

高濃度二酸化炭素くん蒸処理によるナミハダニ防除の イチゴ栽培における実用化について

栃木県農業試験場 ^お ^や ^だ ^こ ^い ^ち
宇都宮大学農学部 ^む ^ら ^い ^む ^ら ^い ^保
小 山 田 浩 一*

はじめに

ナミハダニ *Tetranychus urticae* Koch は、農作物を含む、極めて多くの植物に寄生し (江原・真梶, 1975), 施設栽培の野菜・花き類では重要害虫となっている。近年、全国的に難防除化し、各地でイチゴを中心に注意報が発表されるなど園芸作物生産の大きな障害となっている (農林水産省消費・安全局, 2014)。特に、イチゴ栽培では薬剤感受性の低下と相まって、育苗期から本圃まで栽培期間の全般にわたり加害を受け、防除に手を焼いている生産者は多い。

1970年ころから欧米諸国やオーストラリア等で Controlled Atmosphere Storage 法 (略して CA 法とも呼称される。この方法には、窒素を置換ガスとし、酸素濃度を数%以下にして窒息を図る方法と殺虫作用を有する 40%以上の高濃度二酸化炭素 (以下、CO₂) (BAILEY, 1965) を充てんし殺虫を図る二つの方法がある (中北, 1986)。) が注目され始めた。高濃度 CO₂ くん蒸処理については、ココクゾウムシ *Sitophilus oryzae* (Linnaeus) などの貯穀害虫に対して防除試験が行われている (BANKS and ANNIS, 1977)。1980年代から、野菜、果樹、花き類の害虫に対して CO₂ くん蒸処理の防除効果が検討され始め、米国やニュージーランド等の輸出用果実で試験が行われ、イチゴのミカンキイロアザミウマ *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (AHARONI et al., 1981), キウイフルーツのナミハダニ休眠雌成虫 (WHITING and HEUVEL, 1995), 生食用ブドウの Pacific spider mites, *Tetranychus pacificus* McGregor (MITCHAM et al., 1997) 等で効果が認められている。

CO₂ は地球温暖化の原因とされるが、くん蒸処理で用いる工業原料用 CO₂ は石油精製工程などから生じる廃棄ガスを回収して製造されるので、新たな CO₂ 生産は

Practical Application of Fumigation of High Concentration Carbon Dioxide in Strawberry Cultivation to Control Two Spotted Spider Mite, *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae). By Koichi OYAMADA and Tamotsu MURAI

(キーワード: ナミハダニ, 高濃度二酸化炭素くん蒸, イチゴ苗, 害虫防除法)

* 現所属: 栃木県農業環境指導センター

不要で高濃度 CO₂ くん蒸処理の運用が温室効果を加速することはない (NEWTON, 1993)。したがって、本防除法は地球環境にとっても負荷の少ない農作物害虫の防除技術として期待できる。

本稿では、本県の重要農作物であるイチゴ栽培において高濃度 (60%) CO₂ くん蒸処理の実用化を図るために、筆者らの行った農業登録に向けた研究の取り組みおよび本技術の今後の展望について述べたい。

I 高濃度 (60%) CO₂ くん蒸処理の ナミハダニに対する効果

ナミハダニ雌成虫、産下後 24 時間以内の卵 (以下、24 h 卵) および産下後 48 ~ 72 時間後の卵 (以下、48 ~ 72 h 卵) に対し、60% CO₂ 有無の 2 段階、処理温度を 25, 30, 35℃ の 3 段階、処理時間を 4, 8, 12, 16, 20 時間の 5 段階とし、以上の条件を組合せた 30 区を設けた。実験処理装置の概略は図-1 に示す。処理方法は、寒天シャーレ上のインゲン葉片 (5 × 5 cm) に供試虫を放虫、あるいは産卵させ、処理容器 (図-1; 関・村井, 2011; SEKI and MURAI, 2012 a; 2012 b; 容量 1,000 ml) に入れた。処理区は、容器内を 60% CO₂ ガスに置換するため、上部、下部のノズルコックを開けた状態で下部のノズルから流量計を介して容器容量に対して 10 倍量の 10 l を流し入れた (関・村井, 2011)。処理直後に温度設定したインキュベータに移し、所定時間静置した。無処理区は、同容器を用いて 60% CO₂ ガスは入れずに処理区と同様に処理した。

