

ISSN 0919-4975

BULLETIN
OF THE
HORTICULTURAL INSTITUTE,
IBARAKI AGRICULTURAL CENTER

NO. 17
March 2010

茨城県農業総合センター 園芸研究所研究報告

第17号
平成22年3月

茨城県農業総合センター
園 芸 研 究 所

茨城県笠間市安居 3,165-1
AGO,KASAMA,319-0292 JAPAN

茨城県農業総合センター
園芸研究所研究報告第 17 号

所長

佐久間文雄

編集委員長

富田恭範

編集委員

江橋賢治 多比良和生 中原正一

駒形智幸 植田稔宏 鹿島恭子

茨城県農業総合センター
園芸研究所研究報告 第17号

目 次

| | |
|--|----|
| クリ果実内のクリシギゾウムシ幼虫に対するドライアイスを用いた炭酸ガスくん蒸の有効性 ……………鹿島哲郎・杉山恵乃・長塚 久・氏家有美・草野尚雄・富田恭範…………… | 1 |
| 秋どりレタスの耐湿性品種の選定と高畝・全面マルチによる湿害軽減対策 ……………貝塚隆史・村崎 聡・中原正一・鈴木雅人…………… | 9 |
| トマトの葉の気孔拡散伝導度および蒸散速度に対する環境要因の影響 ……………稲田秀俊・水野（山邊）あずさ・中原正一…………… | 17 |
| 水溶性糖類の施用がチンゲンサイ地上部硝酸イオン含量の低減化に対する効果 ……………藤田 裕・植田稔宏…………… | 23 |
| 非破壊計測手法によるメロンの食べ頃判定および予測 ……………佐野健人・石井 貴・鹿島恭子…………… | 29 |
| 茨城県におけるイチゴ炭疽病菌の菌種および数種薬剤に対する耐性菌の発生状況 ……………菊地麻里・小河原孝司・橋本由美・宮本拓也・金田真人・富田恭範…………… | 35 |
| 温湯散布によるイチゴ炭疽病および灰色かび病防除の可能性 ……………小西博郷・小河原孝司・島本桂介・富田恭範…………… | 43 |
| ポットカーネーション栄養系品種の低コスト生産における加温温度、長日処理、摘心時期の影響 ……………駒形智幸・本図竹司…………… | 47 |

クリ果実内のクリシギゾウムシ幼虫に対する ドライアイスを用いた炭酸ガスくん蒸の有効性

鹿島哲郎・杉山恵乃*・長塚 久**・氏家有美***・草野尚雄・冨田恭範

Effects of Carbon Dioxide Gas Treatment with Dry Ice on the Larvae of
Curculio sikkimensis (HELLER) in the Chestnut

Tetsurou KASHIMA, Ayano SUGIYAMA, Hisashi NAGATSUKA, Yumi UJIE,
Hisao KUSANO and Yasunori TOMITA

Summary

Over 95% of *Curculio sikkimensis* larvae were destroyed by carbon dioxide gas treatment under 2-3 atm pressure for 48 h at 30°C, under 1-3 atm pressure for 48 h at 35°C and under 5 atm pressure for 7-14 days at 2°C. Carbon dioxide gas treatment of chestnut resulted in alcohol production 6 h after treatment and a serious reduction in the quality of taste. The optimum carbon dioxide gas treatment that did not damage the chestnut was 6 h at 20°C.

