

野菜茶業研究集報

Proceedings of Vegetable and Tea Science

- 野菜研究成果発表会－生産者へ元気、消費者へ安心を－
- D N Aアレイを活用した野菜研究の現状と展望
- 果菜類の施設生産における省力・快適生産技術の現状と課題
(兼ブランドニッポン6系戦略会議)
- ニンジンの育種と栄養・機能性に関する諸問題
- 茶の消費拡大のための安全・安心な茶生産・流通技術開発の現状と
今後の展望

March 2005

2005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2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	石内 傳治
編集委員長	保科 次雄
編集委員	宍戸 良洋 袴田 勝弘 吉岡 宏 田中 和夫 武田 善行 山下 市二（～平成16年9月） 小島 昭夫（平成16年12月～） 河合 章

Proceedings of Vegetable and Tea Science

No.2

Editorial Board

Director General	Denji ISHIUCHI
Chairman	Tsugio HOSHINA Yoshihiro SHISHIDO Katsuhiro HAKAMATA Hiroshi YOSHIOKA Kazuo TANAKA Yoshiyuki TAKEDA Ichiji YAMASHITA (~2004.9) Akio KOGIMA (2004.12～) Akira KAWAI

野菜茶研集報. 2
Proc. Vege. Tea Sci.
No. 2

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2号

目 次

2005年3月

1. 野菜研究成果発表会－生産者へ元気、消費者へ安心を－

- 1.1 有機性廃棄物を用いた養液土耕栽培法の開発と
窒素安定同位体比を用いた農産物施肥履歴の推定 中野明正 1

- 1.2 環境に優しい熱水土壤消毒技術 西 和文 9

2. DNAアレイを活用した野菜研究の現状と展望

- 2.1 トマト試験研究におけるDNAアレイ利用
－トマト成熟生理研究への利用－ 今西俊介 19

3. 果菜類の施設生産における省力・快適生産技術の現状と課題 (兼ブランドニッポン6系戦略会議)

- 3.1 栽培面からみた省力・快適化への研究戦略 金井幸男 23

- 3.2 育種面からみた省力・快適化への研究戦略 齊藤猛雄・吉田建実・森下昌三 29

- 3.3 施設生産における作業労働の実態と改善策 鶴崎 孝 37

- 3.4 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 長崎裕司 45

4. ニンジンの育種と栄養・機能性に関する諸問題

- 4.1 ニンジン産地における新しい病害の発生と対策 新村昭憲 51

5. 茶の消費拡大のための安全・安心な茶生産・流通技術開発

の現状と今後の展望

5.1 茶園管理支援システムの開発の現状と今後の展望	荒木琢也………… 59
5.2 トレーサビリティーの現状と今後の展望	山口優一………… 65
5.3 茶の残留農薬分析の現状と今後の展望	遊佐義男………… 71

(アイウエオ順 敬称略)

Proceedings of Vegetable and Tea Science

No.2 (March 2005)

Table of Contents

1.1	Development of Organic Fertigation Using Liquid Waste and Application of Nitrogen Stable Isotope Ratio as an Indicator for Organic Fertilized Products	Akimasa NAKANO.....	1
1.2	Hot Water Treatment, Newly Developed and Expanding Soil Sterilization Method	Kazufumi NISHI.....	9
2.1	Large-scale Gene Expression Analyses of Tomato Fruit Ripening Physiology Using DNA-array Technology	Shunsuke IMANISHI.....	19
3.1	The Research Strategy to Reduction of Labor and Comfortable from the Cultivation Side	Yukio KANAI.....	23
3.2	Breeding Strategy for Labor-saving Cultivation in Fruit Vegetables Takeo SAITO, Tatemi YOSHIDA and Masami MORISHITA.....	29	
3.3	Actual Circumstances and Improvement of Farm Labor in Greenhouse Production	Takashi TSURUSAKI.....	37
3.4	The Present and the Future of Labor-saving and Comfort Techniques for Farmwork in Hilly-land Protected Cultivation	Yuji NAGASAKI.....	45
4.1	Occurrence and Control of Carrot Diseases in Hokkaido	Akinori SHINMURA.....	51

5.1	Present Status and Prospect of the Tea Field Management System Takuya ARAKI.....	59
5.2	Development in Traceability System in Japanese Green Tea Production Yuichi YAMAGUCHI.....	65
5.3	Current Status of Pesticide Residue Analysis for Tea Products and Future Prospects Yoshio YUSA.....	71

野菜研究成果発表会一生産者へ元気、消費者へ安心を一

有機性廃棄物を用いた養液土耕栽培法の開発と 窒素安定同位体比を用いた農産物施肥履歴の推定

中野 明正
農林水産省 農林水産技術会議事務局

Development of Organic Fertigation Using Liquid Waste and Application of Nitrogen Stable Isotope Ratio as an Indicator for Organic Fertilized Products

Akimasa NAKANO
Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
The Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries of Japan

Summary

In Japan, 280-million tons of biomass waste has been emitted every year, and we have to utilize them to prevent environment pollution. We developed a method of organic fertigation using corn steep liquor (CSL) that is a byproduct from cornstarch manufacture and methane fermented cattle waste (MFC) as the liquid fertilizer.

Recently, consumers are demanding higher quality and safer food, and they are becoming increasingly interested in organic products. In practice, however, the method used to certify organic products is an oral interview rather than an actual inspection, and identifying whether products have actually been cultivated using organic fertilizers remains difficult and ambiguous.

$\delta^{15}\text{N}$ values (nitrogen stable isotope ratio) of organic or conventionally produced vegetables which were purchased from the market or provided from the prefectural agricultural station were investigated to determine the criteria which are effective to distinguish organic products from ordinary products. In conclusion, because the $\delta^{15}\text{N}$ values of fertilizers correlated well with those of products, it may be possible to use $\delta^{15}\text{N}$ values as an indicator of organic products.

キーワード：有機農産物，生物系廃棄物，養液土耕，窒素安定同位体比，判別技術

Key word: Organic product, biomass waste, fertigation, stable isotope ratio, product identification technology

1 はじめに

現在日本で排出されている生物系廃棄物は多種多様であり、毎年2億8千万トンもの量が排出されている（表1）^{1), 2)}。それには有効に利用しうる肥料成分が多く、窒素成分だけで132万トンもの量が排出されている。このような廃棄物は成分の偏り、窒素発現パターンの違い等さまざまな異なる性質を有しているため、農地還元に際しては、個々の性質を考慮して行う必要がある。また適切な量が還元される必要がある。有機質肥料の農地への還元に際しては、もっぱら堆肥による還元が主な手法であったが、装置化が可能な施設生産においては、液肥

としての利用も可能性がある。そこで、本報告の前半部分では、トウモロコシを原料とした製糖工程から生じる副産物であるコーンスティープリカー (CSL) および家畜糞からエネルギー源となるメタンガスを採取した後の廃液であるメタン消化液を液肥として利用する技術について紹介する。

2001年4月から有機農産物の検査認証制度が実施されその認識も広がり始めた。このように社会的関心の高まりに対応する制度面での整備は進みつつある。しかし、実際は、有機農産物は極めて限られた地域でしか生産されておらず、スーパーマーケットでは常に品薄の状態である。実際、表2に示すように2001年度における有機農

表1 生物系廃棄物の発生量および成分量*

		万トン	成分含有量(万トン)		
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O
わ	ら	類	1172	6.9	2.4
糞		殻	232	1.4	0.5
家	畜	糞	9430	74.9	27.4
畜	産	物	167	8.4	11.9
樹	皮	(バ	1.2	6.2	51.9
お	が	く	50	0.1	0.0
木	く	づ	402	0.6	0.1
動	植	物	248	1.0	0.4
食	品	業	1504	5.3	3.0
建	設	發	632	1.0	0.2
生	ゴ	ミ	2028	8.0	3.0
木	竹	類	247	1.9	0.5
下	水	汚	8550	8.9	9.2
屎		泥	1995	12.0	2.0
淨	化	槽	1359	1.4	1.5
農	業	集	32	0.0	0.0
		落	排水	84.7	
		合	計	28143	132.3
				51.2	62.2
					44.1

* 環境法全型農業の課題と展望からの資料を改変(1993-1996の情報)

** 環境保全と新しい施肥技術からの資料を改変(1996-1997の情報)

産物生産量は著しく少ない。有機JAS格付けの農産物のそれぞれの農産物に占める割合は、米、麦、果樹では0.1%以下であり、野菜、果樹も0.5%に達していない³⁾。この中では最高の割合を示すお茶についても1%程度であり、消費者ニーズに対応し切れていない状況にあるといえる。以降では、特に有機農産物を規定するひとつの要素である、有機質肥料について焦点を絞って述べていく。有機物施用効果の科学的裏付けは、多くの先達の研究者によってなされており、有機物施用の効能を説く書は多い。それらによると、有機物により、土壤の物理性が改善される。肥料成分の供給能力が増加する。土壤微生物が多様化し土壤病害に罹りにくくなる。さらに、これらの効果が総合的に作用し、有機農産物が化学肥料で作ったものに比べて高品質化することに言及するものもある。有機物が土壤の物理化学性に与える影響については、適正な施用量であれば、その通りであるが、土壤病害に与える影響については異論を唱える研究もある。有機物施用が野菜の品質に与える影響については明確な結論が得られておらず今後も研究を行う必要がある^{4,5)}。

そこで、本報告の後半部分では、有機質肥料が野菜品質に与える影響について、化学肥料栽培の野菜と比較する形で考察した。たとえ有機物施用によって野菜の品質に直接的なプラス効果が無くても、未利用資源の有効利用の観点から何らかの形で有機農産物を科学的に保証することが必要である。そこで、窒素安定同位体比を用いた有機農産物の科学的認証の可能性について検討した。自然界にはさまざまな元素において、中性子の数のことなる安定同位体が存在する(表3)。堆肥化を経た堆肥に含まれる窒素は、化学肥料の窒素に比べ重窒素の割合がわずかながら増加する。この割合を標識とした有機物

表2 2001年度における有機農産物生産の現状

区分	A/B	有機JAS格付数量	全体の生産量
	(%)	A(千トン)	B(千トン)
野菜	0.13	19.7	15548
果樹	0.04	1.4	3907
米	0.09	7.8	9057
麦	0.08	0.7	906
大豆	0.43	1.2	270
緑茶	1.09	0.9	85

表3 安定同位体の自然存在割合(%)

¹ H	99.985	² H	0.015
¹⁰ B	19.82	¹¹ B	80.18
¹² C	98.892	¹³ C	1.108
¹⁴ N	99.6337	¹⁵ N	0.3663
¹⁶ O	99.759	¹⁷ O	0.0374
³² S	95.018	³⁴ S	4.215
⁸⁴ Sr	0.5574	⁸⁶ Sr	9.8566
		⁸⁷ Sr	7.0015
		⁸⁸ Sr	82.5845

施用農産物の判別手法を検討した。

2 多様な有機物の利用

2.1 有機液性廃棄物の有効利用

多種多様の生物系廃棄物を有効に利用するためには、廃棄物の成分や窒素発現パターンなど個々の資材の性質を考慮した適切な組み合わせや調製が必要である(図1)。本報告では、ひとつの事例として有機性液肥を使用した有機養液土耕栽培について述べる。

施設における肥培管理は、作物の作付け前に基肥を施用して、その後の作物の生育に合わせて追肥を行うのが一般的である。しかし、農家ではそれぞれの経験に基づいて行うので、必要量以上の施肥が行われていることがしばしばある⁶⁾。このことが、肥料成分の過剰な、あるいは不均衡な集積を起こす主因であると考えられる。この様な問題点を解決し、合理的な施肥を徹底させる目的で開発されたのが、栄養診断と連結したドリップファーティゲーションである。現代のドリップファーティゲーションの基礎技術は、1930年にイスラエルのプラスが開発したと言われる。それ以降、チューブやエミッターの開発が行われ、現在では高い精度で厳密な施肥および灌水管理が可能となっている。液肥に関する植物栄養学の視点から様々な改良が加えられ、作目毎の肥料および施肥法が検討されている。実際の栽培試験の結果、栽培期間中の土壤の無機窒素含量は、養液土耕条件下で

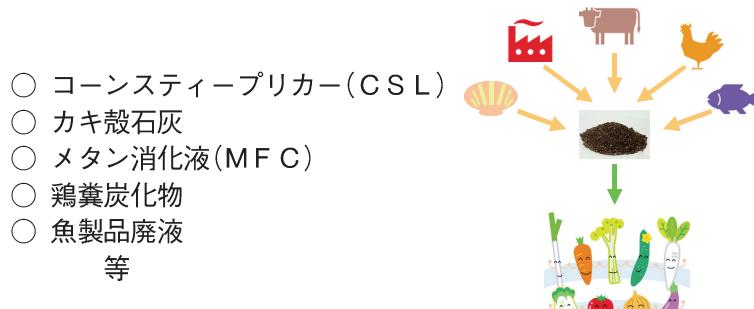


図1 新しい有機性資材の野菜生産への利用（有機物資材を利用した養液土耕）

通常の基肥中心の施肥に比べ低く推移し、毎日少量ずつ施肥した窒素が効率よくキュウリやナスなどに吸収利用されていることが報告されている⁷⁾。普及技術としては、さらに、コスト面や、装置に関しての検討が必要であるが、環境保全型農業といった時代のニーズに対応し、今後発展していく技術と考えられる。

有機養液土耕は、上述の養液土耕の考え方と有機栽培の考え方を融合させた技術である^{8,9)}。土壤の有機物分解能力を超えない程度、少量ずつ有機性の液肥を土壤に還元することにより作物の生育を制御する手法である。従来、有機物資材の利用に関しては、脱水や堆肥化といった時間やコストを必要とする行程が不可欠であると考えられてきたが、希釈倍率、施用量、洗浄プログラム、点滴位置などを適切に定めることにより、未熟液体有機物の土壤還元が可能であることが明らかとなった。

2.2 CSLを用いた有機養液土耕

有機性の液肥として使用した物質はCSLであり、製紙、織維、医療等さまざまな分野で広範に用いられるトウモロコシ澱粉の製造過程で生じる副産物である。現在、CSLは微生物培養用の基質や、乾燥させて家畜飼料として用いられているが、年間15万トンと大量に生産される副産物に対し、環境保全的な側面から新たな処理および用途が求められている。

無機および有機の液肥を少量ずつ土壤に還元していくシステムを試作し、トマトの生育¹⁰⁾および収量に与える影響を検討した^{11,12,13)}。無機液肥として養液土耕用の化学肥料を、有機液肥としてCSL用い、灌水施肥装置を使用して圃場レベルでの収量を、通常の化学肥料の基肥施用と比較することにより検討した。無機および有機液肥を1日1株当たり窒素で平均140mg相当量を施用した結果、CSLを唯一の肥料源としてトマトの養液土耕栽培が可能であった¹²⁾。また、このような有機養液土耕栽培では、土壤酵素（プロテアーゼ、 α -グルコシダーゼ、 β -グルコシダーゼ、フェヌラターゼ）の活性が高かった。つまり、点滴で供給されたCSL由来の有機態窒素が分解され、無機態窒素が継続して供給されたため、通常の収量を維持できたと考えられた¹¹⁾。さらに、無機

および有機養液土耕区では、慣行の全層基肥区に比べて尻腐れ果率が減少し、トマトの良品果実の収量が増加した¹³⁾。現状では、尻腐れ果の発生を抑制するために、果実への塩化カルシウム散布等が行われているが、根圏環境を改善してカルシウムの吸収を高めるという根本的な対策が必要である。無機および有機養液土耕栽培を行うと、ドリップ部分に根が集中するため養分が効率よく吸収される。また肥料成分が少量ずつ添加されるため根に負荷されるイオンストレスが軽減されると考えられ、これらの結果、尻腐れ果の発生が抑制されたと考察した。

2.3 メタン発酵液を用いた有機養液土耕

（バイオガスプラント）

有機物施用と言えば、堆肥が主流であるが、先に述べたように養液土耕の普及に伴い、有機性の液肥利用も考慮する必要が出てきた。ここでは、有機性液肥を製造するプラントについて紹介し生じる液性廃棄物の有効利用について述べる。液肥の製造に関しては、海外での進展が著しい。畜産大国として知られるデンマークは、家畜糞尿による地下水汚染や臭気の問題などから、処理プラントの導入が進んでいる。バイオガスプラントは、家畜糞尿に一部有機系廃棄物を混ぜて、攪拌、発酵させ、発生したメタンガスを使って、ガス発電機により電力および熱を回収するシステムである（図2）。有機物は液体として残り、即効性の肥料として使用できる¹⁴⁾。

最初に述べたように、有機質資材は多種多様である。



図2 北海道別海町で稼働しているバイオガスプラント

左の写真のもっとも背の高い右タンクが発酵槽、左となりにメタンガスを蓄積するタンクが見える。

右の写真は発酵後の液が貯留されている様子を示す。発酵液は現在肥料としての利用が検討されている。

含まれる肥料成分やそれぞれの肥効発現パターンもさまざまであり、個別の資材だけで野菜の生育を完結させるのはきわめて難しい。今後は、さまざまな資材の特性がデータベース化され、作物毎にこれらの資材を有効に利用する組み合わせを明らかにする研究が必要である。

3 有機農産物の科学的認証は可能か？

3.1 有機物施用によって作られ野菜は品質的に優れてい るのか？

果菜類の品質において、ビタミンC、 β -カロテン、硝酸等はそれぞれ重要な指標である。化学肥料と有機質肥料とで栽培した果菜類の品質を比較した研究は多くあるが¹⁵⁾、それらを整理すると、有機農産物の方が優れていることを示す文献が多く、それらに差がないというものが続く。最も少ないので、無機肥料が優れているというものである¹⁶⁾。しかし、これらの結果から、即座に有機質農産物の方が品質的に優れているとは言えない。同様に、いくつかの品質調査結果から、どちらが優れているのかを考察した報告によると^{4, 5, 17)}、どちらが品質として優れているとも言えないという結論を導いている。未だにこのような議論がされる点から考えても、有機農産物については、まだ研究する余地は残されている。また、従来の考え方や手法では、それぞれの違いを明確にすることが困難であること、研究報告を整理していく上で明らかになってきた。今、有機農産物に対する視点を変換するとともに、評価についても新たな手法が必要とされている。

3.2 有機物施用と $\delta^{15}\text{N}$ 値

有機物施用と化学肥料施用が品質および収量に与える影響を考察する新しい切り口として、筆者らは基肥として化学肥料を与えた場合と、液肥として化学肥料を与えた場合（無機養液土耕）と、有機性液肥であるCSLを与えた場合（有機養液土耕）との3処理区を比較した。同様の事例は後でも述べるが、この結果それぞれ同等の収量が得られること、糖度やビタミンC含量についても、有機養液土耕で必ずしも高品質農産物が得られるわけではなかったことが示された¹²⁾。しかし、繰り返すが、筆者は有機栽培を行ったものが、何らかの形で科学的に判別される必要性が無くなったわけではないと考えている。

そこで、有機農産物を化学肥料で栽培した農産物と見分ける目的で、窒素の安定同位体自然存在比（ $\delta^{15}\text{N}$ 値）の測定を試みた。この窒素の δ 値は、 ^{15}N と ^{14}N の比（R）について、標準試料との差から計算される値であり、生態学の分野では窒素動態の解析に用いられる。

$$\delta \text{ 値} = [R(\text{試料}) / R(\text{標準試料}) - 1] \times 1000 (\%)$$

有機物施用に伴う土壌の $\delta^{15}\text{N}$ 値の変化については、いくつかの報告があり^{18, 19, 20)}、これは、堆肥化過程でア

ンモニア揮散や脱窒において同位体分別が生じ、重窒素の濃縮が生じるためと考えられ、用いた資材や発酵過程や熟度などで異なることが考えられる。総じて言うと、一般に $\delta^{15}\text{N}$ 値は化学肥料に比べ有機物施用で上昇することが認められる。しかし、有機物だけで生育させた果菜類およびその土壌の $\delta^{15}\text{N}$ 値に関する報告例が少ない²⁰⁾。特に有機養液土耕については関連する報告も無い。そこで、以下に筆者らが専ら研究対象とした果菜類を中心に、有機物施用が生産物の $\delta^{15}\text{N}$ 値に与える影響に関する研究事例を紹介する。

3.3 有機養液土耕栽培したトマトとメロンの $\delta^{15}\text{N}$ 値

前述のように、CSL施肥がトマトの生産性に与える影響を検討し、濃度を調整して少量ずつ根圏に添加することによって、肥料として良好に使用できることを明らかにした¹⁰⁾。実規模の栽培実験にこれらの結果を応用するために、少量ずつ土壌に添加する装置として、肥料効率が高く環境保全的な側面から近年導入が進みつつある養液土耕装置を改良して、有機養液土耕装置を試作した。その結果、トマト栽培において、品質と収量とも通常の栽培と同等の生育が達成できること明らかにした¹²⁾。さらに、これらの結果を踏まえて、高軒高温室における長期栽培においてCSLがトマトの生育に与える影響を、通常使われる無機化学肥料の液肥と比較することにより明らかにした。長段栽培においては、単為結果性の品種‘ルネッサンス’を使用することとした。単為結果性品種はホルモン処理が省略できるため、省力化品種として、高所作業のホルモン処理が想定される高軒高温室において導入が検討されている。

野菜の $\delta^{15}\text{N}$ 値が、有機栽培したものにおいて通常の栽培をしたものより高くなることが示され²¹⁾、既に、有機農産物の市場管理に使用できる可能性が指摘されている。この長段栽培に先んじて行われた、有機液肥CSLと化学肥料（OK-F-1）の比較栽培実験では、トマトの $\delta^{15}\text{N}$ 値はそれぞれ、+7.1%および+0.3%となり、施肥した窒素の $\delta^{15}\text{N}$ 値を反映していた²²⁾。これらの結果は、トマト長段栽培において明らかになっていたため、長段栽培において果実の $\delta^{15}\text{N}$ 値への施肥の影響を明らかにし、 $\delta^{15}\text{N}$ 値の有機および無機養液土耕の判別指標としての有効性を明らかにした。

トマト長段栽培において、糖度はBrix%で5前後の果実が定常的に収穫でき、トマト果実の無機イオン組成については、処理間で顕著な差異は認められなかった。

トマト果実の $\delta^{15}\text{N}$ 値は、有機液肥で栽培した場合、無機液肥で栽培した場合より高くなることが示されているが、長段栽培においても、得られた結果に再現性が認められ、果実の平均 $\delta^{15}\text{N}$ 値は有機養液区で+7.4%，無機養液区で+1.1%となり、同様の値を取ることが示された²³⁾。全体的には、無機成分や糖度など品質で顕著な差異が認められなかった無機および有機養液土耕法で

あるが、 $\delta^{15}\text{N}$ 値は両処理区で長期の栽培期間中において顕著に異なることが示された。これは、 $\delta^{15}\text{N}$ 値を利用して、有機液肥で栽培したトマトと無機液肥で栽培したトマトとを科学的に判別でき、認証できる可能性を示唆している。

同様の有機養液土耕をメタン消化液についても検討を行った²⁴⁾。化学肥料を基肥で施用および化学肥料の液肥を灌水同時施肥する処理区（無機養液土耕）と3処理区を比較することにより明らかにした。与えた肥料の $\delta^{15}\text{N}$ 値は、化学肥料ではほぼ0%付近の同じ値を取り、基肥に用いた化学肥料で+0.85‰（S646）、無機養液土耕で0.0‰（OK-F-1）であった。これに対し、有機性の液肥であるメタン消化液は、+7.6%であった。 $\delta^{15}\text{N}$ 値が無機性の肥料で低く有機性の液肥で高いという傾向は、茎葉部および果実部の $\delta^{15}\text{N}$ 値に反映されており、無機基肥、無機養液および有機養液区の3種類の果実の $\delta^{15}\text{N}$ 値は、それぞれ+3.0‰、-1.7‰、+6.1‰となり、さらに、3処理区をそれぞれ区別することができた。この結果からも、 $\delta^{15}\text{N}$ 値は、有機農産物と無機養液土耕で生産した農産物を従来の化学肥料の基肥施用で生産した農産物と判別する際の数値的根拠になる可能性が示された。

3.4 有機物連用圃場におけるトマトの $\delta^{15}\text{N}$ 値

トマトの隔離床栽培において、5種類の施肥区（CDU化成肥料を与えたCDU区、低硫酸緩効性肥量を与えたLSR区、窒素の想定必要量の半量ずつをCDUと牛糞堆肥で与えた区をCM+CDU区、同様にCDUと鶏糞堆肥で与えた区をPM+CDU区、牛糞堆肥および鶏糞堆肥のみを与えた区をCM+PM区）を設け年2作、4連作を行った。収量の経年変化、トマト果実の糖度、無機成分組成、土壤と果実の $\delta^{15}\text{N}$ 値を測定した。

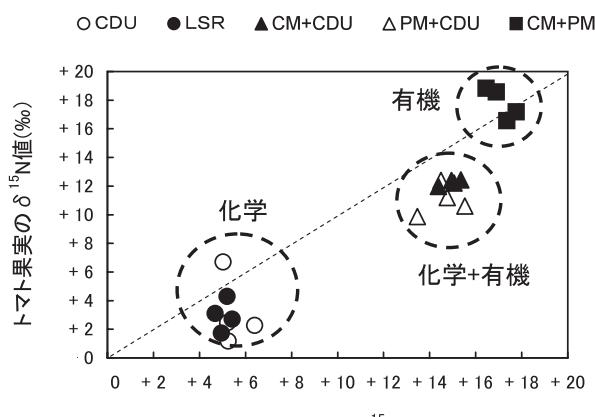


図3 栽培土壤とトマト果実の $\delta^{15}\text{N}$ 値との関係

- : CDU (化学肥料CDU化成), ●: LSR (化学肥料: 効性肥料),
- ▲: CM+CDU (有機 (牛糞堆肥) + CDU (化学肥料)), △: PM+CDU (有機 (鶏糞堆肥) + CDU (化学肥料)), ■: CM+PM (牛糞堆肥+鶏糞堆肥)

化学肥料と堆肥施用で収量における有意な差は認められなかった。果実糖度および無機成分含量においても顕著な差は認められたかった。以上の結果からは、堆肥施用がトマトの収量、糖度、無機成分含量を増加させるという結論を導くことは困難であると考えられた。一方で、化学肥料および堆肥の $\delta^{15}\text{N}$ 値は、土壤と果実の双方の $\delta^{15}\text{N}$ 値に反映され、土壤と果実の $\delta^{15}\text{N}$ 値の間には高い相関が認められた²⁵⁾ ($R^2=0.89$) (図3)。ここでも、堆肥施用したものと化学肥料施用したものとを分ける閾値を設け、 $\delta^{15}\text{N}$ 値を用いた有機農産物判別の可能性が考えられた。

3.5 有機農産物市場管理への $\delta^{15}\text{N}$ 値の利用

さらに、有機JAS認証を受けた果菜類と、スーパーマーケットにおいて購入した同じ種類の有機JAS認証を受けていない果菜類について品質を調査し、 $\delta^{15}\text{N}$ 値を分析した。その結果、有機JAS認証のトマトは、クエン酸濃度が有意に高かった²⁶⁾が、5種の果菜類（トマト、キュウリ、ナス、シシトウ、カボチャ）の無機元素組成については、有意な差がある特定の元素は無かった。有機農産物はミネラルが豊富であるとする報告もあるが、必ずしもそうではないことが示された。しかし、供試した5種類の果菜類の $\delta^{15}\text{N}$ 値は、すべてにおいて、有機農産物の値が表示の無いものに比べ高くなつた^{21,26)}。作物種を超えて有機農産物で $\delta^{15}\text{N}$ 値が高くなることが明らかとなつた。有機農産物の認証において、現行では検査員が聞き取りで行うといった手法が取られるが、このような調査を数値的に保証するために、 $\delta^{15}\text{N}$ 値が使用できる可能性がある。すなわち、有機農産物と称する農産物の $\delta^{15}\text{N}$ 値がある値（例えば+5.0‰）を下回った場合、それが有機農産物で無い可能性が考えられ、詳細に検査する対象とする、という使い方が考えられる。

述べてきたように、有機農産物の場合、野菜の $\delta^{15}\text{N}$ 値は+5.0‰以上の値を取ることが予想されていたが、試料の栽培県を18県と中国、分析した野菜試料を25品目に適用範囲を広げて同様の分析を行った場合も、ほぼ同様の結果が得られた²⁷⁾。市場試料106点を分析した結果、有機農産物表示のあったものの72%が、表示なしの試料の32%が+5.0‰以上の値を取っていた。基準値として+4.0‰を採用した場合は、有機農産物表示のあったものの80.4%が+4.0‰以上の値を取り、表示なしのものは45%であった。

民間、公立研究所および野菜茶業研究所において栽培された試料の $\delta^{15}\text{N}$ 値について同様にしてまとめると、分析した全ての試料129点については、有機物施用区（有機農産物相当）の試料において、 $\delta^{15}\text{N}$ 値が+5.0‰以上の値を取る試料は88.1%であり、化学肥料施用区（表示なしに相当）の試料では25.3%であった。基準値として+4.0‰を採用した場合は、有機物施用区で97.6%が+4.0‰以上の値を取り、表示なしのものは32.2%であった。

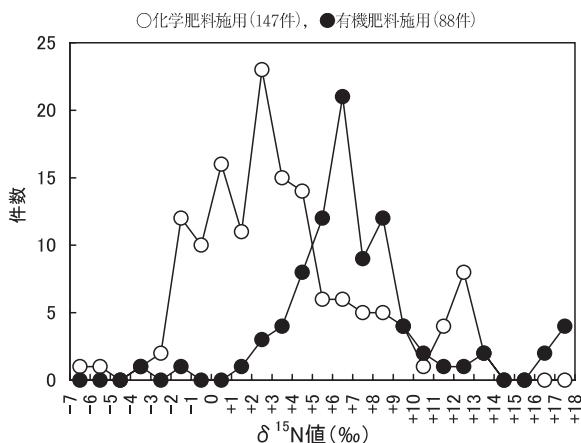


図4 有機質肥料および化学肥料（無表示含む）の施用と野菜の $\delta^{15}\text{N}$ 値との関係

市場試料に比べ施肥管理がより厳密であったため、明確な結果になったと考えられた。以上の結果から、例えば $\delta^{15}\text{N}$ 値を測定することにより、有機農産物の真偽の判断に利用することが可能であると考えられた。図4は、述べてきた市場試料と民間、公立研究所の試料の合計235点の結果をまとめたものである。 $\delta^{15}\text{N}$ 値で+4.0%を境に、通常栽培と有機栽培の出現頻度が明確に異なることがわかる。

得られた結果を総合すると、 $\delta^{15}\text{N}$ 値を有機農産物の真偽の判断に利用することが十分可能であると考えられた。例えば、「 $\delta^{15}\text{N}$ 値=+4.0%を有機農産物判別の基準値として、この値以下であれば詳細な調査を実施する必要がある」という制度の策定が可能と考えられる。

2002年12月26日付けの新聞報道に、有機JASマークの改竄問題が取り上げられた。これは書類調査により判明したものであるが、科学的な手法の開発も求められている。現在までは、このような、基準値が無かったため、聞き取り調査等に頼らざるを得ず、科学的な判断材料が少なかったが、窒素安定同位体比を用いた判別手法があることを公表しアピールすることにより、有機農産物の偽装表示に対する抑止力となり、より健全な有機農業を推進することができると考えられる。

4 おわりに

有機農産物を研究するには、生産者と消費者双方からの視点が重要であり、これは有機農業を推進させるための両輪である。具体的には、生産者の視点に立った、新しい有機物施用法や栽培法の確立である。多種多様な有機質資源を有効に利用するためには、本報告で紹介した有機養液土耕のような資材の特性に合わせたより細やかな技術開発が必要である。もう一つは消費者の信頼を裏切らない、新しい科学的な有機農産物認証法の確立である。本報告で紹介した施肥窒素の由来の推定以外にも、他の安定同位体比を用いて野菜の原産地判別などの技術

が検討されている。今後さらにこれらの研究結果を進展させ総合化する必要がある。

生産者に対して有機物施用がどのようなメリットがあるのかを定量的に説明するとともに、施用技術を確立していく必要がある。肥料としては有機物さえやれば、いくらやってもそれで有機農業という、量的な視点の欠如した“有機農業”では、環境にやさしいという、有機農業の大前提を壊しかねない。また、消費者に対して有機農産物が生産物としてどのようなメリットがあるのか、あるいはないのか、あるとすればどの程度なのかを明確にしていくことが必要である。農産物は、ややもすると僅かな差を『大変健康に良い!』と解釈され、マスコミなどにより喧伝される傾向があり、これは、消費者にとっても、また、長い目で見ると生産者にとっても不幸なことである。今後、環境保全型農業を含めて、有機農業を推進していくためには、生産者と消費者の双方が納得できる、定量的な研究結果の蓄積が必要である。

摘要

有機質肥料の農地への還元に際しては、もっぱら堆肥による還元が主な手法であったが、装置化が可能な施設生産においては、液肥としての利用も可能性がある。トウモロコシを原料とした製糖工程から生じる副産物であるコーンスティープリカー(CSL)および家畜糞からエネルギー源となるメタンガスを採取した後の廃液であるメタン消化液を液肥として利用する技術を開発した。

さらに、有機質肥料が野菜品質に与える影響について、化学肥料栽培の野菜と比較して分析したところ、再現性良く同様の傾向が認められる品質成分は無かった。一方で、窒素安定同位体比($\delta^{15}\text{N}$ 値)は多くの野菜で有機物施用した場合に再現性良く高い値を示した。結果を総合すると $\delta^{15}\text{N}$ 値を有機農産物の真偽の判断に利用することが十分可能であると考えられた。

引用文献

- 熊澤喜久雄. 2003. 環境保全型農業と肥料. 環境保全型農業の課題と展望. 大日本農会: 52-73
- 越野正義. 2001. 持続的食料生産と肥料. 環境保全と新しい施肥技術. 安田環・越野正義編. 養賢堂: 22-57
- 藤本潔. 2003. 環境保全型農業に関する施策の経緯と現状. 環境保全型農業の課題と展望. 大日本農会: 183-198
- 藤原孝之. 2001. 有機野菜の品質評価研究の現状と今後の展望. 農業および園芸. 76: 743-748
- 長谷川美典. 1997. 有機農産物の品質を考える. フレッシュフードシステム. 26. 12: 25-27
- 中野明正・上原洋一・山内章. 2001. 施設土壤における塩類集積の現状と低硫酸根緩効性肥料による化学ストレスの改善. 土壤肥料学会誌. 72: 237-244
- 加藤俊博. 2004. 養液土耕栽培の考え方とねらい. 野菜園芸大百科 養液栽培 養液土耕. 農文協: 377-381

- 8) 中野明正.2000. 養液土耕と有機栽培そしてこれらの技術の融合が求められる理由. 施設園芸. 42(2) : 1-6
- 9) 中野明正.2000. 有機性廃棄物を液肥として利用する有機養液土耕栽培. 農業技術体系 6 野菜の施肥技術. 土肥編: 18-23
- 10) 中野明正・上原洋一・山内章.2000. 有機性液肥(コーンスティープリカー)の施用がトマトの初期成育および根圈環境に与える影響—根箱法を用いた検討-. 生物環境調節. 38 : 211-219
- 11) 中野明正・上原洋一・山内章.2001. 有機養液土耕における有機物分解. 土と微生物. 55 : 21-27
- 12) 中野明正・上原洋一・山内章.2001. 有機液肥の連続施用システムの開発とそれがトマトの生育・果実収量・品質および土壤の化学性に与える影響. 土壤肥料学会誌. 72 : 505-512
- 13) 中野明正・上原洋一・山内章.2001. 養液土耕法による根圈ストレス軽減がトマトの尻腐れ果発生を抑制する. 土壤肥料学会誌. 72 : 385-393
- 14) 中野明正・上原洋一.2003. かん水同時施肥栽培におけるコーンスティープリカーおよびメタン消化液の利用がメロンの生育および収量に及ぼす影響. 園芸学研究. 2:175-178
- 15) 吉田企世子. 1996. 栽培条件と野菜の成分. 日本食生活学会誌. 7(2) : 27-34
- 16) 岩田進午・松崎敏英. 2001. 生ごみ 堆肥 リサイクル. 家の光協会:93-98
- 17) 三輪睿太郎. 2001. 世紀の謎「有機農業野菜は品質が良いのか」. 季刊肥料. 88 : 8-10
- 18) 森田明雄・太田充・米山忠克.1999. 肥料の種類の違いが茶園土壤と茶樹の $\delta^{15}\text{N}$ 値に及ぼす影響. 土壤肥料学会誌. 70 : 1-9
- 19) 吉羽雅昭・田村幸美・朴光来・熊澤喜久雄・麻生昇平.1998. 有機物連用水田における土壤および水稻玄米の $\delta^{13}\text{C}$ と $\delta^{15}\text{N}$. 土壤肥料学会誌. 69 : 299-302
- 20) 徳永哲夫・福永昭憲・松丸泰郷・米山忠克.2000. 堆肥および化学肥料を施用した水田における $\delta^{15}\text{N}$ 値を用いた水稻の起源別窒素量の推定の試み. 土壤肥料学会誌. 71 : 447-453
- 21) 中野明正・上原洋一・渡邊功.2002. 有機農産物認証を受けた果菜類の $\delta^{15}\text{N}$ 値. 土壤肥料学会誌. 73 : 307-309
- 22) Nakano,A., Uehara,Y. and Yamauchi A.2003.Effect of organic and inorganic fertigation on yields, $\delta^{15}\text{N}$ values and $\delta^{13}\text{C}$ values of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.ev.*Saturn*).Plant and Soil. 255:343-349
- 23) 中野明正・川嶋浩樹・佐久間青成・上原洋一. 2004. 有機性液肥の養液土耕への利用がトマトの生育, 収量, 糖度, 無機成分組成および $\delta^{15}\text{N}$ 値に与える影響. 野菜茶研研報. 3 : 129-136
- 24) 中野明正・上原洋一. 2002. メタン消化液およびコーンスティープリカー (CSL) を利用した有機養液土耕がメロンの収量, 糖度および $\delta^{15}\text{N}$ 値に与える影響. 園芸学雑誌. 71 (別2) : 326
- 25) 中野明正・山内章・上原洋一. 2003. 有機物施用がトマトの収量, 糖度, 無機成分および $\delta^{15}\text{N}$ 値に与える影響. 土壤肥料学会誌. 74 : 737-742
- 26) 中野明正 果菜類における有機農産物認証の有無とそれらの品質および $\delta^{15}\text{N}$ 値との関係. 農業技術. 57 : 343-346
- 27) 中野明正・上原洋一. 2004. 有機肥料で栽培した野菜と化学肥料で栽培した野菜とを判別する基準としての窒素安定同位体比の適用. 野菜茶研研報. 3 : 119-128