雌成虫に対して、25℃では、20 時間の処理で死亡率は 100%に達し、30℃と 35℃では、16 時間の処理で 100%に達した。24 h 卵に対して 25℃, 20 時間の処理では 98.4%となり、30℃と 35℃では 12 時間の処理で補正殺卵率が 100%に達した。48 ~ 72 h 卵に対して 25℃, 20 時間の処理では 96.0%となり 30℃で 16 時間、35℃で 12 時間の処理で 100%に達した (表-1)。

II 高濃度 (60%) CO₂ くん蒸処理の 定植直前のイチゴ苗に及ぼす影響

60% CO₂ 処理が定植直前苗 (品種‘とちおとめ’) の生

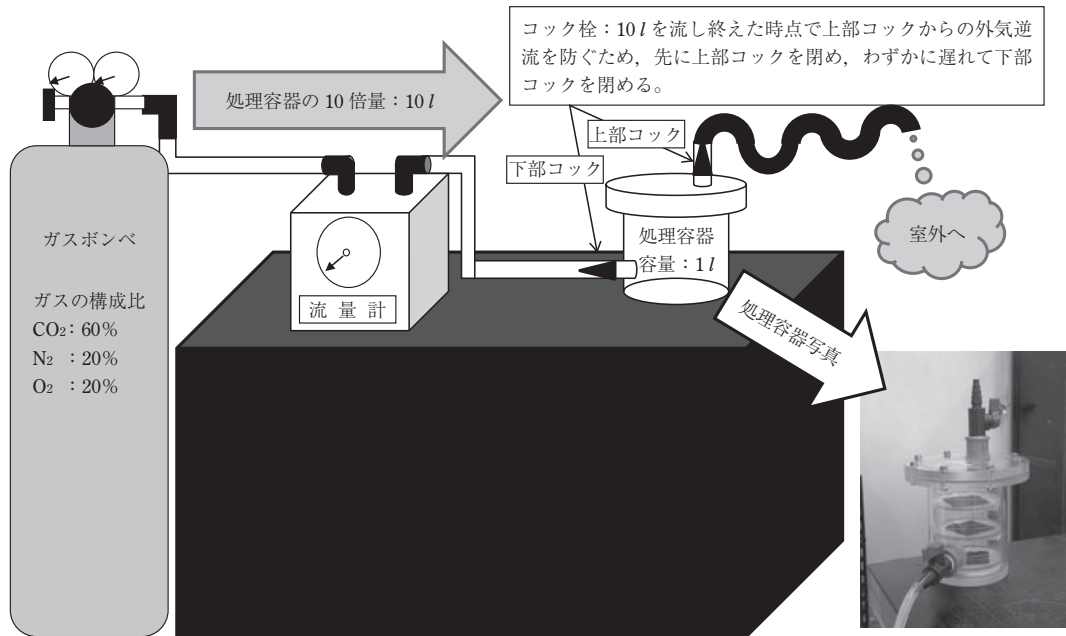


図-1 殺虫効果実験処理装置の概略図

表-1 異なる処理温度と処理時間におけるナミハダニ雌成虫および卵に対する 60% CO₂ くん蒸処理の殺虫効果

供試ステージ	処理温度 (°C)	死亡率 (%) ^{a) c)}				
		4 h	8 h	12 h	16 h	20 h
雌成虫 ^{b)}	25	1.0	9.5	72.3	98.0	100.0
	30	13.7	75.3	93.1	100.0	100.0
	35	32.9	80.7	99.0	100.0	100.0
産下後 24 時間 以内卵	25	16.7 (210, 200)	50.2 (222, 222)	65.9 (230, 233)	89.8 (221, 226)	98.4 (256, 258)
	30	24.3 (190, 210)	73.3 (215, 237)	100.0 (242, 224)	100.0 (221, 233)	100.0 (241, 236)
	35	46.3 (173, 216)	99.5 (238, 243)	100.0 (233, 242)	100.0 (221, 236)	100.0 (237, 238)
産下後 48 ~ 72 時間以内卵	25	6.6 (269, 278)	32.7 (255, 249)	49.3 (171, 164)	81.2 (182, 190)	96.0 (272, 266)
	30	21.7 (287, 304)	55.3 (248, 258)	92.8 (167, 165)	100.0 (172, 188)	100.0 (254, 271)
	35	38.8 (287, 281)	86.6 (241, 261)	100.0 (164, 175)	100.0 (186, 194)	100.0 (272, 282)

a) 死亡率は、以下の ABBOTT の補正式より求めた。

補正死亡率 (%) = {(CO₂ 無処理区の生存率 (%) - CO₂ 処理区の生存率 (%)) / CO₂ 無処理区の生存率 (%)} × 100.

b) 各区の供試虫数は 102 頭とした。

c) 括弧内の数字は供試卵数を示す (CO₂ 処理区, CO₂ 無処理区)。

小山田・村井 (2013) から一部を改変して引用。

