間での感覚の共有が可能であり、ある程度審査員としての教育も行いやすいが、香気、滋味についてはそれが困難であり、経験により感覚を磨くしか上達の道がない。重松らは、緑茶の審査経験者5名をパネルとして、香気審査用語のキャラクターゼーションを試みた²⁾。その結果によれば、マイナス要因の匂い用語についてはパネリスト間でそのイメージに関してややばらつきが大きく、プラス要因の用語の方がイメージの一致が良好であったとされている。

実際の品評会などでは、最終的な付点を審査員の合議制により決定するものもこのような感覚のばらつきが予想されるためである。

3.7 現在の茶審査における問題点

上記のように、伝統的な茶の審査は欠点の検出による減点法によるものである。近年、特に高級茶や品評会の上位入賞茶の香りが薄いと指摘されることがあるが、この原因として減点法による審査方法も関与しているのではないかと思われる。また、現在日本の茶栽培においては茶品種の一つである‘やぶきた’が大半を占めていることから、茶市場でも品評会の現場でも‘やぶきた’の香りが事実上の標準となっており、特有の香りを有するような品種等は評価されにくい傾向がある。結果的に茶全体の香味に個性が無くなっていることが、最近多くの消費者から指摘されている。そのため、もう少しプラスの評価項目を増やせないかとの意見も品評会等の場でしばしば提起されるが、伝統食品であるが故になかなかコンセンサスを得ることが難しいのが現状である。

4 客観的品質評価の試み

官能検査はパネルの選定や手法の選択などに多大な労

表4 茶の審査用語と生産上の問題点との関係（煎茶と玉露の主な項目）

◎ 原料葉の特性によるもの	
○ 摘採時期が遅い、いわば硬葉を用いたことに起因するもの	外観：・大形・扁平・茎 色沢：・浅色 香気：・硬葉臭・茎臭 水色：(場合により)・青み 滋味：・硬葉味・茎味・苦味・苦渋味・渋み
○ 摘採後の茶葉の保管や取り扱いが不適切だった場合	外観：・赤み 香気：・萎凋臭・葉傷み臭 滋味：・萎凋味・葉傷み味
煎茶であるのに摘採前に過度の被覆を行った場合	色沢：・かぶせ茶風 香気：・かぶせ香 滋味：・かぶせ味
玉露であるのに被覆が不足または肥培管理に問題がある場合	色沢：・かぶせ茶風 香気：・覆い香不足・普通煎茶風・かぶせ茶風 水色：・かぶせ茶風 滋味：・覆い味不足
◎ 製造上の問題によるもの	
○ 蒸し不足の場合（程度により欠点の性質が異なる）	香気：・青臭・萎凋臭・異臭 水色：・赤み 滋味：・青臭味・萎凋味・異味
○ 煎茶で生葉を過度に蒸した場合	形状：・破碎 色沢：・飴色 水色：・にごり・赤み
○ 製造中、比較的高水分含量の時に茶葉の温度が上昇した場合	色沢：・赤み・赤黒み・黒み 香気：むれ臭 水色：・赤み・赤黒み・黒み 滋味：むれ味
○ 製造中、低水分含量の時に茶葉の温度が甚だしく上昇した場合、あるいは故意に火入れした場合	色沢：・赤み 香気：・火香・こげ臭 水色：・赤み 滋味：・火入れ味
○ 煎茶としての成型工程（主に精揉）において荷重のかけ方等に問題がある場合	形状：・伸び不足・縮り不足・扁平・不ぞろい・破碎・雑ばく・小玉 色沢：・白ずれ・つや不足 水色：(場合により)・にごり
◎ 荒茶の保管方法に問題のあるもの	
○ 保存温度が高い場合あるいは空気中で長期保存した場合	色沢：・赤み 香気：・湿り臭・変質臭 水色：・赤み 滋味：・湿り味・変質味
○ 保存中に茶が他の香りを吸着した場合	香気：・移り臭・異臭 滋味：・移り味・異味

力を要し、パネル間でのばらつきも避けられないことから、成分分析による品質の客観的評価は食品化学における一つの大きな目的であるといえる。茶においてもそのために数多くの研究がなされてきた。ここでは比較的最近の文献を紹介するにとどめる。

煎茶の場合、品質（いわゆる上級・下級）や価格に関しては、おおむね全窒素含量および遊離アミノ酸含量と正の相関があり、カテキン類等のいわゆるタンニン、中性デタージェント繊維含量と負の相関があることが報告されている^{3~8)}。特に遊離アミノ酸とカテキン類については、一般的に前者はうま味を、後者は苦渋味を呈する成分であることから、滋味と関連していることは想像できる。実際に、茶の品質評価手法として近赤外分光法による全窒素・アミノ酸と中性デタージェント繊維の分析法が実用化されており、生産・流通の現場にも導入されている。ただし、両者とも茶葉の熟度と相関する成分であり（熟度の若い芽ほどアミノ酸含量が高い）、品質の指標としては有効であるが、必ずしも茶の滋味をすべて説明できるとは限らない。

直接滋味に影響する成分を特定する試みとして、中川らの数多くの研究があり、その結果は、茶の滋味は複数成分のバランスによるものであることを示唆している⁹⁾。近年では、堀江らがシュウ酸とペクチンの滋味への関与について報告している¹⁰⁾。本報告によれば、茶浸出液中のシュウ酸は閾値を超える濃度であり、一方可溶性ペクチンは苦渋味を抑制することを認めている。同一の茶葉、すなわちアミノ酸やタンニンの含量が全く同じ茶葉を用いても、若干の製茶条件の違いで渋みに大きな差が出る事が多い。このような滋味の差を説明するためには、アミノ酸やタンニンのみではなく、堀江らの報告のような新たな成分に着目する必要があることは明らかである。