環境に優しい熱水土壌消毒技術

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

Hot Water Treatment, Newly Developed and Expanding Soil Sterilization Method

Kazufumi NISHI

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

キーワード：熱水土壌消毒、土壌病害、線虫防除、雑草防除

1 はじめに

野菜栽培、特に施設野菜の栽培では土壌病害対策が極めて重要な課題であり、土壤くん蒸剤を使用した土壌消毒が広く実施されてきた。土壤くん蒸剤のなかでも臭化メチルは、その適用範囲の広さと効果の安定性、作業性の良さなどの点から広く使用してきた。しかし、1992年に臭化メチルはオゾン層破壊に関与する物質として指定され、2005年以降わが国では、「不可欠用途」として国際的に承認された目的以外での使用は事実上不可能となる。また「安全・安心」、あるいは「環境に優しい」という視点から、化学合成農薬使用の削減ないし全廃を求める動きも高まっており、化学合成農薬に依存しない土壌病害対策が強く求められるようになってきている。

こうした中で、熱水土壌消毒が注目されるようになってきた。本法は、高温の热水（通常80-95℃）を圃場に注入して地温を上げ、熱によって有害微生物の駆除を図るものである¹⁾。1980年代初期に野菜試験場（当時）と神奈川県園芸試験場（当時）とでそれぞれ別個に開発が始まり、1990年代には技術的にはほぼ確立されて土壌消毒機も市販されるようになり、農業現場への普及が始まった。多量の水を必要とすること、傾斜地や透水性の劣る圃場での効果がやや劣ることなどの弱点はあるものの、防除効果の安定性、有効範囲の広さ、実施可能時期の幅の広さなどといった点が特に注目され、今後の化学合成農薬に依存しない土壌病害対策の中心技術の一つとして、評価が高まっている。

2 热水土壌消毒技術の内容と特徴

热水土壌消毒では、高温の热水を調製して、圃場に注入する。热水は通常移動可能なボイラーで調製し、耐熱

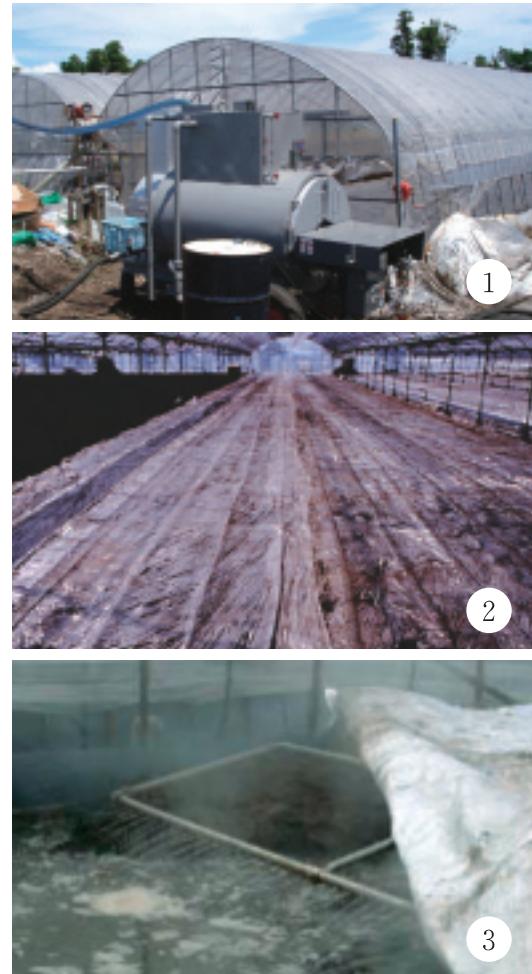


図1 热水土壌消毒の実施風景

[1：热水調製用ボイラーの一例（鹿児島県有明町、2000年8月）、2：灌水チューブを用いた热水の注入状況（チューブ式、熊本県益城町、2000年8月）、3：移動式の散湯装置を用いた热水の注入状況（牽引式、注入状況が理解しやすいように被覆シートを一部除去して撮影、岐阜県加子母村、2004年4月）]

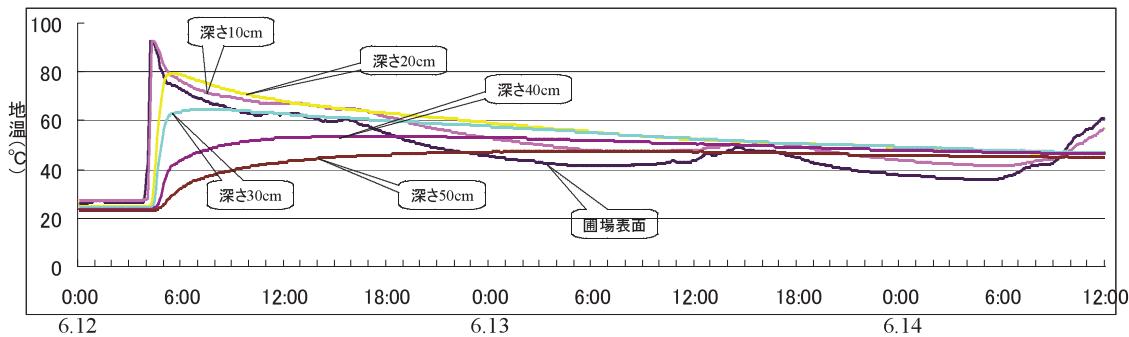


図2 热水土壤消毒に伴う地温の变化 (2003年6月, 茨城県旭村)

図3 メロンつる割病に対する热水土壌消毒の防除効果
(熊本県西合志町, 2000年)図4 スイカ急性萎凋症に対する热水土壌消毒の防除効果
(鳥取県大栄町, 2004年, 写真提供: 船原みどり氏)図5 ホウレンソウ萎凋病に対する热水土壌消毒の
防除効果 (熊本県矢部町, 2002年)

性の灌水チューブまたは移動式の散湯装置を通じて圃場に注入される(図1)。消毒装置は、2004年6月現在、11社から市販されており、一般農家でも自由に購入することができる。注入された热水は、自然に地中に浸透して

ゆき、地温を上げてゆく(図2)。土壤浅部では短時間のうちに高温に達するが、热水の注入終了後は比較的早く低下する。反対に土壤深部にゆくほど最高到達温度は低くなるが、到達した温度は長時間維持される。热水土壌消毒は、土壤のもつこのような保温性を最大限利用し、比較的低温での緩効的殺菌を主とするシステムである。

热水土壌消毒では、比較的広範囲の土壤病原菌、線虫、土壤害虫、雑草に対し有効である。糸状菌病に対しての効果は特に顕著で、メロン、トマト、ピーマン、スイカ、ホウレンソウなどの主要病害で、高い防除効果が得られている(図3-5)。効果の持続期間も比較的長い傾向にありトマトの褐色根腐病に対し3年間効果が持続した事例やホウレンソウ萎凋病に対し消毒後14作栽培可能であった事例がある²⁶⁾。線虫に対する効果も高いが(図6-7)、効果の持続期間が短い傾向にある。細菌病に対しても有効であるが(図8)、高い効果が得られた事例²⁷⁾



図6 メロン根こぶ線虫病に対する热水土壤消毒の
防除効果（鹿児島県有明町，2001年）



図7 イチゴの根腐線虫病に対する热水土壤消毒の
防除効果（熊本県合志町，2000年）



図8 トマト青枯病に対する热水土壤消毒の防除効果
(千葉県一宮町, 2003年, 写真提供: 窪田耕一氏)



図9 热水土壤消毒の雑草抑制効果
(熊本県西合志町, 2001年)

とあまり有効でなかった事例⁹⁾が混在し、圃場条件や処理方法によって効果にふれが生じている。土壤中に生息している害虫に対する防除効果も高いが、消毒後の侵入とその後の増殖に対する抑制効果はない²⁸⁾。雑草の抑制効果は、顕著である(図9)。表1に、これまでわが国で実施された防除試験において有効と判断された事例を取りまとめた。

热水土壤消毒は土壤病害の防除に有効であるだけでなく、作物の生育にも好影響をもたらす。熊本県益城町のピーマン農家において、圃場にガラス製の水槽を埋め込み、根の伸長の様子を経時に観察したところ、クロルピクリン処理区や無処理区と比較すると热水処理区の細根の伸長は旺盛であった¹⁾。また、通路部分を掘り下げてみたところ、慣行のクロルピクリン処理区よりも多くの

細根が伸長してきていることが観察された(図10)。生育も良くそろい、追肥の効果も早期に現れた。增收効果も認められ、累積収量は慣行栽培区(クロルピクリン処理)より1kg/株程度多くなった(図11)。同様の現象は热水土壤消毒を導入した農家の多くに共通していて、鹿児島県有明町のメロン農家では果実が大型化して、1個平均約250gの增量となった(図12)。葉や花が大型化することも指摘されている(図13)。热水土壤消毒を実施した場合にみられる生育に対する好影響の原因是、豊富な土壤水分、塩類集積の緩和、可給態窒素の増加などといったことが指摘されているが、科学的解明はまだ充分に進んでいない。

热水土壤消毒を実施した場合、当然のことながら土壤の物理性や化学性、生物性は変化する。土壤の比較的浅

表1 热水土壤消毒により良好な防除効果が得られた試験例

対象作物	対象病害虫（病原菌・線虫名）	文献
1. 热水土壤消毒により良好な防除効果が得られた試験例		
ホウレンソウ	萎凋病 (<i>Fusarium oxysporum f. sp. spinaciae</i>)	2)
ダイコン	萎黄病 (<i>Fusarium oxysporum f. sp. raphani</i>)	3)
	根腐線虫病 (<i>Pratylenchus penetrans</i>)	4, 5)
ハクサイ	根こぶ病 (<i>Plasmodiophora brassicae</i>)	6)
チンゲンサイ	根こぶ病 (<i>Plasmodiophora brassicae</i>)	7)
イチゴ	根腐線虫病 (<i>Pratylenchus vulnus</i>)	8)
トマト	青枯病 (<i>Ralstonia solanacearum</i>)	9)
	萎凋病 (<i>Fusarium oxysporum f. sp. lycopersici</i>)	10)
	褐色根腐病 (<i>Pyrenopeziza lycopersici</i>)	9)
	根腐萎凋病 (<i>Fusarium oxysporum f. sp. radicis-lycopersici</i>)	10)
	根こぶ線虫病 (<i>Meloidogyne incognita</i>)	9)
スイカ	黒点根腐病 (<i>Monosporascus cannonballus</i>)	11)
メロン	黒点根腐病 (<i>Monosporascus cannonballus</i>)	12)
	つる割病 (<i>Fusarium oxysporum f. sp. melonis</i>)	13)
パセリー	根こぶ線虫病 (<i>Meloidogyne incognita</i>)	1)
ダイズ	根こぶ線虫病 (<i>Meloidogyne incognita</i>)	1)
コムギ	黒根腐病 (<i>Calonectria illicicola</i>)	14, 15)
	シスト線虫病 (<i>Heterodera glycines</i>)	16)
	立枯病 (<i>Gaeumannomyces graminis var. tritici</i>)	17)
	から黒穂病 (<i>Urocystis agropyri</i>)	18)
サツマイモ	立枯病 (<i>Streptomyces ipomoeae</i>)	1)
ガーベラ	根腐病 (<i>Phytophthora cryptogea</i>)	19)
2. 热水土壤消毒により土壤中の病害虫密度が顕著に減少した試験例 ^{a)}		
ダイズ	白絹病 (<i>Sclerotium rolfsii</i>)	20)
ゴボウ	白絹病 (<i>Sclerotium rolfsii</i>)	1)
メロン	菌核病 (<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>)	1)
キュウリ	緑斑モザイク病 (<i>Kyuri green mottle mosaic virus</i>) ^{b)}	12)
	苗立枯病 ^{c)}	21)
	ホモブシス根腐病 (<i>Phomopsis sp.</i>)	22)
トマト	モザイク病 (<i>Tomato mosaic virus</i>) ^{b)}	21)
	半身萎凋病 (<i>Verticillium dahliae</i>)	21)
3. 前作より発病が大きく減あるいは慣行土壤消毒法と同程度の防除効果と認められた例 ^{a)}		
ホウレンソウ	株腐病 (<i>Rhizoctonia solani</i>)	1)
	立枯病 ^{c)}	1)
ナス	青枯病 (<i>Ralstonia solanacearum</i>)	22)
トマト	半身萎凋病 (<i>Verticillium dahliae</i>)	1)
セルリー	萎黄病 (<i>Fusarium oxysporum</i>)	1)
ピーマン	疫病 (<i>Phytophthora capsici</i>)	23)
スイカ	黒点根腐病 (<i>Colletotrichum coccodes</i>)	24)
	つる割病 (<i>Fusarium oxysporum f. sp. niveum</i>)	1)
	根こぶ線虫病 (<i>Meloidogyne incognita</i>)	1)
	急性萎凋症	船原ら (未発表)
メロン	毛根病 (<i>Agrobacterium rhizogenes</i>)	1)
キュウリ	つる割病 (<i>Fusarium oxysporum f. sp. cucumerinum</i>)	著者ら (未発表)
シソ	根こぶ線虫病 ^{c)}	1)
ネギ	萎凋病 (<i>Fusarium oxysporum f. sp. cepae</i>)	1)
	黒穂病 (<i>Urocystis cepulae</i>)	1)
キク	立枯病 (<i>Rhizoctonia solani</i>)	1)
トルコギキョウ	青枯病 (<i>Ralstonia solanacearum</i>)	1)
カーネーション	萎凋細菌病 (<i>Burkholderia andropogonis</i>)	25)
スイートピー	萎凋病 (<i>Fusarium oxysporum f. sp. dianthi</i>)	25)
	腰折病 (<i>Rhizoctonia solani</i>)	1)

文献：初出文献を中心に紹介した

a) : 1にあげたものは除く

b) : 不活性は土壤浅部でのみ認められた

c) : 病原菌は複数種あり、どの種が対象となっていたかは不明

い部分では、pHが酸性から中性に近づき、ECが減少する²⁹⁾。加里や苦土などの塩基類も、热水土壤消毒により表層部分の土壤で少なくなる²⁹⁾。無機態窒素は、ECと同様、表層部で減少し下層へと移行する²⁹⁾。しかし、その後の地力窒素の無機化は、逆に促進される³⁰⁾。土壤中の可溶性マンガンは、消毒直後には一時的に増加するものの、その後急速に減少する²³⁾。蒸気消毒では、マンガン過剰症による生育障害がしばしば発生しているが、热水土壤消毒での発生事例はごく少数である。

土壤のこうした変化を前提として作物の施肥設計を立てる必要があるが、この方面での検討はまだ不十分である。热水土壤消毒を実施している益城町のピーマン農家では、堆肥の施用量は変えず、基肥の化学肥料を30-50%減らし、生育状況を見ながら追肥で対応するという施肥管理を行っている。ひとつの方向性を示すものであろう。

热水土壤消毒の実施可能時期は、季節的な制限をほとんど受けず、暖地では一年中、寒地や高標高地でも極端

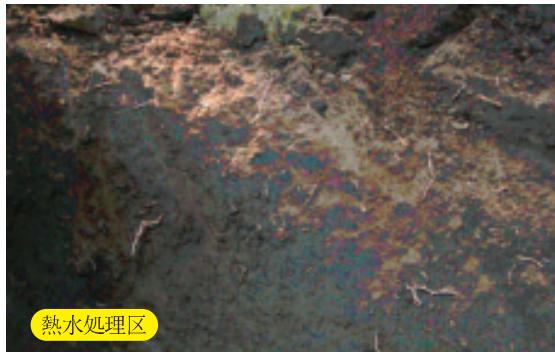


図10 热水土壤消毒と通路への根の伸長
(熊本県益城町, 2002年)



図13 热水土壤消毒とスイカの花
(熊本県益城町, 2002年)

な寒冷期を除くと、いつでも実施可能と考えられる。熊本県益城町、鹿児島県有明町および静岡県大井川町での試験では、実施時期が1-2月であっても、防除効果は良好であった。ただこの場合、夏期に実施する場合よりも热水注入量を30-50%増量する必要があった。

热水土壤消毒により安定した防除効果を得るために、日常の土壤管理を通じて、透水性に恵まれた平坦な圃場としておくことが肝要と考えられる。透水性の悪い重粘土地帶での成功事例もある³¹⁾が、透水性の悪い圃場で実施した場合に失敗事例が多い。傾斜地では、热水の浸透が不均一になりやすく、防除効果が劣る場合がある。一般的に斜度が6-7%程度までの圃場では実用的な防除効果が得られるが³²⁾、傾斜の大きな圃場では热水の注入方法に特別の工夫が必要である。热水土壤消毒実施後の土壤管理も、効果の安定性という面から重要である。良質の堆肥や有機質肥料を投与して微生物相の豊潤化を図るのが良策である。また、種苗や育苗に用いる土壤・

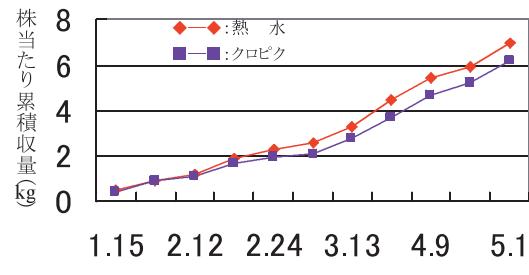


図11 热水土壤消毒とピーマンの収量
(熊本県益城町, 2002年)

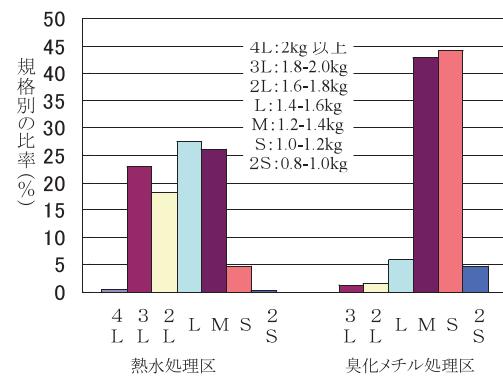


図12 热水土壤消毒とメロン果実の大きさ別分布
(鹿児島県有明町, 2002年)

堆肥を通じて病原菌を消毒後の圃場に持ち込むことは、絶対に避けなければならない。

3 热水土壤消毒の農家への導入事例

热水土壤消毒は、今全国各地の農家に受け入れられつつある。作目としては、メロン、キュウリ、スイカ、トマト、ピーマンなどの果菜類、ホウレンソウなどの軟弱野菜類、バラやトルコギキョウなどの花き類で広がりつつある。主に施設が中心となっているが、露地野菜で導入しようという動きもある。以下に、地域のリーダー的役割を担っている热水土壤消毒を導入している農家を紹介しよう。

3.1 鹿児島県有明町のメロン農家の事例

鹿児島県有明町で1.1haのハウスを利用して年に2-3回メロンを栽培する牧悦次氏は、栽培暦30年のベテランである。牧氏のメロン栽培は、土づくりを重視しており、馬糞を主体としたオリジナル堆肥と有機質肥料を使用し、収穫したメロンは「秘蔵娘」という商標をつけて売られている。さてその牧氏が長年苦しんできたのが土壤病害である。主体はサツマイモネコブセンチュウであるが、黒点根腐病の発生をみることもある。1991年まではD-D剤、その後はクロルピクリンとD-D剤の併用、1993年秋作以降は臭化メチルを使用して、毎作多少の被

表2 年間を通した熱水土壌消毒の実証試験結果

熱水処理日	処理面積	热水注入量	定植日	被害株率	慣行区被害率
2000年8月26-27日	313m ²	150 ℥ / m ²	10月22日	0 %	4 %
12月19-26日	1050	150	3月10日	0	0
2001年2月16-20日	1221	150	5月10日	0	0
4月23-26日	1008	200	5月17日	0	0
5月8-11日	1042	250	5月24日	0	2
5月16-18日	684	250	5月24日	0	2
7月24-26日	1008	185	9月11日	0	-
8月4-24日	1008	150	9月26日	0	-

供試品種：アールスセイヌ

慣行区：臭化メチル20kg/10a

害を出しながらも生産を維持してきた。そんな中に飛び込んできたのが臭化メチル全廃のニュースである。それからは圃場の一部を利用して臭化メチルに変わる新しい防除技術の模索を続けた。

新しい技術候補として試みたのは、臭化メチルに代わる化学合成農薬（クロルピクリンの錠剤とテープ剤、クロルピクリン・D-Dくん蒸剤、ダゾメット粉粒剤、D-D剤）と、3種類の微生物資材、それに蒸気消毒である。化学合成農薬はおおむね良好な防除効果を示したが、減農薬を求める声に応えられず、また「いつかは有機栽培を」という牧氏自身の希望にもそぐわない。3種類の微生物資材を使用した場合は、出荷率が17-89%で、安定生産ができない。蒸気消毒も、出荷率は30-55%で、やはり安定生産ができない。前途が見出せないでいた時に出会ったのが熱水土壌消毒であった。

最初に熱水土壌消毒を試みたのは2000年8月であるが、8回のべ5.6haを使った試験では、出荷率は常に99%以上が確保できた（表2）。熱水土壌消毒の効果は冬期でも安定しており、また、消毒から定植まで4ヵ月おいた場合でも効果が持続していた。一方で定植を急ぐ場合には、6日以内に定植を終えることが技術的に可能であった。また、前作で線虫被害が激発し収穫に至らなかったような圃場でも、充分な効果があった。こうしたことから、牧氏は2002年以降熱水土壌消毒の全面採用に踏み切っている³³⁾。

3.2 熊本県益城町のピーマン農家の事例

熊本県益城町の河端隆行氏は、約1haのハウスで、ピーマンを栽培している。2000年秋に定植したピーマンに疫病が発生し、最終的な残存株率が30%と、壊滅的な被害を受けた。このままではピーマンの生産が持続できないと、2001年夏に全面的な土壌消毒に踏み切った。この時にクロルピクリンによる土壌消毒と熱水土壌消毒を行い、双方の作業性や防除効果を比較した。熱水土壌消毒の効果は非常に高く、生育初期には疫病の発生が認められず、生育期後半に入って天井ビニールからしづくが滴り落ちる部分に若干の罹病株の発生を見た程度であった。クロルピクリンによる土壌消毒の効果も高く、熱水土壌消毒

との間での防除効果の違いは見られなかった。しかし作業性が段違いで、猛暑のハウス内で防毒マスクなど重装備での作業から開放される意義は大きいと、熱水土壌消毒に高い評価が与えられた。熱水の注入作業は1棟（8m×95m）に2日程度を必要とする（昼夜連続運転を行うと24時間程度）が、その作業の大部分は自動運転であり、他のハウスでの収穫や管理作業の合間に異常のチェックをするだけでよいので、それほど負担にならないとの評価であった。

防除効果とは別に熱水土壌消毒に高い評価が与えられたのは、活着率の良さと旺盛な生育を示す点であった。通常は生育不良で植え替える株が出るが、熱水土壌消毒を実施した圃場では、すべての株の生育がよくそろい、植え替える必要がなかった。クロルピクリン消毒の場合は、生育不良株が散見されるばかりでなく、生育が不ぞろいとなりがちであった。圃場にガラス水槽を埋設して根の生育を観察できるようにしたところ、熱水土壌消毒を行った場合の根の生育は、クロルピクリン消毒の場合よりも旺盛で、根毛も豊富に形成された（図10）。栽培終了後の掘り取り調査でも、細根量、通路部分まで伸張した根量ともに熱水土壌消毒の場合がクロルピクリン消毒の場合を凌駕していた。熱水土壌消毒の場合には、基肥の化成肥料を3割減として栽培したにもかかわらず、生育、収量ともにクロルピクリン消毒の場合よりも良好であった。

河端氏から聞き取った熱水土壌消毒と慣行栽培（クロルピクリン処理）を比較した技術的評価は、表3に示す通りである。

3.3 兵庫県大屋町おおや高原有機野菜部会の事例

兵庫県大屋町と関宮町との境に「おおや高原」が広がっている。おおや高原有機野菜部会は、この高原地帯で、ホウレンソウを中心に、コカブ、ミニトマトなどの有機栽培に取り組んでいる。生産は「コープこうべ」と提携し、無農薬にこだわった有機栽培野菜による高付加価値化で、顔の見える「安心・安全な野菜づくり」がモットーである。2000年には農林水産祭園芸部門で天皇杯、その前年の1999年には全国施設園芸共進会集団の部で農林水

表3 農家からの聞き取り調査による熱水土壌消毒とクロルピクリン消毒の技術的比較

質問内容	热水土壌消毒	クロルピクリン消毒
定植後の活着	非常に良い	良い
追肥の肥効	非常に良い	良い
果実の生育	非常に良い	良い
果実の色つや	非常に良い	普通
株の初期生育	生育が良くそろう	生育が不揃い
8カ月後の草勢	非常に旺盛	旺盛
通路土壌断面に現れる細根量	非常に多い	多い
8カ月後の細根の色調	白色味が強い	やや褐色味を帯びる

産大臣賞を受賞するなど、その技術力の高さは、よく知られているところである。

ところがその無農薬有機栽培に、1997年頃からかけりが見られるようになつた。それは主力農産物であるホウレンソウに萎凋病が発生し、無視できない被害が生ずるようになったためである。ホウレンソウは産地の「顔」ともいえる主力产品でありおそれと他作物に転換することはできない。また「有機栽培」である以上、土壤くん蒸剤を用いた土壌消毒は実施できない。おおや高原は標高が高いため、地温の確保ができず太陽熱消毒の効果は低い。畑地でやや傾斜があるため、湛水も不可能である。対策に行き詰まった時、「まだ実績はあまりないが効果はありそう」ということで提起されてきたのが、熱水土壌消毒である。

1998年にテスト導入を行つたところ、収量は前年の約5倍、株重は4.4倍となり、マンガン過剰症などの生育障害は認められなかつた。このことは、萎凋病対策に光明を与え、生産者に热水土壌消毒機導入を決断させることとなつた。ここで防除効果とともに高く評価されたのは、消毒に伴うロスタイムが短いことで、圃場が乾ければすぐにでも作付け可能となるという热水土壌消毒の特徴は、年間の作付け回数が経営の大きな要素となる軟弱野菜類の栽培を主とするおおや高原では、消毒効果とは別の意味で大きな魅力となつた。

その後おおや高原では、傾斜地での消毒方法にも工夫を凝らし、斜度が6-7%程度までの圃場では実用的な防除効果が得られること、斜度がさらに大きくなつた場合には热水の注入方法に工夫を凝らすことである程度の対応が可能であること、防除効果の持続性は高く、14作後でも萎凋病の発生を低く抑えていることなどの点を明らかにし³⁴⁾、萎凋病の発生で広がつた不安を払拭して、「安心・安全な野菜づくり」を継続している。

3.4 千葉県長生村のトマト農家の事例

千葉県の長生地域は、施設トマトの栽培が盛んな地域である。この地域では青枯病と褐色根腐病の発生が多く、対策に苦慮している。約40aの施設でトマトを栽培している木島一茂氏の圃場もその例外ではなく、2002年の半

促成栽培では褐色根腐病が、抑制栽培では青枯病が多發し、大きな被害を受けた。特に抑制栽培では平年比61%の出荷量しか確保できず、被害は甚大であった。何らかの対策が必要と痛切に感じていたところ、たまたま隣接する一宮町においてメロンの土壌病害を対象とした热水土壌消毒試験が行われることを知り、見学に出向いた。一宮町の試験では、3月下旬というまだ地温もそれほど上がっていない時期にも関わらず、深さ45cm地点の地温は60°Cを越える状態となり、青枯病に適用しても充分に防除効果が期待できるのではないかと考えられた。

そこで長生農業改良普及センターとも相談し、テスト導入してみることとした。トマトでは、褐色根腐病に対して热水土壌消毒の効果が高いことはすでに広く知られている。青枯病に対する効果は、圃場によりばらつきがあるため、青枯病に対する実用的な防除効果が得られれば、充分導入に値する技術と考えられた。

2002年6月に実施したテストでは、2,000m²の圃場の処理に8日間を要したが、そのほとんどは夜間も含めた無人の連続作業で対応でき、作業的には無理なく実施できた。消毒後は「Bバリア」を台木とした接木苗を定植したが、青枯病の発生株率は0.8%で、前年とは見違えるような生育状況を示し(図8)、出荷量は前年対比185%となつた。同氏の所有する別ハウスはクロルピク



図14 热水土壌消毒により生育は旺盛になり安定生産が確保された（写真提供：窪田耕一氏）

リン・臭化メチルくん蒸剤で処理したが、そこよりも根量が多くなり、根の1本1本も太く白い傾向にあった。

引き続いて定植した半促成栽培でも褐色根腐病による被害は認められず、抑制栽培と同様、前年とは見違えるような生育状況を示した(図14)。こうしたことから木島氏ほか3名の農家は「長生村熱水組合」を結成して共同で熱水土壤消毒機の導入に踏み切り、安定生産維持への自信を深めている。

4 热水土壤消毒の課題と今後の方向

热水土壤消毒が農家に導入され始めた初期段階では、農家から热水土壤消毒システムそのものに対し多くの要望が寄せられた³⁵⁾。当時のシステムはまだ発展途上にあり、自動化・省力化という点では多くの課題が残されていた。その後、热水土壤消毒が農林水産省の補助事業「热水等利用土壤管理園芸栽培実用化技術開発事業(2000年4月～2003年3月)」に取り上げられると、システムの改良という面で大きな前進がみられた。特に、軽トラックに積載可能な小型の热水調製用ボイラー、高温水の散布に使用可能なチューブ、散湯装置の走行安定性の確保など、重要部分についての新たな技術開発が行われた。热水土壤消毒システムを製造・販売するメーカーも、2004年6月末現在で、11社を数えるようになっている。現時点における普及面でのネックは、システムの低価格化ということになるものと思われる。

システム改善の進展に比べ、現場にあわせた利用法に関する技術的蓄積と、それにもとづく圃場改良はまだ始まったばかりである。それぞれの圃場にあわせた最適条件の検討、热水土壤消毒の実施を前提とした土づくりや圃場整備、施肥条件の検討などが、今後の重要な問題となると考えられる。特に施肥問題の検討は重要で、热水土壤消毒では硝酸態窒素や加里の下層への移行、地力窒素の無機化促進、根の活性の増大などといった現象が見られることから、適正施肥量の策定を初めとした施肥問題改善への取り組みが急がれる。热水土壤消毒を実践している農家の一部では、基肥として施用する化学肥料を30-50%減らし、生育にあわせて追肥で対応しようという取り組みが始まっているが、今後の動向を示す貴重な示唆と考えられる。

摘要

化学合成農薬に依存せず安定した防除効果を示す土壤消毒技術として热水土壤消毒が注目されている。本法は80-95℃の热水を圃場に注入して地温を上げ、熱によって有害微生物の駆除を図るものである。糸状菌病や細菌病、線虫、土壤害虫、雑草など広い範囲に適用でき、安定した防除効果を發揮する。加えて、実施可能時期の幅が広く、暖地では年間を通じてでも実施可能で、寒冷地でも極端な厳寒期を除けば実施可能である。热水土壤

消毒を実施すると作物の生育が促進され、細根がよく伸長して、根毛の形成量も多くなる。果実も大型化する傾向にあり、収量増も期待できる。環境に優しい土壤消毒技術として、導入農家数も急速に増加しつつある。

引用文献

- 1) 西 和文. 2002. 热水土壤消毒—その原理と実践の記録—. 日本施設園芸協会: 7-16
- 2) 國安克人. 1993. 热水消毒によるホウレンソウ萎ちよう病防除. 今月の農業. 37(10): 44-50
- 3) 國安克人・竹原利明. 1993. 热水土壤消毒によるダイコン萎黄病防除試験—热水温度と防除効果(講要). 日植病報. 59: 322
- 4) 百田洋二・國安克人. 1992. 热水土壤消毒法によるダイコンのキタネグサレセンチュウ被害抑制(講要). 日植病報. 58: 107
- 5) 森谷 茂・渡邊和洋・西 和文・清水 啓. 1994. 热水土壤消毒によるダイコンのキタネグサレセンチュウの防除. 東北農業研究. 47: 309-310
- 6) 森谷 茂・渡邊和洋・西 和文. 1994. 热水土壤消毒によるハクサイ根こぶ病の防除. 北日本病虫研報. 45: 76-79
- 7) 岩本 豊・高木 廣. 2001. 軟弱野菜に発生する土壤病害に対する热水土壤消毒の利用. 今月の農業. 45(4): 58-62
- 8) 江口武志・森山美穂・横山 威. 2002. イチゴほ場における热水土壤消毒のクルミネグサレセンチュウに対する被害回避効果と土壤微生物への影響. 九州農業研究. 64: 91
- 9) 竹内妙子・福田 寛. 1993. 热水土壤消毒によるトマト青枯病、褐色根腐病、およびサツマイモネコブセンチュウの防除. 千葉農試研報. 34: 85-90
- 10) 國安克人・竹内昭士郎. 1986. 热水注入による土壤消毒のトマト萎ちよう病に対する防除効果. 野菜試験場報告. A14: 141-148
- 11) 酒井 宏・白石俊昌・萩原 廣・竹原利明・中山尊登・齊藤初雄・漆原寿彦・蓼沼 優. 1998. スイカ黒点根腐病の热水処理および薬剤による防除. 関東病虫研報. 45: 77-79
- 12) 中山尊登. 1999. 热水土壤消毒法の現状と今後の展望. 植物防疫. 53: 475-478
- 13) 西 和文. 2000. 热水を利用して最新の消毒技術. 土壤伝染病談話会レポート. 20: 190-199
- 14) 西 和文・國安克人・高橋廣治. 1990. 热水土壤消毒によるダイズ黒根腐病の防除. 菌草研究所研究報告. 28: 293-305
- 15) 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
- 16) 百田洋二・西 和文・萩原 廣・國安克人. 1991. 热水土壤消毒の主要線虫に対する効果(講要). 日植病報. 57: 127
- 17) 西 和文・佐藤 剛・福田徳治. 1992. 热水土壤消毒によるコムギ立枯病の防除. 関東病虫研報. 39: 39-42
- 18) 萩原 廣・佐藤 剛・齋藤初雄. 1996. 热水土壤消毒によ

- るコムギから黒穂病の防除. 関東病虫研報. 43: 57-58
- 19) 植松清次. 2002. 热水土壤消毒—その原理と実践の記録—. 日本施設園芸協会: 68-73
- 20) 西 和文・林 浩之・佐藤 剛・福田徳治. 1991. ダイズ白絹病菌菌核の生死に及ぼす热水土壤消毒の影響. 関東病虫研報. 38: 55-58
- 21) 北 宜裕・植草秀敏. 1999. 热湯散布による土壤消毒. 農耕と園芸. 54(11): 105-109
- 22) 野島秀伸・仁田尾百恵・最勝寺 宰・清本なぎさ・西 和文. 2002. 施設野菜の土壤病害および線虫の物理的防除. 九州農業研究. 64: 82
- 23) 西 和文・池田剛志・猪野敏雄・西牟田康博・儀藤善行. 2002. 热水土壤消毒—その原理と実践の記録—. 日本施設園芸協会: 53-57
- 24) Uematsu, S., K. Nishi and N. Kita. 2003. Hot Water Soil Sterilization Begins in Japan. Farming Japan. 37(2): 35-41
- 25) 福岡幸博. 2001. 花きにおける热水土壤消毒・蒸気消毒. 農業愛知. 2001. 5: 66-67
- 26) 植草秀敏・高木 廣. 2002. 热水土壤消毒—その原理と実践の記録—. 日本施設園芸協会: 104-107
- 27) 大嵩洋子. 2004. 热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
- 28) 廣瀬敏晴・石川順也. 2002. 热水土壤消毒—その原理と実践の記録—. 日本施設園芸協会: 66-68
- 29) 岡本昌弘. 2002. 热水土壤消毒—その原理と実践の記録—. 日本施設園芸協会: 96-101
- 30) 橋本知義. 2002. 热水土壤消毒—その原理と実践の記録—. 日本施設園芸協会: 101-104
- 31) 山口純一郎. 2002. 热水土壤消毒—その原理と実践の記録—. 日本施設園芸協会: 124-127
- 32) 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热水土壤消毒によるホウレンソウ萎ちよう病防除. 関西病虫研報. 42: 53-54
- 33) 牧 信一郎. 2003. 热水土壤消毒と私のメロン栽培. 今月の農業. 47(3): 68-71
- 34) 長田靖之. 2002. 热水土壤消毒—その原理と実践の記録—. 日本施設園芸協会: 28-32
- 35) 山崎宏志・牧 信一郎・西 和文. 2002. 热水土壤消毒—その原理と実践の記録—. 日本施設園芸協会: 49-53

DNAアレイを活用した野菜研究の現状と展望

トマト試験研究におけるDNAアレイ利用 —トマト成熟生理研究への利用—

今 西 俊 介

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

Large-scale Gene Expression Analyses of Tomato Fruit Ripening Physiology Using DNA-array Technology