育および花芽分化に悪影響を与えないことを確認するため、処理後の外観上の障害、頂花房の開花状況を調査した。

60% CO₂ 処理の有無、処理温度 30°C、35°C および処理時間 12 時間、24 時間を組合せた 8 区と慣行管理区の 9 区を設け、各区 10 株 (普通夜冷苗) を供試した。処理は、ナミハダニ殺虫試験に準じ、イチゴ苗 (処理前日の夕方に灌水) をプラスチックトレイに載せてガス置換デシケーター (容量 28 l) に入れ、300 l の 60% CO₂ を流

し入れ、所定温度に設定したインキュベータ内に静置した。60% CO₂ 無処理区の苗は、プラスチックトレイに載せ、同様にインキュベータ内に静置した。苗は処理後 24 時間以内にプランター当たり 3 株ずつ、株間 20 cm で無作為に定植して屋外で管理し、10 月 20 日以降ガラスハウス内で管理した。

処理後、葉枯れ、株枯れ等の有無を観察したが、外観上の障害は認められなかった。また、各区の定植日から

頂花房第1花開花までの平均日数は42.7～44.7日、定植80日後までの平均開花数9.9～11.6花となり、有意な差は認められなかった(表-2)。さらに、定植から80日後までの各区の頂花房全体の開花のばらつきは、累積開花率を見ると、ほぼ同等(図-2)で有意な差は認められなかった(パラメトリック生存時間のあてはめによる解析: $df = 8$, 尤度比 $\chi^2 = 3.564$, $p = 0.89$)。これらのことから、イチゴの開花に関して60% CO₂くん蒸処理の影響はないと考えられる。

III イチゴ定植苗への60% CO₂くん蒸処理の本圃でのハダニ類発生抑制効果

前述したナミハダニに対する高い殺虫効果とイチゴ苗に対する影響が認められなかった結果を受け、高濃度二酸化炭素くん蒸処理の農薬登録に向けて栃木農試内および現地生産者圃場において実証試験を行った。

1 栃木農試圃場における実証試験

供試苗として、農試場内でポット育苗したイチゴ苗

表-2 60% CO₂くん蒸処理の定植から第1花開花までの日数および定植後80日までの開花数に及ぼす影響

処理内容	供試株数 (n)	定植から初開花までの日数 ^{b)} (平均±標準誤差)	開花数 ^{c)} (平均±標準誤差)	
CO ₂ 処理あり	30℃-12 h	10	44.3 ± 1.0	10.6 ± 0.7
	30℃-24 h	10	43.9 ± 0.8	10.0 ± 0.4
	35℃-12 h	10	43.5 ± 0.5	10.8 ± 0.8
	35℃-24 h	10	43.6 ± 0.8	11.6 ± 0.6
CO ₂ 処理なし	30℃-12 h	10	44.7 ± 1.4	10.7 ± 0.6
	30℃-24 h	10	43.8 ± 0.9	11.6 ± 1.0
	35℃-12 h	10	42.7 ± 0.8	11.0 ± 0.8
	35℃-24 h	10	44.5 ± 0.8	10.6 ± 0.4
慣行管理区 ^{a)}	10	42.9 ± 0.9	9.9 ± 0.6	