キーワード：クリ, クリシギゾウムシ, くん蒸, 炭酸ガス, ドライアイス

I. 緒言

クリシギゾウムシ (*Curculio sikkimensis*) は、幼虫がクリ果実を食害して収穫物に直接被害を及ぼすが、産卵された果実を選別することが事実上困難であることから、クリの重要害虫となっている。1960年代に、二硫化炭素剤やリン化アルミニウム剤、臭化メチル剤を用い、収穫後にクリ果実をくん蒸することによって果実内の卵および幼虫を防除することが検討された。その結果、大量のクリ (10 m²当たり最大 3t) を短時間 (2時間) に処理できて薬害も起りにくい臭化メチル剤が採用され、今日に至っている。

しかし、臭化メチルは、1992年のモントリオール議定書締約国会合においてオゾン層破壊物質に指定され、1997年の締約国会合では2005年までに全廃することが決定された。クリを含む一部の作物では、2005年以降も不可欠用途として臭化メチル剤の使用が認められてきたが、代替技術を開発することが求められている。

クリのクリシギゾウムシに対する臭化メチル剤によ

るくん蒸の代替技術としては、臭化メチル代替物質の探索、クリ生育期における殺虫剤による防除、天敵糸状菌による防除、収穫後の温湯処理による防除などが検討されてきた。クリ生育期における殺虫剤による防除は、臭化メチルの全廃が決まる前にも検討されたが、クリシギゾウムシ成虫の羽化時期が8月中旬から9月上旬までと長く、産卵は10月中旬頃まで続くことから、頻繁に防除を行わなければ実用的な防除効果が得られず、防除コストや労力を考慮すると現実的ではない。天敵糸状菌による防除は、実用的な防除効果が得られる菌濃度ではコストがあまりにも高くなり、実用性があるとは考えにくい (長塚ら, 未発表)。また、温湯処理は、クリ 100kg を 50°C の湯で 30 分間処理することにより防除効果が得られるが (神尾, 2007)、本県の産地では1日の集荷量が数トンに及ぶことから、温湯による大規模処理技術の確立や新たな処理施設の導入が不可欠であり、本県においては早急に導入できる技術とは言えない。

そこで、本県では、臭化メチルの代替物質としてヨウ化メチルに着目し、防除効果や薬害について検討し

* 現茨城県南農林事務所つくば地域農業改良普及センター

** 現茨城県農業総合センター鹿島地帯特産指導所

*** 現茨城県立農業大学校

てきた。その結果、既存のクリくん蒸施設を用いて臭化メチルと同等の防除効果が得られたことから、臭化メチル代替物質として有望であることが明らかになった（大竹ら、2006）。ヨウ化メチル剤は、2009年にクリのクリシギゾウムシに対して農薬登録され、今後は、現地において適応試験が進められる予定である。

一方、炭酸ガスは、臭化メチルやヨウ化メチルよりも更に環境への付加が小さい物質であり、貯穀害虫を対象に常圧高濃度処理による防除技術（川上、1995）および高圧処理による防除技術が検討され（平野・中北、1995）、クリシギゾウムシ防除への応用が期待されている。日本では、高圧炭酸ガス処理のクリシギゾウムシに対する防除効果が検討されている（宮ノ下、2003）が、高圧炭酸ガス処理には高価な設備を新規に導入しなければならないこと、一回の処理量が少ない（約100kg）ことなどから、実用化までにはまだ時間を要すると考えられる。

また、炭酸ガスの常圧高濃度処理は、高価な設備を要しない反面効果発現までに時間がかかるため（貯穀害虫の場合一般的には7日～10日間程度）、処理能力やクリの品質低下の点で問題がある。そのため、ドライアイスを用いることにより、炭酸ガスのある程度の加圧状態にして処理する方法が提唱された（梅谷、未発表）。これにより、比較的安価な設備を用いて短時間で防除効果が得られないか期待された。そこで筆者らは、炭酸ガス源としてドライアイスを用い、密閉容器内で昇華させることによってある程度の加圧条件を作り、炭酸ガスのクリシギゾウムシに対する防除効果およびクリ果実品質に及ぼす影響について検討した。

II. 材料および方法

1. ドライアイスを用いた炭酸ガスによるくん蒸のクリシギゾウムシに対する防除効果

試験は、2004年10月6日までに現地クリ園（笠間市吉岡）より採取したクリ果実（品種：「筑波」および「石鎚」）を約5℃の冷蔵庫に保管し、試験前日に必要量を取り出して常温に戻したものを供試して行った。