Shunsuke IMANISHI

National Agriculture and Bio-oriented Research Organization

National Institute of Vegetable and Tea Science

キーワード：トマト，DNAアレイ，エチレン，ジャスモン酸，成熟変異系統

1 はじめに

昨今の青果物に対するニーズは、高鮮度・高品質・高機能性へと高度化している。成熟した果実を食するトマトなどの果実の利用に関しては、成熟が進みすぎると商品性を失うため、未熟果収穫・定温輸送貯蔵といった成熟を抑制する流通技術が発達してきたが、高品質を求める現在の食生活ニーズには対応し切れていない。流通のグローバル化により激化した国内外の野菜の産地間競争においては、これらのニーズに応えるための高品質化流通技術を開発することが急務である。そのためには、生長の中で強度に制御かつ高度にプログラムされている果実成熟の生理機構を、分子生物学的手法を活用して解明し、果実の成熟メカニズムに則った技術開発を行うことが効率的である。数千個以上の遺伝子発現変動を同時に解析するDNAアレイ技術は、果実成熟のように複雑かつダイナミックな現象の解析において、有用である。本稿では、DNAアレイを用いた網羅的な遺伝子発現解析によるトマト果実の成熟生理機構の解明への取り組みを紹介する。

2 成熟関連因子と成熟変異系統における網羅的遺伝子発現解析

生化学および分子生物学的な解析結果から、成熟を制御している内的因子としてエチレンが大きな役割を果たしていることが知られている¹⁾。エチレン生合成に関わる遺伝子のうち、ACC(1-Aminocyclopropane-1-carboxylic acid)生成酵素4遺伝子(*LeACS4*)が成熟初期に、ACC生成酵素2遺伝子(*LeACS2*)とACC酸化酵素1遺伝子(*LeACO1*)が成熟期を通して、それぞれ発現するこ

とが知られている¹⁾。また、ジャスモン酸等のオクタデカノイド類は、新しい植物ホルモンとして、植物の病害抵抗性や、老化、成熟に深く関わっていると考えられる^{2,3)}。我々はジャスモン酸メチルエステル(MeJA)処理が、成熟のエチレン生合成に関わる*LeACS2*遺伝子発現を誘導するが、*LeACS4*遺伝子の発現には顕著な影響を与えないことを明らかにしてきた⁴⁾。トマトにおいては、*rin* (*ripening inhibitor*), *nor* (*non-ripening*) 等の成熟が抑えられた表現型を示す変異系統がいくつか報告されている。これらの原因遺伝子が転写因子をコードしていることが明らかとなり、エチレンとは独立して果実成熟を制御する機構の存在が明らかとなってきた⁵⁾が、その全容は解明されていない。そこで、野生型系統および成熟変異系統*nor*トマト果実の成熟におけるエチレンおよびオクタデカノイド類の遺伝子発現に対する影響をDNAアレイを用いて網羅的に解析した⁶⁾。

2.1 試験方法

本研究では、先端技術を活用した農林水産研究高度化事業No.1424「DNAアレイを活用したトマト果実形質の育種選抜技術の開発」の受託により整備されたDNAマクロアレイを使用した。これは、トマト研究のモデルとして利用されている極矮性品種‘Micro-Tom’の果実および緑葉由来のEST解析により得られた、重複の無い10,911個のcDNAクローンが搭載されている。

開花後35日目の野生型系統もしくは*nor*系統のトマト果肉組織から、コルクボーラーによって果肉ディスクを作製し、蒸留水、もしくはエテフロン(1 ppm), MeJA(100 μM)で処理した後、全RNAを抽出した。5 μgの全RNAをラベルし、DNAマクロアレイへハイブリダイゼーションを行った。発現強度は、各遺伝子のシグナル強度

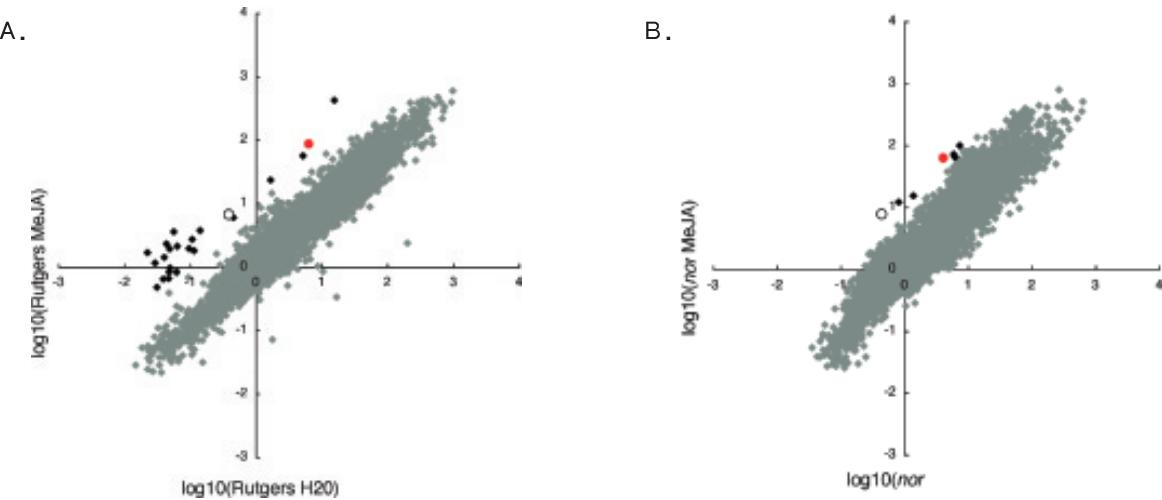


図1 トマト果皮ディスクにおけるジャスモン酸メチルエステル処理 (MeJA) による遺伝子発現の変化

(A) 野生型系統‘Rutgers’ (B) ‘Rutgers’をバックグラウンドとする成熟変異系統nor
横軸：水処理時、縦軸：MeJA処理時の発現レベルをそれぞれ対数で示す。濃黒、10倍以上MeJA
処理で上昇；丸（白および赤）、両系統において10倍以上MeJA処理で上昇；赤丸、*LeACO1*

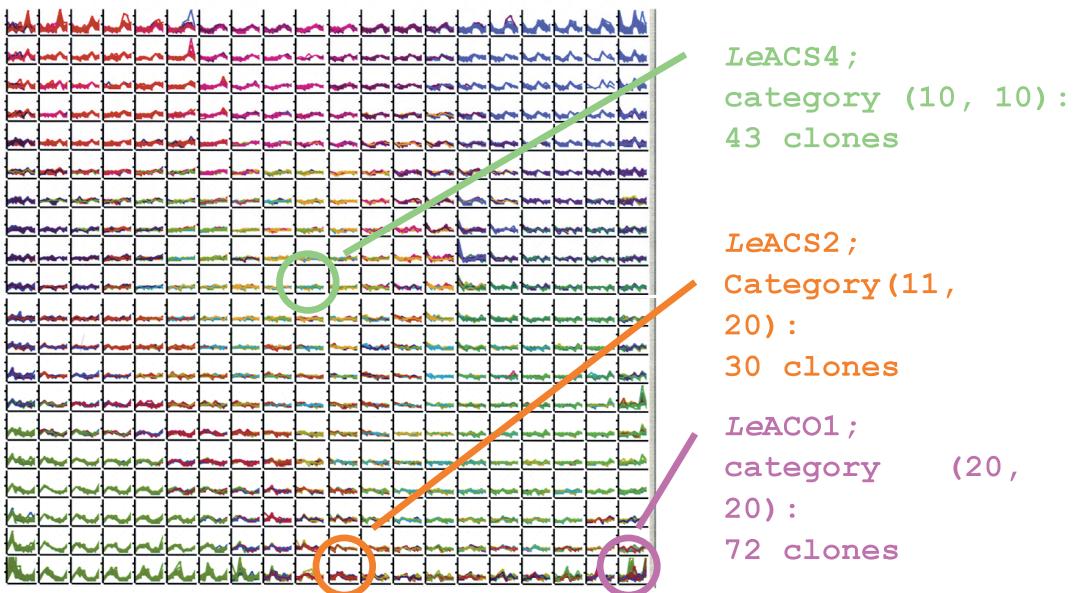


図2 多変量解析による発現パターンの分類
全遺伝子の発現パターンを類似性によりSelf-Organized Map解析で20x20カテゴリーに分類した。

をアレイ上の全遺伝子のシグナル強度の中央値で除して求めた。

2.2 解析結果

図1に各遺伝子のMeJAに応答した発現変化を示した。DNAアレイに固定されたcDNAクローンのうち、野生型系統ではMeJAによって、4クローンの発現レベルが10分の1以下に下降し、24クローンが10倍以上に上昇した（図1 A：濃黒スポット）。これらの野生型系統で10倍

以上に上昇するクローン中、成熟変異系統norにおいても、MeJA処理によって発現レベルが10倍以上に上昇するのは2クローンのみ（丸スポット）であり、多くのジャスマン酸類誘導性遺伝子が、成熟変異系統norの原因遺伝子である*LeNOR*の支配下にあることが示唆される（図1 B）。また、*LeACO1*（赤丸スポット）は重複する2クローンに含まれ、ジャスマン酸類が成熟エチレン生成関連の遺伝子の発現を、*LeNOR*非依存的に調節していると考えられる。野生型系統で見られたMeJAによる発現誘導が

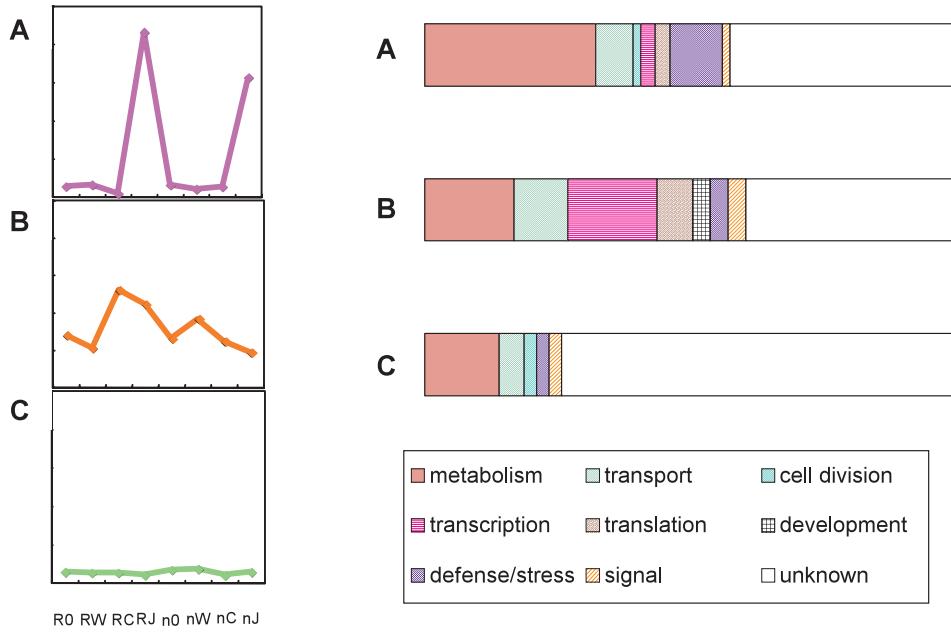


図3 多変量解析によって分類された遺伝子群の機能推定

LeACO1(A), *LeACS2*(B), *LeACS4*(C)の発現パターン(左)と、それぞれ類似した発現パターンに分類された遺伝子群の機能を推定した(右)。グラフはR0, 野生型系統(WT)未処理; RW, WT水処理; RC, WTエチレン処理; RJ, WT MeJA処理; n0, nor未処理; nW, nor水処理; nC, norエチレン処理; nJ, nor MeJA処理時の発現レベルを表す。

*nor*変異系統では見られない遺伝子が存在し、一部のMeJA応答が*LeNOR*の支配下にあることが示唆される。

野生型系統および*nor*系統におけるMeJAおよびエチレンに応答した発現変動パターンを、多変量解析のひとつであるSelf-Organizing Map法により20×20カテゴリーに分類すると、*LeACS2*, *LeACS4*, *LeACO1*と同じカテゴリーに分類されるのは、それぞれ30, 43, 72クローンであった(図2, 図3)。

野生型系統と*nor*系統とともにMeJAで誘導される*LeACO1*のカテゴリーには、自己防衛・ストレス関連に加えて代謝関連遺伝子が、また、野生型系統でのみエチレンとMeJAで誘導される*LeACS2*のカテゴリーには、転写や翻訳に関連する遺伝子が多く含まれる(図3)。野生型系統と*nor*系統ともに植物ホルモンによる誘導を受けない*LeACS4*のカテゴリーには機能未知の遺伝子が多い(図3)。これらは*LeACS4*同様、植物ホルモンや*LeNOR*遺伝子以外の、成熟トリガーとなるシグナルによって発現制御されることが示唆され、未知遺伝子の中に果実成熟に深く関わる遺伝子が含まれる可能性が示唆される。

3 今後の可能性

今後は、*nor*以外の成熟変異系統や、異なる成熟ステージにおける遺伝子発現パターンの網羅的解析を行い、

さらに成熟制御に深く関わる遺伝子の候補をピックアップするとともに、それぞれの果実中の内生ジасモン酸量やエチレン生成量を測定することにより、遺伝子発現および植物ホルモンの両面から、果実成熟生理機構のキーとなる因子を明らかにしていく予定である。得られる成果は、キー遺伝子をDNAマーカー化したマーカー育種による高日持ち性果実の分子育種だけでなく、キー因子を指標とした成熟度判定や効果的な流通条件の設定などに応用することにより、高品質化流通技術に資することができると考える。(本研究は、先端技術を活用した農林水産研究高度化事業「DNAアレイを活用したトマト果実形質の育種選抜技術の開発」に基づいて行った。)

摘要

食生活ニーズに対応した高品質化流通技術を開発するためには、野菜の生理機構に則った技術開発を行うことが効率的である。果実成熟のように複雑な現象の解析において、数千個以上の遺伝子発現変動を同時に解析するDNAアレイ技術の有用性は非常に大きい。重複の無い10,911個のトマトcDNAクローンを搭載したDNAアレイを用いた網羅的解析により、成熟変異系統*nor*原因遺伝子およびエチレンに非依存的に発現する遺伝子群を検出できた。この遺伝子群は、成熟トリガーとなるシグナルによって発現制御されることが示唆され、果実成熟制御

に関わる遺伝子が含まれる可能性がある。果実成熟機構に深く関わる遺伝子が同定されれば、高日持ち性系統の分子育種、成熟度判定および高品質流通技術開発に利用できると考えられる。

引用文献

- 1) Alexander, L. and Grierson, D. 2002. Ethylene biosynthesis and action in tomato: a model for climacteric fruit ripening. *J. Exp. Bot.* 53:2039-2055
- 2) Creelman, R.A. and Mullet, J.E. 1997. Biosynthesis and action of jasmonates in plants. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 48:355-381
- 3) Imanishi, S., Hashizume, K., Nakakita, M., Kojima, H., Matsubayashi, Y., Hashimoto, T., Sakagami, Y., Yamada, Y. and Nakamura, K. 1998. Differential induction by methyl jasmonate of genes encoding ornithine decarboxylase and other enzymes involved in nicotine biosynthesis in tobacco cell cultures. *Plant Mol. Biol.* 38:1101-1111
- 4) Imanishi, S. and Nagata, M. 2004. The effect of methyl jasmonate on the expression of ripening related genes in tomato fruits. *Plant Cell Physiol.* 45 (Suppl.):s78
- 5) Giovannoni, J.J. 2004. Genetic regulation of fruit development and ripening. *The Plant Cell*. 16:S170
- 6) Imanishi, S., Noguchi, A., Hatakeyama, R. and Nagata M. 2005. Monitoring the effect of jasmonates on the expression of ripening related genes in tomato fruit disks by cDNA macroarray. *Acta Horticulturae in press*

果菜類の施設生産における省力・快適生産技術の現状と課題
(兼ブランドニッポン6系戦略会議)

栽培面からみた省力・快適化への研究戦略

金井 幸男
群馬県農業技術センター

The Research Strategy to Reduction of Labor and Comfortable from the Cultivation Side

Yukio KANAI
Gunma Agricultural Technology Center

キーワード：トマト，短節間性トマト，省力化，セル成型苗，誘引，整枝

1 はじめに

野菜生産の現場では、担い手の減少や生産者の高齢化・価格の低迷により、省力化・低コスト化が一層重要な課題になっている。課題解決のため野菜生産の機械化・省力化の技術開発が進められているが、施設果菜類の場合には機械化や省力化が困難な作業も多い。

施設トマトの栽培においては、育苗管理については購入苗の導入が増加しており、セル成型苗の直接定植後の草勢管理に課題を残しているが省力化が進んでいる。定植後から収穫までの栽培管理作業では、着果作業に関しては訪花昆虫の導入による省力化が進んでいる。今後は、誘引整枝作業、収穫作業の省力・快適化を図る必要がある。

本課題では、現地に導入されている省力的な栽培技術に関して整理するとともに、慣行のトマト栽培における省力・快適化技術として、セル成型苗の直接定植栽培と

誘引整枝方法の試験結果を紹介したい。また、省力化に対応し開発された短節間トマトの栽培特性を紹介したい。

2 導入が進む省力化技術

表1に、群馬県における長期どりトマトの作業別労働時間を示した。1997年の数値であるが、作業時間は収穫・選果・荷作りが最も多く、次いで育苗、ホルモン処理、誘引整枝作業の順となっている。また、図1には時期別作業時間の推移を示した。1997年と2003年を比べると400時間程度の大幅な作業時間の削減が図られている。時期別には、特に育苗作業を中心である8月から9月が減少しており、10月以降も3月、4月を除いて減少している。セル成型苗、ポット苗等の購入苗の利用（図2）による育苗作業の省力化や、訪花昆虫の導入（表2）によるホルモン処理の省力化が進み、作業時間の削減が進んでいると考えられる。

表1 長期どりトマトの10a当たり作業別労働時間

(1997年群馬県農業技術課経営指針)		
作業内容	時間 h	割合 %
育苗	190	10.1
土壤改良	20	1.1
耕耘	8	0.4
定植	30	1.6
灌水	60	3.2
誘引・つる下げる	140	7.4
摘葉・腋芽摘み	120	6.3
病害虫防除	100	5.3
ホルモン処理	156	8.3
収穫・選果・荷作り	543	28.7
運搬	170	9.0
その他	353	18.7
合計	1890	100.0

注) 8月中旬播種、自家育苗接ぎ木栽培

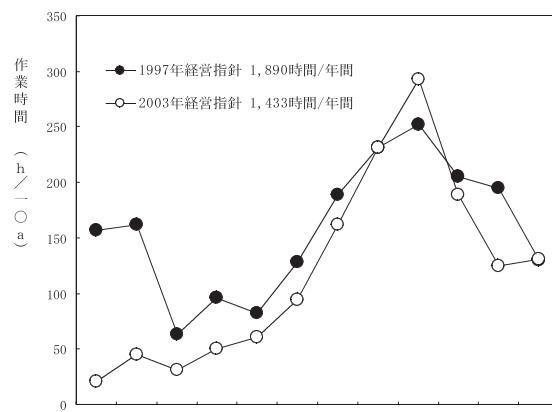


図1 長期どりトマト時期別作業時間の推移
(群馬県経営指針)

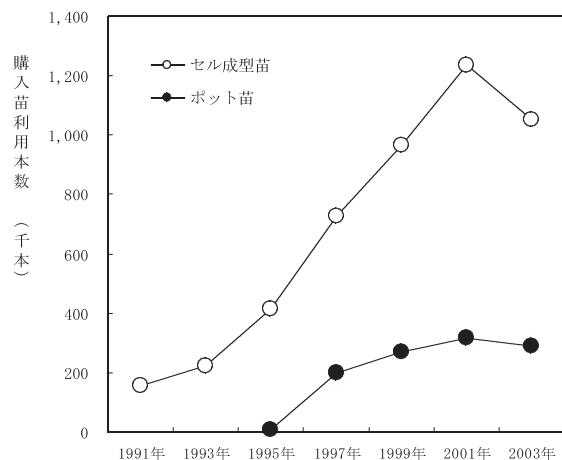
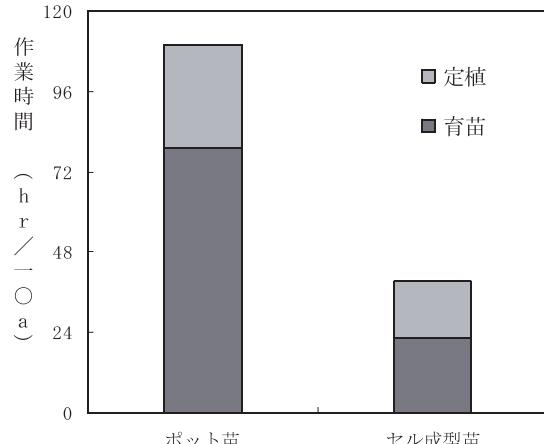


図2 群馬県におけるトマト購入苗の利用状況

ミニトマト、加工トマト含む
(扱い手支援課専門技術員グループ)

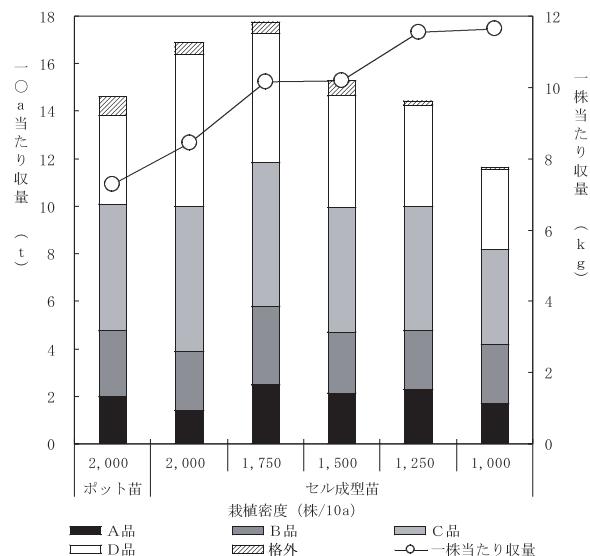
表2 訪花昆虫利用状況
(扱い手支援課専門技術員グループ)

年度	戸数 戸	面積 ha	栽培面積 ha	比率 %
2001年	391	95.3	298.3	31.9
2003年	474	126.3	309.9	40.8

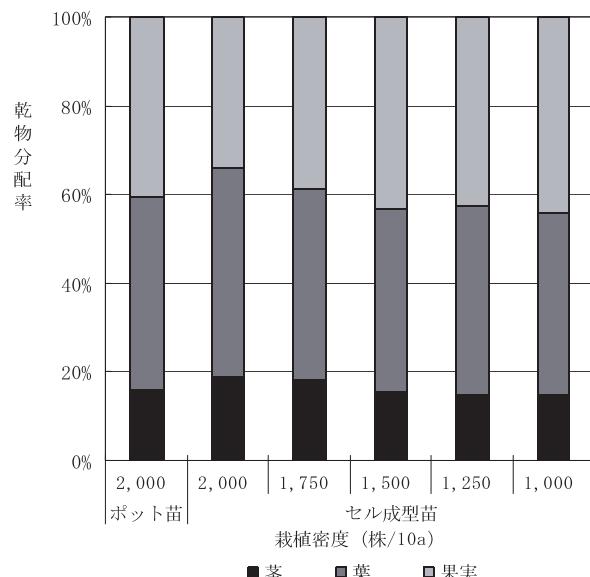
図3 トマト育苗方法による育苗・定植時間の比較 (2003)
品種: 桃太郎8, 3月22日播種, 4月16日接ぎ木
72角穴セルトレイ使用

この他に、現地で導入が図られている省力化技術としては、セル成型苗の直接定植、平うね栽培、2本仕立て¹⁾栽培などが挙げられる。セル成型苗の直接定植は、抑制、促成、長期どり作型において、畑地帯でかん水による生育制御が可能な圃場を中心に徐々に導入が進んでいる。平うね栽培は、栽培ベッドの作製労力を省くことと、栽培ベッド面から誘引線までの距離を長くして収穫果房数を増加させることを目的に導入が図られている。

2本仕立て栽培は、購入苗の導入に伴い、2次育苗の

図4 セル成型苗直接定植栽培における
栽植密度と収量の関係 (2000)

8月26日播種: ハウス桃太郎
収穫期間: 1月12日～6月5日

図5 セル成型苗直接定植栽培における
栽植密度と乾物分配率の関係 (2000)

8月26日播種: ハウス桃太郎
2月21日, 一段果房直上から調査

省力化と苗購入コストの削減を目的に導入が図られている。

このように、省力化技術の導入により総作業時間は減少しているものの、依然として3月から5月の収穫最盛期は作業が重なり労働過重になっており、規模拡大、低コスト化の制限要因になっていると考えられる。

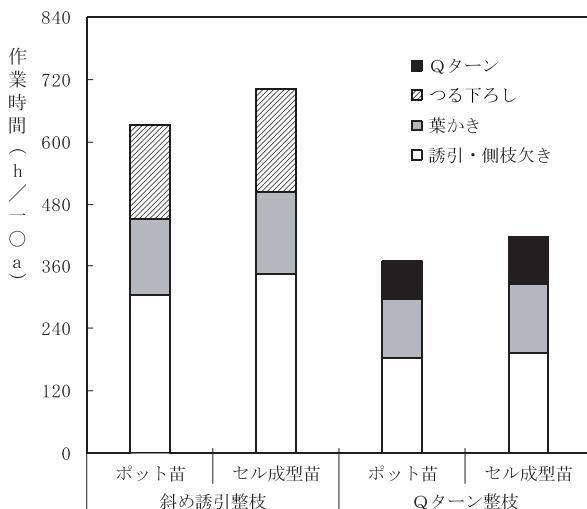
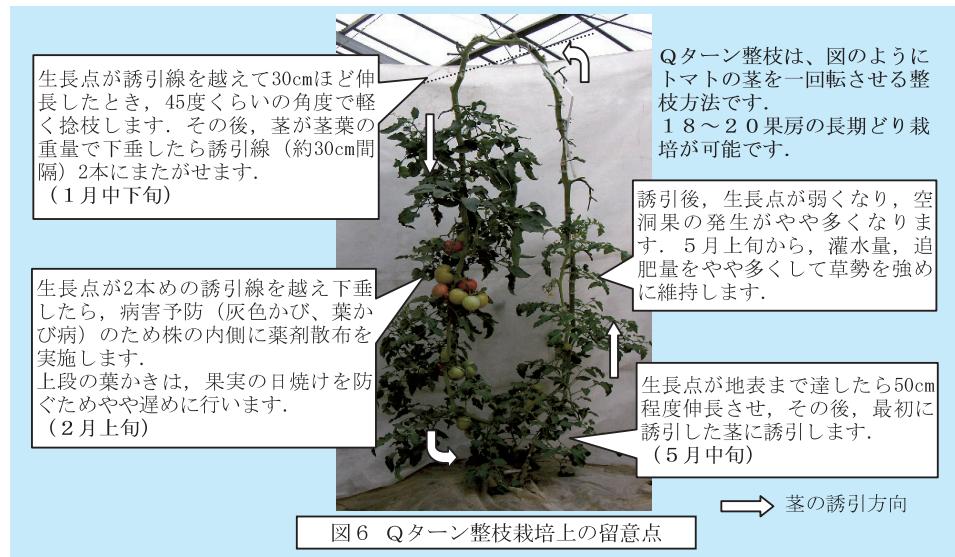


図7 誘引整枝法・育苗による管理作業時間の比較（2003）

3 セル成型苗の直接定植栽培における最適栽植密度

セル成型苗の利用は、図2に示したように年々増加している。利用方法は、ポットに鉢上げ（2次育苗）し、従来の苗と同じ大きさの苗にして定植する方法と、圃場に直接定植する方法がある。直接定植は、育苗作業時間が大幅に削減され、定植作業も軽量で省力なため（図3）、徐々に導入が図られている。しかしながら、定植後の草勢が旺盛になり生育制御が困難で上物収量や品質が低下しやすいことが問題となっている。そこで、セル成型苗を直接定植した場合の最適栽植密度について試験を行った。

10a当たりの収量は、セル成型苗1,500株／10a区以上の区は慣行のポット苗区よりも多く、粗植にすると上物

収量（県出荷規格A、B品）が増加した（図4）。また、トマト各器官の乾物分配率は、2,000株／10aでは茎・葉の割合が多く果実の割合は少なかったが、粗植にすると果実の割合が増加した（図5）。

セル成型苗を直接定植した草姿は、茎径太く葉が大きく、慣行のポット苗定植と比較してやや過繁茂の生育となるものの、栽植密度を慣行よりも1割程度減らし、草姿に合わせた栽植密度にすることにより、総収量が増加し上物収量も増加した。直接定植する場合の栽植本数は10a当たり1,750株が最適であった。

4 省力的な誘引整枝方法

図1に示したように、長期どり栽培においては、3月から5月の収穫中期は収穫作業と管理作業、特に誘引整枝作業が重なり労働過重になっている。作型によって栽培期間の長さは異なるが、他の各作型においても収穫開始期以降に伸長した茎をハウス内の限られた空間に配置するのに多くの労力を費やしている。雨よけ栽培や半促成栽培ではつる下ろし誘引²⁾や斜め誘引³⁾、促成栽培や長期どり栽培ではUターン整枝⁴⁾や斜め誘引が多く行われている。そこで、長期どり栽培において作業労力を軽減させる誘引整枝方法を検討した。

試験は、慣行的に行われている、トマトの茎をハウス内に斜めに誘引し、その後つる下ろしを行う斜め誘引と、垂直に誘引しUターン整枝した後にループ状に誘引する整枝（以下Qターン整枝、図6）を比較した。

Qターン整枝の管理作業時間は、斜め誘引に対し210時間短縮し7割になり（図7）、腰を伸ばした状態で収穫できる果房（通路から高さ70cm以上の部分）が増加した（図8）。総収量は、Qターン整枝・セル成型苗で増

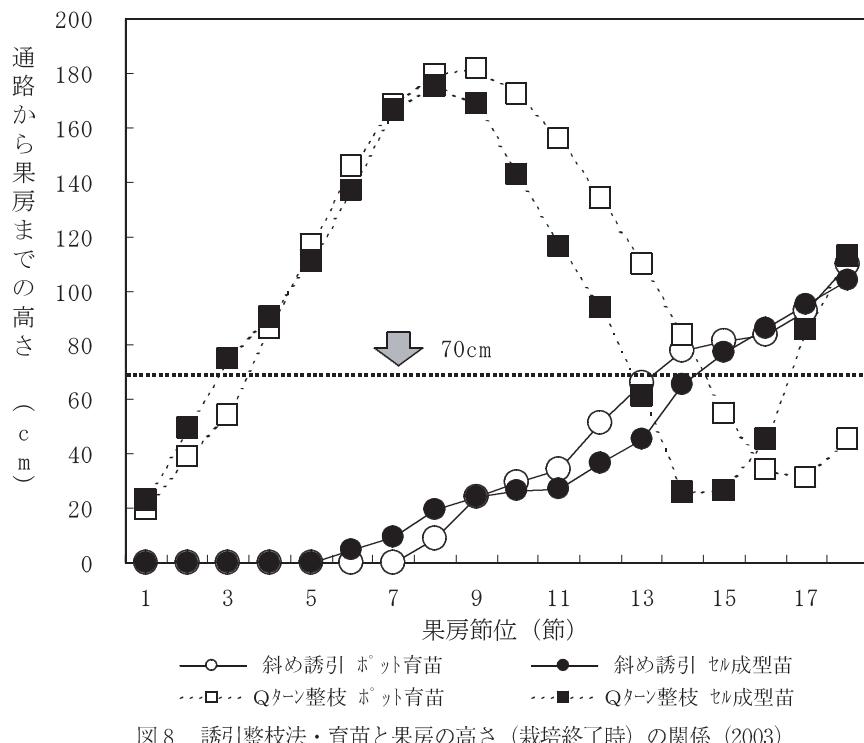


図8 誘引整枝法・育苗と果房の高さ（栽培終了時）の関係（2003）

表3 誘引整枝法・育苗が収量・品質に及ぼす影響（2003）

試験区 誘引整枝法	育苗	総収量 t/10a	規格別収量 (t/10a)					平均1 果重 g	果実規格(B~D品)内訳(%)					
			A品	B品	C品	D品	格外		A品	空洞	乱形	チヤック・窓	格外	その他
斜め	ポット苗	20.0	7.9	4.7	4.1	2.0	1.3	162	42.4	21.4	18.7	5.9	11.6	0.0
斜め	セル成型苗	21.9	7.8	4.1	4.2	4.1	1.6	171	38.9	20.1	19.5	8.5	13.0	0.1
Qターン	ポット苗	19.9	8.1	4.1	3.9	2.8	1.0	180	43.9	21.3	16.3	8.3	9.7	0.4
Qターン	セル成型苗	22.9	8.2	4.9	4.8	3.8	1.2	178	39.5	25.4	19.5	5.2	10.3	0.0

注) 収穫期間 1月17日～7月7日

供試品種: ハウス桃太郎, 台木マグネット

耕種概要: 播種8/22 (72角穴セルトレイ), 接ぎ木9/9, 鉢上げ9/18 (4寸鉢), 定植10/18

栽植密度: うね幅1.8m×株間33cm, 1,684株/10a

加し, 平均1果重が重くなった(表3). Qターン整枝では, 生育後半の草勢が強く維持できるセル成型苗の直接定植栽培の特性が生かせると考えられた.