もう一つ重要な内質成分として、香气成分がある。茶の香气成分研究の歴史は古く、緑茶、紅茶、ウーロン茶を含めると数百の香气成分が同定されている¹¹⁾。煎茶の審査用語と対応させると、萎凋と関連する成分（テルペン類等）¹²⁾、火香と関連する成分（ピラジン類等）^{13,14)}、貯蔵臭と関連する成分（直鎖アルデヒド、アルコール類等）¹⁵⁾などが報告されている。滋味の場合と同様、これらの成分が直接香气に関与しているかどうかは必ずしも明らかではないが、指標としては利用可能と思われる。最近では、新たな香气成分捕集法の開発や分析機器の性能の向上により、少量の試料からでも香气成分の定量分析が可能となり、茶の等級¹⁵⁾や茶芽の熟度と香气成分組成の関係¹⁶⁾、緑茶の香气に関与する香气成分の同定^{17,18)}などが報告されている。茶の品質と香气成分組成との関係がさらに解明されれば品質評価法としてきわめて有効と思われるが、その濃度がきわめて低いため、流通現場での利用はきわめて困難なのが現状である。

摘要

日本茶は伝統飲料であり、その生産・流通形態に他の加工食品と異なる特徴を有することから、比較的古くから官能検査法やそこで用いる審査用語が整備されている。茶の審査は、外観、香气、水色、滋味の4項目についておこなわれ、それぞれに審査用語が定められている。審査用語の多くは欠点項目を示すものであり、審査では欠点項目に基づき減点法で付点される。茶の客観的な品質評価方法としては、近赤外によるアミノ酸含量、タンニン含量の測定などが実用化されている。ただし、茶の滋味・香气と化学成分組成との関係についてはまだ不明な点が多いのが現状である。

引用文献

- 1) 第58回全国お茶まつり愛知大会事務局. 2005. 第58回全国お茶まつり愛知大会実績 報告: 48-56
- 2) 重松洋子・下田満哉・吉武清晴・箆島 豊. 1991. 緑茶香气の官能検査データの多変量解析. 日食工誌. 38 (4): 309-315
- 3) 向井俊博・堀江秀樹・後藤哲久. 1992. 煎茶の遊離アミノ酸と全窒素の含量と価格との関係について. 茶研報. 76: 45-50
- 4) 後藤哲久・堀江秀樹・向井俊博. 1992. 全国茶品評会入賞茶の化学成分(1). 茶研報. 76: 27-32
- 5) 後藤哲久・堀江秀樹・向井俊博. 1993. 全国茶品評会入賞茶の化学成分(2). 茶研報. 77: 23-28
- 6) 後藤哲久・堀江秀樹・向井俊博. 1993. 全国茶品評会入賞茶の化学成分(3). 茶研報. 78: 29-35
- 7) 後藤 正・小林和郎・松田浩明. 1993. 静岡県茶品評会出品茶における茶種別の測色値、全窒素、及び中性デタージェント繊維と官能審査点との関係. 茶研報. 77: 57-62
- 8) 後藤哲久・吉田優子・天野いね・堀江秀樹. 1996. 市販緑茶の化学成分含有量. Food & Food Ingredients Journal of Japan. 170: 46-52
- 9) 中川致之・阿南豊正・石間紀男. 1981. 緑茶の味と化学成分との関係. 茶試研報. 17: 69-123
- 10) 堀江秀樹・木幡勝則. 1999. 茶の味成分に関する新たな検討. 日本味と匂い学会誌. 6 (3): 665-668
- 11) Yamanishi, T. 1995. Flavor of tea. Food Rev. Int. 11 (3): 477-525
- 12) 久保田悦郎・堀田 博・原 利男. 1989. 中国産ウーロン茶と日本産半発酵茶の香气成分の比較. 茶研報. 69: 35-41
- 13) 原 利男. 1989. 緑茶の加熱香气成分とオフ・フレーバー成分に関する研究. 野茶試報告. B3: 9-54
- 14) 久保田紀久枝・糸内智美・小林彰夫・大澤芳夫・中嶋年朗・岡本義明. 1996. 火入れ工程におけるマイクロ波加熱処理の製茶風味成分への関与. 日食工誌. 43: 1197-1204
- 15) Shimoda, M., Shigematsu, H., Shiratsuchi, H. and Osajima, Y. 1995. Comparison of Volatile Compounds among Different Grades of Green Tea and their Relations to Odor Attributes. J. Agric. Food Chem. 43: 1621-1625
- 16) 小柳津勲・下田満哉・松本 清・後藤 正. 2002. 茶芽の熟度による緑茶香气成分の変化. 日食工誌. 49: 327-334
- 17) Kumazawa, K. and Masuda, H. 1999. Identification of Potent Odorants in Japanese Green Tea (Sen-cha). J. Agric. Food Chem. 47: 5169-5172
- 18) Kumazawa, K. and Masuda, H. 2002. Identification of Potent Odorants in Different Green Tea Varieties Using Flavor Dilution Technique. J. Agric. Food Chem. 50: 5660-5663

野菜茶業研究集報 第3号 (最終号)

2006年(平成18年)3月30日 発行

発行者 独立行政法人 農業・生物系特定産業技術研究機構 **野菜茶業研究所**

所長 門 馬 信 二

〒514-2392 三重県津市安濃町草生 360

360 Kusawa, Ano, Tu, Mie, 514-2392 Japan

Tel (059) 268-4626 (情報資料課)

Fax (059) 268-3124

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

印刷所 伊藤印刷株式会社 三重県津市大門 32-13

Tel (059) 226-2545 Fax (059) 223-2862

E-mail: ito-pt@zvtv.ne.jp