くん蒸試験は、ステンレス製の円筒形耐圧容器（直径228mm×高さ555mm、耐圧5atm）の内部にフィルム製袋（（株）ダイワパックス製、縦1100mm×幅400mm、厚さ0.08mm）を装着し、その中にクリ果実4kgと所定のくん蒸圧になる量のドライアイスを入れ、2分間脱気した後シール機を用いてシールした。

これを、所定温度に設定した人工気象器内に置いてくん蒸処理を行った。くん蒸処理は、10月4日から12月8日までに行った。

試験区は、下記により設定し、各区とも3反復で行った。

くん蒸温度 くん蒸圧 くん蒸時間 処理果量
(20,25,30,35℃) × (1,2,3atm) × 48時間 × 4kg

処理後、クリ果実をプラスチックトレイに取り出して実験室内に置き、処理後60日間に果実から脱出したクリシギゾウムシ幼虫数を調査した。葉害は、くん蒸処理後に果実鬼皮の変色の有無を肉眼観察により調査した。

2. 炭酸ガスを低温で長時間処理した場合および脱酸素剤を併用した場合のクリシギゾウムシに対する防除効果

試験は、2005年9月に所内クリ園（笠間市安居）より採取したクリ果実（品種：「筑波」）を約5℃の冷蔵庫に保管し、試験前日に必要量を取り出して常温に戻したものを供試して行った。

くん蒸試験は、ステンレス製の円筒形耐圧容器（直径228mm×高さ555mm、耐圧5atm）の内部にフィルム製袋（（株）ダイワパックス製、縦1100mm×幅400mm、厚さ0.08mm）を装着し、その中にクリ果実2kg（無処理区は1kg）と所定のくん蒸圧になる量のドライアイスおよび区により酸素を確実に除去するために脱酸素剤（エージレス®、三菱ガス化学（株）製）を入れ、2分間脱気した後シール機を用いてシールした。これを、所定温度に設定した人工気象器内に置いてくん蒸処理を行った。くん蒸処理は、12月7日および12月12日の2回行った。

試験区は、下記により設定し、処理数1～3で行った。
くん蒸温度 くん蒸圧 くん蒸時間 脱酸素剤 処理果重
2℃ × 5atm × (7日, 14日) × (有, 無) × 2kg
処理後、クリ果実をプラスチックトレイに取り出して実験室内に置き、処理後60日間に果実から脱出したクリシギゾウムシ幼虫数を調査した。

3. 炭酸ガスによるくん蒸がクリ果実品質に及ぼす影響

1) 試験 1

フィルム製袋にクリ果実4kg（品種「筑波」および「石鎚」）および袋内が1.5～1.8気圧になる量のドライアイスを入れ、脱気した後にシール機を用いてシールして20℃に設定した人工気象器内に置き、「筑波」は24

時間または48時間くん蒸し、「石鎚」は6時間、12時間または24時間くん蒸した。表3および表4に示したくん蒸中の時間に、包装内の炭酸ガス濃度、酸素濃度およびエタノール濃度を測定した。また、くん蒸後に、各区の果実を茹でクリにし、くん蒸を行わないクリを対照として官能評価を行った。官能評価は、同一条件で茹でた各処理区のクリを用いて所内18名のパネラーにより行った。採点は、無処理区を基準値4とし、無処理区と比較して「甘味」、「味」、「香り」、「総合評価」については「かなり悪い・弱い」を1、「かなり良い・強い」を7とし、「悪臭」、「酸味」については「かなり感じる」を1、「かなり感じない」を7として行った。