5 短節間性トマトの栽培特性

野菜茶業研究所・ナス科育種研において, 短節間性食用大玉トマトの育種⁵⁾, 長野中信農試において短節間性ミニトマトの育種⁶⁾が行われている。短節間性トマトは, 慣行栽培品種の2/3程度の茎長であるため(表4), 一定の草丈における収穫可能果房数が増加し大幅な誘引作業時間の短縮が可能となる。短節間性大玉トマトは, 長期収穫を行う場合や草勢が弱いことから, セ

ル成型苗を直接定植した場合に収量性が向上する(図9). 短節間性トマト栽培ではセル成型苗直接定植の効果が高いと考える。

6 今後の課題

今後の課題としては, 育苗面ではより付加価値を高めたセル成型苗の生産が挙げられる。生産者に届く前の2本立て苗⁷⁾の生産や, 作期拡大を可能にするセル成型苗の生産である。例えば, 雨よけ栽培では, 低温期の直接定植が可能となる低温耐性を持った苗や, 長期どり栽培においては, 高温期の定植でも花房の着果が安定した苗⁸⁾などである。

圃場定植から栽培初期にかけては, 作付け前の耕耘・

表4 短節間トマト(AT-SN02)の生育特性

作型	品種	育苗	開花段数	収穫段数	茎長			茎径		
					段	段	cm	cm	cm	mm
雨よけ	AT-SN02	ポット苗	19.0	14.3	90	187	392	11.4	12.4	9.7
		セル成型苗	19.5	15.3	103	193	431	10.6	12.9	10.2
	桃太郎8	ポット苗	16.8	13.3	173	298	522	10.9	10.9	8.6
促成	AT-SN02	ポット苗	23.8	18.2	108	287	490	15.8	14.3	12.3
		セル成型苗	24.5	18.0	100	277	485	17.0	13.3	11.6
	ハウス桃太郎	ポット苗	24.0	18.6	159	447	715	16.1	15.7	12.8

注) 雨よけ栽培, 2002年3月22日播種, 10月17日調査
促成栽培, 2002年8月22日播種, 2003年7月9日調査

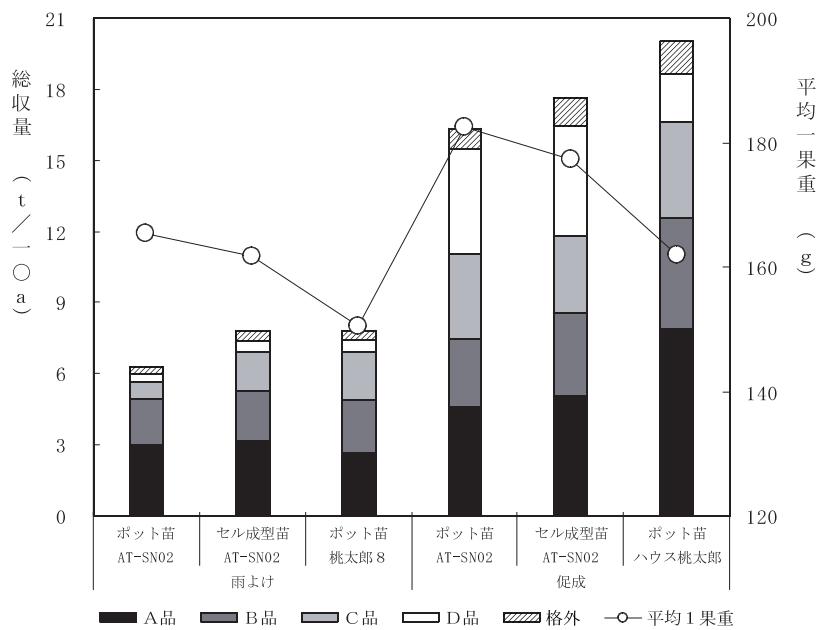


図9 短節間トマト(AT-SN02)の収量特性

雨よけ栽培, 2002年3月22日播種, 7月1日~10月15日収穫
促成栽培, 2002年8月22日播種, 1月13日~7月7日収穫

畠立て作業を不要とする不耕起・平畠栽培⁹⁾が実証されている。また、定植後の生育制御においては、容易に草勢管理が行えるかん水施肥栽培法¹⁰⁾が開発されている。セル成型苗の直接定植とこれらの技術を組み合わせることにより、より省力的な栽培が可能になると考える。

収穫管理作業面では、作業性向上させる効率の良い栽植様式や、誘引整枝方法と栽植密度の関係を更に検討する必要がある。そして、環境調節による着色のコントロールなど収穫期のピークを平準化させる収穫調整技術の開発が必要と考える。

7 おわりに

収益性を上げるために、高品質、多収量、規模拡大の3点が重要である。景気動向、野菜消費の低下、安価な輸入野菜の増加等の情勢を考えると大幅な単価の上昇

は見込めず、収益性を更に上げていくためには、品質を維持したうえでの多収量が絶対条件になると思われる。育苗から栽培管理を含め一貫した省力体系のなかで、多収穫技術を構築するため、品種栽培技術の両面から更に試験研究を進める必要がある。

摘要

施設栽培トマトについて、現地に導入されている省力的な栽培技術を整理するとともに、慣行のトマト栽培における省力・快適化技術として、セル成型苗の直接定植栽培と誘引整枝方法の試験結果を紹介した。また、省力化に対応し開発された短節間性トマトの栽培特性を紹介した。これらの栽培方法、品種を利用することにより、育苗・定植作業から誘引整枝作業の省力・快適化を図った栽培が可能である。

引用文献

- 1) 青木宏史. 1997. 各種整枝法. 農業技術体系野菜編 2. 農文協: 487-488
- 2) 青木宏史. 1997. つる下ろし整枝法. 農業技術体系野菜編 2. 農文協: 485-486
- 3) 青木宏史. 1997. 斜め誘引整枝法. 農業技術体系野菜編 2. 農文協: 481-483
- 4) 青木宏史. 1997. 直立Uターン整枝法. 農業技術体系野菜編 2. 農文協: 471-472
- 5) 松永啓・吉田建実・佐藤隆徳・斎藤猛雄. 2001. 生食用大玉トマト育種における短節間形質の利用. 園学雑70別1: 244
- 6) 矢ノ口幸夫・岡本潔. 1999. トマトの節間長の品種間差異と短節間生の遺伝解析. 園学雑68別1: 199
- 7) 佐藤博之・佐藤謙一郎. 2000. トマトの2本仕立て育苗に関する研究(第1報)幼苗接ぎ木における摘心部位およびステージの違いが側枝の成長に及ぼす影響. 園学雑69別2: 362
- 8) 吉岡宏・佐藤文生・藤原隆広. 1999. トマトセル成型苗の第1花房着生節位に及ぼす苗齡, セルサイズ, 栽植密度および遮光の影響. 園学雑68別1: 236
- 9) 時枝茂行・青山喜典. 2000. 不耕起・平畝栽培がトマトの生育, 収量, 品質, 土壌の物理性に及ぼす影響. 園学雑69別1: 271
- 10) 大川浩司・林 悟朗. 1998. トマトのセル成型苗直接定植における生育制御のためのかん水施肥栽培法. 愛知農総試研報30: 121-129

育種面からみた省力・快適化への研究戦略

齊藤 猛雄

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

吉田 建実

独立行政法人 農業・生物系特定産業技術研究機構本部

森下 昌三

独立行政法人 農業・生物系特定産業技術研究機構北海道農業研究センター

Breeding Strategy for Labor-saving Cultivation in Fruit Vegetables

Takeo SAITO

National Agriculture and Bio-oriented Research Organization

National Institute of Vegetable and Tea Science

Tatemi YOSHIDA

National Agriculture and Bio-oriented Research Organization Headquarters

Masami MORISHITA

National Agriculture and Bio-oriented Research Organization

National Agricultural Research Center for Hokkaido Region

キーワード：省力、育種、果菜類、カボチャ、メロン、トマト、ナス

1 はじめに

野菜の輸入急増や生産現場における担い手不足は、野菜産地の抱える問題として重要性を増してきている。これらの問題に対応するために省力・軽作業化やコスト低減が求められている。そのための一つの方法として、栽培管理や収穫調整作業の機械化が挙げられるが、機械化の困難な果菜類においては栽培管理の省力化が強く求められている。ここではそのための育種的取り組み、特に「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 6系野菜」における育種的取り組みを中心に紹介する。なお、耐病虫性の付与も栽培管理の省力化に関連する重要な形質であるが、ここでは割愛する。

2 果菜類の省力適性育種に関する文献レビュー

小原（2003）の資料を参考に表1にまとめた¹⁾。

果菜類の中で遺伝形質が最も整理されているのはトマトであり、省力化に関連する形質を付与した実用品種が発表されている。中でも加工用トマトは心止まり性の導入を始めとした一挙収穫に適する特性が付与され、支柱

栽培から無支柱栽培へ転換し、栽培が大幅に省力化された。

ナス科野菜における単為結果性の導入は、栽培管理を省力化する上で非常に重要である。トマトではすでに生食用品種‘ルネッサンス’等が育成されている。単為結果性ナス品種の育成は野菜茶業研究所を中心に実施され、近年中の品種化が期待されている。

ウリ科野菜における省力形質については、世界的に多くの報告があり、伊藤（1993）が整理している³⁾。国内では小葉の‘きゅうり中間母本農3号’、短側枝性の‘メロン中間母本農4号’、巻きひげの発生しないアルスメロン品種‘千葉TL’が育成されている。

イチゴにおいても、栽培・収穫・選果作業の省力化を図るため、草姿、果実揃いおよび果実硬度に着目した選抜が行われた。また、果実揃いの優れる省力型果房形態についての詳細な解析が行われ、実用品種の育成が進められている。

3 短節間性カボチャの育成

（北海道農業研究センター、株渡辺採種場、北海道立花・野菜技術センター、沖縄県農業試験場）

表1 果菜類の省力適性育種に関する文献リスト

品目	省力化を図る場面	付与する（した）形質	品種・系統名	文献番号
加工用トマト	収穫作業	一挙収穫性（心止まり性、成熟集中性・裂果抵抗性・ジヨインストレス果柄等）	ふりこま、なつのこま、さきこま、とよこま、なつのしゅん	2, 3, 4, 5, 6, 7
生食用トマト	着果促進処理	単為結果性	ラークナファースト、ルネッサンス	8, 9, 10, 11
	つる下ろし等誘引作業	短節間性	トマト安濃10号（試験中）	12, 13
	整枝・誘引作業	無側枝性	とまと中間母本農8号	14
ナス	着果促進処理	単為結果性	ナス安濃交4・5・6号（試験中）	15, 16, 17, 18
	快適化	とげなし性	愛知県試交04	19, 20
キュウリ	整枝・収穫作業等	小葉	きゅうり中間母本農3号	21, 22
メロン	整枝作業	短側枝性	メロン中間母本農4号	23, 24, 25
	巻きひげ取り作業	無巻きひげ性	千葉TL	26
	摘果作業	単性雌花着生性	検討中	27
カボチャ	整枝・誘引・収穫作業	短節間性・コンパクト草姿	育成中	28, 29
スイカ	交配労力	多雌花性・多両性花性	育成中	30, 31, 32, 33
イチゴ	栽培・収穫・選果作業	省力型果房性	育成中	34, 35, 36

カボチャ栽培では、育苗、定植、整枝・誘引、収穫等の作業に費やす労力は大きく²⁸⁾、生産者の高齢化や後継者不足に伴い、さらなる省力化が求められている²⁹⁾。それら作業の省力化を図るため、短節間性カボチャの育成に取り組んでいる。

3.1 短節間性の遺伝

伊藤ら(2000)は、「Bush Buttercup」と「マサカリ」のF₂集団を材料に短節間性の遺伝性を解析した²⁹⁾。その結果、短節間性の発現は生育ステージに影響されて不安定であるが、生育初期においては優性に発現することを明らかにした。

3.2 短節間性の発現に及ぼす環境要因の影響

短節間系統、普通品種およびそれらのF₁を材料に播種期を移動して栽培したところ、短節間性は播種時期に影響されることなく、安定して発現することが明らかとなった。また、育苗温度を10, 15, 20および25℃に設定して短節間性に対する温度の影響を調査した結果、育苗温度に影響されず安定して発現することが明らかとなった。

短節間性の「Bush Buttercup」にGA₃を葉面散布したところ、茎が伸長し、またGA₃が高濃度であるほど旺盛に成長する傾向が認められたことから、短節間性はジベレリン合成系の機能不全によると推察された。

3.3 短節間系統の育成経過

短節間性の「Bush Buttercup」を種子親、北海道在来の「マサカリカボチャ」を花粉親に1997年に育種を開始した。「Bush Buttercup」はブッシュ型の草姿で、果形、果皮色、食味等の果実形質はきわめて劣悪である。一方、

「マサカリカボチャ」は強粉質で高貯蔵性、良食味であるが、硬外皮、コマ型果形等の欠点を有する。

育種過程では、短節間性と果皮硬度に重点を置いて選抜および固定を図っている。育成された短節間性の優良固定系統は普通節間系統と交配してF₁を作出し、その特性を評価中である。

3.4 短節間性カボチャの問題点と今後の課題

育成中の短節間性カボチャは株元に着果する傾向があるため、小果になりやすいほか、変形果やきず果が発生しやすくなる。それらを改善するために、簡易な整枝・仕立て法等の栽培管理法を検討する必要がある。

4 短側枝性メロンの育成

(野菜茶業研究所、(株)サカタのタネ、茨城県農業総合センター)

メロン栽培では多大な労力を要する整枝作業の省力化が要望されている。これに応えて野菜茶業研究所では短側枝性の「メロン中間母本農4号」を育成したが²⁴⁾、「メロン中間母本農4号」は必要以上に多果着果を招きやすいほか、果実品質が十分でなく作型によっては短側枝性が不安定である。それらの改良を図るため、容易に着果制御の可能な単性花着生性を導入し、立ち作りに適する単性花型・短側枝性メロン系統の育成に取り組んでいるほか、地這い放任栽培に適する品種の育成、半促成作型に適した品種の育成に取り組んでいる。

いずれも育種は順調に進んでおり、近年中に有望系統が育成される見込みである。

5 短節間性トマトの育成

(野菜茶業研究所, 長野県中信農業試験場, 群馬県農業技術センター, 兵庫県立農林水産技術総合センター, 愛知県農業総合試験場)

トマト栽培, 特に長期栽培において多大な労力を要している蔓下げ作業や誘引作業の省力・軽作業化を図るために短節間性トマトの育成に取り組んでいる。短節間性トマトは普通節間性トマトに比べて単位草丈当たりの果房数が多いため, 収量の増加も期待される。2つのタイプの短節間性トマト, すなわち生食用大玉トマトとミニトマトの育成に取り組んでいる。

5.1 短節間性の遺伝

トマトでは短節間性に関与する遺伝子として, *br*, *bu*, *d*等が知られており^{39, 40)}, 松永ら(2001)は‘盛岡7号’の有する*br*遺伝子を利用して生食用大玉トマトへの短節間性の導入を図った¹²⁾。普通節間性が*br*遺伝子による短節間性に対して不完全優性とされているが, 実用上は短節間性が劣性と考えてよい。矢ノ口と岡本(2001)は*bu*遺伝子を利用して生食用ミニトマトへ短節間性の導入を図った¹³⁾。*bu*遺伝子による短節間性は劣性遺伝する。

5.2 短節間性と果実形質の関係

*br*遺伝子による短節間性固定系統と普通節間性系統のF₂集団を材料にして, 果実の大きさや糖度と*br*遺伝子の連鎖の有無を調査した⁴¹⁾。*br*遺伝子は果皮色を支配する*y*遺伝子と強く連鎖することが報告されているが⁴²⁾, 果実の大きさや糖度とは連鎖していないことが明らかになった。

*bu*遺伝子による短節間性ミニトマトでは果房長も短くなり, ブドウの房のように果実が着生する。さらに, 果

房内における果実の着色が揃う性質も持っている。そこで, 果数制限を行うと, 果房内の果実熟度の齊一化が図られ, ‘房どり’が可能となる。一斉収穫できるため, 収穫作業の大きな省力化が期待できる⁴³⁾。

5.3 短節間系統の育成経過

短節間性の生食用大玉トマト品種の育成を目的に, 短節間性の‘盛岡7号’を種子親, ‘桃太郎8’を花粉親に1996年に育種を開始した。その自殖後代である選抜系統‘TSN97A-36-13’に再度, ‘桃太郎8’を交配した。その自殖後代について, 短節間性および果実形質について選抜を継続し, F₉世代に至り, 諸形質についてほぼ固定した系統が得られたので, ‘トマト安濃10号’の系統名を付し(図1), 2004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した。

短節間性の生食用ミニトマトについても育種は順調に進んでおり, 近年中に有望系統が育成される見込みである。

6 単為結果性ナスの育成

「超省力園芸」プロにより, 野菜茶業研究所, 高知県農業技術センター, 福岡県農業総合試験場, 野菜茶業研究所との共同研究または協定研究契約により公立研究機関6ヶ所)

ナスの施設栽培, 特に冬季の施設栽培においては, 落花や‘石ナス果’が発生し易い。着果および肥大安定化のためにホルモン剤処理や訪花昆虫の利用が行われているが, その労力は全体の約1/4~1/3を占めると言われている¹⁵⁾。また, 近年では, 訪花昆虫であるマルハナバチの環境放出が問題視されることもある。これらの問題を解決するために, 着果促進処理を必要としない単為結果性品種の育成が求められている。

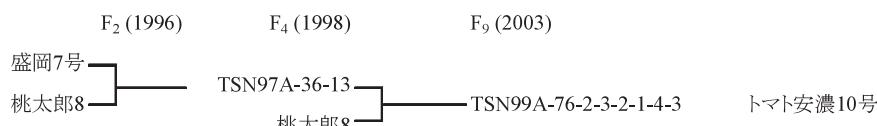


図1 ‘トマト安濃10号’の系図

表2 各品種・系統の単為結果果実の肥大状況

供試品種・系統	供試個体数	1果重 (g)	果長 (mm)	最大径 (mm)	種子数
千両2号	5	20	31	28	0
橘田	5	34	54	36	0
Talina	5	253	243	53	0
Talina 2/1	5	191	192	53	0

1997年1月28日にハウス内へ定植。
開花50~60日後に調査した。

表3 単為結果性の遺伝解析

供試品種・系統	供 試 個体数	出現頻度			正常肥大個体 の期待度数
		正常肥大	石ナス	不着果	
なす中間母本農1号 (P1)	10	0	4	6	
Talina 2/1 (P2)	10	10	0	0	
F1 (P1xP2)	10	10	0	0	
F1 (P2xP1)	10	10	0	0	
F2 (P1xP2)	124	95	7	22	93
BCP1	88	45	20	23	44
BCP2	88	82	0	6	88
千両2号 (対照)	10	0	10	0	

1997年11月11日にハウス内へ定植。

期待度数は単為結果性が1因子優性と仮定した場合を示した。

表4 選抜系統および単為結果性品種の着果特性

供試品種・系統	供 試 個体数	1株当たり			正常肥大果	
		正常肥大 果数	石ナス 果数	萼片のみ 肥大数	長 (mm)	径 (mm)
EP95A-41-5-3-11	12	1.6	0.3	0.0	237	60
EP96A-4-1-4	10	3.6	0.4	0.1	247	68
Rondona	6	0.0	0.0	0.0		
Mileda	6	1.0	0.0	0.0	205	61
Diva	6	0.7	0.0	0.0	157	71
Talina 2/1	6	1.7	0.0	0.0	195	59
千両2号	6	0.0	0.2	3.7		

1998年4月13日にハウス内へ定植。第1花から10花を除雄した。

‘EP95A-41-5-3-11’は、‘Talina’×‘なす中間母本農1号’の後代。

‘EP96A-4-1-4’は、‘中生真黒’×‘Talina’の後代。

‘Rondona’、‘Mileda’および‘Diva’は単為結果性F₁品種。

6.1 単為結果性ナス品種 ‘Talina’ の導入

1994年にイタリア野菜試験場のG.L. Rotino氏から単為結果性のナスF₁品種 ‘Talina’ を導入した。‘Talina’ は、生育がやや晚生、葉や茎に毛茸が多く、茎および果実のヘタは緑色で、果皮は黒紫色のいわゆる米ナスタイプである。国内の主要品種と比較して分枝性および開花数は少ない傾向にある。

‘Talina’ および対照品種を除雄し、その後の果実肥大の状況をみると、‘千両2号’および‘橋田’が「石ナス果」となったのに対し、‘Talina’ およびその由来系統では正常な果実肥大が認められた(表2)。また、普通に交配を行った場合は多数の正常種子が得られ、採種上の問題もないことを確認した。これらのことから、

‘Talina’ は単為結果性の育種素材として有望と判断し、日本型の単為結果性ナス品種の育成を開始した。

6.2 ‘Talina’ の有する単為結果性

‘Talina’ の有する単為結果性の遺伝解析のため、‘なす中間母本農1号’(P1、非単為結果性)、‘Talina 2/1’(P2、単為結果性の‘Talina’の半数体倍加系統)、両者

のF₁、F₂、戻し交雑系統(BCP1、BCP2)、および対照として‘千両2号’を用い、除雄後の果実の肥大状況を調査した¹⁷⁾。その結果、‘千両2号’では「石ナス果」が多く認められた(表3)。これに対し、‘なす中間母本農1号’では「石ナス果」の発生は少なく、ほとんどが開花後に落花した。一方、‘Talina 2/1’は無種子でも有種子果と同等に肥大する果実が認められた。‘なす中間母本農1号’と‘Talina 2/1’とのF₁は、正逆の両方の組合せにおいて、全個体で正常な果実肥大が認められた。分離世代のF₂、BCP1における正常果実肥大個体の出現率は、それぞれ77%および51%であり、正常果実肥大の形質を1因子優性の遺伝子支配とする仮説に極めて良く一致した。

6.3 選抜系統および導入品種の着果特性

単為結果性についてほぼ固定したとみられる選抜系統2点、単為結果性のF₁品種3点、‘Talina 2/1’および‘千両2号’を用い、単為結果性を調査した。その結果、除雄後の正常肥大果数は‘EP96A-4-1-4’が3.6果で最も多く、次いで‘Talina 2/1’、‘EP95A-41-5-3-11’であつ

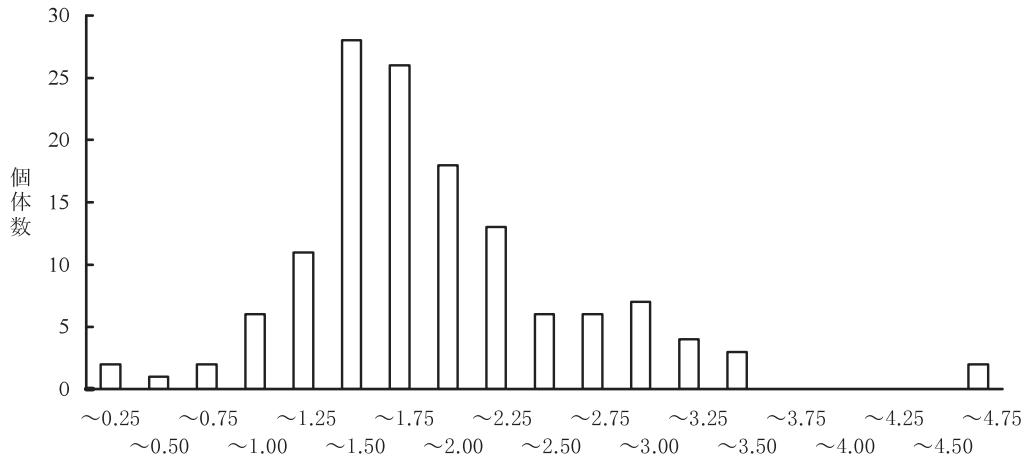


図2 (除雄後に完熟した最大果実の果長) / (自家受粉後に完熟した最小果実の果長) の度数分布図

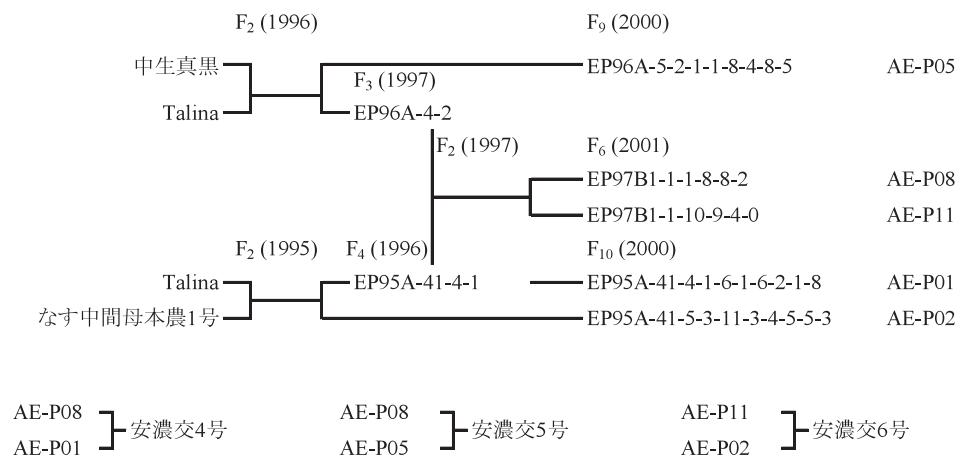


図3 ‘ナス安濃4号’，‘同5号’および‘同6号’の系図

た（表4）。一方、単為結果性 F_1 品種では0~1.0果と少なかった。萼片のみの肥大を含む「石ナス果」の発生は「千両2号」が多く、「Talina 2/1」および単為結果性 F_1 品種では全く認められなかった。

以上の試験の結果、「Talina 2/1」は、無受粉でも着果・肥大する性質を有するが、個々の花でみた場合、その確率は比較的低いことが明らかとなった。同じ単為結果性因子を有するとみられる F_1 品種ではさらに着果率が低下したことから、ヘテロでは発現が不安定と考えられる。したがって、「Talina 2/1」の完全肥大型単為結果性は1因子の不完全優性を示す遺伝子に支配されると推察された。

一方、「千両2号」等の国内品種は、「石ナス果」までしか肥大しないものの、着果とその後の肥大を別の現象として捉えれば、単為結果性を保有すると考えられる。

「千両2号」の有する単為結果性は、開花期においては「Talina」由来の完全肥大型単為結果性よりも着果促進

効果の高いことが示唆された。本形質は、「千両2号」と「なす中間母本農1号」で「石ナス果」の発生率に差異があるところから、複数遺伝子支配の可能性が高い。「石ナス果」が比較的発生し易い「中生真黒」と「Talina」の後代で正常肥大果数が多かったことから、「Talina」由来の主働遺伝子とともに集積することにより、着果安定に寄与することが示唆された。

6.4 ‘AE-P03’の有する単為結果性

育成した固定系統‘AE-P03’の有する単為結果性について遺伝様式の推定を試みた¹⁶⁾。‘AE-P03’と単為結果性を持たない‘LS1934’、これらを両親とした F_1 および F_2 を供試し、2003年9月26日に播種後、ガラス温室で栽培し、各株につき約5花を除雄し、着果の有無と完熟果実の果長を測定した。除雄した果実をすべて収穫後に、開花した花を自家受粉させ、完熟後に果長を測定した。

ナスでは着果しても種子が形成されず、果実の生育が悪い、いわゆる「石ナス果」を生じることがある。「石ナス果」は単為結果によるものであるが、正常に肥大する単為結果性とは区別して考える必要がある。しかしながら実際には、「石ナス果」と正常肥大果を区別するのは困難な場合も多く、そのために正常な肥大に関与する単為結果性遺伝子の解析は十分でない。

「石ナス果」と正常肥大果を区別する方法として、除雄した果実の中で最も大きな果実の果長と自家受粉させて着果した果実の中で最も小さな果実の果長を測定し、前者の後者に対する比を算出した。その比は「AE-P03」では最小1.55、「LS1934」では最大0.75で、1以上の場合は、正常に肥大する単為結果性を有すると判断される。両者のF₁では最小1.65であったことから正常に肥大する性質は優性に遺伝すると判断された。F₂では連続的な変異を示したが(図2)、比の値が1以上であった個体の割合が90%以上であったことから正常に肥大する単為結果性には少なくとも2つ以上の遺伝子が関与していると推察された。

6.5 「ナス安濃交4号」、「ナス安濃交5号」および「ナス安濃交6号」の育成

上述のような知見に加え、単為結果性の発現には温度や日照等の気象条件が強く影響すること¹⁸⁾、高温期の着果安定性に関与する要因の存在が示唆されること等を明らかにしつつ育種を継続し、諸形質についてほぼ固定した10系統を得た。これら固定系統間の一代雑種を作出し、形質を評価したところ品種候補として有望な3組合せが得られたので、「ナス安濃交4号」、「ナス安濃交5号」および「ナス安濃交6号」の系統名を付し(図3)、平成16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した。

6.6 単為結果性ナス育種の今後の方向

3点の品種候補を育成し、品種化へ向けて試験を継続中であるが、これらは分枝性がやや低いという欠点を有する。その点を改良すべく、現在も育種を継続している。また、当研究室ではナス近縁種の細胞質に由来する細胞質雄性不稔系統を見出したこと^{44, 45)}、単為結果性との複合化により、完全に無種子で高品質な省力的品種の作出を図る予定である。

摘要

野菜の輸入急増や生産現場における担い手不足等、野菜産地の抱える問題に対応するために省力・軽作業化やコスト低減が求められている。そのための育種的取り組みを果菜類について紹介した。短節間性カボチャ、短側枝性の「メロン中間母本農4号」を利用した系統や短節間性の生食用ミニトマトが近年中に育成される見込みである。短節間性の生食用大玉トマトである「トマト安濃

10号」や単為結果性固定系統間のF₁である「ナス安濃交4号・5号・6号」が育成され、特性検定試験および系統適応性検定試験が実施されている。このように省力形質を付与された品種や中間母本が公開される日は近い。

引用文献

- 1) 小原隆由. 2003. 1. 省力・機械化適性育種 (1) 果菜類 農林水産研究文献解題No.28-野菜栽培の低コスト・省力化技術- 農林水産技術会議事務局編:18-19
- 2) 藤野雅丈・石内傳治・矢ノ口幸夫・石井孝典・内海敏子・伊藤喜三男.1998. 加工用トマト「さきこま」の育成経過とその特性. 野菜茶試研報. 13:61-71
- 3) 石井孝典・藤野雅丈・矢ノ口幸夫・石内傳治・由比進・伊藤喜三男・内海敏子・沖村誠. 2000. 加工用トマト「とよこま」の育成経過とその特性. 野菜茶試研報. 15:97-106
- 4) 伊藤喜三男・上村昭二・望月龍也・石内傳治・菅野紹雄. 1990. トマト「盛岡22号」の育成経過とその特性. 野菜茶試研報C. 1:11-20
- 5) 望月龍也. 1995. トマトの高色素遺伝子の利用に関する育種学的研究. 野菜茶試研報A. 10:55-139
- 6) 上村昭二・伊藤喜三男・吉川宏昭・門馬信二・菅野紹雄. 1985. 加工用トマトの新品種「ふりこま」の育成経過とその特性. 野菜試報B. 5:43-48
- 7) 矢ノ口幸夫・岡本潔・元木悟. 2001. 加工用トマト新品種「なつのしゅん」の育成とその特性. 長野中信農試報. 16: 1-15
- 8) 菅原真治・伊藤克己・高瀬尚明・桜井雍三. 1990. 温室トマトへの単為結果性因子の導入(第1報) 温室栽培での素材品種及びF₁の単為結果性の発現. 愛知農総試研報. 22: 125-131
- 9) 菅原真治・櫻井雍三・青柳光昭. 1992. 温室トマトへの単為結果性因子の導入(第2報) 単為結果性素材系統の育成. 愛知農総試研報. 24:91-99
- 10) 菅原真治・坂森正博・青柳光昭. 1995. 温室トマトへの単為結果性因子の導入(第3報) 単為結果性トマト新品種「ラークナファースト」の育成. 愛知農総試研報. 27:167-173
- 11) 菅原真治・榎本真也・大藪哲也・矢部和則・野口博正. 2002. 完熟収穫型単為結果性トマト品種「ルネッサンス」の育成経過と特性. 愛知農総試研報. 34:37-42
- 12) 松永啓・吉田建実・佐藤隆徳・齊藤猛雄. 2001. 生食用大玉トマト育種における短節間形質の利用. 園芸学雑. 70別1: 244
- 13) 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
- 14) キュウリの葉の大きさに関する遺伝分析. 育雑. 47別1:13
- 15) 門馬信二. 1996. 単為結果性ナスの特性と今後の利用. 施設園芸. 38:30-33
- 16) 齊藤猛雄・宮武宏治・斎藤新・山田朋宏・福岡浩之. 2004. ナス単為結果性の評価法. 育学研. 6別2:248

- 17) 吉田建実・松永啓・佐藤隆徳. 1998. ナスの単為結果性の遺伝特性. 園学雑. 67別 2:257
- 18) 吉田建実・松永啓・齊藤猛雄. 2001. ナスの単為結果性の発現に及ぼす環境要因および遺伝子型の影響. 園学雑. 70別 2:388
- 19) 堀田行敏・菅原眞治・矢部和則. 2003. ナスの栽培作業を不快にする特性とわが国へのとげなし性の導入. 園学研. 2:1-4
- 20) 恒川靖弘・長屋浩治・堀田行敏・菅原眞治・矢部和則. 2004. とげなしナス‘試交04’の育成. 園学雑. 73別 2:396
- 21) 伊藤喜三男・上村昭二・石内傳治・望月龍也. 1989. キュウリにおける小葉形質の育種的利用. 園学雑. 58別 1:174-175
- 22) 伊藤喜三男. 1990. トマト, キュウリの中間母本の育成とその利用. 今月の農業. 10:28-33 水澤秀雄・平間信夫・松浦誠司. 1997.
- 23) 小原隆由・小島昭夫・若生忠幸・石内傳治. 2000. メロン短側枝性の発現に関する環境要因. 野菜茶試研報. 15: 63-69
- 24) 小原隆由・吉田建実・若生忠幸・石内傳治・小島昭夫. 2001. 短側枝性 ‘メロン中間母本農4号’ の育成経過とその特性. 野菜茶試研報. 16:69-78
- 25) 小原隆由・小島昭夫・若生忠幸・石内傳治. 2001. メロン短側枝性の遺伝および他の形質との関係. 園学雑. 70: 341-345
- 26) 大泉利勝・平林哲夫・古手敏治・松尾多恵子. 1998. 卷きひげの無いアールスマロン ‘千葉TL’ の育成経過と特性. 園学雑. 67別 2:281
- 27) 小川理恵・糟屋真宏・山下文秋・桜井雍三・高瀬尚明・伊藤克己. 1989. 温室メロンの単性雌花系統の育成(第1報) 単性雌花形質の導入. 愛知農総試研報. 21:176-180
- 28) 平井剛・杉山裕・中野雅章. 2004. 短節間カボチャ ‘つるなしやっこ’ の収量性および省力性. 園学研. 3:287-290
- 29) 伊藤喜三男・室崇人・野口祐司. 2000. カボチャにおける短節間および果実形質の遺伝. 園学雑. 69別 2:154
- 30) 杉山慶太・岩永喜裕・菅野紹雄. 1994. スイカ幼苗の温度・日長処理による雌花着生性の検定法. 野菜茶試研報 A. 9: 103-111
- 31) Sugiyama, K., T. Kanno and M. Morishita. 1998. Evaluation Method of Female Flower Bearing Ability in Watermelon using Silver Thiosulfate (STS). J. Japan. Soc. Hort. Sci. 67: 185-189
- 32) 杉山慶太. 2001. スイカの多雌花性および耐裂果性の育種に関する研究. 野菜茶試研報. 16:265-310
- 33) 杉山充啓・坂田好輝・杉山慶太. 2002. スイカの多両性花系統と単性花品種 ‘Kleckley Sweet’ の交雑後代における両性花の分離. 園学雑. 71別 2:329
- 34) 森下昌三・望月龍也・野口祐司・曾根一純・山川理. 1997. 促成栽培用イチゴ新品種 ‘さちのか’ の育成経過とその特性. 野菜茶試研報. 12:91-115
- 35) 曾根一純・望月龍也・野口祐司. 1998. イチゴの収穫調整作業の省力化に関わる果房形態特性の解明. 園学雑. 67別 2:320
- 36) 曾根一純・望月龍也・野口祐司. 1999. イチゴの収穫・調整作業の省力化に関わる果房形態特性の遺伝様式. 園学雑. 68別 2:251
- 37) 伊藤喜三男. 1993. ウリ科野菜の省力関連形質の検索とその育種. 平成5年日種協育技研シンポジウム資料:23-29
- 38) 北海道農政部. 2000. 北海道農業生産技術体系(第2版). (社)北海道農業改良普及協会:98-99
- 39) Chetelat, R.T. 2002. Revised List of Monogenic Stocks. TGC Report. 52:41-62
- 40) Rick, C.M. 1980. Linkage Report. TGC Report. 30: 2-17
- 41) 斎藤新・吉田建実・齊藤猛雄. 2003. 生食用大玉トマト育種における短節間形質の利用短節間形質と果実形質の関係. 園学雑. 72別 2:149
- 42) Butler, L. 1952. The Linkage Map of the Tomato. J. Hered. 43:25-35
- 43) 時枝茂行. 2004. 短節間型ミニトマトを用いた省力化. 施設と園芸. 124:65
- 44) 吉田建実・松永啓・齊藤猛雄. 2002. ナス用台木品種 ‘耐病VF’ 後代における半身萎凋病抵抗性と細胞質雄性不稔性. 園学雑. 71別 2:360
- 45) Yoshida, T., H. Matsunaga, T. Saito, T. Yamada and A. Saito. 2004. Verticillium Wilt Resistance and Cytoplasmic Male Sterility in Progenies of Eggplant Rootstock Variety, ‘Taibyo VF’. XIIth Meeting on Genetics and Breeding of Capsicum & Eggplant. Abstracts. P.97

施設生産における作業労働の実態と改善策

鶴崎 孝

国立大学法人 愛媛大学農学部

Actual Circumstances and Improvement of Farm Labor in Greenhouse Production

Takashi TSURUSAKI

National University Corporation Ehime University, Faculty of Agriculture

キーワード：施設生産，作業労働，作業姿勢，温熱環境，身体負担

1 はじめに

1.1 施設の概念

生産管理の合理化を進める際、その基本条件の一つとして作業の改善が上げられる。この原則論に従って、農業生産における多くの作業は機械・施設化への努力がなされている。

柏（1966）¹⁾は、人間の労働は技術をもってなされる労働であるという。その技術は、まず身体的な操作の巧緻（うまさ）の面に現れ、また労働の技術的手段の製作、使用の面に出てくる、さらに労働する人と人の組み合わせの面に現れて、それぞれ重要な役割を演ずると説いている。すなわち、人と物との関係を含んだ人ととの関係であるといわれる。ここでいう技術的手段は、それを用いることによって労働の成果を著しく高めることができ、一般に道具や機械、さらに容器、装置、施設などを考えている。このうち施設は、施設化することによって生産労働全体の能率を高め、生産結果を大ならしめて、その作用の及ぶところが広く場的な意味をもつものとしている。

一方、森野ら（1969）²⁾は農業施設について、「建物を伴う農業生産の場である」と定義して、場とは単なる場所ではなく、各種機械・設備を備えて生産機能の整った空間を意味するとしている。また、農業生産には農業機械の整備や肥料・農薬の保管・貯蔵などのような間接的な生産行為も含めている。これに関連して相原（1987）³⁾は、多種多様な農業施設には共通する基本的な機能が二つあるとして、自然環境を生産、調製、貯蔵などに適する環境に調節する機能と、生産、調製、貯蔵、出荷などにおける各種作業を能率化する機能を上げている。その例として、温室は環境調節機能が高められているのに対して作業能率化機能は低い、一方、果実の出荷施設は作

業能率化機能が充実しているのに対して環境調節機能は作業者の暑さ・寒さを緩和する程度であるとしている。

これら施設についての考え方には、生産の基本的要因である場・物・人が共通してみられ、作業の関連要因としての施設は、作業者の働きを一層効果的ならしめる技術的手段として考えることができる。一般的に技術水準が高くなると、技術的手段の使用がますます多くなって、人間の直接労働は監視や補助するだけの副次的労働で足りることになり、それは多分に場所的なもの、施設的な技術的手段が重要性を増すといわれる。まさに今日、農業生産・流通施設において自動制御の装置、施設などが多く見られるのはそれである。

1.2 施設と作業

施設は、農業経営の合理化という観点にたてば、それによる生産性の向上および農業労働の節約、関連する作業の改善が目的となるわけで、中でも管理の容易さ、作業の能率化、作業環境の快適化などが求められる。すなわち農業生産を通して、いかに生産効率を高めるか、また、いかに人間労働の軽減を図りうるかという両面からの配慮が必要となる。

1.2.1 施設および付帯設備の配置と作業

施設の配置は、施設利用のうえで重要な意味がある。坂本（1990）⁴⁾は、生産管理における建物および設備の配置計画に関する要項を示すなかで、作業と密接な関係がある事項として、a. 建物などは生産工程の順にしたがって配置され、その経路は最短距離であること、b. 原料ならびに生産物の搬入、搬出に対する道路条件および交通条件を考慮し、運搬に便利であること、をあげている。また、施設に付帯する設備の配置は、定められた生産物の品質、数量、期間などを考慮して生産、調製・加工、貯蔵、出荷などが円滑に行われるよう作業場、

装置・機械、資材などが合理的に備えられる必要があり、作業に関しては次の諸点を留意すべきであるとしている。

- a. 生産工程は、むり、むら、むだ、を省く
- b. 使用頻度の高い設備から重点的に配置する
- c. 作業者の移動距離を短くし、むだな労力を省く
- d. 運搬の距離や回数を少なくする
- e. 安全な作業ができるように環境の整備をする

すなわち、これらは生産が能率良く行われ、作業者の身体負担が軽く、作業環境が快適であることが基本となる。

1.2.2 施設と作業工程

施設における作業工程は、生産管理でいうところの工程管理に属し、作業方法および作業時間の研究において検討されるが、さらに細分化して工程分析、動作分析される。農産物や畜産物は調製、加工、貯蔵、検査、出荷などの生産工程を流れることになり、主に次の項目に沿って工程分析するのが望ましいと考える。

- a. 工 程：工程の全てが必要か、省略できる工程はないか
- b. 作 業 者：なぜその作業者か、他に適任者はいなか
- c. 作 業 場：なぜその場所か、他に適した場所はないか
- d. 工程順序：なぜその順序か、他に適切な順序はないか
- e. 作業方法：なぜその方法か、他に適当な方法はないか