a) 慣行管理区の苗は、実験処理を行わず、場内ガラスハウスで通常の管理を行った。

b) 各区間には一元配置分散分析により5%水準で有意差は認められなかった ($df = 8$, 要因の平均平方 = 4.63, $F = 0.54$, $p = 0.82$)。

c) 各区間には一元配置分散分析により5%水準で有意差は認められなかった ($df = 8$, 要因の平均平方 = 3.55, $F = 0.79$, $p = 0.61$)。

小山田・村井(2013)より一部改変して引用。

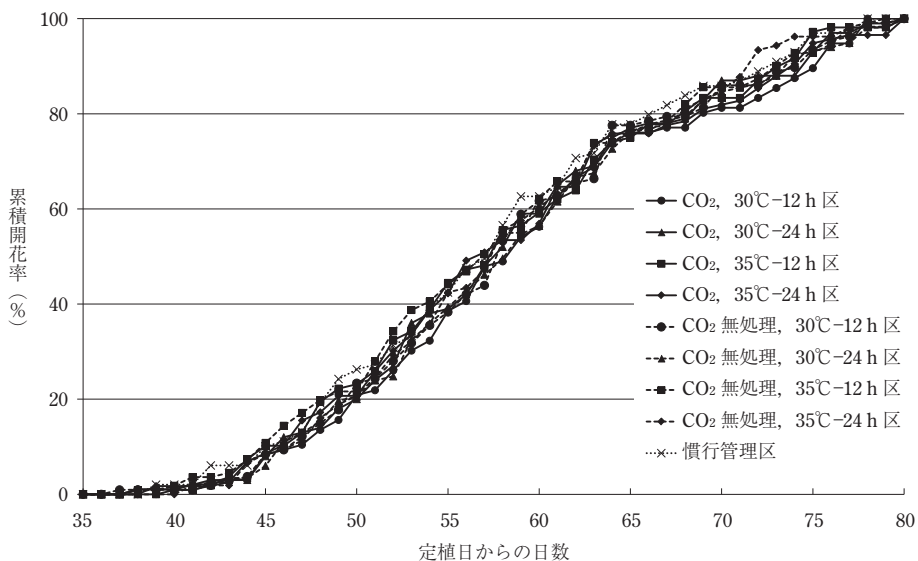


図-2 定植80日後までの各区の累積開花率の推移

(品種‘とちおとめ’)を用いた。試験区として、60% CO₂ 処理区と無処理区を設けた。供試イチゴ苗 600 株に対し、処理前日にナミハダニ(黄緑型)100頭を放虫した。翌日、農研機構 果樹研究所(茨城県つくば市)内に設置されている高濃度 CO₂ くん蒸処理装置(図-3; 土田ら, 2011)を用いて供試苗の半分の 300 株に対して 60% CO₂ 処理を 24 時間行った。残りの 300 株は無処理とした。試験区は、単棟パイプハウス 1 棟(面積約 1a)の 3 畝(畝幅 60 cm)のうち両端の畝を 3 区画ずつに区切り、60% CO₂ 処理区と無処理区(1 区画約 8 m²)を交互に配置した。60% CO₂ 処理終了 2 日後に定植苗を両試験区の各々 300 株から任意に選び出し、農試場内の試験圃場に 1 区画当たり 56 株定植した(株間 25 cm)。定植後の本圃におけるナミハダニ発生状況調査は、調査株を区画ごとに無作為に 10 株選び、2009 年 11 月 10 日から 2010 年 2 月 1 日まで、おおむね 1 週間ごとに株当たり 1 複葉を選び、寄生するナミハダニ雌成虫を計数した。