2) 試験2

フィルム製袋内にクリ果実（品種「筑波」および「石鎚」）と袋内が3気圧になる量のドライアイスを入れ、脱気した後にシール機を用いてシールして20℃または35℃に設定した人工気象器内に置き、24時間くん蒸した。クリ果実封入の際、くん蒸中の圧力により発生する水分を取り除くため、袋内に除湿用として市販の紙おむつを入れた。くん蒸後に、各区の果実を茹でクリにし、くん蒸を行わないクリを対照として官能評価を行った。官能評価は、同一条件で茹でた各処理区のクリを用い、所内18名のパネラーにより行った。採点は、無処理区を基準値4とし、無処理区と比較し

て「外観」、「香り」、「悪臭」、「甘味」、「酸味」、「総合評価」については「かなり悪い・弱い」を1、「かなり良い・強い」を7とし、「肉質」については「かなり粘質」を1、「かなり粉質」を7として行った。また、商品価値の有無を、「無し」0、「有り」1で採点した。

Ⅲ. 結果

1. ドライアイスを用いた炭酸ガスによるくん蒸のクリシギゾウムシに対する防除効果

48時間処理を行った場合、くん蒸温度20℃では、くん蒸圧が2気圧および3気圧で、無処理区に比べ脱出幼虫数が少なかったが、それぞれ無処理区の72.7%、56.1%で、防除効果は認められなかった（表1）。

くん蒸温度25℃では、くん蒸圧が2気圧および3気圧で、無処理区に比べ脱出幼虫数が少なかったが、それぞれ無処理区の77.5%、70.2%で、防除効果は認められなかった（表1）。

くん蒸温度30℃では、くん蒸圧が1気圧、2気圧および3気圧のいずれにおいても無処理区に比べ脱出幼虫数が少なく、2気圧および3気圧区ではそれぞれ無処理区の2.0%、2.1%となり、100果当たりの脱出虫数も2頭前後と少なかったことから、高い防除効果が認められた（表1）。

表1 クリ果実を炭酸ガスによりくん蒸処理した場合のクリシギゾウムシに対する殺虫効果

| 試験区 | | 処理時間 (h) | 処理果重量 (kg) | クリシギゾウムシ 脱出幼虫数 (頭/100調査果) | | 薬害* |
|------------|-------------|----------|------------|---------------------------|----------|-----|
| くん蒸温度 (°C) | くん蒸圧力 (atm) | | | | | |
| 20 | 1 | 48 | 4 | 84.6 | (99.5) | — |
| | 2 | 48 | 4 | 61.8 | (72.7) | — |
| | 3 | 48 | 4 | 47.7 | (56.1) | — |
| 無処理 | — | — | 4 | 85.0 | (100) | — |
| 25 | 1 | 48 | 4 | 96.9 | (106.0) | — |
| | 2 | 48 | 4 | 70.9 | (77.5) | — |
| | 3 | 48 | 4 | 64.3 | (70.2) | — |
| 無処理 | — | — | 4 | 91.5 | (100) | — |
| 30 | 1 | 48 | 4 | 30.3 | (31.5) | — |
| | 2 | 48 | 4 | 1.9 | (2.0) | — |
| | 3 | 48 | 4 | 2.0 | (2.1) | — |
| 無処理 | — | — | 4 | 96.4 | (100) | — |
| 35 | 1 | 48 | 4 | 0 | (0) | — |
| | 2 | 48 | 4 | 0.1 | (0.2) | — |
| | 3 | 48 | 4 | 0.3 | (0.5) | — |
| 無処理 | — | — | 4 | 54.8 | (100) | — |

() 内の数値は、対無処理比を表す。

* 薬害は、鬼皮の変色を指す。

くん蒸温度 35℃では、くん蒸圧が1気圧、2気圧および3気圧のいずれにおいても無処理区に比べ脱出幼虫数が少なく、それぞれ無処理区の0%、0.2%、0.5%となり、100果当たりの脱出虫数も0～0.3頭と少なかったことから、高い防除効果が認められた(表1)。

以上より、ドライアイスを用いた炭酸ガスによるくん蒸では、25℃、3気圧以下の条件では実用的な防除効果は得られないが、30℃では2～3気圧条件下で、35℃では1～3気圧条件下で48時間処理した場合にクリシギゾウムシ幼虫に対する高い防除効果が得られると考えられた。