これらと共に原材料の検討、機械の改良、運搬方法の変更などについても検討される。この工程において予測される作業方法は流れ作業で、機械、設備、人員を作業工程の順に配列して、生産を一定の流れで進ませる。ここでは作業時間をほぼ一定にして流れを単純な直線形にする、また指導・調整・交替の要因を適切に配置するなどの考慮が必要となる。

2 施設生産における作業労働と身体負担

橋本ら（1973）⁵⁾は生体機能の見方について述べるなかで、一般に人間工学では、人間のもつ形態的な特異性を道具、機械、施設等との対面の中に取り入れるために、身体各部の寸法を計測して、それら技術的手段からの情報の受け取りや、それらの操作性を助けるということをする、人間の主観（フィーリング）による評価を通して、技術的手段の使い易さとか、身体への適合性を判定しようとする、人間に与える影響を、人間の生体機能の変化という物差しによって判定する生理学の考え方方が重要な手法になるとしている。主な生体機能として呼吸量、心拍数、エネルギー代謝量、筋電図、フリッカー値、血圧、脳波などをあげると共に、これらの一般的な性質には個人差、日周期変動、生活条件の影響、時間変動があると

述べている。

2.1 歩行・運搬と身体負担

歩行は、人間の最も基本的な動作で農作業にも多く含まれる。門田（1961）⁶⁾は作業通路における自由歩行のエネルギー代謝率（RMR）について、上りは、平坦面から傾斜面へ勾配が急になるに従い大きくなる。急勾配になって歩行速度が低下するとRMRの増す度合いは小さくなる。下りは、5～10度のときが最小で、勾配が急になるに従ってやや大きくなる。歩行の労働強度は、傾斜面が平坦面に比較して上りで2～3倍、下りで0.9～1.3倍になるとしている。

一方、人力による運搬では、作業通路、農道など施設の整備に伴う運搬機械、運搬車の普及で短距離のかかえ運搬のウエイトが大きくなっている。図1（鶴崎1983）⁷⁾は自由歩行・かかえ運搬のRMRで、上りは、平坦面から傾斜面へ勾配が急になるに従い、また重量が増すにつれて大きくなる。歩行速度は緩勾配のとき60～80m/minでほぼ経済速度とみられるが、15度になるとかなり減速する。下りは、勾配が5度のときに最小で、歩行速度は80～88m/minと速い。15度になると速度が低下し、RMRは再び大きくなる。人力運搬の労働強度は、歩行に比べて身体負担が一層大きくなり、傾斜面は平坦面に比較して上りで2～5倍、下りで0.8～3.3倍になるとしている。

2.2 作業姿勢と身体負担

農作業の多くは機械・施設化が進み、人力労働の大半は軽減される方向にある。しかし、依然として無理な姿勢を必要とする作業が残存し、作業者の身体負担を大きくする要因となっている。鶴崎ら（1997）⁸⁾は、施設および付帯設備の作業面高さと身体負担の関係をみる場合、その高さは個人差を小さくするために作業者の身長比（棚高さ/身長）を求めて作業者別に設定し、実験を行っている。

図2は模擬栽培棚の針金結び・はずし作業における作業能率であり、針金はずし作業が高能率である。棚高さ

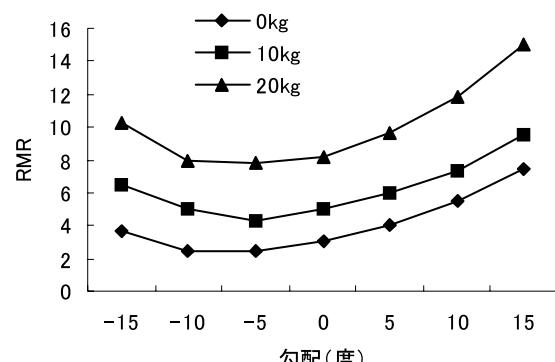


図1 かかえ運搬の重量別、勾配別のRMR

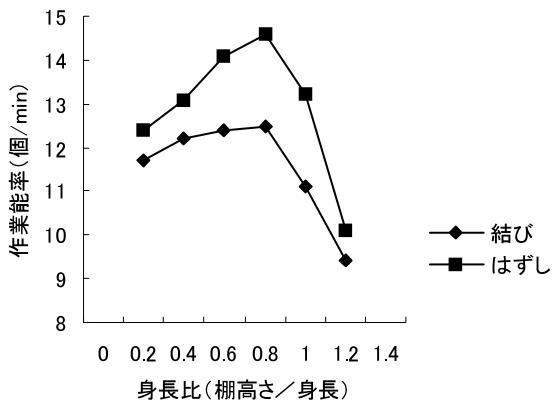


図2 棚作業における高さ（身長比）と作業能率

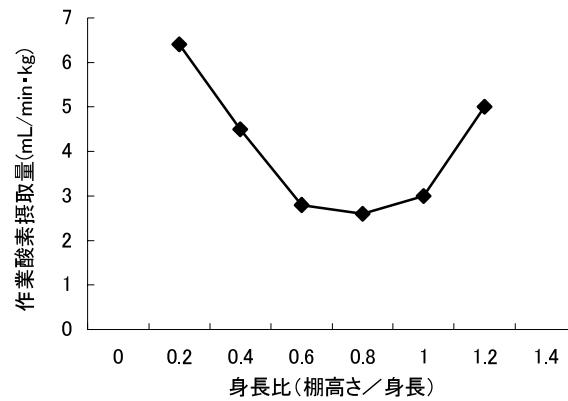


図3 棚作業における高さ（身長比）と酸素摂取量

別では、身長比が0.6~0.8における自然姿勢での立位・対面作業（中位）の能率が良く、身長比が0.40以下および1.15以上の自然姿勢でのしゃがみ（低位）および背伸び（高位）作業の能率が悪くなっている。次に、図3は棚作業の酸素摂取量で、身長比が0.6~0.8の自然姿勢、立位の対面作業で少なく、その比が0.40以下、1.15以上の自然姿勢でのしゃがみ、背伸び作業が多い。なお、身長比が0.6~0.8における拘束姿勢の中腰作業（浅、深）では酸素摂取量が著しく多くなる。これらより姿勢を異なる作業の身体負担は自由な自然姿勢で軽く、無理な自然姿勢および拘束姿勢で重くなっている。

2.3 温熱環境と身体負担

施設生産に関わる作業者に対して施設内環境を良好に保つための要素は、主に温熱環境と空気の質であるといわれる。土居（1988）⁹⁾は、園芸ハウス内の温熱環境が身体負担にかなりの影響を及ぼしているとし、瀬能（1978）¹⁰⁾はライスセンタ施設内の粉塵濃度が全体的に環境基準を上回ることがあるとしている。前者において、ハウスによる周年栽培は環境条件を作物に合わせるために高温・高湿となることが多く、作業者には快適な環境といえないのが実状である。栽培管理作業は身体負担の小

さい軽作業が多いが、作業場の温熱環境が作業者に影響を与え、全体として負担は大きいものになっている。

土居は無風条件下での実験において、気温（℃）と相対湿度（%）からミスナルの式を用いて体感温度（℃）を求め、一方、安静・作業・回復時的心拍数を測定し、両者の関係を考察している。

図4において、安静時的心拍数は体感温度が8~20℃の間では65~72拍/minとほぼ一定であるが、20~34℃へ上昇するに従って平均75~95拍/minへ増加し、至適温度といわれる20℃前後を境界にして変化度も大きくなり、温熱の影響がみられる。同様に、かかえ運搬作業時の心拍数についても、体感温度が8℃と34℃の場合は前者に対して後者が約1.7倍多くなり、運搬量が3kgと12kgにおいては後者が約10~25%増となり、温熱および作業負荷の影響があることを述べている。

3 施設生産における作業労働の改善

農業施設は労働の技術的手段であり、場所的な意味を持っているとするならば、農業構造改善事業や農業振興地域整備法という農業近代化施設（農業生産・流通加工施設など）のほかに広く農道、灌漑排水施設、農用貯水池などを含めて考えることができる。

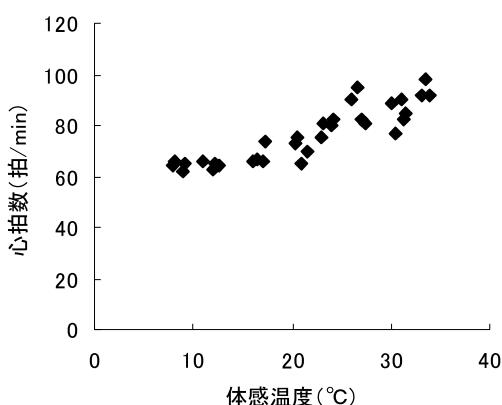


図4 園芸ハウスにおける体感温度と心拍数（安静時）

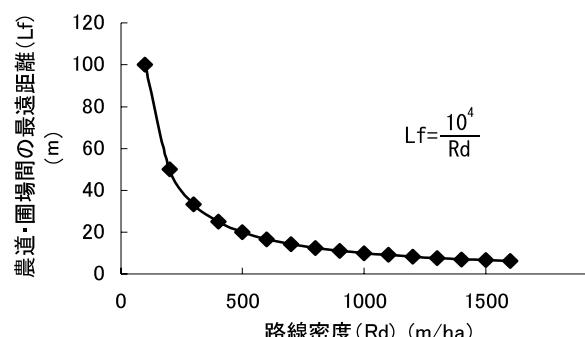


図5 路線密度と農道・圃道間の距離

3.1 農道など施設と運搬作業

農道を施設とみれば、それは恒久的で受益面積が広く、しかも運搬作業の省力化、機械化だけでなく他のあらゆる作業の合理化に役立つとされる。鶴崎(1983)⁷⁾は図5に農道網モデル($L_f = 10^4 / R_d$)を示して、農道密度(R_d , m/ha)の大、小は農道・圃場間の最遠距離(L_f , m)の長、短を左右するとし、この最遠距離は主に人力運搬を必要とする作業距離となるので、これを短縮するためには農道を増設・延長して、密度を高めるべきであると述べている。

果樹園作業道の例では、農道密度を270m/haから1,320m/haに高めて歩行型クローラ運搬車の利用を可能にすると共に、作業道から圃場までの人力運搬距離を約37mから約8mに短縮して、労働軽減で効果を上げている。また、農道の補完施設となる農用モノレールは圃場と農道および集荷施設などをレールで連絡して、そのラインを挟んだ面の運搬を可能にし、人力運搬の作業内容を改善すると共に運搬能率が人力の約3~7倍高くなり、特に傾斜地で能力を発揮するとしている。

3.2 高設培地、可動式棚など施設と管理作業

イチゴ栽培は、従来の平地土耕式から高設培地式に変わり、作業姿勢の改善が行われて管理作業の高能率化および身体負担の軽減化で効果を上げている。鶴崎ら(1999)¹¹⁾は両栽培方法の主作業である収穫、摘葉・摘果について調査・実験した。表1から、作業時心拍数(増加率)は常に立位・対面姿勢で作業ができる高設培地式が121%, 115%で、しゃがみ姿勢が多い平地土耕式の131%, 124%に比べて小さかった。同様に表2で、酸素摂取量は高設式が土耕式に比較して各作業において少なかった。これよりMets(猪飼1976)¹²⁾を求めるとき高設式が収穫2.1、摘葉・摘果1.8で、土耕式の各々2.5, 2.7より小さかった。すなわち、前者の立位・対面姿勢の作業が後者のしゃがみ姿勢に比べて身体負担が軽いと考えられ、これは前述(図3)の身長比と酸素摂取量の関係においても明白となる。

また、ブドウ栽培は水平棚仕立て整枝法(T字型)が多くを占めるが、その管理作業を楽な姿勢で行うことを目的として可動式棚(T~Y字型)が開発された。鶴崎ら(1994)¹³⁾はハウスのブドウ栽培で誘引、整房、摘粒、

表1 イチゴ栽培の収穫、摘葉・摘果作業の心拍数

作業区分	時間(min)		心拍数(拍/min)			% W/R	作業能率など
	作業 Tw	回復 Tr	安静 R	作業 W	回復 Wr		
収 穫	平地土耕	20	10	72	94	86	131 28個/min
	高設培地	20	10	72	87	80	121 36個/min
摘葉・果	平地土耕	20	10	72	89	82	124
	高設培地	20	10	72	83	76	115

表2 イチゴ栽培の収穫、摘葉・摘果作業の酸素摂取量

作業区分	時間(min)		酸素量(ml/min)			Mets	作業能率など
	作業 Tw	回復 Tr	安静 R	作業 W	回復 Wr		
収 穫	平地土耕	20	10	246	584	328	2.5 28個/min
	高設培地	20	10	246	511	255	2.1 36個/min
摘葉・果	平地土耕	20	10	246	552	365	2.7
	高設培地	20	10	246	364	318	1.8

※ $Mets = \{(W*t_w) + (Wr-R)*tr\} / (R*t_w)$

表3 ブドウ栽培の棚作業における酸素摂取量

作業区分	時間(min)		酸素量(ml/min)		Mets	RMR	作業能率など	
	作業 Tw	回復 Tr	安静 R	作業 W				
誘引	平 棚	30	10	230	524	2.3	1.5	3.1(本/min), 169(ml/min)/(本/min)
	可動棚	30	10	242	501	2.1	1.3	7.9 ↗, 63 ↗
整 房	平 棚	30	10	249	438	270	1.8	0.9 4.5(房/min), 97(ml/min)/(房/min)
	可動棚	30	10	260	379	294	1.5	0.6 5.0 ↗, 76 ↗
摘 粒	平 棚	30	10	232	355	246	1.6	0.6 1.5(房/min), 237(ml/min)/(房/min)
	可動棚	30	10	241	354	251	1.5	0.6 2.4 ↗, 148 ↗
袋かけ	平 棚	30	10	252	550	454	2.5	1.7 5.3(房/min), 104(ml/min)/(房/min)
	可動棚	30	10	252	494	308	2.0	1.2 6.0 ↗, 82 ↗

※Mets=作業代謝量/安静代謝量

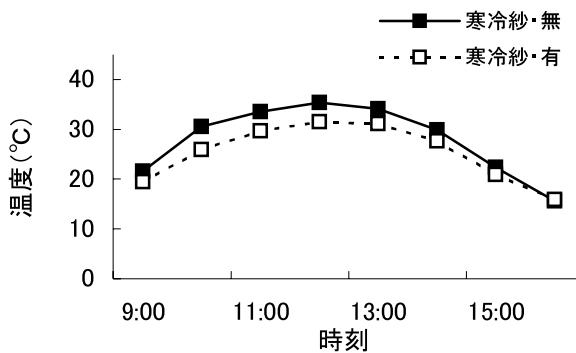


図6 寒冷紗（有無）別ハウス内温度
(鶴崎ら, 2004)

袋かけ作業を調査した。表3において、可動棚は平棚に比べて作業能率が全体的に高く、酸素摂取量が少ないことを示すとともに、Mets, RMRおよび単位能率当たり酸素摂取量も小さいとしている。可動棚は作業時にブドウ枝の角度を上向き30度にするため、各作業が立位、対面位の自然体で楽に行え、身体負担を軽くしている。一方、平棚は棚下、平均h=1.65mの空間で身体(H=1.70m)を屈めて、中腰の上向き作業を必要とし、負担が重くなっている。

3.3 寒冷紗・送風機利用および冷罨法施用と管理作業

生活や作業のために最も適切な環境温度を至適温度といい、一般に気温が低いときは代謝量が大きく、高いときは脈拍数、呼吸数が増加し、発汗が活発となり、体温調節機能が作用するといわれる。また、肉体的負担の大きい作業に従事しているときは、事務作業などの精神的負荷のある作業に比較して環境温度がやや低い方が快適に感じられると、長町(1996)¹⁴⁾は述べている。一方では、人間は人体外部の環境と関係しあって、それに応じて生体内の生理機能を調節して生命の維持を可能にする、また徐々に適応が形成されて一定の期間持続し、多くの環境要因の変化に適応して順化するとされる。

3.3.1 寒冷紗の利用

図6は、ハウスを寒冷紗（遮光率50%）によって遮光した場合のハウス内温度の変化（事例）である¹⁵⁾。被覆の有・無による温度差がみられ、その大きい時間帯は10時～13時で約5°Cの差があった。すなわち、温度30～35°Cの場合、寒冷紗によって25～30°Cに緩和され、ハウスの高温化を抑えることができた。

図7は、温度別(t1～t4)の踏台昇降回数と酸素摂取量の関係である¹⁵⁾。酸素摂取量は作業負荷である昇降回数が増すに従って多くなると共に、至適温度に近い環境(t1)から高温環境になるにつれて多くなった。ハウスにおける作業者の身体負担を軽減するためには、寒冷紗の利用による低温化が効果的であると考えられる。

3.3.2 送風機の利用

図8は、ハウス内の温度別に被験者へ扇風機で送風し

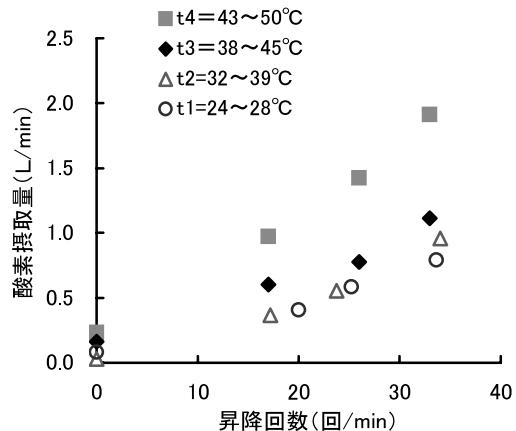


図7 温度別の踏台昇降回数と酸素摂取量
(鶴崎ら, 2004)

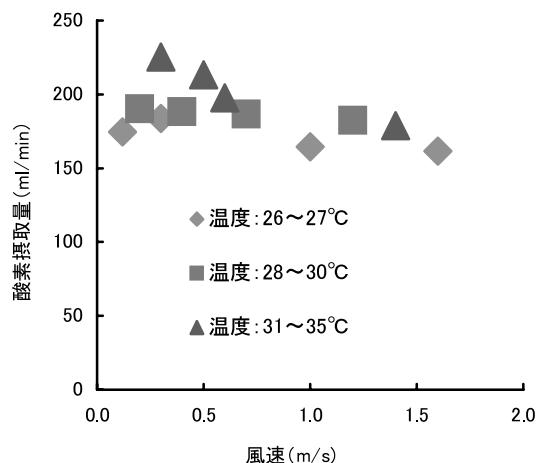


図8 温度別の風速と酸素摂取量
(鶴崎ら, 2004)

た場合の安静時酸素摂取量である¹⁵⁾。酸素摂取量は風速の高い範囲(1.0～1.5m/sec)の各温度で、僅かではあるが減少する傾向がみられた。反対に風速が低い場合(0.5m/sec前後)は、高い温度において酸素摂取量が多くなった。高温環境で適度の送風は身体負担を軽減する効果があると考えられる。

3.3.3 冷罨法の施行

身体の局所冷罨法は体表面近くに動脈が通じている頸部、両腋か、両鼠けい部などを冷やすことにより、身体の快適化を促すことを目的としている。鶴崎ら(2004)¹⁶⁾は高温環境下で作業者に保冷ベルト(冷布)を装着し、頸部冷罨について実験を行った。

図9は、温度と安静時の酸素摂取量で、頸部に冷罨法を施行すると至適温度とされる20°C前後の低温時および高温時の酸素摂取量が少なかった。40～42°C区では冷罨法による効果が顕著であり、同時に試行した温罨法は11～13°C区で効果がみられ、各々、酸素摂取量の増加を抑えることが明らかになった。

図10, 図11は、踏台昇降運動時の冷布の有無別、昇降

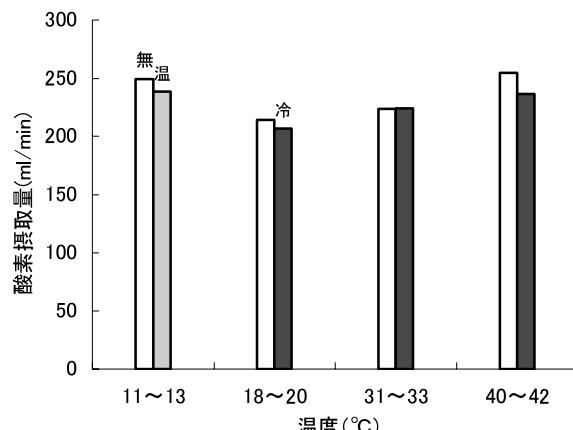


図9 温度と安静時の酸素摂取量

回数と心拍数、酸素摂取量の関係である。作業負荷すなわち昇降回数の増加に伴って心拍数、酸素摂取量とともに増加した。冷布の装着は、心拍数では安静時が約1%の減少であるのに対して、作業時は平均6%減少した。また酸素摂取量では安静時が約3%の減少で、作業時は平均7.5%減少し、各々、冷罨法の効果がみられ、それは作業時に顕著であり、身体負担の軽減に効果があると考えられる。

4 おわりに

(1)人類が自然を克服し、利用していく過程は道具を目的的に合うように開発し、使用していく過程であるといわれる。道具や機械などの労働技術的手段は、広く容器、装置、施設なども含めて考えられ、人間労働の成果を著しく高めている。

(2)農業において多くの作業は機械・施設化されて人間労働の大半が軽減されている。歩行・運搬を伴う作業は高性能な農業機械・施設によって比較的早く省力化されてきたが、無理な姿勢の作業や快適にはほど遠い作業環境が残り、作業者の身体負担を大きくしている¹⁷⁾。

(3)今回の施設生産における作業労働の実態と改善策は一つの事例であり、主に歩行・運搬、作業姿勢、温熱環境の視点から調査・実験に基づいて述べたもので、これらを総合的に捉えて対処すべきであると考えられ、また今後の研究課題でもあると思われる。

(4)人間の生産活動は労働の展開であり、その場合の労働は技術的労働であるとされる。その中で、農業も技術の発展と密接に結びついて存在し、技術の発展が農業の在り方を決定することになり、また農業の発展は技術の在り方を規定もするとされる。すなわち、農業の発展的な姿は技術の展開と不離の関係にあり、科学技術研究の絶え間ない進展が望まれる。

(5)人間を含めた生物の生存環境の中で、生産の基本的要因である場・物・人が共通に存在し、相互に関連し合う農業生産では施設学・労働科学を包括して生産管理技

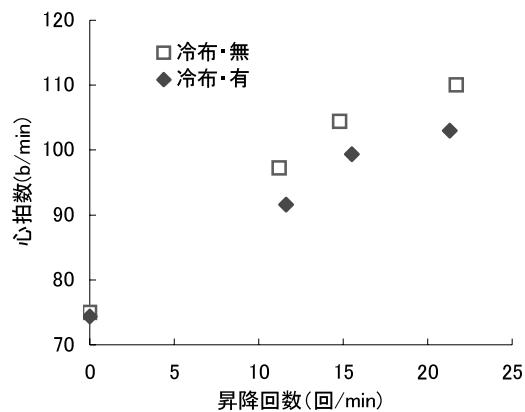


図10 踏台昇降における心拍数

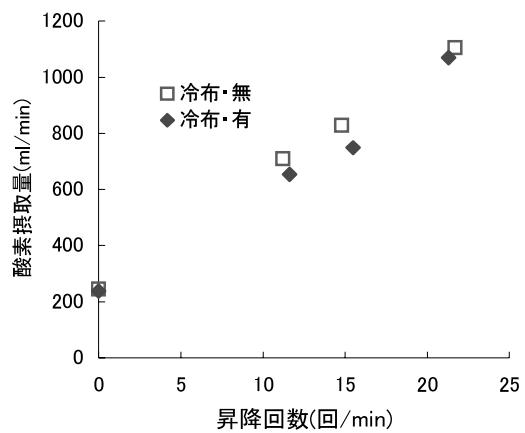


図11 踏台昇降における酸素摂取量

術の基礎となる一連の学問体系をもつ管理工学の応用が必要であると思われる。

摘要

研究の方向として問題点の指摘とその解決を上げ、施設生産における作業労働の実態と改善に関する人間工学的な事例研究の成果を概説した。人間労働は主に、歩行・運搬と作業姿勢、そして周囲の環境に左右されることに注目し、前者では傾斜地での人力運搬が厳しいこと、中者では低位・高位姿勢および拘束姿勢が低能率で身体負担の大きいこと、さらに後者では至適温度（20°C前後）を越える高温下で身体負担が増すこと、等々を明示して検討した。それぞれ改善の方向は、農道・作業通路の設置と運搬機械・車の利用並びに高設栽培地や可動式棚等の導入、さらに寒冷紗・送風機の利用と冷罨法の施行などが肝要であると提示し、これらは作業労働における身体負担の軽減に効果があると考察した。すなわち農業生産を通して、いかに生産効率を高めるか、また、いかに人間労働の軽減を図りうるかという両面からの配慮が必要となる。

引用文献

- 1) 柏祐賢. 1966. 農学原論. 養賢堂 : 216-285

- 2) 森野一高・矢吹万寿・堂腰純・細川明・相原良安. 1969. 農業施設学. 朝倉書店: 1-3
- 3) 相原良安. 1987. 農業の近代化と農業施設. 農業施設. 18 : 1-3
- 4) 坂本碩也. 1990. 生産管理入門. 理工学社: 1-78
- 5) 橋本邦衛・遠藤敏夫. 1973. 生体機能の見方—人間工学への応用—. 人間と技術社: 3-18
- 6) 門田協之介. 1961. 急傾斜農業地帯における運搬労働とその合理化に関する研究. 愛媛大学紀要. 6: 37-77
- 7) 鶴崎孝. 1983. 急傾斜カンキツ園における運搬労働, 特にモノレール車運搬に関する研究. 愛媛大学農学部紀要. 28 : 60-68. 113-120
- 8) 鶴崎孝・山下淳・Dorji SANGAY・久枝和昇. 1997. 栽培棚作業における姿勢と身体負担. 農業機械学会講演要旨: 277-278
- 9) 土居栄城. 1988. 作業環境条件が生体負担に与える影響. 高知大学農学部附属システム園芸実験施設研究報告. 5: 127-136
- 10) 瀬能誠之. 1978. 農業施設の配置計画に関する研究. 農業施設. 9: 10-18
- 11) 鶴崎孝・山下淳・竹下由紀・大館正教・松本陽子・松田文枝. 1999. 農作業姿勢と身体負担—いちご栽培の省力化—. 農作業研究. 34(別号1): 33-34
- 12) 猪飼道夫. 1976. 身体運動の生理学. 杏林書院: 286-294
- 13) 鶴崎孝・長谷川繁樹・小笠原静夫・赤田悟・臼井賢志. 1994. 可動式ブドウ棚における管理作業の身体負担. 農作業研究. 29(別号1): 42-43
- 14) 長町三生. 1996. 現代の人間工学. 朝倉書店: 112-117
- 15) 鶴崎孝・岡本直洋・岩田明子・岡本祥子・長崎裕司. 2004. 園芸ハウスにおける高温環境と作業者の身体負担に関する研究. 農業機械学会関西支部報. 95: 42-45
- 16) 鶴崎孝・岡本直洋・岩田明子・岡本祥子・寺橋篤子. 2004. 園芸ハウスの高温作業における冷罨法と身体反応. 農作業研究. 39(別号1): 97-98
- 17) 日本農作業学会編. 2003. 農作業学. 農林統計協会: 163-173

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

長 崎 裕 司
農林水産省 農林水産技術会議事務局

The Present and the Future of Labor-saving and Comfort Techniques for Farmwork in Hilly-land Protected Cultivation

Yuji NAGASAKI
Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
The Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries of Japan

キーワード：施設園芸、省力化、軽労化、平張型傾斜ハウス、片屋根型ハウス、レール式薬剤散布機、ユーザビリティ

1 はじめに

近年、施設野菜生産においても規模拡大により高収益化を図ろうという動きが活発である。風や雪に対し高強度を有する低コスト耐候性ハウスや、屋根開放型ハウスなど新たな機能を盛り込んだ大型施設が導入されつつある。これまで、わが国全体としては強度が劣るパイプハウス等の小規模施設が依然として多く、独法および公立試験研究機関における研究はこれらを対象とした構造強化、かん水、換気および加温等の自動化機器の導入、作業の省力・軽労化が中心であった。一方で、労働力の高齢・女性・パートタイム化は、施設の規模を問わず大きな問題であり、身体負担が少ない栽培様式や作業機械の適用、温熱環境の改善により、快適なハウス内作業を実現することが一層重要になってきている。

そこで、施設野菜における省力・快適化研究の事例を紹介するとともに、残された課題と今後の研究方向を提案する。

2 既存の研究事例

わが国の施設園芸の発展には、建設コストの問題があるとはいえた大規模化による周年安定生産が重要である。これまで、施設構造、被覆資材等の検討、温室内環境制御や養液栽培等の栽培管理技術に関する研究が行われており、作業技術関係では福岡県において高軒高温室におけるハイワイヤー栽培に対応した簡易高所・低所作業車利用の作業体系が検討され¹⁾、静岡県においてはフェンロー型温室でのメロン栽培ベッドの側面をレールとして利用した、運搬・作業用台車の利用等による高品質・

省力生産システムが開発されている²⁾。また、イチゴについては土耕栽培に収穫作業車の導入を図った事例³⁾や、近年普及が進んできた高設栽培において作業姿勢評価からベッド高さの検討を行った事例⁴⁾など、各地で簡易な省力・軽労化技術に関する検討が行われている。

また、温熱環境関係では高温対策として、作物栽培面からパイプハウスの屋根面を開放するフルオープハウスが各地で導入されており、防虫網との組み合わせで減農薬栽培に取り組んでいる事例⁵⁾や細霧冷房技術の多目的利用や最適化研究が進められている⁶⁾。

今後は省力・軽労化機器・装置の導入だけではなく、作業者の観点でハウス内の温熱環境を評価・改善することで快適化に結びつける研究開発がより重要になり得る。

3 平張型傾斜ハウス導入と傾斜地作業の軽労化技術の開発事例

3.1 傾斜畠野菜作への平張型傾斜ハウスの適用



図1 傾斜面に建てられた簡易雨よけ（右）と市販の鉄骨補強アーチ型パイプハウス（左）



図2 段畑地形に対応した平張型傾斜ハウス



図3 防虫ネット組込平張型傾斜ハウス

従来の傾斜畑での果菜類栽培は、直径約2cmのパイプをアーチ状に曲げ、その屋根部分のみフィルムで被覆した簡易雨よけに依存してきた(図1)。低コストで導入できる反面、強風に対する強度が弱く、風雨から完全に作物を守ることができないため、品質の低下が避けられない。

開発した平張型傾斜ハウスは不整形傾斜畑に対応し、資材コストを約0.9万円/3.3cm²に抑えながら、強度は鉄骨補強パイプハウスの水準以上を確保できた。これは、引き抜きに強い紙製円形型枠製のベース付コンクリート基礎を自作して使用し、主骨材や接合金具に建設足場用パイプ(直径48.6mm)やクランプ類を活用したことが主要因である。被覆はPO系フィルムの原反張りで2~3年使用する。施工はマニュアル⁷⁾にしたがい、農家自身が自作することができます。

段畑地形への対応は、石垣高さが1m程度までであれば屋根面角度を工夫し一体的に覆い、2mを超える場合には、フィルム展張作業や換気性を考慮し、屋根面傾斜が急になりすぎないよう石垣部分で屋根を分離し、換気性を良くするために中央換気窓を設ける(図2)。高温期は下段部分からの暖気による上段部分の温度上昇を軽減でき、ハウス全体の換気が良好に行える一方で、低温期はハウス内に2重張りを設け1台の加温機で上下段を一体的に保溫管理することができた⁸⁾。

1996~2001年に実施した高知県土佐町における実証試



図4 徳島県三加茂町での現地実証実験

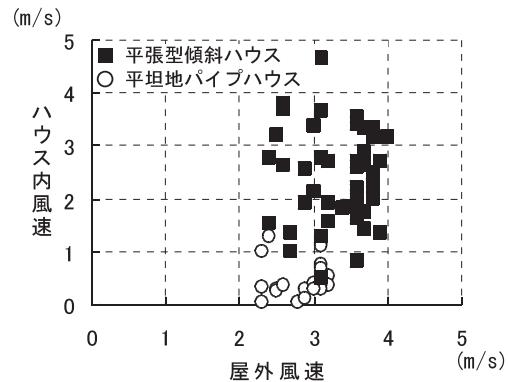


図5 平張型傾斜ハウスの換気性

注：1) 2001年8月17日測定、天候晴れ(平均日射0.53kW/m²)
2) 測定高さ1.5mでその高さには植物体は無し
3) 平張型傾斜ハウス：傾斜10度、面積215m²
4) 平坦地パイプハウス：面積90m²

験では、傾斜4~19度の約80aの農家圃場に建てられていた簡易雨よけの約90%を平張型傾斜ハウスに建て替え、夏秋期のトマト栽培に加え、冬春期のスイートピー栽培も導入し、周年生産による高収益化を図っている。また、高知県の5割減農薬トマト栽培にも取り組み、防虫ネットを全側面に展張した状態(図3)でも換気特性の良さを維持している。

また、2002年から実施されている徳島県三加茂町における実証試験⁹⁾では、省力管理が可能なトマトの養液栽培技術を図4のような平張型傾斜ハウス栽培に適用し、斜面風を利用した高温抑制技術や、雨水処理・利用技術等の検討と合わせた総合研究が取り組まれている。

3.2 平張型傾斜ハウス内を始めとした傾斜地作業の快適・軽労化技術の開発

平張型傾斜ハウスは前述したように換気性に優れている。床面積に対する開口部面積割合が約40%の平張型傾斜ハウスでは、比較した平坦地パイプハウス(同割合約10%)より風の取り込みに有利である(図5)。一方で、安静時のエネルギー代謝を酸素摂取量により測定したところ、ハウス内気温が高くなるにしたがい増加するが、

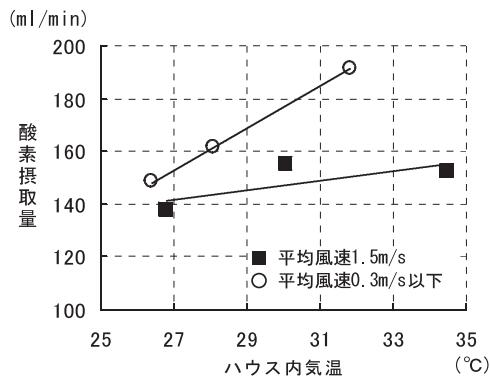


図6 風による安静時エネルギー代謝量の低減



図7 夏秋トマトの等高線畠栽培

表1 薬剤散布作業における作畠方向別の作業能率、身体負担

	作業能率 (h/10a)	最大-最小 心拍数(拍/分)	平均心拍 数(拍/分)	心拍数 増加率(%)
等高線畠 (散布機)	0.97	105-81	96	141
等高線畠 (手散布)	1.66	106-86	93	137
傾斜上下畠 (手散布)	1.38	116-74	103	151

注：1) 作業能率は、実測値より等高線方向長さ25m、傾斜方向長さ12m(面積300m²)のハウス内作業に換算してから10a当たり能率として算出

2) 39歳男性、安静時心拍数：68拍/分



図8 開発したレール式薬剤散布機

風により増加割合が大きく低減したことから(図6)，換気の良いハウスは快適性向上に効果的と考えられる。

傾斜地作業は一般に平坦地に比べ労働負担が大きく、重さ25kgまでの人力運搬では傾斜面(傾斜15度まで)の負担が平坦面に比べ上りで約2~5倍、下りで約0.8~3.3倍になる¹⁰⁾とされている。そこで、傾斜10~19度の傾斜ハウスにおいて、等高線畠栽培(図7)を適用し、管理作業の大半が平坦地と同様に行えるようにした。薬剤散布作業の労働負担を調査したところ、表1のように等高線畠では傾斜上下畠に比べ作業時の心拍数増加率が約10%低減した。また、梁構造を利用したレールを自動往復走行する薬剤散布機(図8)により、一層の省力・軽労化を図ることができる。

4 小規模ハウスにおける軽労化技術の開発事例

4.1 花き栽培農家の作業実態と改善方向

分散した棚田に建てられた各7~9a規模のハウス10棟余りを利用して、ユリを中心にトルコギキョウ等の草花を栽培している花き農家において作業実態を調査した。経営主と妻の労働時間は約1年間でそれぞれ約2,400時間であり、出荷・調整作業が半分を占めていた。その他雇用等で約900時間分を補っているが、定植作業が半分以上であった。球根・苗の定植作業は中腰姿勢であり、腰掛け作業ができる台車等を適用することが望ましい。また、高温期(6~9月)の定植が過半を占めるため、遮光等の対策も必要である。また、ハウスが10ヶ所余りに分散しているため開閉作業に要する時間が比較的多く、温度管理の自動化機器導入が望まれる。

作業時間としては少ないが、薬液の被爆の問題がある薬剤散布作業について、前述したレール式薬剤散布機と市販の携帯型燃焼式煙霧機を組み合わせた周年防除体系を検討した。平面的に栽培されるユリ、トルコギキョウ等の花き類では、ハウス1棟を水平幅広ブームノズルで一斉散布を行う方式が効率的であり、散布効果も手散布と変わらない。薬液の供給は動力噴霧機からホースを介して行い、32mm角パイプレールを自動往復走行して散布する(図9)。質量が約10kgの小型軽量機であり、レールを整備することで複数のハウスで利用できる¹¹⁾。導入コストは本体が約20万円、レール関係資材費が長さ約50mの3連棟ハウス(面積約9a)に3列のレールを設置し、レール間移動の手動台車を付加して約13万円である。一