本圃に定植後、無処理区では放虫したナミハダニが調査開始時の 11 月 10 日から認められ、12 月中旬以降からは密度が急増した。このため、2 回の殺ダニ剤散布(2010 年 1 月 6 日アセキノシル水和剤、1 月 20 日プロピレングリコールモノ脂肪酸エステル乳剤)を行ったが、十分な防除効果が得られずに調査終了時までナミハダニが多発し続けた。一方、60% CO₂ 処理区では 12 月末までナミハダニの発生は認められなかった。その後、ナミハダニの発生は認められたが、調査終了時まで低密度で推移した(図-4)。

2 現地圃場実証試験

供試苗として、生産者宅で 35 穴セルトレイにより普通夜冷育苗したイチゴ苗(品種‘とちおとめ’)を用いた。試験区として、60% CO₂ 処理区と無処理区を設けた。

2009 年 9 月 7 日、本章第 1 節と同様に果樹研究所内に設置されている高濃度 CO₂ くん蒸処理施設で供試イチゴ苗 4,000 株のうち、2,000 株に対して 60% CO₂ 処理を 24 時間行った。残りの 2,000 株は無処理の苗とした。

処理終了当日の 9 月 8 日に用意した単棟パイプハウス(面積 2 a) 2 棟をそれぞれ処理区、無処理区として全株を定植した。両区ともナミハダニの放虫は行わず、自然発生に任せた。なお、無処理区は、生産者の意向により 10 月 10 日に還元澱粉糖化物液剤とピリダベン水和剤、10 月 29 日にシフルメトフェン水和剤を散布した。一方、処理区ではナミハダニに対する薬剤防除は行わなかった。発生状況調査は、調査株を各ハウスから無作為に 100 株選び、2009 年 10 月 14 日から 12 月 26 日までおおむね 10 日ごとに、株当たり 1 複葉を選び、寄生するナミハダニ雌成虫を計数した。

現地圃場の無処理区では、定植後にナミハダニに対する薬剤防除を 2 回行ったにもかかわらず、12 月 8 日にはナミハダニの発生が確認され、12 月末には 1 複葉当たり雌成虫数が約 2 頭認められたのに対し、60% CO₂ 処理区ではハダニ類への防除を行わなかったが 12 月 26 日までナミハダニの発生は全く認められなかった(図-5)。

IV イチゴ栽培でのナミハダニ防除の実用化に向けて

実験室での殺虫試験や栃木農試内および現地生産者圃場試験でナミハダニに対する高い防除効果が認められ、イチゴ苗にも影響が認められないなど高濃度 CO₂ くん蒸処理は、イチゴのナミハダニ防除法として実用性の高い方法であると考えられた。