なお、いずれの処理区においても、果実果皮の変色は認められなかった。

2. 炭酸ガスを低温で長時間処理した場合および脱酸素剤を併用した場合のクリシギゾウムシに対する防除効果

2℃、5気圧で7日間くん蒸処理した区および同一処理条件下で脱酸素剤を併用した区の脱出幼虫数は、

表2 フィルム製袋および耐圧容器を利用して低温条件下で炭酸ガスによるくん蒸処理を行った場合のクリシギゾウムシに対する殺虫効果

| くん蒸処理日 (2005年) | 試験区 | 処理数 | ドライアイス 処理量(g) | タンク 内圧力 (atm) | 処理 温度 (℃) | 脱酸素剤 の有無 | 処理 時間 (日) | 処理 果重 (kg) | 総脱出幼虫数 (頭) |
|-------------------|---------|-----|------------------|---------------------|-----------------|-------------|-----------------|------------------|---------------|
| 12月7日 | 処理区 | 2 | 157 | 5 | 2 | 無 | 7 | 2 | 6.5 (4.2) |
| | 処理+脱酸素区 | 3 | 157 | 5 | 2 | 有 | 7 | 2 | 4.7 (3.0) |
| | 無処理区 | 1 | — | — | 室温 | — | — | 2 | 155 (100) |
| 12月14日 | 処理区 | 1 | 157 | 5 | 2 | 無 | 14 | 2 | 17 (21.3) |
| | 処理+脱酸素区 | 1 | 157 | 5 | 2 | 有 | 14 | 2 | 5 (6.3) |
| | 無処理区 | 3 | — | — | 室温 | — | — | 2 | 80.0 (100) |

()内の数値は、対無処理比を表す。

3. 炭酸ガスによるくん蒸がクリ果実品質に及ぼす影響

1) 試験1

20℃条件下でドライアイスを用いた炭酸ガスによるくん蒸を行った場合、品種「筑波」ではくん蒸開始時および24時間後の包装内炭酸ガス濃度はそれぞれ85.3%、80.9%で、24時間後も高く保たれていた(表3)。

表3 炭酸ガスくん蒸中の包装内のCO₂濃度およびO₂濃度

| くん蒸時間 (時間) | CO ₂ (%) | O ₂ (%) |
|---------------|------------------------|-----------------------|
| 0 | 85.3 | 0.2 |
| 24 | 80.9 | 0.2 |

品種：「筑波」

フィルム製袋にクリ果実4kgおよび袋内が1.5～1.8気圧なる量のドライアイスを入れ、シール機でシールして20℃に設定した人工気象器内に置いた。所定時間経過後に、シリンジを用いて袋内の気体を採取し、CO₂およびO₂濃度を測定した。

無処理区に対してそれぞれ4.2%、3.0%で、果実2kg当たりの脱出幼虫数は無処理区の155頭に対してそれぞれ6.5頭、4.7頭と少なく、高い防除効果が認められた(表2)。脱酸素剤の併用が防除効果に与える影響は、判然としなかった。

2℃、5気圧で14日間くん蒸処理した区の脱出幼虫数は、無処理区に対して21.3%で、果実2kg当たりの脱出幼虫数は無処理区の80.0頭に対して17頭と少なく、防除効果が認められた。また、同一処理条件下で脱酸素剤を併用した区の脱出幼虫数は、無処理区に対して6.3%、脱出虫数は5頭と少なく、高い防除効果が認められた(表2)。

以上より、ドライアイスを用いた炭酸ガスによるくん蒸を2℃、5気圧の条件下で行った場合、7日間または14日間の処理で防除効果が得られると考えられた。また、14日間処理した場合、脱酸素剤を併用することによりやや高い防除効果が得られると考えられた。