図9 レール式自動薬剤散布機によるトルコギキョウ栽培での散布作業

表2 薬剤散布作業の能率

	作業能率 (h/10a)
レール式薬剤散布機	0.26
携帯型燃焼式煙霧機	0.23
手散布（動力噴霧機）	0.68

注：間口6m、長さ51mのハウス内作業で算出



図10 携帯型燃焼式煙霧機によるユリ栽培での散布作業



図11 開発した片屋根片ハウス

上図：不整形棚田への適用

下図：外張り遮光と自動換気

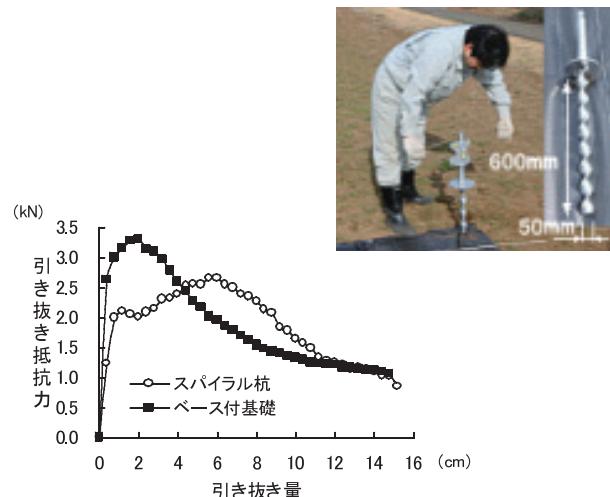


図12 スパイラル杭設置と引き抜き強度

注：地盤強度はスウェーデン・サウンディング試験法(JIS A 1221, 手動式)により、深さ25~75cmにおいて換算N値で3~4（粘性土で軟らかさが軟~中くらいに相当）

方、10~3月の中山間傾斜地では気温が低く霧の発生もあることから、動力噴霧機による液剤散布は使用が限られる。従来のくん煙剤による防除では薬剤が高価であることから、液剤散布用の水和剤・乳剤が使える携帯型燃焼式煙霧機の移動散布により効率的な作業が行えた(表2, 図10)。

4.2 片屋根型ハウスの導入と快適性向上技術

平張型傾斜ハウスの施工技術を援用し、育苗用の片屋根型ハウスを検討した。夏秋期中心の利用では、側面は防風網(4mm目)の展張のみとしたが、強風や雨の降り込みを抑制することができ、換気作業の省力化が図れた。間口は4~8mとし、軒高は低い方で最低2mは確保し、高い方は施工および支柱強度の面から4mまでとした。間口が6m以上の場合には中央列に支柱を配置した。平張型傾斜ハウスと同様に不整形区画にも適用でき(図11)、資材コストは規模により異なるが約1.0万円/3.3m²であった。周年利用を図るには、側窓の自動巻き上げによる換気作業の省力化が有効である。また、高温対策としては、外張り遮光で対応できる。

普及を進めるためより施工方法の省力化を図るため、基礎穴の掘削が不要なスパイラル杭の適用を検討した。施工が容易でベース付コンクリート基礎の約1/10の時間で設置でき、約80%の引き抜き強度を有していることを確認した(図12)。

換気性については側面開放のみの条件では、アーチ型ハウスより風通しが明らかに優れている(図13)。防風網より目合いの小さい防虫網組込での管理の適用も、温度上昇割合は抑制できると考えられる。

温熱環境の評価には、熱中症防止の指標として使われているWBGT(湿球黒球温度)がハウス内についても適用

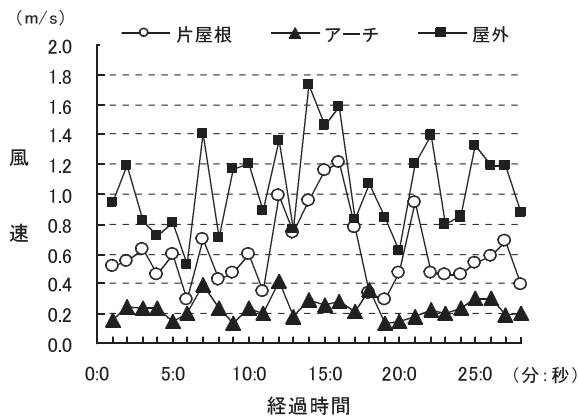
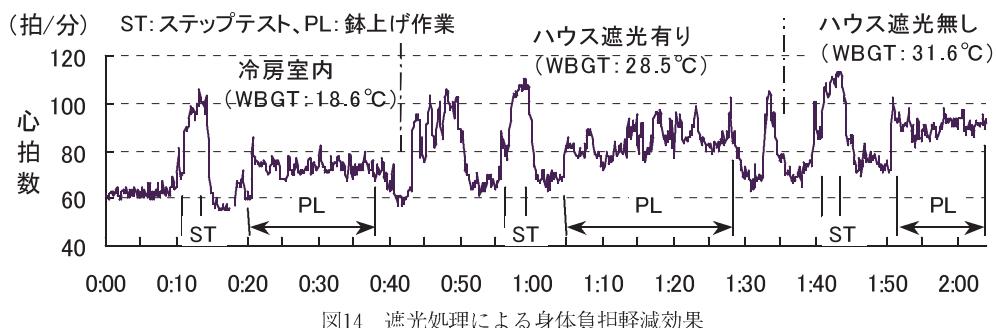


図13 ハウス内外の風速測定結果

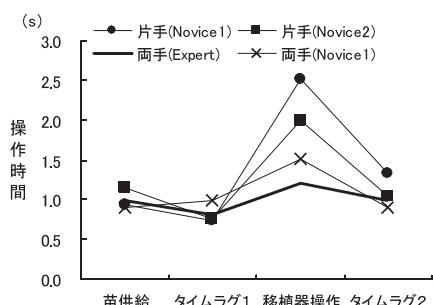
注：2003年7月22日，晴天時。ケンブリッジアキュセンス製風温風速センサ（CAFS-220-S10M）で計測



注：2002年9月11日，晴天時。WBGTはアメニティセンサ（京都電子工業製AM-101）で計測して換算。心拍数はハートレートモニタ（POLAR製パンテージXL）で計測



図15 簡易移植器と電動苗運搬車による定植作業

図16 開発者と他の作業者の操作時間比較
注：定植株数20株での値

できる。乾球(日よけを行う)，湿球および黒球温度を計測するだけで，容易に算出できる。60%遮光の白色不織布資材の外張りによりWBGTが約3°C低下した条件において，身体負担が中程度のステップテストと軽作業の鉢上げ時の心拍数を調査したところ，負担の大きいステップテストでは遮光による軽減効果が明瞭でなかったのに対し，鉢上げ作業では心拍数の低下が確認できた(図14)。

さらにより積極的な暑熱対策として，最近開発された小型ファンを装備した空調服¹²⁾を農作業場面に適用する研究も開始されている。

5 新たな視点での作業評価—ユーザビリティの観点から

ユーザビリティとはISO-13407等で「ある製品が，指定されたユーザによって，指定された利用状況下で，指定された目標を達成するために用いられる際の有効さ，効率およびユーザの満足度の度合い」と定義されている。広義的に「使い勝手」に相当し，日本では「コンピュータを応用した対話システム」等のコンピュータ関連技術で研究が進められている¹³⁾が，人間中心設計という面であらゆる製品に今後要求されてくる概念と考えられる。

この考え方に基づき，ハウス内作業機械の利用技術の

検討を始めている。従来の作業技術・労働科学的評価を基本とし、「使えるか→使いやすいか→気持ちよく使えるか」というユーザビリティの階層¹⁴⁾的な検討を踏まえて研究を進める必要がある。

取り組み事例として、図15のような簡易移植器と電動苗運搬車を組み合わせた定植作業について、従来の心拍数、筋電測定に加え、ビデオ画像を利用し開発者とそれ以外の作業者との操作時間の差を読みとる操作性能測定(NEM: Novice Expert ratio Method)の適用がある。本測定により、移植器操作に改善の余地があること、両手操作が片手より優れていることが数値的に把握できる(図16)。

6 おわりに

施設生産の省力化・快適化には、環境制御用の自動化機器が整備され、高所作業も可能な作業台車が導入できる大規模施設が有利である。既に韓国や中国でも輸出野菜を対象とした大規模施設の整備が進んでいる。施設・労働コストが依然として高いわが国においては、大規模化による生産コスト低減だけで対抗するのは困難である。地産地消や安全な農作物の安定供給という流れを取り込んだ野菜生産が重要であり、省力・軽労化が図れる栽培・作業体系は多様な担い手を形成するのに必要不可欠な技術と考えられる。

したがって、労働力情勢を考慮しつつ、現状のハウス整備状況を踏まえた栽培・作業技術を検討しなくてはならない。品目によってはイチゴ栽培のように積極的に高設栽培を導入したり、作業者近辺の温熱環境を局所的に改善する技術を適用し、他産業並みの快適作業が行えるハウス内環境づくりが望まれる。

摘要

中山間傾斜地を中心とした施設野菜における省力・快適化研究の事例として、平張型傾斜ハウスの開発と快適性向上効果、レール式薬剤散布機等の導入による省力・軽労化、並びに片屋根型ハウスにおける温熱環境改善を紹介する。また、ユーザビリティの観点での新たな農作業評価方法を試みる。今後の施設園芸は大規模化による周年安定生産が重要である一方で、作業者の高齢・女性・パートタイム化が進む中、省力・軽労化機器・装置の導入やハウス内温熱環境の改善による快適化に関する研究開発も必要である。低コストで構造強化を図りながら換気性の向上と広い作業空間を確保した平張型傾斜ハウスや片屋根型ハウスは、大規模化で対応できない産地において特に有用な技術と考えられ、省力・軽労化技術の導入と合わせた他産業並の作業環境作りが望まれる。

引用文献

- 1) 姫野修一・真鍋尚義・森山友幸. 1999. 施設園芸用簡易高所作業車の開発および作業者の身体負担軽減効果. 福岡農総試研報. 18: 63-67
- 2) 大須賀隆司・佐藤展之. 1999. フェンロー型温室における各種省力技術を利用した温室メロン省力生産システムの開発. 静岡農試研報. 44: 43-59
- 3) 森山友幸・真鍋尚義・金丸 隆. 1998. イチゴの収穫における作業車利用による作業能率の向上と労働負担の軽減. 福岡農総試研報. 17: 83-86
- 4) 前川寛之・桐山晴美・黒住 徹. 2000. 農作業の軽作業化に関する人間工学的研究 イチゴ栽培における栽培面の高さと作業姿勢について. 奈良農試研報. 31: 1-8
- 5) 福岡県農業総合試験場 八女分場 中山間地作物研究室. 2001. 八女分場型フルオープンハウスの開発と気象特性. 平成12年度研究成果情報(九州農業) : <http://www.affrc.go.jp>
- 6) 林 真紀夫. 2003. 細霧冷房の現状と課題. 施設と園芸. 2003冬号. 8-13
- 7) 長崎裕司・野中瑞生・川嶋浩樹・的場和弘. 2002. 平張型傾斜ハウス施工マニュアル. 近畿中国四国農業研究研究センター技術マニュアル資料: 1-25
- 8) 四国農業試験場 総合研究部 総合研究第2チーム. 2000. 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年度研究成果情報(四国農業) : <http://www.affrc.go.jp>
- 9) 近畿中国四国農業研究センター 総合研究部 総合研究第3チーム. 2004. ホームページ <http://wenaarc.naro.affrc.go.jp/skkabo/sokenndex2.htm>
- 10) 鶴崎 孝. 1993. 作業関連要因と農作業(総論)5.4施設. 日本農業学会編 農作業学. 農林統計協会. 163-173
- 11) 長崎裕司・野中瑞生・川嶋浩樹・井澤誠一・西澤準一. 2003. 小規模連棟ハウスに対応したレール式薬剤散布機の開発. 農業機械学会誌. 65(1). 152-158
- 12) 【楽天市場】. 2004. 空調服: 夏を快適に過ごすための新分野、新機能の空調服です. <http://www.rakuten.co.jp/pc2bndex.html>
- 13) 黒須正明・堀部保弘・平沢尚毅・三樹弘之. 2001. ISO13407の意義. ISO13407がわかる本. オーム社: 2-5
- 14) 海保博之. 2002. 生活用具の開発・評価に当たっての認知工学的視点(2) 使用性をめぐって. 人間生活工学. 3(4): 61-63

ニンジンの育種と栄養・機能性に関する諸問題

ニンジン産地における新しい病害の発生と対策

新 村 昭 憲
北海道立中央農業試験場

Occurrence and Control of Carrot Diseases in Hokkaido

Akinori SHINMURA
Hokkaido Central Agricultural Experiment Station

キーワード：ニンジン，乾腐病，*Fusarium solani*，発生要因

1 はじめに

北海道では全国のニンジン生産量、約69万tのうち約3割を占め、全国一の生産量がある。そのうち北海道内では富良野市周辺が最も生産量が多く、次いで函館周辺の道南地域が多い。ニンジンの病害は黒葉枯病に代表される地上部病害、被害が直接収量に影響する根部病害、収穫後に問題となる市場病害に分けられ、防除が行われている病害は、線虫類を除くと黒葉枯病に限られる。本病の場合、激発すると収量への影響があるが、北海道においては、多くの場合収量の低下よりも機械収穫による収穫作業に支障があるために（機械収穫では茎葉を持ち上げて収穫するため）防除を行う場合が多い。茎葉に発生する病害は他に斑点病などがあるが、重要度はそれほど高くない。

最も重要で対策が困難な土壌病害では、シミ症状を引き起こす乾腐病、しみ腐れ病、黒しみ病、根腐病が発生しているが、特に乾腐病が重要である。この他に市場病害が一部地域で発生しており、黒ずす病、白かび腐敗病が数年前から発生の報告がある。市場病害の発生件数は

それほど多くはないが、消費者の目にふれることもあるため、産地としては重要な問題である。以上の病害が近年北海道で問題となっているが、これらの中で、最も重要で防除が困難である乾腐病について1999年から2年間、発生状況、発生生態について検討を行い、その生態の一部が明らかになった。

2 北海道におけるニンジンのしみ症状の発生実態

1999年に上川農試および道南農試においてニンジンのしみ症状に関する実態調査を行った。上川農試では富良野管内の5地区においてニンジン選果場からニンジンのしみ症状のサンプリングを行い、表面殺菌後PDAおよびCMA培地上で分離、原因菌種の判定を行った。道南農試においては、1999年に渡島管内の七飯町および函館市のニンジン選果場より1は場あたり無作為に20本のニンジンを採取し、しみ症状の発生状況および原因菌種の特定と病原性の判定を行った。さらに2000年には函館市15は場（8/11採取）、七飯町16は場（7/28採取）より1は場20本のニンジンを採取、しみ症状の発病株率、発病

表1 富良野管内におけるニンジンしみ症状からの分離結果

採取場所	サンプル点数	<i>F. solani</i>	<i>F. oxysporum</i>	<i>P. sulcatum</i>	<i>R. solani</i>
麓郷	6	3		1	
麓郷	1				
麓郷	10	5		2	
麓郷	2	2			
麓郷	10	5	1	2	
麓郷	10	1		2	
麓郷	19	3	2		
東山	6	3			
扇山	8	3			
南富良野	15	3	1	1	1
南富良野	9	2		2	
中富良野	6	3	1	1	

表2 渡島管内の共選場から無作為に採取したニンジンの発病程度(1999年7月)

函館市亀田			七飯		
ほ場No.	発病株率	発病度	ほ場No.	発病株率	発病度
1	100.0%	60.0	1	80.0%	36.7
2	95.0%	48.3	2	66.7%	22.2
3	95.0%	46.7	3	65.0%	25.0
4	95.0%	46.7	4	65.0%	25.0
5	94.4%	55.6	5	60.0%	23.3
6	90.0%	61.7	6	50.0%	18.3
7	85.0%	30.0	7	45.0%	15.0
8	80.0%	38.3	8	45.0%	15.0
9	80.0%	33.3	9	40.0%	15.0
10	80.0%	31.7	10	35.0%	11.7
11	80.0%	31.7	11	31.8%	13.6
12	75.0%	36.7	12	25.0%	8.3
13	68.4%	29.8	13	25.0%	8.3
14	60.0%	33.3	14	20.0%	8.3
15	55.0%	23.3	15	20.0%	8.3
16	55.0%	20.0	16	18.2%	6.1
17	50.0%	23.3	17	15.0%	8.3
18	50.0%	20.0	18	15.0%	5.0
19	45.0%	16.7	19	10.0%	3.3
20	40.0%	20.0	20	0.0%	0.0
21	35.0%	16.7			
22	35.0%	16.7			
23	35.0%	13.3			
24	30.0%	10.0			
25	25.0%	10.4			
26	20.0%	6.7			
27	15.0%	6.7			
平均	61.8%	29.2	平均	36.6%	13.8

表3 JA亀田共選場で採取した乾腐病ニンジンの菌種割合

	分離菌株数	分離率	検定菌株数	病原菌率
<i>F.solani</i>	384	87.3%	87	100.0%
<i>F.oxysporum</i>	45	10.2%	26	57.7%
<i>F.avenaceum</i>	11	2.5%	6	100.0%

表4 JA七飯共選場で採取した乾腐病ニンジンの菌種割合

	分離菌株数	分離率	検定菌株数	病原菌率
<i>F.solani</i>	143	89.9%	68	98.5%
<i>F.oxysporum</i>	45	8.8%	11	63.6%
<i>F.avenaceum</i>	11	1.3%	2	100.0%

度を調査した。

調査の結果、富良野管内における調査では、*Fusarium solani*, *Fusarium oxysporum*, *Pythium sulcatum*, *Rhizoctonia solani*が分離され、*F.solani*が最も多く、約60%, *P.sulcatum*が約20%であった(表1)。

渡島管内における調査ではJA亀田において、27ほ場について調査を行った結果、平均で発病株率61.8%，発病度29.2で、そのうちの約90%は*F.solani*が原因であった。JA七飯では20ほ場について調査を行い、平均で発病株率36.6%，発病度13.8であった。七飯においても原因の90%は*F.solani*であった(表2, 3, 4)。

2000年の調査では31農家31ほ場のうち3ほ場では全く発病が認められなかつたが、80%を超える発病株率のほ場も認められ、平均すると発病株率33.2%，発病度13.2

であった(図1)。以上の結果から、北海道で発生している根部しみ症状は*F.solani*による乾腐病が最も多く、次いで富良野ではしみ腐病、道南では黒しみ病、*F.avenaceum*による乾腐病が発生していることが明らかとなった。そこで根部しみ症状の多くの原因である*F.solani*による乾腐病について多発要因の調査を行ったところ、いくつかの有用な結果が得られた。

3 *Fusarium solani*によるニンジン乾腐病の発病要因

しみ症状(乾腐病)は道南地域のJAの話によると1998年から発生が多くなっているが、年によって発生する時期が異なっており、発生の変動の原因は明らかではない。

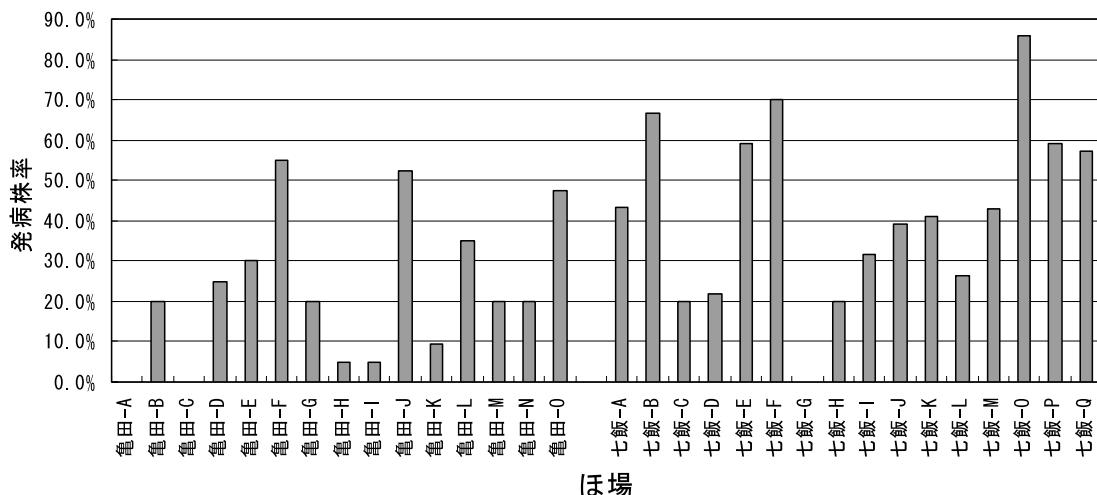


図1 函館市亀田と七飯町における各農家ほ場での乾腐病発病株率

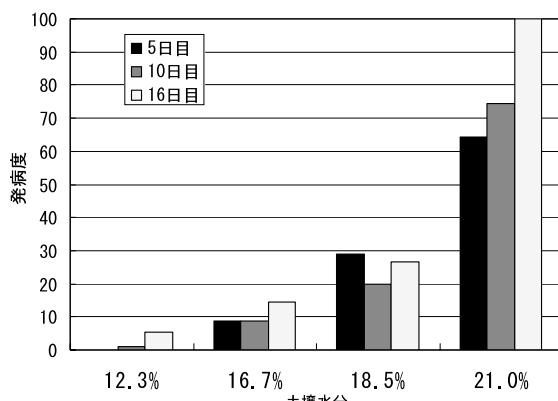


図2 土壤水分と発病の関係

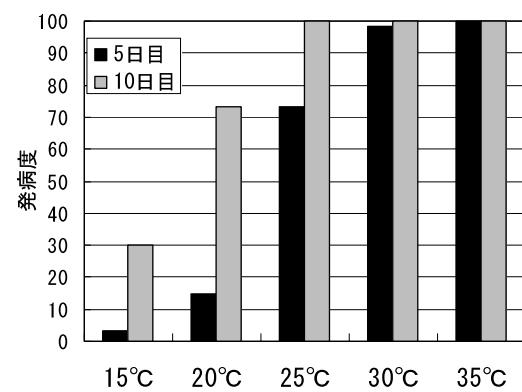


図3 地温と発病の関係

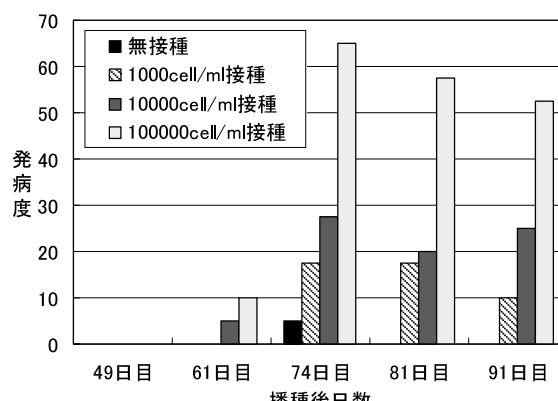


図4 生育日数と発病の関係

一方、ニンジン栽培農家にアンケート調査を行ったところ、乾腐病の発生が多いほ場条件として、排水性が悪いほ場と答える生産者が多かった。また、発生が多くなる気象条件では雨が多く、気温が高いことをあげている。以上のことから、乾腐病の発生条件として土壤水分の影響があると考えられ、土壤水分、温度と乾腐病の関係を明らかにすることを目的に検討を行った。

3.1 土壤水分、地温、生育ステージと発病

播種後97日目の無発病ニンジンに土壤フスマ培養菌けん濁液を接種、これらのニンジンを予め土壤水分を調節(無処理(12.3%), 1 L灌水(16.7%), 2 L灌水(18.5%), 3 L灌水(21.0%))したハウス内の直径40cmの無底ポット内の土壤(平均地温は24°C)に埋め、5, 10, 16日後に掘り出し発病調査を行った。

この結果、灌水量によって発病には顕著な差が認められ、土壤水分の少ない土壤中では根面に病原菌を接種したにも関わらず、ほとんど発病が認められなかつたが、土壤水分を増やすことによって激しく発病した(図2)。

同様の方法で接種ニンジンを多水分土壤に埋め、恒温器内で発病する温度条件を調査したところ、接種後5日目までは15°C, 20°Cでは激しい発病は認められなかつた。しかし、25°C以上では5日目で発病度70を超えており、ニンジン内部まで腐敗が進んだ。接種10日後では15°Cでも発病が進んだが、高温時に比べ明らかに発病は少なかつた(図3)。以上のように高温、多水分条件が、本病の発病に必要と考えられる。

次にニンジンの生育ステージと発病の関連を調べるた

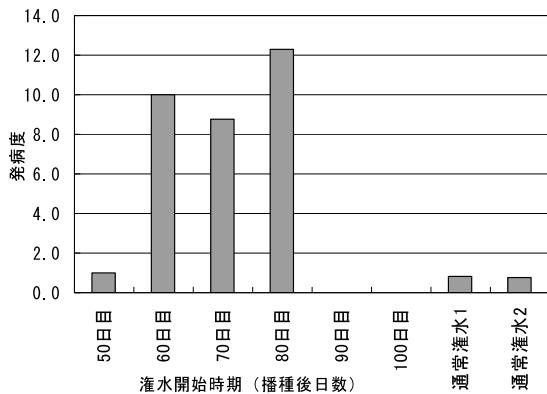


図5 ニンジンの生育ステージと多灌水による発病の関係
(播種後105日目に調査)

め、ハウス内に栽培したニンジンを播種後49～91日目に抜き取り 1mL 当たり $10^3\sim10^5$ 濃度で接種した滅菌黒ボク土壤に埋め、ほ場容水量(47.0%)になるよう灌水を行った。25℃で培養し5日後に調査を行った。この結果、49日目のニンジンでは全く発病が認められなかつたが、61日目では 10^4 、 10^5 接種で僅かに認められ、74日以降のニンジンでは激しく発病した。また、接種菌量が多いほど激しく発病した(図4)。この方法は、ほ場から抜き取ったニンジンに接種を行っているため、自然発病とは異なる。そこで *F.solani*を接種した土壤にニンジンを栽培し、異なる一定の期間だけ土壤を多水分条件とし、発病状況を調査した。ハウス内の無底ポットにおいて50～100日目から4日間多灌水(多灌水区は4日間連続50mmの灌水、通常灌水区は3日に一度10mmの灌水)を行った。その結果、60、70、80日目から多灌水を行った場合は、発病が増加し、50日目から多灌水を行った場合は、発病が僅かであった。90、100日目から多灌水を行った場合は、発病が認められなかつた(図5)。

同様の試験を温室内の大型ポットで行った場合も播種後60日以降に灌水した場合に発生が増加した。また、収穫21日前から灌水した場合も僅かな発病しか認められな

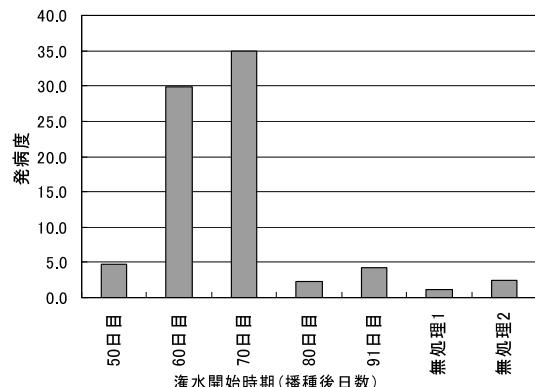


図6 ニンジンの生育ステージと多灌水による発病の関係
(播種後101日目に調査)

かった(図6)。

以上の結果から、播種後60日に達した頃からニンジンの発病する条件が整うと考えられる。一方、収穫の25～22日前までの多灌水および31～28日前までの多灌水では発病したが、15～12日前および21～18日前までの多灌水では発病に至らなかつた。この結果から、収穫20日前まで灌水は発病に至る可能性があるが、収穫20日前以降の灌水であれば影響しないと言える。つまり、ニンジンが発病するにはニンジンが60日目以上の生育ステージであり、病土が水分を十分に保持し、発病条件が整つてから発病まで20日程度必要であると考えられる。以上のこととは、自然発病条件では、播種後60日目から収穫前20日程度までの雨や、土壤の排水性の悪化が乾腐病の発生に大きな影響を及ぼすものと考えられる。

3.2 現地ほ場における乾腐病の発病推移と降雨

現地のニンジン乾腐病発生は場において2年間乾腐病の発病推移を調査した。1999年の函館市ほ場(トンネル栽培)と2000年の同一ほ場の発病推移を比較すると、1999年は7月上旬に急激に発病株率が上昇しているが2000年は僅かである(図7)。1999年は5月下旬から6月上旬

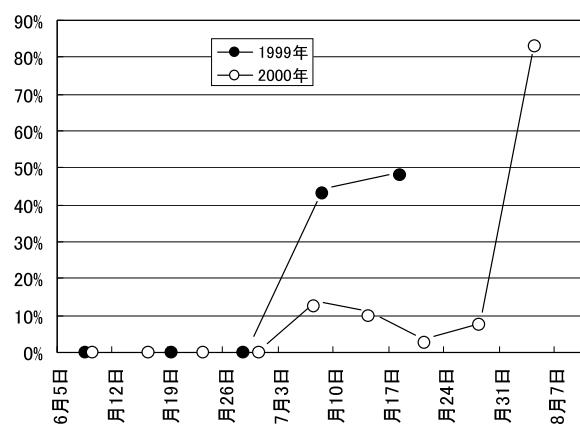


図7 函館市の同一ほ場における2カ年の乾腐病の発病推移(1999年は4/12播種、2000年は4/4播種)

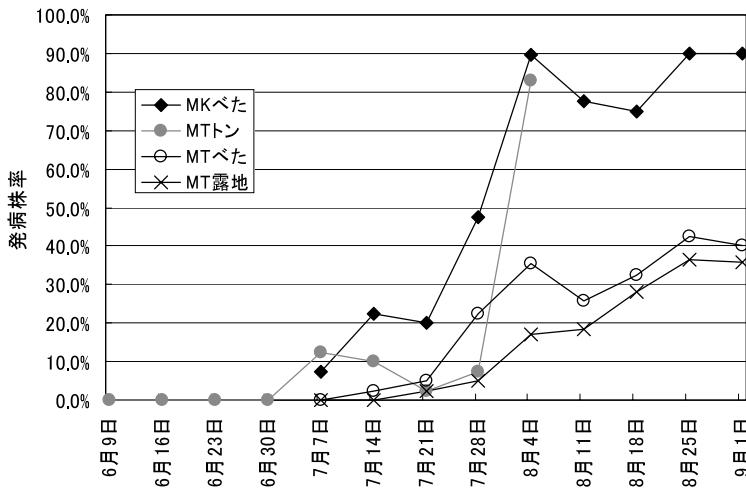


図8 異なるほ場における2000年の乾腐病発病推移
(べた:不織布資材による被覆栽培, トン:トンネル栽培, 露地:露地栽培)

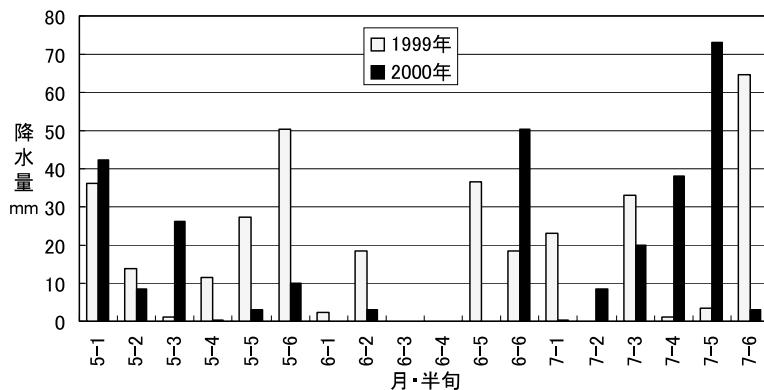


図9 1999年および2000年の降水量の変化

にまとまった降雨が認められるが、2000年には同時期に僅かの降水しか認められない(図9)。このほ場が黒ボク土壌であり保水性が良いことを考慮すると5月下旬からの雨が影響したと考えられる。

2000年の函館市6ほ場(トンネル栽培3ほ場、べたがけ栽培2ほ場、露地栽培1ほ場)で播種後60日目前後より発病調査を行ったところ、MT氏のトンネルほ場では7月中はほとんど発生が無く、8月4日に急激な発病を示した(図8)。また、べたがけほ場では7月28日から8月4日にかけて発病株が多くなっている。露地ほ場でも8月4日から発病株が増えた。ほ場が異なるため発病程度に差はあるが、同じ時期に発病が上昇しており、6月下旬の降雨が影響していると考えられる(図9)。また、7月も後半にかけて降水が上昇しているが、発病は8月下旬にかけて上昇している。

3.3 共選場における廃棄ニンジンの割合と降水量

乾腐病の症状は、収穫の現場での確認が困難な場合が多く、共選場において洗浄された後、乾腐病のニンジンが廃棄されている。また、JA亀田の共選場において3回、

廃棄ニンジンを調査したところ、その4~8割は乾腐病が原因であった。そこで、乾腐病が多発している1998年から2000年の廃棄ニンジンの割合をJA亀田の協力で算出し、アメダスによる函館市の降水量とニンジン廃棄率を比較した。

3カ年とも高温年で、温度条件は似ているが降水量と時期には大きな違いがある。1998年は6月中旬および8月中旬に大雨があり、その雨のほぼ1ヶ月後にニンジンの廃棄率が上昇している。この年はトンネル栽培のニンジンで乾腐病が多発した(図10)。

1999年は大雨はないが、6月中旬および8月上旬以外は雨があり、7月のニンジン出荷開始より緩やかに廃棄率が上昇した。9月上旬までは廃棄率の伸びは止まったが、8月下旬からの雨のあと約20日後の9月中旬から廃棄率が上昇した。2000年は6月中の雨は6月下旬以外にほとんど降雨が無く、6月中は乾燥していた。廃棄率は7月中は小さく、6月下旬および7月中下旬の降雨の後、約1ヶ月後の8月に大きく上昇した。また、9月上旬および下旬の降雨の約20日後に廃棄率がやや上昇した(図11)。

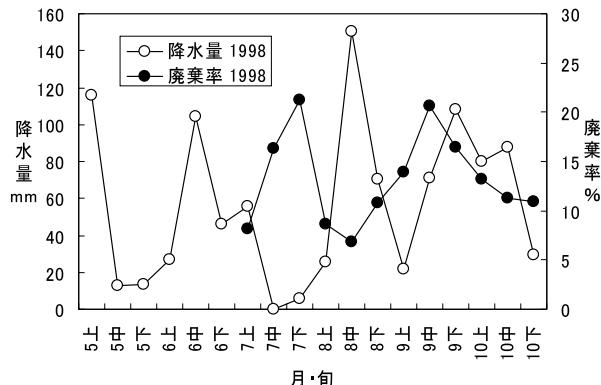


図10 1998年の降水量とニンジン廃棄率の変化

ニンジンは様々な原因で廃棄されるが、急激に廃棄率が増加する原因としては乾腐病、線虫等の病害虫や、割れがあげられる。近年七飯、函館では線虫の被害はほとんど認められないことから、廃棄の原因は乾腐病およびそれに伴う割れが主であると考えられる。

4 考察

ニンジン乾腐病は1983年に長野県で初めて確認された比較的新しい病害である^{1,2)}。北海道においては、阿部らによって1996年に*Fusarium solani*による乾腐病の発生が確認されており³⁾、さらに*Fusarium avenaceum*による乾腐病も報告されている^{4,5)}。北海道の道南地域での発生は、アンケート調査の結果、1993年頃と推定され、1998年頃からは特に被害が増加している。

本研究において乾腐病の発生生態の解明を中心に行つた。その結果、ニンジンの生育ステージと土壤水分、温度が重要であることが明らかとなった。雨が多い年に多発することは、長野県の報告においても指摘しているが、十分な解析は行われていない。本研究の結果、乾腐病の発病する条件は、十分な病原菌が存在する土壤に生育したニンジンが、播種後60日以上の生育ステージにあり、収穫20日以上前に土壤水分が高く維持されることである。そのため、100日で収穫を行う場合、排水性の良好な畑であれば、播種後60~80日の20日間にまとまった雨が降らなければ被害を避けることができると考えられる。実際に七飯町の場合では、1998年は乾腐病による大きな被害を受けたが、2000年はほとんど被害は認められなかつた。七飯では7月中にはほとんどのニンジンの収穫を終えるため、6月の雨が重要になるが、アメダスのデータでは1998年の6月に七飯町近隣の大野町で144mm、2000年6月には44mmの降雨であり、降水量の差が発病の差になったと考えられる。

本病が多発した1998年は、7月に収穫するニンジン（トンネル作型）に発生が多かったため、トンネル作型に特有の病害と考えられたこともあった。しかし、本病の発病は生育中期以降に十分な温度があれば、作型には無関

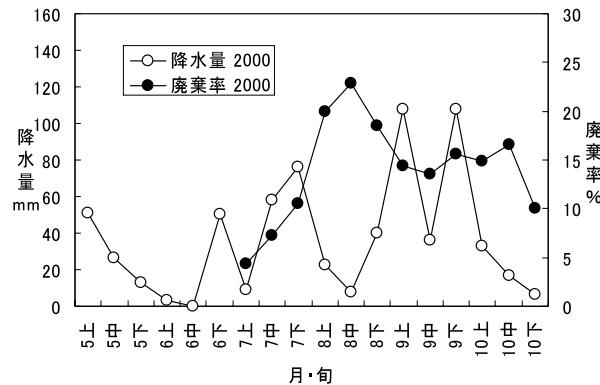


図11 2000年の降水量とニンジン廃棄率の変化

係であり、2000年の調査では、トンネル、べたがけ、露地などの作型でも発生が認められた。

本病の防除対策については、土壤病害であることから、薬剤の散布や灌注によって防除を行うのは困難である。長野県の報告ではクロルピクリン剤による土壤消毒が有効とされている。しかし、効果は期待できるが、作業上の問題や、費用の面からも利用できる可能性は低い。そのため、本試験の結果から、発病軽減策として、ほ場の排水性の改善やほ場の排水性を悪化する多水分時の管理作業を避けることで、発病を軽減することは可能と考えられる。また、播種後60日以降（土壤の排水が悪い場合はさらに早い時期から）にまとまった雨があった場合、その20~30日後には発病が増加する可能性が高いため、出荷可能になった時点でできるだけ早く掘り取ることが望ましい。高畠栽培などの栽培法の改良や、品種の変更によっても発病を軽減する可能性があると考えられるが、さらに検討が必要である。