以上の取り組みにより、既に米、麦、くり等で農業登録のある「二酸化炭素くん蒸剤」に 2012 年 12 月 19 日



・ くん蒸処理装置前面の様子

・ 装置庫内の様子

・ くん蒸処理用 CO₂ ボンベ

図-3 高濃度 CO₂ くん蒸処理装置
茨城県つくば市 農研機構 果樹研究所内設置。

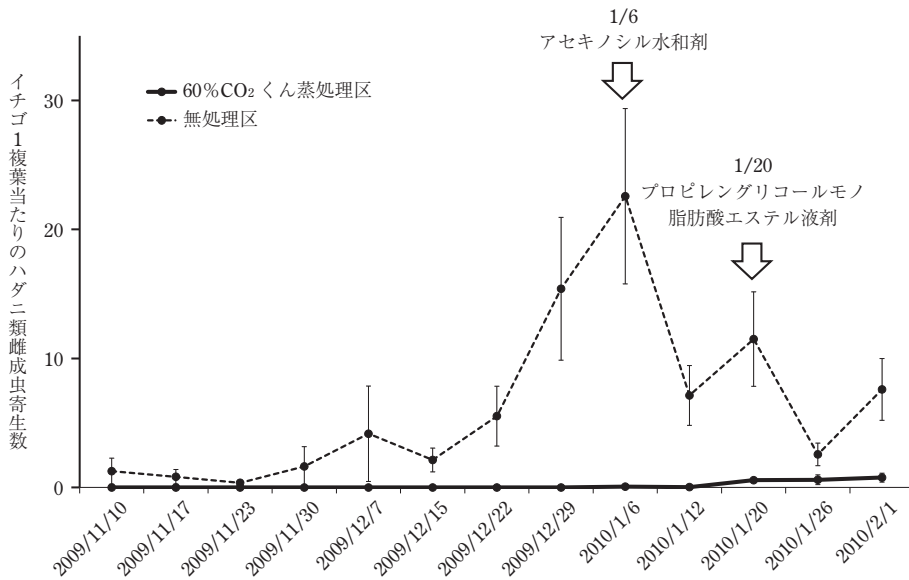


図-4 栃木農試内試験圃場における 60% CO₂ くん蒸処理および無処理のイチゴ苗定植後のナミハダニ雌成虫発生推移

図中の白矢印は、無処理区での殺ダニ剤散布を示す。図中のエラーバーは標準誤差を示す。小山田・村井(2013)より引用。

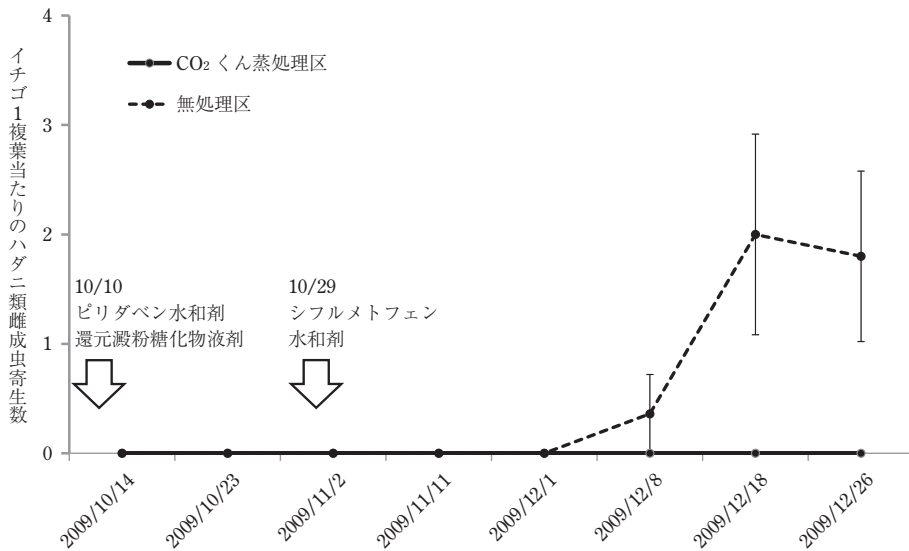


図-5 現地生産圃場における 60% CO₂ くん蒸処理および無処理のイチゴ苗定植後のナミハダニ雌成虫発生推移

図中の白矢印は、無処理区での殺ダニ剤散布を示す。図中のエラーバーは標準誤差を示す。小山田・村井より引用。

付けでイチゴのナミハダニに対して適用拡大された。

本防除法は、単なる殺虫効果以外に実証試験の結果から収穫繁忙期となる12月下旬までナミハダニの加害が回避されるため、生産者の精神的負担と労力を含めた防

除コストの軽減が可能になる。また、イチゴ株が健全生育することで収量が増加し、生産額の向上が図られる。さらに、定植時のナミハダニ防除が、ほぼ完璧に行えるので殺ダニ剤使用回数が低減し、薬剤感受性低下の進行