くん蒸中の袋内のエタノールの発生は、測定を開始した6時間後から認められ、「筑波」では48時間後に0.89%に、「石鎚」では24時間後に1.10%に達した(表4)。くん蒸中は酸素が消費されなかった(表2)ことから、嫌氣的呼吸によりエタノールが発生したと考えられた。

表4 炭酸ガスくん蒸中の包装内のエタノール濃度

| 供試品種 | くん蒸時間 (時間) | エタノール濃度 (%) |
|------|---------------|----------------|
| 筑波 | 12 | 0.22 |
| | 24 | 0.56 |
| | 48 | 0.89 |
| 石鎚 | 6 | 0.19 |
| | 12 | 0.55 |
| | 24 | 1.10 |

フィルム製袋にクリ果実4kgおよび袋内が1.5~1.8気圧なる量のドライアイスを入れ、シール機でシールして20℃に設定した人工気象器内に置いた。所定時間経過後に、シリンジを用いて袋内の気体を採取し、エタノール濃度を測定した。

表5 炭酸ガスによるくん蒸がクリの食味に及ぼす影響の官能評価(品種「筑波」)

| | 処理時間 | | |
|------|------|-----|-----|
| | 無処理 | 24h | 48h |
| 甘味 | 4.0 | 2.9 | 3.0 |
| 味 | 4.0 | 2.8 | 2.6 |
| 香り | 4.0 | 2.7 | 2.7 |
| 悪臭 | 4.0 | 2.7 | 2.5 |
| 酸味 | 4.0 | 3.4 | 3.1 |
| 総合評価 | 4.0 | 2.6 | 2.5 |

表6 炭酸ガスによるくん蒸がクリの食味に及ぼす影響の官能評価(品種「石鎚」)

| | 処理時間 | | | |
|------|------|-----|-----|-----|
| | 無処理 | 6h | 12h | 24h |
| 甘味 | 4.0 | 4.3 | 3.8 | 3.5 |
| 味 | 4.0 | 4.2 | 3.4 | 3.0 |
| 香り | 4.0 | 3.8 | 3.5 | 2.9 |
| 悪臭 | 4.0 | 3.9 | 3.2 | 3.1 |
| 酸味 | 4.0 | 4.1 | 3.6 | 3.4 |
| 総合評価 | 4.0 | 4.0 | 3.2 | 2.9 |

フィルム製袋にクリ果実4kg(品種「筑波」および「石鎚」)および袋内が1.5~1.8気圧になる量のドライアイスを入れ、脱気した後にシール機を用いてシールして20℃に設定した人工気象器内に置いた。

無処理区を標準としてその評価値を4とした。18名のパネラーにより評価した。

基準と比較してその前後3段階ずつ、計7段階で評価し、下記に従って採点した場合の平均値を示した。

甘味, 味, 香り, 総合評価

かなり悪い・弱い(1)~標準と同じ(4)~かなり良い・強い(7)

悪臭, 酸味

かなり感じる(1)~標準と同じ(4)~かなり感じない(7)

所定時間くん蒸後に茹でクリにした場合の官能評価は、「石鎚」の6時間処理区のみが無処理区と同程度で、それ以外の処理区では無処理区より劣り商品価値を失った(表5, 表6)。悪臭を感じるとした要因は、主に発酵臭によるものであった。

以上より、20℃条件下で炭酸ガスによるくん蒸を行った場合、クリの品質を損なわないくん蒸時間は6時間までで、それ以上ではエタノールの発生などにより品質が損なわれると考えられた。

2) 試験2

炭酸ガスにより24時間くん蒸処理を行った場合、20℃条件下では、クリらしい香りがやや損なわれる傾向が認められた。悪臭および総合評価の評価値はそれぞれ4.4および3.8と無処理区とあまり変わらなかったが、半数近いパネラーが商品価値はないと評価した。35℃条件下では、外観やクリらしい香り、甘味が著しく損なわれ、強い悪臭が感じられるようになり、商品価値は無いと評価された(表7)。