摘要

ニンジンの主産地である北海道では多くの病害が発生しているが、根に発生し、防除が困難な“しみ症状”が最も重要である。

北海道におけるニンジンの根部しみ症状の多くは*F. solani*による乾腐病が原因である。本病は、土壤中の病原菌密度が高く、さらに土壤水分と地温が高いほど発生量が多くなる。しかし、環境条件が整った後、発病まで20~30日必要である。また、播種後60日以前のニンジンには発生しない。このことから乾腐病の回避対策として、播種後60日以降に降雨により土壤水分が過多になった場合、雨の20日以降に発病するため、雨の20日以前か、あるいはできるだけ早く収穫する。また、ほ場の排水対策を行う。本病菌の密度低下のため輪作することなどが考えられる。

引用文献

- 1) 清水節夫・武田和男・石坂尊雄. 1985. ニンジン乾腐病(新称)について(講要). 日植病報. 51(3): 333

- 2) 武田和男・石坂尊雄・清水節夫・丸山進. 1986. ニンジン乾腐病(新称)に関する研究. 長野野菜花き試報. 4 : 73-80
- 3) 阿部秀夫・新村昭憲・秋松祐子. 1997. 北海道に発生したニンジンの乾腐病. 北日本病虫研報. 48 : 106-108
- 4) 阿部秀夫・新村昭憲・秋松祐子. 1997. *Fusarium avenaceum*によるニンジン乾腐病の発生(講要). 日植病報. 63(6) : 531
- 5) 大上大輔・岩田康広・五十嵐文雄・林恵美・児玉不二雄. 1997. *Fusarium avenaceum*によるニンジン乾腐病の発生と北海道における分布(講要). 日植病報. 63(6) : 531

茶の消費拡大のための安全・安心な茶生産・流通技術開発
の現状と今後の展望

茶園管理支援システムの開発の現状と今後の展望

荒木 琢也

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 Status and Prospect of the Tea Field Management System

Takuya ARAKI

National Agriculture and Bio-oriented Research Organization

National Institute of Vegetable and Tea Science

キーワード：GIS、茶園管理、支援システム、精密農業

1 はじめに

今日、食料自給率の向上とともに、消費者に信頼される安心・安全で良質な農産物の供給体制の確立が喫緊の課題となっている。消費者が真に安心し納得できる食生活の実現のために、生産現場においては、環境と調和した生産技術の開発、効率的かつ安定的な経営体の育成、消費者へ情報を提供できる体制の確立が求められている。茶業においても、減肥料・農薬による環境負荷の低減、篤農的栽培技術の次世代への継承、栽培・流通履歴管理体制の確立が求められており、情報技術や作業技術の活用による新たな農業技術の開発研究が進んでいる。

野菜茶業研究所では、地理情報システムを活用し、茶園の情報を一元的に管理し空間的な広がりとともに認識・解析でき、意思決定および茶園管理作業を支援する茶園管理支援システムの開発を進めており、その現状と展望を報告する。

2 地理情報システム（GIS）

地理情報システム（Geographic Information System）とは、広義に「地理情報を取得し、保存・編集・解析・表示・展開するために用いられるコンピュータ処理システム」と定義される¹⁾。このような解釈の場合、設計・製図に用いられるCADDシステム（Computer Aided Design and Drafting system）や電気施設やプラントなどの管理に用いられる地図自動作製／施設管理（AM/FM：Automated Mapping/Facility Management）なども含まれる。そこで、ここではGISを「地理的位置情報を手がかりに、位置に関する情報を持ったデータ（空間及び属性データ）を総合的に管理・加工し、視覚的に表示し、高度な分析や迅速な判断を可能にするシステム」と定義する（図1、2）。

GISを上記のように定義した場合もいくつかのレベルに分けられる。例えば、紙の地図や一部の電子地図は、地理情報（どこに）と地物情報（なにが）が記号や色分けにより視覚的に表示されており、ある程度の分析や判断を可能にしている。これよりレベルを上げると、地物情報に詳細な属性情報（どのような）が与えられたり、検索や集計といった機能が付加される。カーナビゲーションシステムや電子地図がもっている施設の詳細情報や検索機能などがこれにあたる。さらにレベルを上げると、位置情報と地物情報と属性情報などを相互に関連付けて任意に取り扱い処理できる解析機能が付加される。一般的にGISといわれているものは、このレベルのGISであると考えられる。著者らが開発中の茶園管理支援システ

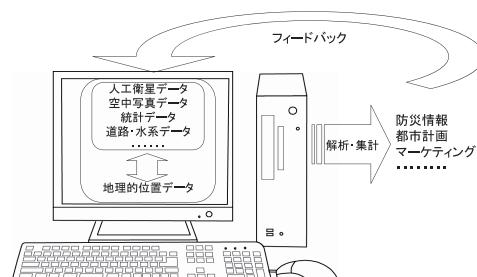


図1 地理情報システム(GIS)のイメージ

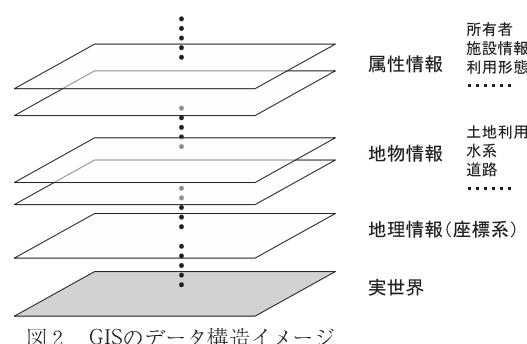


図2 GISのデータ構造イメージ

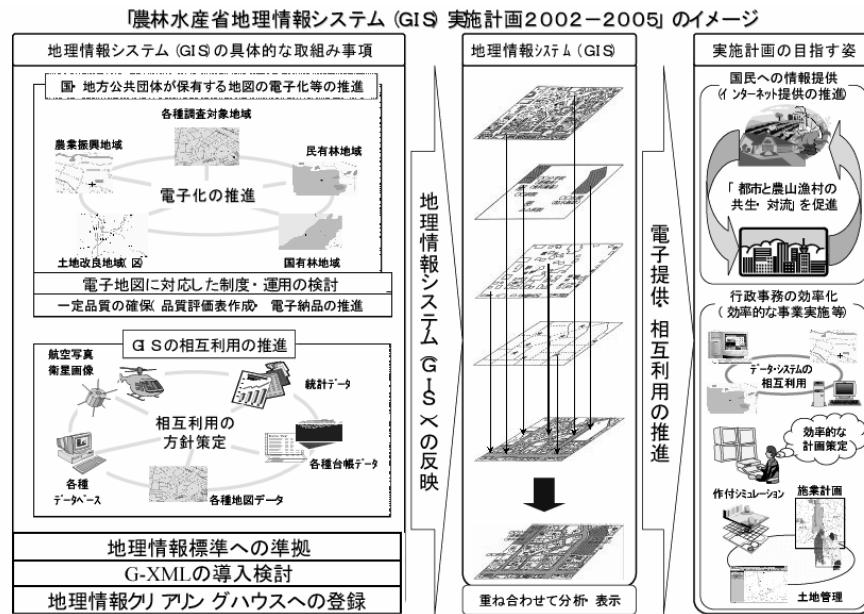


図3 農林水産省GISアクションプログラム2002-2005のイメージ

ムも、このレベルのGISを目指しており、茶園の情報を空間的な広がりとともに認識でき意思決定および茶園管理作業を支援するシステムを目標としている。

3 農業における支援システムの動向

農業における支援システムは転作耕地管理などの農地管理支援、リモートセンシングデータやグランドレベルセンシングデータおよび生産履歴情報による栽培管理支援、GPS（全地球測位システム）や作業ナビゲーターによる作業機操作支援などがあげられる。これらのシステムの多くは、ユーザーインターフェースにデジタル化された地図が用いられており、位置情報と作物状態や土壤状態などの属性情報を関連付けられているためGISに含めることができる。

農地管理支援システムについては、複数のシステムが既に製品化されている。農林水産省では、「① GISを活用した農林水産行政の効率化、② 都市と農山漁村の共生・対流を進めるための、国民への情報提供」を目指した「農林水産省地理情報システム (GIS) アクションプログラム2002-2005」(図3)²⁾を策定しており、製品化されているシステムの多くが、このプログラムに対応するとされている。機能としては農地管理、用水管理、施設管理などがあげられ、業務支援の効率化に効果が期待される。研究では、新潟大学で農地の流動化支援システムの構築とそれに伴う地域営農支援を目的としたシステムの開発が進められている³⁾。

栽培管理支援システムについては、様々な作物を対象として研究が進められている。北海道大学では産業用無人ヘリコプターに様々なセンサを搭載し場や作物情報をGISとしてマッピングできるシステムの開発が進められ

ている⁴⁾。琉球大学ではサトウキビを対象に衛星画像から生育状態のモニタリングや生産量・甘蔗糖度の予測を行うシステムの開発、GISを利用した生産支援情報システムの開発が進められている^{5, 6, 7, 8)}。近畿中国四国農業研究センターではほ場分散度を考慮して遺伝的アルゴリズムにより最適な作業予定を提案する作業計画支援システムの開発が進められている^{9, 10)}。野菜茶業研究所で開発が進められている茶園管理支援システムも生産力や栽培履歴などの情報をGISを活用して蓄積・解析するシステムで栽培管理支援システムに分類できる。

作業機操作支援システムについては、精密で無駄のない栽培管理を支援する目的で開発が進められている。畜産草地研究所ではGISによりほ場情報や施肥情報を定義した処方箋マップをもとに策定された作業工程および作業経路通りに作業できるようオペレータを支援するシステムの開発が進められている¹¹⁾。生物系特定産業技術研究支援センターでは各種の精密農業用装置や機器に接続して高精度な精密農業の実施を支援する作業ナビゲーターが開発されている¹²⁾。

4 茶園管理支援システムの開発^{13, 14, 15)}

野菜茶業研究所茶業研究部で開発中の茶園管理支援システムは、「地理情報システムを活用した茶園管理計画支援システムの開発」という研究課題で2001年に島根大学と共同で研究を開始した。その後、2003年より開始された(独)農業・生物系特定産業技術研究機構運営交付金プロジェクト研究「消費者に信頼される生産体制を支える精密畑作農業技術の開発」(精密畑作プロジェクト)の茶グループの研究課題(図4)において、周辺技術の開発と同時に、実用的なシステム開発を進めている。こ

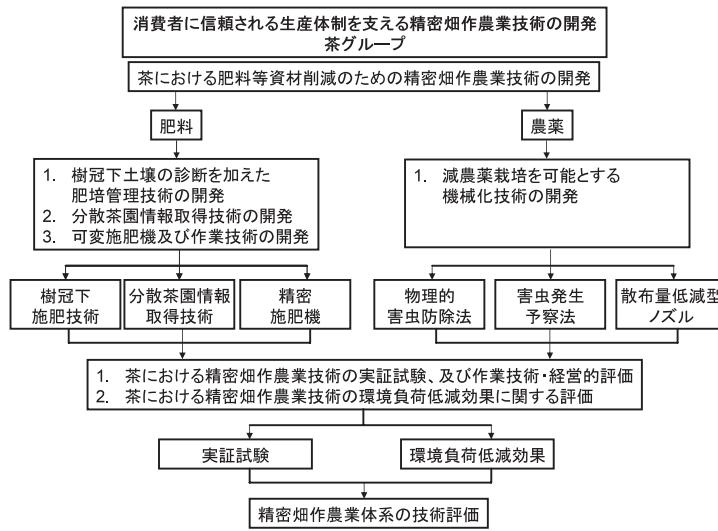


図4 精密畑作プロジェクト茶グループ研究実施計画

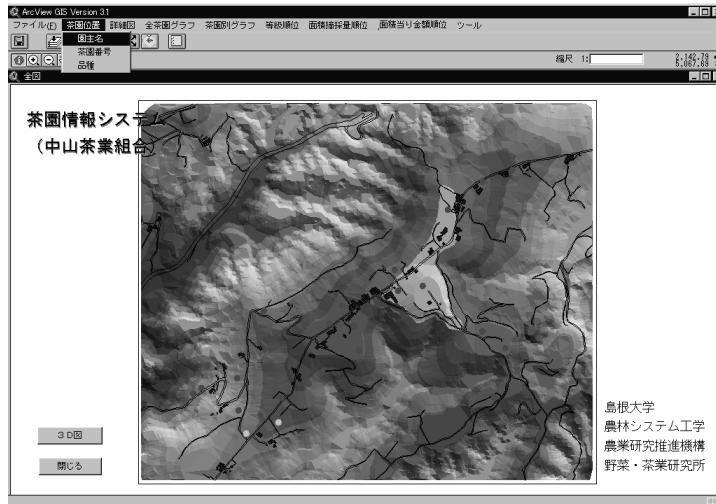


図5 茶園管理支援システム主画面

こでは、システムの概要とこれまでの研究経過を紹介する。

4.1 システム概要

開発中の茶園管理支援システムの調査対象地域は静岡県掛川市の農事組合法人中山茶業組合とした。組合所属の27茶園を選定し、位置情報、園主、茶園栽植状態、茶園面積、写真などの基本データや茶工場のコンピュータに蓄積されている生産量、摘採日、生葉等級などの生産物データや土壌調査結果などの茶園環境データなどが収集され蓄積されている。基本データと生産物データおよび茶園環境データはGISソフトウェアArcView (ESRI社)を利用して統合されている(図5)。情報提供機能と操作を一般化し茶園管理支援システムとしてまとめられている(図6)。位置情報は対象地区の地図(1/1000)から地形を読み取りデジタル化した情報である。そのため

一般的の座標系とは異なる独立した座標系を用いている。

このように構築したシステムにより、これまで帳票形式で別々であった茶園のデータが視覚化・関連付けでき、資材投入量の算出や作業計画支援を迅速かつ効率的に行うことができる見通しを得た。生産者にとっては所有する複数の茶園の生産性などを容易に把握・比較できると好評を得た。

4.2 地形および収穫手段と収益性の関連

茶園管理支援システムに入力されている標高データを用いて等高段彩図、傾斜角度図、傾斜方向図を作成し、収益性との関連を解析した。その結果、同一生産者、同一収穫方法であっても、日当たりが良い地形は摘採日が早く、高い収益性があると分析され、地形により生産性に違いがあることを視覚化できた(図7)。さらに売上高の上位5園は平坦あるいは西面・北西面であったのに

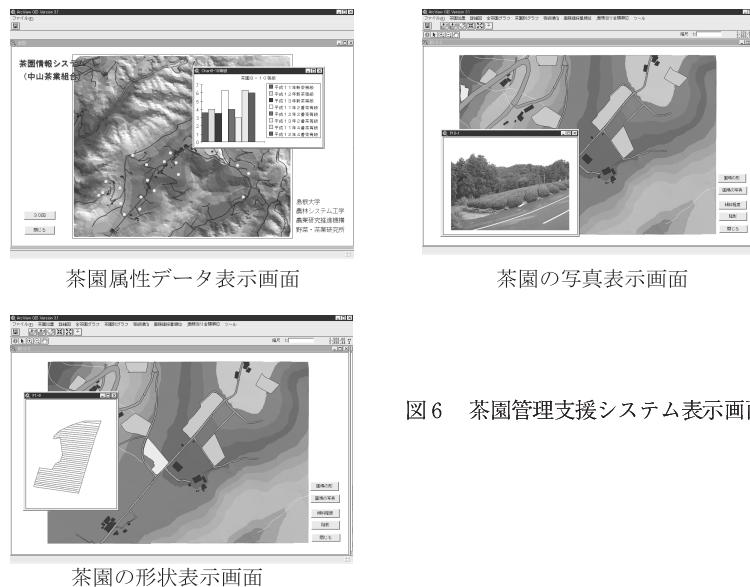


図6 茶園管理支援システム表示画面例

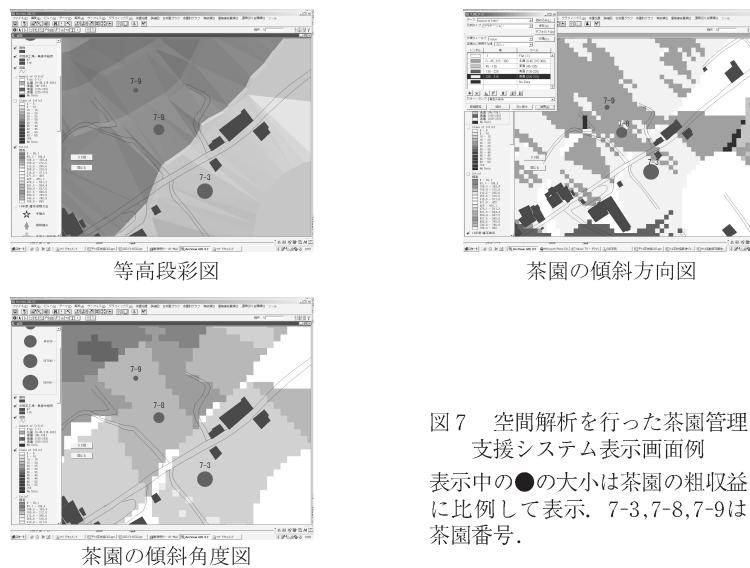


図7 空間解析を行った茶園管理支援システム表示画面例

表示中の●の大小は茶園の粗収益に比例して表示。7-3, 7-8, 7-9は茶園番号。

対して、下位5園は南東～北西面に面しており、売上高に及ぼす地形的特長を抽出することができた。

収益性の統計地図に個別値分類した収穫方法地図を重ね合わせることにより、収穫方法が収益性に大きく影響すること、また、本調査地区では手摘み収穫を取り入れて経営の安定化を図っていることを視覚化することができた（図8）。

このように空間解析機能を用いることで、単にデータを地図上に表示・展開するだけでなく、地理データをキーとした分析により、より良い戦略構築が可能となり、GISの有効性が明らかとなった。また、データの視覚化・共有化は生産組合の組織的生産計画を立てる際の組合構成員の相互理解と合意形成に役立ち、組合の戦略的な運営を支援できるシステムであると考えられた。

4.3 茶園土壤と売上高の関連

組合に所属する26園の茶園を対象にしてうね間土壤調査を行い、茶園土壤と売上高との関連を分析した。土壤調査は、エンジン打撃式採土器（DIK-161C）で採取した1mまでの土壤を、地表面から20cmごとに第1層～第5層に切り分け、礫の重量割合、pH、ECを調査した。

売上高マップにうね間土壤の層別のグラフを表示することにより、売上高の低い茶園は、第2層（20～40cm）の礫の重量割合が大きいかつたことが容易に識別できた（図9）。

4.4 現状のシステムの課題

これまでに構築してきたシステムの効果は概ね生産者に好評を得た。今後、生産履歴などのデータベースを装備することにより、効率的な生産管理に資する情報・支

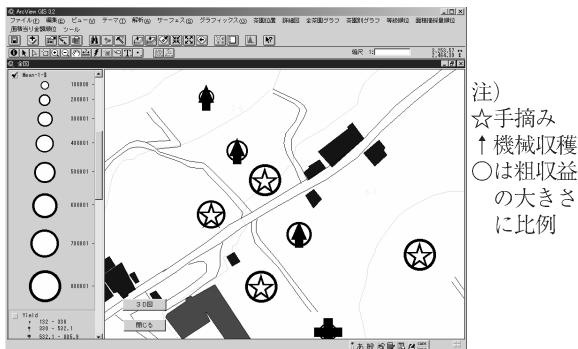


図8 収穫方法と収益性の関連表示



図9 茶園土壤と売上高の関連表示

援システムへ発展可能と考えられた。しかし、地図データや茶園環境データなどの収集・入力にはあるレベル以上の装備と知識が必要で、さらに手間とコストがかかる。また、分析結果を管理作業に反映させるためには、精密な作業を可能とする新たな作業技術が必要であると考えられる。

このような課題を踏まえ、精密畑作プロジェクトでは施肥、防除を対象とした作業技術の研究開発とGISの構築を容易にさせる情報技術の研究開発が進められており、開発された技術の実証と評価が計画されている。

5 茶園管理支援システムの展望

茶業ではこれまで、製茶工場を中心に情報化が進められてきているが、茶園の情報化は進んでいない。これは製茶工場を核として、そこに生産物と情報が集まるのに対し、茶園は地理的に方々に分散しているため容易に情報が集められることや集約の場がなかったことによると考えられる。また、情報の収集手段、解析手法、情報を反映させる作業技術の未確立も情報化が進展しなかった理由と考えられる。

茶の安心・安全のためには、これまで進められてこなかった茶園および管理作業の一元的情報管理も重要となってくると思われる。なぜなら、品質を重視するために肥料・農薬の多投入となっている今、品質を維持しつつ合理的な管理を行う手段が求められているからである。

同時に、消費者が手にとった茶がどこで、どのように管理をされて生産されたものかが必要に応じて提示でき、消費者を納得させられる仕組みづくりも求められている。

そこで、茶園管理支援システムの開発は、GISを情報の集約・蓄積・解析の場として、地下部・地上部の情報などの茶園環境情報と茶園の位置や傾斜などの地理情報、さらに茶工場に集約される生産物情報などを統括し、合理的な判断を容易にするとともに、履歴の管理を行うシステムを目指し、施肥・防除作業技術の開発と同時に行われている。

5.1 樹冠下施肥技術

従来、茶園土壌の診断はうね間土壌について行われており、茶園全体の土壌情報を与えるものではなかった。そこで、肥料投入量を精密制御するため、樹冠下土壌の診断も加えた肥培管理技術を開発し、土壌情報および窒素動態に関する知見に裏打ちされた肥培管理技術を確立する。

5.2 分散茶園情報取得技術

これまで茶園の情報化が進まなかった理由として、情報の収集手段、解析手法の未確立が考えられる。そこで、分散している個々の茶園の特性情報を省力的に収集できる分散茶園情報取得技術を開発し、それぞれの茶園特性に応じた合理的な管理を支援するシステムを確立する。

5.3 精密施肥技術

従来の一様な肥培管理では、収量・品質を維持しつつ施肥量を削減することには限界があると思われる。そこで、茶園の状態に応じたきめ細かな施肥設計を正確に実施する精密施肥技術を開発し、肥料の無駄を廃し、環境負荷低減へ貢献する施肥技術を開発する。

5.4 減農薬栽培技術

化学合成農薬による害虫防除は不可欠であるが、作業者への被爆や飛散による環境負荷が懸念される。また減農薬あるいは無農薬栽培茶への消費者ニーズがある。そこで、物理的防除法、害虫発生予察技術および散布量低減型ノズルを開発し、農薬使用量を削減する防除技術を開発する。

5.5 GISによる統括茶園情報管理技術

上記の技術により収集される情報と製茶工場に蓄積された情報とを統括管理し、茶園特性データを収集・蓄積・分析でき、茶園の状態に応じた作業計画の作成を支援するシステムを構築する。

茶園管理支援システムが目指すところは、収益性の向上と環境負荷の低減を両立させるとともに、栽培管理履歴や篤農的栽培管理技術の情報等を蓄積して消費者ニーズに貢献し得る知識集約型の高度で合理的な次世代型茶

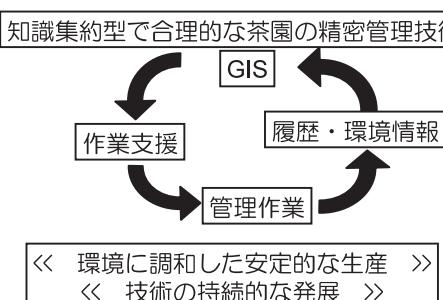


図10 茶生産システムのイメージ

業技術の持続的な発展に寄与することである。情報技術と管理作業技術の連携により、情報を一元管理し、これまで見えなかつたものが見えてくる。迅速で妥当な意思決定を行い、正確に作業を行う。作業結果を情報としてシステムにフィードバックする。こうしたサイクルを重ねながら持続的に発展する新しい茶生産システムの確立を支援できると考えている(図10)。

摘要

野菜茶業研究所では、地理情報システムを活用した茶園管理支援システムの開発を進めている。システムには生産組合の茶園の位置情報、園主などの基本データや生産量、摘採日、生葉等級などの生産物データや土壤調査結果などの茶園環境データなどが収集・蓄積されている。本システムによるデータの視覚化・共有化は生産組合の生産計画を立てる際の組合構成員の相互理解と合意形成に役立ち、戦略的な運営を支援できるシステムであると考えられた。今後、各種データの簡易な収集・入力方法の開発、生産履歴データベース装備ならびに分析結果を管理作業に反映させるための精密な作業を可能とする新たな作業技術を開発することにより、効率的な生産管理に資する情報・支援システムへ発展可能と考えられた。

引用文献

- 1) George B.Korte,P.E. 村井監修. 那須監訳. 1997. THE GIS BOOK実務者のための地理情報システム入門. オーム社:17
- 2) 農林水産省地理情報システム(GIS)関連のページ
<http://www.maff.go.jp/gis/image.pdf>
- 3) 佐々木豊・鈴木正肚・吉田寛之・古嶋晋也・中原成祐. 2003. 農地の流動支援を行うGISの構築(第1報). 第62回農業機械学会年次大会講演要旨:477-478
- 4) 杉浦綾・野口伸・石井一暢・寺尾日出男. 2003. 産業用無人ヘリコプタを用いた農地情報のリモートセンシング(第1報). 農業機械学会誌65(1): 53-61
- 5) 孫麗亜・上野正実・秋永孝義・永田雅輝・川満芳信. 1998. サトウキビの生産支援情報システム構築に関する研究. 農業機械学会誌60(5): 27-35
- 6) 上野正実・前田建二郎・川満芳信・孫麗亜. 2003. 高解像度衛星画像を利用した圃場モニタリング・生産支援情報システムの開発. 第62回農業機械学会年次大会講演要旨: 451-452
- 7) 平良英三・上野正実・川満芳信・深見公一郎・孫麗亜・禰覇伸. 2003. NIR-GIS利用営農支援情報システムの構築. 第62回農業機械学会年次大会講演要旨: 479-480
- 8) 上野正実・川満芳信・前田建二郎・松原淳・孫麗亜・吉原徹. 2003. GIS(地理情報システム)を利用した生産支援情報システムの開発. 第62回農業機械学会年次大会講演要旨: 481-482
- 9) 大黒正道・石田茂樹・高橋英博・寺元郁博. 2003. 匝場分散度を考慮した春作業計画支援システムの開発(1). 農作業研究38(別1): 125-126
- 10) 大黒正道・石田茂樹・高橋英博・寺元郁博. 2003. 匝場分散度を考慮した春作業計画支援システムの開発(2). 農作業研究38(別1): 127-128
- 11) 元林浩太. 2003. 複雑傾斜草地に対応した精密圃場管理技術(第2報). 第62回農業機械学会年次大会講演要旨: 269-270
- 12) 松尾陽介・濱田安之・津賀幸之介・鷹尾宏之進・山本聰史・行本修・野口伸. 2004. 精密農業用作業ナビゲータ. 平成15年度共通基盤研究成果情報: 248-249
- 13) 宮崎昌宏・石束宣明・中木原慎幸・荒木琢也・深山大介・松尾喜義・中村勝. 2002. GISによる茶園情報のシステム化. 茶業研究報告94(別): 94-95
- 14) 宮崎昌宏・深山大介・荒木琢也・野中邦彦・松尾喜義・石束宣明. 2004. GISを活用した茶園管理支援システムの開発(第2報). 農作業研究39(別1): 15-16
- 15) 宮崎昌宏・石束宣明・荒木琢也・深山大介・松尾喜義. 2002. GISを活用した茶園管理支援システムの開発. 農作業研究37(別1): 9-10

トレーサビリティーの現状と今後の展望

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

Development in Traceability System in Japanese Green Tea Production

Yuichi YAMAGUCHI

National Agriculture and Bio-oriented Research Organization

National Institute of Vegetable and Tea Science

キーワード：茶、トレーサビリティー

1 食の安心・安全とトレーサビリティー

今日、食品の安心・安全の確保は、食品業界、食品行政ともに最重要課題となっている。安心・安全については、決して新しい問題ではなく、例えば農産物の農薬の問題、しばしば問題となってきた異物や有害物質混入の問題、最近では有害大腸菌(O-157)や環境ホルモン(ダイオキシン等)の問題など、従来から消費者が最も関心を抱いてきた事項である。もちろん、問題が生ずるたびに業界・行政ともに不安を払拭するための対応、消費者への説明に追われてきた。しかしながら、対応の如何によつては、一事業主のみならず、業界全体が大きな打撃を受ける事態となってきたことは周知の通りである。

このように、従来から問題となってきた事項であるにもかかわらず、今日のように大きな社会的問題となった直接的な原因としては、BSE問題や食品の虚偽表示問題などの相次ぐ発生があげられる。また、鳥インフルエンザウィルスの発生も大きく報道された。これらの問題や、それに関連する数々の不正等の発覚は、多くの悲劇的ともいえる結末を招き、消費者の食に対する信頼感が大きく揺らぐ結果となった。もはや、過去のように個々の問題について調査し、説明するという対応ではとうてい納得を得られない状況となっている。この原因として、今日までの業界・行政のリスク管理の不足も指摘されているが、食品生産・流通の産業構造・規模等を考えれば、事前にこのような事態を防ぎ得るような対策を立てることは困難であったと思われる。しかしながら、現在、その「食品生産・流通におけるリスク管理」の確立が強く求められている。

このような状況の中で、今日注目を集めているのが「トレーサビリティー」である。本稿では、食品におけるトレーサビリティーの現状、技術、今後の展望等について

紹介する。

2 トレーサビリティーとは

食品のトレーサビリティーは最近特によく耳にする言葉であるが、今まで適当な訳語がなく、その内容についてあまり厳密に意識されずに使用されてきた傾向がある。トレーサビリティーを直訳すると「追跡可能性」であるが、これは非常にわかりにくい訳である。2003年に国立国語研究所から「分かりにくい外来語」とその言い換えが提案されたが、その中にこのトレーサビリティーという言葉も含まれている¹⁾。逆に、このように「分かりにくい外来語」として取り上げられるほど、一般に浸透しつつある言葉になっているとも考えられる。本提案によれば、トレーサビリティーの言い換えとしては「履歴管理」が適当とされている。本項では引き続きトレーサビリティーという用語を用いるが、今後消費者に示す場合などは、「トレーサビリティー(履歴管理)」などと標記するのが望ましいと思われる。なお、農林水産省では「トレーサビリティ」と表記していることから、本稿中、同省の文書からの引用についてはそちらの表記に従う。

ISOにおいて、トレーサビリティーの一般的な定義として「考慮の対象となっているものの履歴、適用または所在を追跡できること」とされている。さらに、農林水産省消費・安全政策課の公開資料によれば、下記のような基本的考え方が示されている²⁾。

トレーサビリティーとは、食品の生産、加工、流通等の各段階で原材料の出所や食品の製造元、販売先等の記録を記帳・保管し、食品とその情報を追跡及び遡及できるようにすることで、

^①食品の安全性に関して、予期せぬ問題が生じた際の原

因究明や、問題食品の追跡・回収を容易にするとともに、

- ②「食卓から農場まで」の過程を明らかにすることで、食品の安全性や品質、表示に対する消費者の信頼確保に資するものである。

さらに、2003年11月から3回にわたって行われた「食品トレーサビリティに関するアドバイザリー会合」における検討結果報告では、さらに詳しく考え方が示されている³⁾。

トレーサビリティシステムを導入する場合は、消費者、生産者や食品事業者のニーズに鑑み、

- ①トレーサビリティの必要条件である「食品とその流通経路情報の追跡・遡及ができる」ことによる食品由来のリスク管理の効率化が可能になることを前提とした上で、

- ②流通経路情報に加え、食品に関する生産段階での農薬等の生産管理情報、製造段階での加工方法に関する情報など、消費者が求める情報や生産者や食品事業者が伝えたい情報を附加した情報（以下「生産・流通履歴情報」という。）を記録・保管し積極的に提供できるようにすることによって、リスク管理のより一層の向上や生産者と消費者の顔の見える関係の構築に資することが望ましい。

- ③また、伝達する情報の内容や識別管理の手法等、トレーサビリティシステムの具体的な内容は、商品の特性や生産流通の実態を踏まえ、システム導入の目的や技術面、経済面での実行可能性を十分勘案して決定することが必要である。

また、同報告では、トレーサビリティシステムにより達成・期待される事項として、次の点をあげている。

- ①食品の安全性に関して予期せぬ問題が生じた際に、その原因究明や、問題食品の回収等を迅速・容易に行うこと可能とすること。

- ②食品の安全性や品質等に関する消費者等への情報提供に資するとともに、表示内容の確認が容易になることを通じて表示の信頼を確保すること。

- ③生産者や食品事業者の行う製品管理、品質管理等の向上や効率化に資すること。

大手スーパー・マーケットなどでは、かなり以前から生鮮物等で「生産者の見える」売り場（生産者の名前や写真を示すなど）の形態がとられてきた。一般的にはこのような形がトレーサビリティーととらえられがちである。もちろん生産者を明らかにできることはトレーサビリティーの基本ではあるが、上記の考え方へ従うならば、単に生産者が明らかなだけではトレーサビリティーが達成されたとは言いがたい。たとえ生産者が明らかであっても、その生産者が「予期せぬ問題が生じた際」に対処できるような記録を保持していなければ意味がないからである。

また、最近トレーサビリティーと「産地表示」が関連

づけて論じられることが多い。特に現在、加工食品の产地表示のあり方についての検討が加えられており、これも安心・安全への要望にこたえるための動きであることは確かである。また、理想的なトレーサビリティーシステムが実現すれば产地表示も非常に信頼性の強いものとなる。ただし、現段階では両者は異なる次元の問題であり、「トレーサビリティーが確保されなければ产地表示など意味が無い」とか、「产地表示をしっかりしていればトレーサビリティーにさほど気をつかう必要はない」といったような考え方は成立しない。

3 トレーサビリティーのあり方

上記のようなトレーサビリティーの考え方は、「生産者・食品事業者・消費者のニーズ」を考慮しつつ、「予期せぬ問題が生じた際に迅速・容易に対応できる」システムと整理することができる。言いかえれば、トレーサビリティーシステムにはニーズとリスク管理の二つの観点がある。ニーズについては、消費者が知りたい情報と生産者・事業者が知らせたい情報を満たすシステムといえるが、それだけでは単なる広報的なシステムになりがちである。より重要なのは後者のリスク管理の観点と思われる。冒頭で述べたような、ダイオキシン、O-157、BSE、鳥インフルエンザウイルスなどの問題は、一昔前はまさに「予期せぬ問題」であり、食の安心・安全をめぐる現在の状況を招いた原因はこれらの「予期せぬ問題」であったとも言える。そして、現在求められているトレーサビリティーシステムは、このような「予期せぬ問題」に、より迅速に対処できるシステムでなければならない。また、そのような状況となった場合に、経済的損失を最小限に抑えうるシステムであることも必要である。

将来どのような問題が発生するかは予測が難しく、それが「予期せぬ問題」たる所以である。過去に発生した問題を教訓とするしかないが、その要因の性質も多岐にわたっている（環境的要因、生物学的要因、化学的要因、人的要因 etc.）。既知の問題であれば、HACCPやISO9000シリーズ等の導入による衛生・安全性管理や品質管理である程度対応可能であるが、多くの場合は新たに発見された危険性であることが多く、生産・流通管理での対応が難しい。そして、そのような危険性は、生産、加工、流通のどの段階でも生じうる問題である。したがって、トレーサビリティーシステムにおいては、生産から消費までのフードチェーン全体にわたり、きめ細かく履歴を追跡・遡及できる必要がある。

4 トレーサビリティーの技術的側面

次に、上記のような要求を満たすために必要なトレーサビリティーシステムの技術的側面について考察する。

4.1 識別単位（ロット）について

システムとしては、追跡する食品を識別する単位を定め、識別のための記号を付して管理することになる。この識別単位は、従来から製造業で一般的に用いられてきた「ロット」と呼ばれるものである。ロットとは、「ほぼ同一の条件下において加工または包装された食品の各段階での取扱い単位」と定義される。トレーサビリティーシステム自体が、「生産ロット」と「販売ロット」の対応付けを行うシステムと要約することができる（ただし、その間には後述するような様々な困難がある）。

この識別単位であるロットの大きさはシステム設計上重要な要素である。例えば、茶の場合、同じ圃場から同時に収穫された生葉は一つの生葉ロットであるが、それを二つに分割して別々に製茶した場合、生産された荒茶を別のロットとすることもできるし、「ほぼ同一の条件」と考えて同一ロットとすることもできる。同一ロットとした場合、製茶順序や製茶ラインの情報は捨ててしまうことになる。したがって、前述のようなリスク管理という観点からは、ロットはより小さな単位であることが望ましい。何らかの問題が生じた場合、ロットが小さければ回収等の対策を行う範囲をより小さく速くでき、経済的損失もより少なくできる可能性がある。また、原因の調査を行う場合も、小さいロットで管理した方が原因の絞り込みが楽になる。ただし、ロットを小さくした場合、生産・流通の分別管理や情報伝達のためのコスト・労力が大きくなるというデメリットがある。

4.2 ロットの形成・移動・統合・分割への対応

今日の食品流通では、生産ロットがそのまま販売ロットとなるようなケースはまれである。加工されない青果物といえども、生産者から集荷場、市場、小売業者等を経て消費者の手に渡る。つまり、通常ロットは業種を越えて移動するものである。また、その間にロットの統合や分割も頻繁に生ずる。加工食品の場合、ロットの動きはさらに複雑であり、冷凍貯蔵した原料などを用いる場合はかなり収穫時期の異なるものが混合されることも多く、情報管理は複雑となる。複数の異なる原料ロットの混合により新たな製品ロットが形成された場合、どの原料ロットからできたものかを明確に管理できなければならぬ。

4.3 業種間の情報伝達

例えば生産者から加工業者、加工業者から流通業者といった業者間のロットの移動が行われる場合、いかにしてロットの情報を伝達するかを検討する必要がある。もっとも簡単な方法は紙の書類の添付である。これはいわば従来の荷札・包装ラベルや納品書のような形態であり、検索の遅さ、ミスの発生などは欠点であるがコストは安い。バーコードは非接触で読みとりが可能であり、コンピュータによる管理と直結できることから、ミスの発生