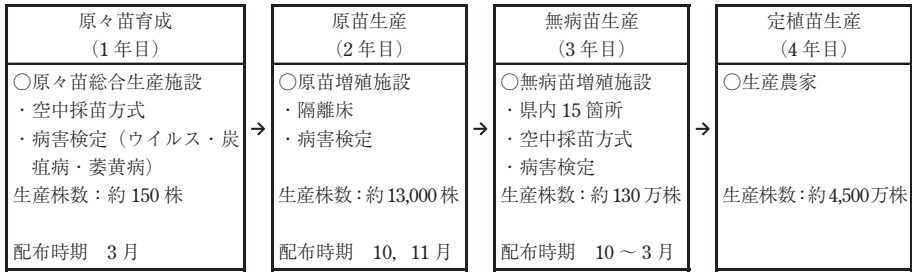


図-6 栃木県におけるイチゴ苗供給の概要



図-7 ファスナーバックによる処理装置



図-8 水封式処理装置

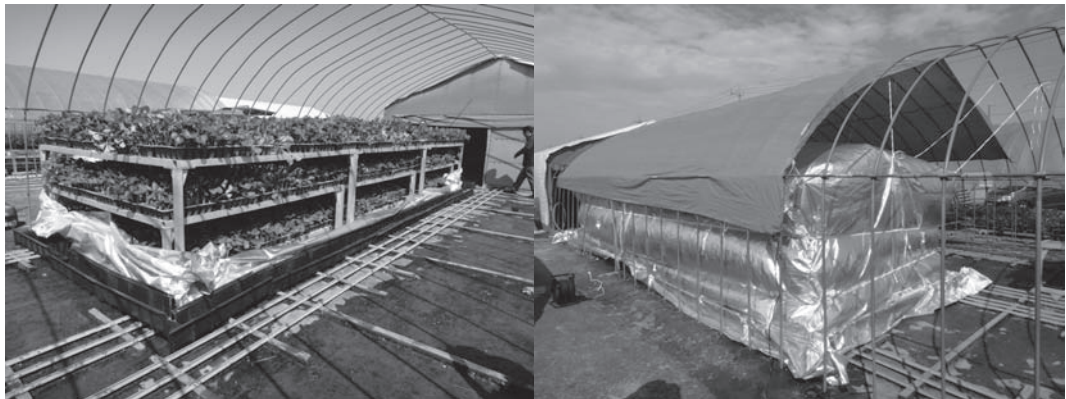


図-9 イチゴ苗夜冷システムを利用した処理装置

緩和や将来的に感受性回復の可能性が考えられる。また、持ち込みなどによりナミハダニが発生したとしても低密度から天敵のカブリダニ類が利用でき、防除の成功頻度が高まるなどの副次的効果も期待できる。

今回の研究では、イチゴ生産者圃場での定植直前の処理を想定しているが、生産者に定植苗生産用のイチゴ苗が届くまでの供給システム(図-6)に本防除法を組み込むことで、生産者に配布されるイチゴ苗からのナミハダニ持ち込みリスクが低減され、配布苗の付加価値の向

上、各施設での育苗期間中の防除コスト削減も図れる。

現在、栃木県では新技術導入広域推進事業により、ファスナーバックによる処理装置(図-7)が生産現場で検証されている。また、宇都宮大学では、生産者の実状に合わせた処理装置の形状や規模、さらなる低コストシステムの開発・実証を現場で進めており、水封式処理装置(図-8)、イチゴ夜冷库システムを利用した処理装置(図-9)等が検討されている。

V 適用拡大に向けて

国内の先行研究の貯蔵ショウガのショウガクロバネキノコバエ *Bradysia zingiberis* (Sasakawa) 幼虫 (小山, 2009; 2010), 輸出用果実のリンゴ, ニホンナシのシンクイムシ類, ナミハダニ休眠雌成虫 (土田ら, 2011), アザミウマ類 (関・村井, 2011; SEKI and MURAI, 2012 a; 2012 b), 本研究のナミハダニ (小山田・村井, 2013), 未発表のものでアブラムシ類, コナジラミ類にも処理条件の違いはあるが高い防除効果が得られている。しかし, 本研究以外で苗の状態の植物体に 30℃ 前後の温度で高濃度 CO₂ くん蒸処理による影響を検討した報告は見あたらない。このことから, 各種農作物への適用拡大を図るために, 様々な野菜, 花き類等の苗に対する障害発生に関する知見を集めることが必要である。