表7 炭酸ガスによるくん蒸がクリの食味に及ぼす影響の官能評価（品種：「筑波」）

| | くん蒸処理温度 | |
|------------------|---------|-----|
| | 20℃ | 35℃ |
| 外観 (果実の可食部の色) | 4.1 | 3.8 |
| クリらしい香り | 3.3 | 1.8 |
| 異臭・悪臭 | 4.3 | 5.8 |
| 甘味 | 3.9 | 2.5 |
| 酸味 | 3.9 | 4.3 |
| 肉質 | 4.4 | 4.5 |
| 総合評価 | 3.7 | 1.6 |
| 商品価値 | 0.6 | 0 |

フィルム製袋にクリ果実(品種「筑波」)および袋内が3気圧になる量のドライアイスを入れ、脱気した後にシール機を用いてシールして所定温度に設定した人工気象器内に24時間置いた。

無処理区を標準としてその評価値を4とした。

18名のパネラーにより評価した。

基準と比較してその前後3段階ずつ、計7段階で評価し、下記に従って採点した場合の平均値を示した。

外観、香り、悪臭、甘味、酸味、総合評価：

かなり悪い・弱い(1)～標準と同じ(4)～かなり良い・強い(7)

肉質：かなり粉質(1)～標準と同じ(4)～かなり粘質(7)

商品価値：無し(0)～有り(1)

以上より、炭酸ガスによるくん蒸処理を20℃または35℃の3気圧で24時間行った場合、クリの商品価値が低下することが明らかとなった。特に35℃条件下では、クリの品質が著しく低下して商品価値が完全に損なわれることが確認された。

IV. 考察

ドライアイスを用いた炭酸ガスによるクリのくん蒸試験では、30℃の2気圧および3気圧で48時間処理した場合、35℃の1気圧、2気圧および3気圧で48時間処理した場合、2℃の5気圧で7日間および14日間処理した場合にクリシギゾウムシに対して実用的な防除効果が得られた。一方、炭酸ガスによるくん蒸処理を行った場合、20℃条件下で12時間くん蒸した場合にクリ果実の商品価値が著しく低下し、くん蒸による防除効果が得られる48時間よりも短い時間でも品質が損なわれることが明らかとなった。また、2℃の5気圧で処理するためには、冷蔵、加圧できる新たな設備の導入が必要となるため、実用性は低いといえる。このことから、炭酸ガスによるくん蒸技術を実用化するためには、常温での処理時間を短縮する技術を検討する必要があると考えられた。有効な手段として圧力

を高くすることが考えられるが、そのためには高圧炭酸ガス処理に用いる設備に近い構造や強度が求められることが予想され、そもそも「高価な設備を要しないある程度の高圧条件」という本研究の目標に適さないことになる。

代替技術の導入に伴って設備投資が必要になる場合、本県におけるクリの産出額が15億円、10a当たりの農業所得が4.6万円であることを考慮すると、可能な限りコストを下げなければならない。臭化メチル代替物質の候補の一つであったリン化アルミニウム(特定毒物)の実用性について検討したときは、特定毒物の処理に適合した新たな施設を導入する必要があることが実用化の検討を打ち切った理由の一つであった。

本試験によって、2～3気圧程度の炭酸ガスによるくん蒸でクリシギゾウムシを防除できる処理条件が明らかになった。しかし、炭酸ガス処理が果実品質に及ぼす影響や、くん蒸施設の開発・導入にかかるコスト、さらに代替技術の開発には迅速性が求められていることなどを考慮すると、クリシギゾウムシに対する炭酸ガスによるくん蒸処理は、臭化メチル剤によるくん蒸の代替技術としては有効でないと考えられた。

V. 摘要

クリのクリシギゾウムシに対する臭化メチルによるくん蒸の代替技術として、ドライアイスを用いた炭酸ガスによるくん蒸の防除効果および果実品質に及ぼす影響について検討した。