は少ないが、保持できる情報量が十数文字程度と少ない。この点を改良し二、三千文字を記録できるようにしたものが二次元コードである。茶のトレーサビリティ実証試験等でも二次元コードが活用されている。

さらに、近年はICタグも開発されている。これは、小型のメモリに情報を格納できるタグであり、媒体に電波・電磁波を用いて非接触で書き込み、読み出しが出来るものをRFID (Radio Frequency Identification System) とよぶ。現状では記録容量と通信距離により大きくコストが異なるため、導入にあたってはどのように利用するかを十分検討することが必要である。ICタグは現在世界的に注目を集めている技術であり、今後の動向が注目される⁴⁾。

上記のように、どの程度の量の情報を伝達するかにより方式は異なるが、必ずしも記録容量が大きいものが優れた方式とは限らない。容量が大きければそのロットの履歴そのものを記録・添付することも可能であるが、ロットと履歴と一緒に伝達することはトレーサビリティとしては必須ではない。例えばバーコードやICタグには一意に識別できるロット番号のみを記録し、履歴の詳細はその番号をキーとしてインターネット上のサーバーにアクセスして参照することも可能である。要するにトレーサビリティーシステムとしては、そのロットの情報がどこかで正しく管理されていれば良く、製品と一緒にデータそのものを伝達する必要はないと考えられる。

業種間の情報伝達においては、上記のような技術的な検討のほかに、業種間で共通のルールを定めるための組織作りが必要な場合もある。生産現場などでは、経営の中身まで明らかになるような情報の提供には抵抗を感じるとの声もあり、情報伝達のルール作りはトレーサビリティーシステムの構築において重要なステップである。さらに、実際には各事業者すでに独自のシステムを構築済みの場合が多く、共通したシステムの導入が困難である。その場合は、既存の各システムを活かしながら、徐々に連携を取るような工夫も必要になる。

4.4 情報の公開のあり方

十分整備されたトレーサビリティーシステムであればインターネットなどを通じて消費者に直接履歴情報を開示することも可能である。例えば、消費者からのアクセスに応じて特定の商品ロットの履歴情報をデータベースから検索し、自動的にHTML形式（インターネットエクスプローラなどで表示可能な形式）や電子メール形式に変換して情報を発信することは、技術的には容易である。このような方法により、トレーサビリティーシステムを積極的にアピールすれば、商品に新たな付加価値を付与できる可能性もある。また、店頭のディスプレーでその商品の履歴情報を開示するようなシステムも考えられる。ただし、そのような情報提供の方法が必ずしも消費者の求めるものとは限らない点に注意が必要である。また、

中途半端な情報提供により逆に消費者を惑わせたり誤解を招く恐れもあり、どのような情報を公開するかについては目的に応じて慎重に検討する必要がある。リスク管理という側面を重視するのであれば、必ずしも情報公開にこだわる必要はないと思われる。

4.5 システムの信頼性の確保

いかに理想的なシステムが構築できても、入力を行うのは人間であり、そこには必ず履歴詐称の危険がある。トレーサビリティーシステムにおいてはこの点が最も大きなリスクである。実際の運用にあたっては、第三者機関等による情報の管理や監査の必要性についても検討するべきである。また、情報の信頼性を確保する上では、DNA鑑定や化学分析による履歴の判別などの科学的手法を組み合わせることも有効である。

5 茶業におけるトレーサビリティーシステム

茶は乾燥加工食品であるが、その生産・流通の形態は非常に複雑である（図1）。一般的には、まず生産者が荒茶加工までを行い、その荒茶を茶市場等を経て中間仕上げ加工業者（茶商等）が購入し、仕上げ（ふるい分け、火入れ、合組等）の後、個別包装して最終製品となる。すなわち、生産者、仕上げ加工業者、小売業者という三つの業種が関与している。さらに、茶のトレーサビリティを考える上で非常に重要な点は、ロットの混合が複数の過程で発生することである。その一つは製茶前の生葉の混合（合葉）であり、もう一つは仕上げの段階における荒茶の混合（合組）である。前者の合葉については、通常同一産地での混合に限られるが、後者の合組については、静岡と鹿児島、一番茶と二番茶というような、い

わば「時空を越えた」混合が一般的に行われている。以下は、リスク管理の観点から茶の生産・流通の各段階におけるロットの動きについての考察である。

5.1 栽培管理

茶に限らず栽培管理で特にリスクをはらむ事項は薬剤散布状況である。同じ区画の圃場であって、薬剤散布状況が異なる場合は別の「圃場ロット」として扱う必要がある。ただし、茶は永年生作物であることから、過去の防除歴等まで考慮して圃場ロットを設定することは極めて困難である。圃場ロットをどの程度細かく設定するかは現状でも生産者に任せられているが、トレーサビリティの最終到達点であることを十分考慮して決定する必要がある。

5.2 摘採～製茶工程

摘採は「生葉ロット」が生成する段階である。基本的には、摘採した圃場ロットが異なれば当然異なる生葉ロットとして管理するべきである。場合によっては、摘採の段階で複数の圃場ロットからの生葉が混合することも生じうる。この場合、生葉ロットとしては単一となるが、どの圃場ロットからの由来であるかを正確に記録する必要がある。製茶工場搬入後に合葉が行われた場合は新たな「原葉ロット」が生成することになる。原葉ロットについてもどの生葉ロットが混合されたかの情報を保持する必要がある。原葉の保管状況なども有益な情報である。

5.3 製茶工程～荒茶

原葉ロットから製茶を経て「荒茶ロット」が生成するが、同じ原葉ロットであっても分割して製茶された場合は別の荒茶ロットととらえるべきである。リスク管理の

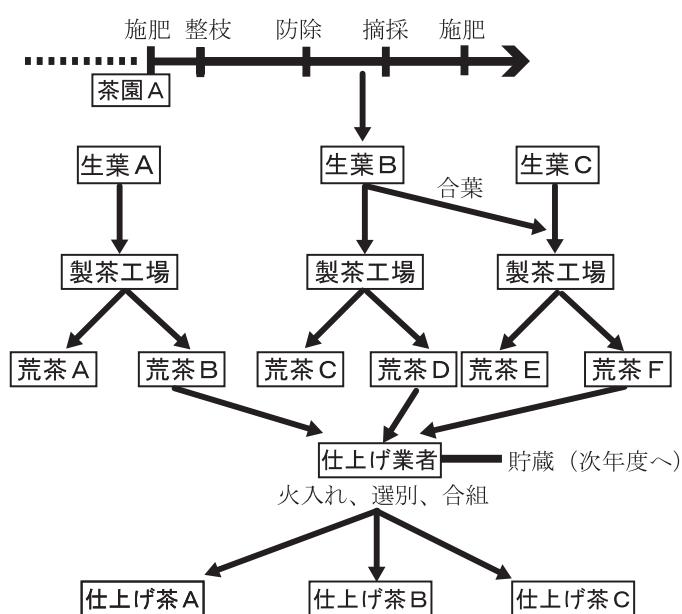


図1 茶の生産・流通モデル

点からは、製茶ラインや製茶工程管理の記録も必要である。

5.4 荒茶～仕上げ～小売り

多くの場合茶市場等を経て業種間の荒茶の移動が生じることから、前述のような方法によるロット情報の伝達が必要となる。仕上げ加工における、ふるい分け、木茎除去等の分級操作はロットの分割、合組はロットの統合に相当し、それぞれに新たなロットが生成する。火入れ処理なども、条件が異なれば別のロットとなる。仕上げ茶は個別包装され、これが最終的な商品ロットとなるが、その保管状況や流通経路なども細かく管理される必要がある。

以上はかなり極端な考察であるが、茶の栽培から製造・流通の段階でいかに複雑なロットの動きが生じるかがわかる。実際のシステムではこれらのロットの管理とともにそれらの生成に関する情報、保管状況などを記録するための複雑なデータベースが必要となる。

6 トレーサビリティの問題点と展望

トレーサビリティーの目的としてリスク管理の観点を強調してきたが、その構築には多くの困難がある。農林水産省による補助事業等の支援の基で様々な実証試験も実施されているが、それぞれの食品で生産・流通の事情は異なっており、統一的なシステムを構築することは難しい。結果的に業界個別の対応とならざるを得ないが、システム作りのためにはかなりのコストが必要であり、コストを負担できない零細な生産者等が取り残される恐れもある。また、トレーサビリティーが履歴の追溯を目的としている性質上、最も上流にある生産者に一方的に責任を押しつけられるような傾向もみられる。予期せぬリスクというものは生産・流通のどの段階にも潜んでいるものであり、単に上流に情報を要求するのみで済む問題ではないことを理解する必要がある。

茶においてもそれぞれの団体でトレーサビリティーシステムの導入が検討されている。どの程度のシステムが要求されるかは個々の事情により異なるが、その設計、導入にはかなりのコストが必要であり、結果的に類似のものが多数開発されることになりかねない。また、将来的にはそれらが連携して一つのシステムを形成することが必要である。そのためには、業界全体での取り組みや何らかの指針・標準等の策定が望まれる。

7 トレーサビリティーシステムに関する情報

農林水産省ではトレーサビリティーシステム開発事業、導入促進事業を実施するとともに、ホームページを通じてトレーサビリティーに関する多くの情報を公開している (<http://www.maff.go.jp/trace/top.htm>)。本ホーム

ページから食品トレーサビリティーシステムの事例や導入に関する多くの有用な情報を入手することが可能である。

摘要

食品の安心・安全に関わる「予期せぬ問題」への対策として、トレーサビリティーシステムの構築は極めて重要である。トレーサビリティーシステムの要件としては、生産から消費までのフードチェーン全体にわたり、きめ細かくロットの履歴を追跡・追溯できることが求められる。流通の形態は食品により異なっていることから、現状では各食品の流通形態に応じたシステムを構築する必要がある。また、生産・流通に関わる業種間の情報の伝達方法の検討や、そのための組織作りも必要である。

現在、茶の生産・流通においてもトレーサビリティーシステム構築が試みられつつある。ただし、茶の場合は生産、加工、流通の段階で地域を超えた複雑なロットの混合・分割が生ずることから、他の加工食品以上に困難な側面が多い。

引用文献

- 1) 国立国語研究所. 2004. 第1回「外来語」言い換え提案. <http://www.kokken.go.jp/public/gairaigo/Teian1ndex.html>
- 2) 農林水産省. 2004. トレーサビリティーシステムの導入・普及. <http://www.maff.go.jp/trace/trace-setumei.pdf>
- 3) 食品のトレーサビリティに関するアドバイザリー会合. 2004. 食品トレーサビリティーシステムの構築に向けた考え方（食品のトレーサビリティに関するアドバイザリー会合検討結果報告）：1-2
- 4) 日経BP者. 2004. RFIDテクノロジ. <http://itpro.nikkeibp.co.jp/rfid/>

茶の残留農薬分析の現状と今後の展望

遊 佐 義 男
クミアイ化学工業株式会社

Current Status of Pesticide Residue Analysis for Tea Products and Future Prospects

Yoshio YUSA
Kumiai Chemical Industry Company Limited

キーワード：茶，農薬，残留分析，一斉分析法

1 はじめに

農薬残留分析の対象は、農畜産物、魚介類および飲料水をはじめ土壤、河川・地下水、底質、大気あるいは血液、尿、母乳などの多岐にわたる。残留分析は、意図的・非意図的と問わず食品や環境中残留物質の曝露評価に欠かせない手法のひとつであるが、農薬の微量分析の意味で使われる場合が多い。

ここでは茶の残留農薬分析につきその目的、位置付け、試験方法、残留実態や将来の方向について考えてみたい。「茶」は植物としての「チャ」と区別して新芽を加工して作った製品を意味する¹⁾ので、残留分析でも「茶」を用いる。

2 残留分析の目的

2.1 食品衛生法における規格基準（いわゆる残留基準検査）

輸入食品や市場農産物の残留農薬チェックである。植物検疫所や国公立の衛生研究所による検査であり、違反すると輸入停止や廃棄処分命令となる。この残留基準とともにその検査法（試験法）が告示されている。

茶は、法の「食品、添加物等の規格基準 第1食品の

部D各条の項」に、「穀類、豆類、果実、野菜、種実類、茶及びホップの成分規格、(6)茶」として分類され、農薬ごとの試験法（残留分析法）が詳細に定められている。

2.2 基準設定

農薬登録要件の一つに作物残留試験があり、ガイドラインに従って残留分析データを収集し残留基準が設定される。一方、農薬取締法で定められている登録保留基準は、農薬登録の内容が作物残留の面で適切かどうかを判断するもので、市場流通農産物を規制するものではない。従って、例え分析結果がこの保留基準を超えたとしてもその農産物は回収、廃棄などの処分対象とはならない²⁾。

2.3 取引上の約束や自主検査

「法で定められた農薬はすべて“検出せず”的分析結果なので、このお茶は安全です」。これはあるホームページで見かけた文言だが、ここに一つの目的が含まれている。あるいは、「農薬は茶に残留してはならない」。これもときどき耳にするがこれが正しいのは、表1の8農薬と自主基準でそう定めている場合だけである。独自の施設で分析を行っている生協なども見受けられるが、用いる試験法は公定法か同等以上の要求をみたすものでなければならない。まして自主基準を社会一般や他に当ては

表1 茶に関する基準設定農薬（2004年9月1日現在）

法 律	基 準	農薬数	基準が“不検出”とされている農薬*
食品衛生法	残留基準	81	2,4,5-T, アミトロール, エンドリン, カプタホール, ダミノジッド, シヘキサチン, ディルドリン（アルドリン）
農薬取締法	登録保留基準	46	シマジン

* “不検出”農薬は茶に限らず該当作物すべてに共通である。

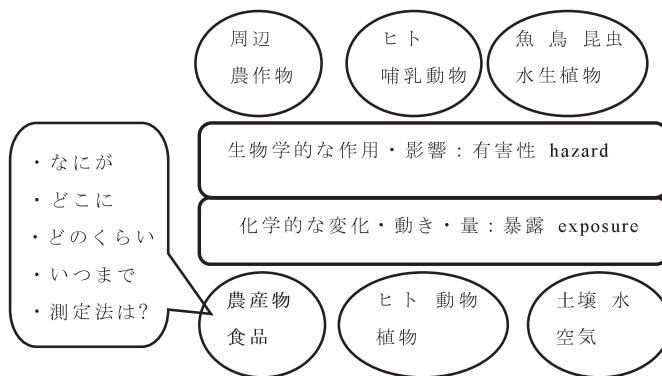
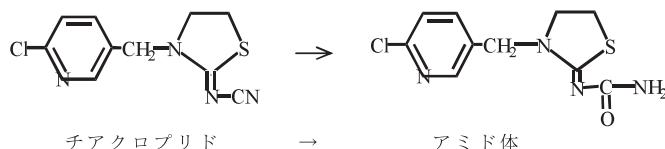


図1 農薬の有害性評価と曝露評価の関係、残留分析の位置付け

図2 変化生成物の測定例：両物質を個別に測定する。アミド体濃度に換算係数（チアクロプリドとの分子量の比）を乗じてチアクロプリド濃度として算出する³⁾。

めてはならない。

2.4 JAS法表示の検証分析

農水省所管の行政施策である。有機、無農薬表示農産物のJAS規格遵守について残留農薬分析によって監視するのが目的であり、基準への適合性判定ではない。

3 残留農薬と位置付け

3.1 残留農薬とは

農産物や環境中に存在している農薬成分およびその代謝分解物（総合して変化生成物）を残留農薬という。法的には分析すべき対象物質（規制対象物質）が定められている。多く場合、農薬成分そのものを対象としているが、代謝物も規制対象となる場合はそれら分析値の合計で評価される。代謝物も規制対象とされている茶農薬として、エマメクチン安息香酸塩、ジアフェンチウロン、チアクロプリド、ニテンピラム、メトリブジンなどが挙げられる。

3.2 作物と分析部位

同じ農薬でも農作物の部位によって残留量が異なるのは当然である。野菜、果物、穀類など一般的な農作物は生のままの形で可食部を分析するのが原則で、そのため細かなルールが決められている。

（例）米：玄米 りんご：皮をむかないすいか：皮をむく 大根：根と葉：夏みかん：果肉と外果皮 ホップ：乾花

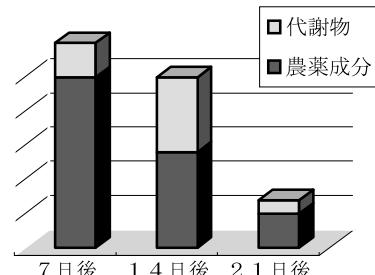


図3 農薬使用後摘採までの日数と残留濃度との関係概念図

茶の残留分析における第一の特徴は、生葉ではなく製茶したものを分析に供することで、はじめから加工品を分析対象とするのは茶だけある。

4 茶の試験法

上述の分析部位を含みサンプルの前処理から分析値が得られるまでの一連のプロセスが広義の分析方法であり試験法と呼ぶ。

表2 抹茶以外の茶について試験法の比較

2004年9月1日現在（著者の調査結果）

基 準	試験法と対象農薬数		
	溶媒抽出法	浸出法	計
残留基準	9	72	81
登録保留基準	18	28	46
計	27	100	127

表3 茶葉中農薬の茶湯への浸出例

「食品安全性セミナー3、残留農薬」から抜粋⁴⁾

農薬名	浸出率%
シハロトリン	2.9
γ-BHC	6.5
キナルホス	40.4
フェニトロチオン	70.9
マラチオン	86.8
ジメトエート	98.3

茶の試験法には①粉碎して有機溶媒抽出する②茶湯、即ち浸出液について分析する、の二つの方法がある。これは1950年代末、食品衛生法に基づいて茶の試験法を定めたときに、茶の可食部とは茶湯であると規定され浸出液を分析対象としたためである。ただし、抹茶だけは①の方法とされた。時を経て1998年頃から新たに試験法を定める場合は①の方法となった。現状の公定法では抹茶の場合が①、それ以外の茶では②、と同一農薬に二通りの方法が定められている例が圧倒的に多い。

一方、農薬取締法により保留基準が定められた農薬についても同様であるが、①の方法による農薬が増えている。

5 試験法概要

一般に、残留農薬の試験法は、粉碎・抽出、転溶、濃縮、カラム精製と定性・定量、確認の工程からなる。定性・定量としてはガスクロマトグラフィーや高速液体クロマトグラフィーが良く用いられる。確認にはガスクロマトグラフ・質量分析計などが使用される。

5.1 溶媒抽出法

茶の抽出溶媒を留去するとタール状の濃縮物となり微量の農薬成分を分離、精製することが他の作物より大変厄介である。抽出には水-アセトン、水-メタノールや水-アセトニトリルなどが良く使われている。茶葉5グラムに水20mLを加え2時間放置し、抽出溶媒100mLを加えて抽出し吸引ろ過する。定法により分配、以下上記の手順で操作する。

5.2 浸出試験法

抹茶以外の茶の試験法に多い。製茶9グラムを100°Cの水540mLに浸漬し室温で5分間放置後ろ過し、冷後ろ液を分析に供する。浸出液ではタンニン等によるエマルジョン形成を回避するため酢酸鉛を添加して、タンニンを沈殿させている。別法として茶浸出液をODS(オクタデシル化シリカゲル)固相抽出カラムを使用して溶出すると浸出液と溶媒の混合がないため、エマルジョンの形成がなく、酢酸鉛の添加も必要ないので効率的である⁵⁾。

農薬は一般的に茶葉面のクチクラ層に浸透残留するが、水溶性が高いほど水層に移行し易く、浸出率が高い。また、浸出率は農薬散布後の経過時間によって異なることがある⁶⁾。

5.3 よく使われる分析機器と検出器

高速液体クロマトグラフ:HPLC、UVまたは蛍光検出器

ガスクロマトグラフ:GC、電子捕獲型検出器ECD、アルカリ熱イオン型検出器NPDまたはFTD、炎光光度型検出器FPD

液体クロマトグラフ-質量分析計:LC-MS

ガスクロマトグラフ-質量分析計:GC-MS

6 検出限界と定量限界

6.1 検出限界

分析の全操作から目的物質の有無が当該測定機器で明確に判定できる最小検出量から算出される最低濃度である。米国EPA-OPPでは、試薬ブランクと統計学的に差を持って測定可能な最低濃度で、試薬ブランクとの差の平均標準偏差の3倍と定めている⁷⁾。

6.2 定量限界

試料成分(分析妨害物質)による影響の結果、検出限界=定量限界とならないことがある。米国EPA-OPPでは、実試料を供試した場合に定量的に測定可能な最低濃度として、試料と試薬ブランクとの差の平均標準偏差の10倍と定めている⁷⁾。

定量限界に関する規定はつきのとおり⁸⁾。

- ①その濃度での回収率が70~110%であること。
- ②その濃度レベルに対して無処理区からの妨害が30%以下であること。
- ③その濃度レベルでの標準偏差%が20%以内の精度であること。

残留分析の目的によって定量限界の設定が異なってくる。基準の定められている農薬はその1/10以下、他の農薬は通常0.01~0.05ppmである。ただし、基準が「不検出」の場合は一般に0.005ppmとされているが、茶の溶媒抽出法による定量限界0.005ppmの達成は結構大変である。基準とは無関係に残留濃度の実態把握や無農薬チェックなどの自主検査、あるいはJAS法表示の検証対応では、目的に応じた定量限界の設定が必要となる。

7 多成分一斉分析法

公定法では農薬個別の試験法をその都度告示しているが、多成分一斉分析法について多くの報告がある^{9,10)}。その代表例として厚生省(当時)が公表している方法は、試料を含水アセトン抽出しゲル浸透クロマトグラフィー

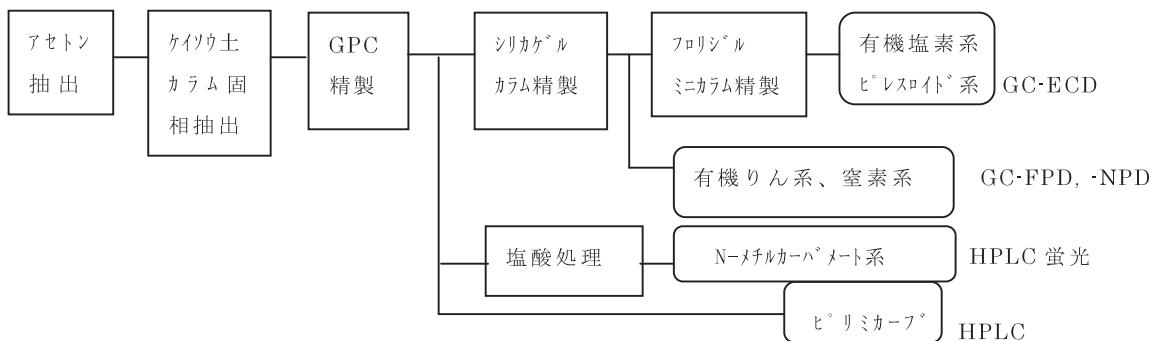


図4 残留農薬の迅速分析法の概略

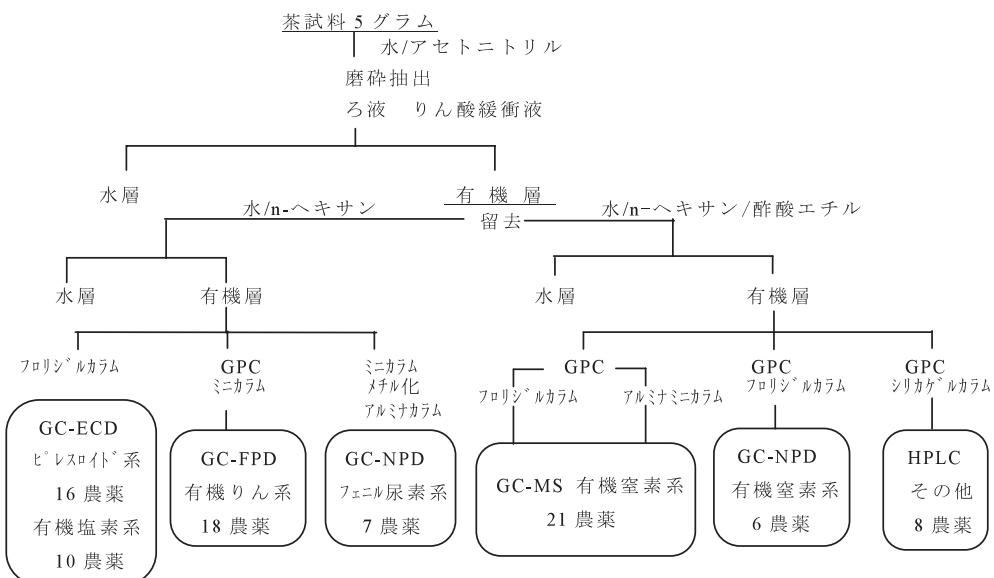


図5 茶溶媒抽出法の残留農薬一斉分析グループ法（仮称）の概略

(GPC)で精製した後、さらにミニカラムで精製後、各種の機器・検出器で定量する方法である¹¹⁾。

その適用条件はつぎのとおり。

- ・誘導化処理しないで測定できる農薬を対象とする。
- ・回収率70~120%，標準偏差20%以内、定量限界は基準の1/10以下。
- ・分析値が基準の50%以上の場合、公定法で再度分析すること。

しかし、これは穀類、野菜、果実等や茶浸出液を対象としたもので、抹茶にも適応可能とされているが、実際には茶に特有なカテキン類、カフェイン、遊離アミノ酸類、脂質、クロロフィル等が妨害物質となり、他の作物にくらべて分析困難な農薬が多い。このように茶の溶媒抽出による一斉分析法について有効な報告例は少ない。

2002年、(株)エコプロ・リサーチでは上記公定法をもとにして、抽出、精製、誘導化および定量法の類似する農薬の一斉分析法を開発した。類似点がないものは個別分析とした。対象農薬を測定機器・検出器別に6グループに分け、複数の機器で測定可能な場合、より選択的高感

度または抽出・精製操作がより有利となるグループに含める。GC-ECD、GC-FPDおよびGC-NPDで測定可能な農薬は、GC-MSでも選択的高感度に測定できる場合が多い。

この方法はグループ一斉分析法として利用できるスクリーニング法である。まず、定量下限値を残留基準の1/10とし、基準が1 ppm以上の場合はすべて0.1 ppmとする。採用機器で当該農薬の最小検出量が十分であれば分析可能とする。本法で農薬が検出された場合は個別分析法で定量する。また、回収率が120%以上の場合は、夾雑物の影響も考えられるのでGCカラムの極性を変えて確認、再精製を行う。

個別分析法では分析対象の農薬数だけ器具をセットしなければならないが、本法ではかなり少なくて済む。また、使用する溶媒量、人件費等を含め低コスト化につながっている。本方法では合計86農薬を対象としている。

表4 茶中の残留農薬調査結果 「食品安全性セミナー3, 残留農薬」¹³⁾から一部を抜粋

国産茶				輸入茶			
農薬名	検出数／検査数	分析最大値 ppm	基準値 ppm	農薬名	検出数／検査数	分析最大値 ppm	基準値 ppm
イソキサチオン	2/110	0.08	5*	BHC 異性体総和	7/276	0.34	0.2
クロルピリホス	6/351	0.3	3.0	DDT 異性体総和	14/394	0.23	0.2
ジコホール	3/276	0.39	3.0	キナルホス	3/270	0.23	未設定
ピルダベン	1/117	0.12	10	ジクロルボス	1/560	0.03	0.1
ピリミホスマチル	2/264	0.008	10	ジコホール	17/89	1.1	3.0
フェニトロチオン	2/371	0.03	0.2	シペルメトリン	3/376	0.2	20
フェノブカルブ	4/153	0.17	0.5	トリアゾホス	9/372	0.06	未設定
フルバリネット	2/232	0.16	10	フェンバレート	28/484	0.66	1.0
プロチオホス	2/334	0.04	5.0	ペルメトリン	6/553	0.7	20
ペルメトリン	2/281	2.29	20	マラチオン	1/679	1.5	未設定

* 登録保留基準

8 ポイント解説

8.1 GPCによる精製

GPCは分子サイズに基づく分離法であり、分子量の大きいものほど早く溶出し、小さくなるに従って遅くなる。精製法として各種吸着型カラムが良く使われるが、このGPCによる精製法も優れた手法の一つである。特に茶の場合はカフェイン、クロロフィル、脂質等の除去・精製に有用である。

8.2 GC-MS一斉分析法

一般に精製が不十分な場合、再三にわたりGCに注入しなければならないこととなり、時間の浪費となりかねない。従って、最初から選択性の勝れた検出器別の“グループ法”が有効ではないかと考えられる。ただし、いずれにしてもスクリーニング的位置付けである。

8.3 ドイツの方法

個別農薬の分析法と一斉分析法が公表されている¹²⁾。一斉分析法の基本は化学的に関連した農薬グループをGPC精製後、GC検出器の組み合わせで測定する方法であるが、体系的に良く纏められている。方法S19には220成分以上が収録されており、日本の茶農薬が35含まれている。

8.4 GCの性能・感度の向上

これが灰雑物と農薬、あるいは多数の農薬間の良好な分離に寄与して分析法の簡便化・低コスト化に役立っている。まず、高感度になることで機器への注入液量が少なくて済み、カラムへの負荷が軽減されるのでカラムの

寿命が延びる。また、キャビラリーカラム（内径0.32mm以下）を使用することで、化合物の注入量が少なくて得られるクロマトグラムのピークがシャープとなりより定量性が高まる利点もある。

8.5 茶の種類と妨害物質

緑茶よりウーロン茶、ほうじ茶、紅茶の方が測定クロマトグラム上に灰雑物のピークが多く現れ、測定機器への注入液を再精製しなければならない場合が時々ある。これが茶の残留分析が最も難しいと言われる所以である。

8.6 基準適否の判定

実験値を基準の一桁下まで求め、そこで四捨五入して基準と比較し適否を判定する。

9 農薬残留実態

食品中の残留農薬調査については多数報告されており、また参考書のまとめを利用する方が便利である。その中から一部を紹介する。

10 今後の展望

10.1 機器と分析法

省力化、迅速化の要求度が一層高まっており、一斉分析法の拡充が第一である。「食品中に残留する農薬等の暫定基準」の公表にともない、2003年度から国立医薬品食品衛生研究所を中心に一斉分析法の検討が進められている。

2003年度に検討されたGC-MS法では、茶の農薬には適用できていない¹⁵⁾。2004年度はLC-MSおよびLC-MS-

表5 健康茶、ハーブ茶における残留農薬の検出状況（溶媒抽出法）¹⁴⁾

区分	試料の種類	原産国	検出数	検出農薬名および延べ農薬数
健康茶	バナバ, いちょう, 柿, 甜茶, センナ, 杜仲茶, グアバ, しそ, ギムネマ, 春ウコン, どくだみ, すぎな等 20 種	フィリピン, 中国, 南米, 南アフリカ, インド, 日本	9/20	β-BHC, γ-BHC, p,p'-DDE, o,p'-DDT, フェニトロチオン, マラチオン, クロルピリホス, EPN, イソプロカルブ 延べ 15
ハーブ茶	食用キク, ジャスミン, ラベンダー, ライム, サフラワー, ペパーミント, ハイビスカス, ローズマリー等 13 種	チリ, エジプト, 中国, ドイツ, フランス, タイ, アルバニア	6/13	p,p'-DDE, o,p'-DDT, p,p'-DDT, ジクロルボス, 延べ 11
調査対象農薬 96 種：有機塩素系 13, ピレスロイド系 12, 有機りん系 31, カーバメート系 13, 有機窒素系ほか 27				中国産の健康茶, ハーブ茶すべてから有機塩素系農薬が検出された.

表6 上記検出農薬のうち浸出試験法による分析結果¹⁴⁾

農薬名	試 料	原産国	溶媒抽出, ppm	浸出試験, ppm
DDT	ハーブ茶	中国	0.22	<0.02
フェニトロチオン	健康茶	中国	0.61	0.01
クロルピリホス	健康茶	日本	3.5	0.073
EPN*	健康茶	日本	0.40	<0.02

* EPN は 2004 年 4 月, 残留基準から削除された.

MS法が検討されているのでこの完成に期待が寄せられている。

一方, 野菜, 果実についてLC-MS-MS法を検討した報告では, 83成分につき60分間で分析可能としている¹⁶⁾. この報告者は, 緑茶の溶媒抽出法における多成分一斉分析法も検討しており, 近い将来, このようなLC-MS-MSシステムの普及でより効率的な茶農薬の一斉分析法が開発されるものと考えられる。

10.2 GLP制度と精度管理

機器などのハード面の整備とともに試験の信頼性を担保するソフト面での運営管理が肝要である。1996年, 食品衛生法に基づく検査等の業務管理Good Laboratory Practiceが公的検査機関では導入されているが, この普及が望まれる。精度管理としては, 併行精度, 室内再現精度や第三者機関を通じて行われる外部精度管理(空間再現精度)がある。

一方, 國際規格ISO/IEC17025による試験所認定制度があり, 試験項目ごとに技術および管理能力を審査して認定を行っている。日本ではまだ, 茶農薬の残留分析での認定を得た機関はない。これからの課題である。

10.3 茶に関する農薬等残留基準(暫定基準第2次案)について

本案は今後の各種審議会等を経て, 2006年施行の見込

みである。茶対象農薬の増加, 新たな基準設定, 試験法の改正が進められており, 要点は以下のとおりである。

- ①茶の現行保留基準農薬の試験法はすべて溶媒抽出法とされた。
- ②現行登録保留基準農薬シマジンはこの暫定基準案から削除された。
- ③現行登録保留基準農薬ナレドはジクロルボス(DDVP)との総和として換算され, 現行のジクロルボス残留基準と同様に浸出法とされた。
- ④新たに約18農薬の基準が追加され, 試験法はすべて溶媒抽出法とされた。
- ⑤現行不発酵茶に限られていた8農薬は, 茶全体に適用されることとなった。
- ⑥本案では浸出法による場合は「熱湯抽出法による」と付記された。

摘要

残留分析の目的には, 基準適合性を見るもの以外に自主的なもの, JAS法対応の検証などがあり, 目的に応じて試験法, 定量限界値が異なる。試験法, いわゆる公定法は食品衛生法や農薬取締法のもとで公表されている。抹茶以外の茶では, 多くの農薬について熱湯抽出法が採用されているが, 近年は溶媒抽出法が増える傾向にある。スクリーニングとして活用される多成分一斉分析法が開発されているが, 茶適用の農薬にはこの方法では定量性

不十分な農薬も多く個別分析法となる。

2006年施行予定の暫定残留基準案が公表され、茶に関しては約18農薬の追加、従来の熱湯抽出法から溶媒抽出法への変更などが注目される。省力化、迅速化のため益々多成分一斉法の要求が高まり、LC-MS-MSの普及による改良法に期待が寄せられる。

引用文献

- 1) 武田善行編著. 2004. 茶のサイエンス. 篠波書房 : 4. 58
- 2) 上路雅子・永山敏廣. 2002. 食品安全セミナー3. 残留農薬. 中央法規出版 : 72
- 3) 上路雅子・小林裕子・中村幸二. 2002. 残留農薬分析法 2002年版. ソフトサイエンス社 : 482
- 4) 上路雅子・永山敏廣. 2002. 食品安全セミナー3. 残留農薬. 中央法規出版 : 261
- 5) 新宅隆志・原弘幸・苗床義隆・立石洋暢・藤原守. 1999. 固相抽出カラムを用いた茶中の残留農薬の多成分分析についての検討. 農林水産消費技術センター調査研究報告. 23 : 93
- 6) 上路雅子・永山敏廣. 2002. 食品安全セミナー3. 残留農薬. 中央法規出版 : 264
- 7) Office of Pesticide Programs. 2000. Assigning values to non-detected/non-quantified pesticide residues in human health food exposure assessment. EPA Science Policy Document : 2
- 8) 上路雅子・小林裕子・中村幸二. 2002. 残留農薬分析法 2002年版. ソフトサイエンス : 14
- 9) 大藤升美・茶谷祐行・北野隆一・八島哲・小松正幹. 1998. GC/MSによる農産物中残留農薬の一斉分析法の検討(Ⅲ)－茶(浸出液)－. 京都府保環研年報. 43 : 16-19
- 10) 農林水産消費技術センター技術情報. 2004. 茶中の残留農薬の多成分一斉分析法 : 1-5
- 11) 厚生省生活衛生局長通知. 1997. 残留農薬迅速分析法の利用について. 衛化第43号 : 1-5
- 12) Hans-Peter Their and Jochen Kirchhoff Working Group "Analysis". 1992. Pesticides Commission. DFG(Deutsche Forschungsgemeinschaft). Manual of Pesticide Residue Analysis. Vol. II. Part 4. Multiple Pesticide Residue Analytical Method : 299-365
- 13) 上路雅子・永山敏廣. 2002. 食品安全セミナー3. 残留農薬. 中央法規出版 : 260-261
- 14) 小川正彦・阪本晶子・大熊和行・佐藤誠・志村恭子. 2000. 嗜好性食品中の残留農薬の実態調査. 三重保環研年報. 2 : 6-7
- 15) 厚生労働省医薬食品局食品安全部基準審査課. 2004. 食品中に残留する農薬等のポジティブリスト制に係る分析法(案)の検討について : 2
- 16) 谷澤春名・島三記絵・池原千枝子・小畑雅一・佐藤元昭. 2004. 作物中残留農薬の多成分一斉分析(第2報)-LC/MS/MSを用いての検討-. 日本食品衛生学会第87回学術講演会講演要旨集 : 47

野菜茶業研究集報 第2号

2005年（平成17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 石内傳治

〒514-2392 三重県安芸郡安濃町大字草生360
360 Kusawa, Ano, 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 株式会社一誠堂 三重県亀山市本町3-14-6
Tel (0595) 82-2331㈹ Fax (0595) 83-0380