さらに, 効率的に適用拡大を進めるために, 関係試験研究機関の間で十分連携を図ったうえで進めることも重要である。

おわりに

高濃度 CO₂ 処理は, ハダニ類に対して非常に防除効果が高く, 有効な技術と考えられる。しかし, 管理作業による持ち込み, 圃場周辺の不適切な雑草管理等により

外部からの侵入も十分あり得るので圃場の観察を怠ることなく, 状況により適切な対応をすることが重要である。

また, 本稿では高濃度 CO₂ くん蒸処理の農業生産者による利用を想定しているが, 一方で輸出向け野菜, 花き類の苗生産に特化した利用も考えられる。このような害虫フリー苗生産を「攻めの農政」の一戦略として位置づけることもできるのではないだろうか。

引用文献

- 1) AHARONI, Y. et al. (1981): J. Econ. Entomol. **74**: 338 ~ 340.
- 2) BAILEY, S. W. (1965): J. Stored Prod. Res. **1**: 25 ~ 33.
- 3) BANKS, H. J. and P. C. ANNIS (1977): Technical Paper No. 13, Division of Entomology, C.S.I.R.O., Canberra, Australia, 23 pp.
- 4) 江原昭三・真梶徳純 (1975): 農業ダニ学, 全国農村教育協会, 東京, 328 pp.
- 5) 小山昌志 (2009): 関西病虫研報 **51**: 79 ~ 80.
- 6) ——— (2010): 同上 **52**: 149 ~ 151.
- 7) MITCHAM, E. J. et al (1997): J. Econ. Entomol. **90**: 1360 ~ 1370.
- 8) 中北 宏 (1986): 植物防疫 **40**: 307 ~ 315.
- 9) NEWTON, J (1993): Proceedings of the 1st International Conference on Insect Pests in the Urban Environment, K. B. Willey and W. H. Robinson (eds), BPCC Wheatons Ltd., Wisconsin, USA, p. 329 ~ 338.
- 10) 農林水産省消費・安全局 (2014): 植物防疫 **68**: 3 ~ 12.
- 11) 小山田浩一・村井 保 (2013): 応動昆 **57**: 249 ~ 256.
- 12) 関 昌夫・——— (2011): 同上 **55**: 174 ~ 177.
- 13) SEKI, M. and T. MURAI (2012 a): Appl. Entomol. Zool. **47**: 125 ~ 128.
- 14) ——— and ——— (2012 b): ibid. **47**: 433 ~ 436.
- 15) 土田 聡ら (2011): 果樹研究所研究報告 **12**: 15 ~ 26.
- 16) WHITING, D. C. and J. V. D. HEUVEL (1995): J. Econ. Entomol. **88**: 331 ~ 336.

登録が失効した農薬 (26.5.1 ~ 5.31)

掲載は, 種類名, 登録番号: 商品名 (製造者又は輸入者) 登録失効年月日。

「殺虫剤」

- **BPMC 乳剤**
9973: ヤシマバツサ乳剤 50 (協友アグリ) 14/5/22
- **マシン油エアゾル**
17575: カイガラタタキ (日本農薬) 14/5/17
- **アラクロールマイクロカプセル剤**
20841: ハプーンフロアブル (日産化学工業) 14/5/17
20842: 理研ハプーンフロアブル (理研グリーン) 14/5/17
- **フェンプロパトリン乳剤**
22159: ムシパワー AL (住化グリーン) 14/5/14

「殺菌剤」

- **アゾキシストロビン・ジフェノコナゾール水和剤**
21505: アミスタートップフロアブル (シンジェンタジャパ

ン) 14/5/18

- **アゾキシストロビン・シプロコナゾール水和剤**
21936: アミスターコンビフロアブル (シンジェンタジャパ
ン) 14/5/21

「除草剤」

- **グルホシネート液剤**
19235: 石原ハヤブサ (石原産業) 14/5/13
- **アラクロールマイクロカプセル剤**
20841: ハプーンフロアブル (日産化学工業) 14/5/17
20842: 理研ハプーンフロアブル (理研グリーン) 14/5/17