1. 30℃の2気圧および3気圧で48時間処理した場合、35℃の1気圧、2気圧および3気圧で48時間処理した場合に、クリシギゾウムシに対して実用的な防除効果が得られた。
2. 2℃の5気圧で7日間および14日間処理した場合に、クリシギゾウムシに対して実用的な防除効果が得られた。
3. 炭酸ガスによるくん蒸処理を行った場合、6時間後には果実からアルコールの発生が認められ、食味低下に影響した。
4. 炭酸ガスによるくん蒸処理がクリ果実の商品価値に影響を及ぼさない処理時間は、20℃条件下で6時間までで、それ以上では果実の商品価値が著しく低下した。

謝辞 本研究を実施するにあたり、臨時職員の安部栄子氏、久保田光江氏、津曲光子氏および友部まさ子氏には多大なご協力を賜りました。この場を借りて厚く御礼申し上げます。

引用文献

- 平野耕治・中北宏. 高圧炭酸ガスによる貯蔵食品害虫の新駆除法. 植物防疫. 49:24-28.
- 神尾真司. 2007. 温湯消毒機を用いたクリの温湯浸漬処理によるクリシギゾウムシの防除. 岐阜県普及に移す技術.
- 川上房男. 1995. 二酸化炭素くん蒸による貯蔵穀類の植物検疫消毒法. 植物防疫. 49:506-510.
- 宮ノ下明大. 2003. 高圧炭酸ガスを用いたクリシギゾウムシの防除. 果実日本. 58:40-43.
- 大竹恵乃・草野尚雄・中村善二郎・長塚久. クリシギゾウムシに対するヨウ化メチルくん蒸の効果. 茨農総七園芸研究所研究報告. 14:53-58.

秋どりレタスの耐湿性品種の選定と 高畝・全面マルチによる湿害軽減対策

貝塚隆史・村崎 聡*・中原正一・鈴木雅人**

Select the Cultivars and Use of Ridges, Allover Mulch for Reducing
the Harmful Effects of Soil Flooding

Takashi KAIJZUKA, Satoshi MURAZAKI, Masaichi NAKAHARA and Masahito SUZUKI

Summary

We conducted investigations with the aim of reducing the harmful effects of soil flooding for lettuce harvesting in autumn. The seeds of lettuce were sown between the first 10 days in September from the middle in August, we selected 'Godzilla', mid preparation weight and high incidence of the standard A, and 'Star Ray', the high rate of increase preparation weight and high comparatively incidence of the standard A under the flooding in 19 cultivars of the lettuce. We thought that ridges were effective in terms of reducing the harmful effects of soil flooding in lettuce cultivation, because the groundwater level of ridges was lower than that of the level row, and lettuces under flooding condition were significant few influences. The lettuces showed good growth and development and were ready for harvest in autumn, because the soil moisture changed few. Therefore, the use of ridge and allover mulch reduced the harmful effects of soil flooding.

キーワード：全面マルチ，高畝，湛水，地下水位

I. 緒言

野菜類の露地栽培では天候不順によって作柄が不安定になることがみられ、とくに、施設栽培と比較し、降雨が不安定要因となることが多い。夏秋作では台風による暴風雨や秋霖による長雨で、圃場において湛水害が発生し、収量の減少および品質低下を招くことがある。茨城県では2004年10月に台風22, 23号の相次ぐ襲来による集中豪雨および長雨によって、露地野菜生産は大きな被害を受け、市場への安定供給に支障をきたした。

一方、レタスはブロッコリー、ネギ等とともに湿害を受けやすい作物であること(但野ら, 1979)が知られている。本県の露地野菜で秋どりレタス栽培は、県西部を中心に469ha(茨城県, 2006)の作付けがあり重要な基幹作物である。2003年に10a当たり2,290t(茨

城県, 2005)の収穫量であったものが、2004年は10a当たり1,410t(茨城県, 2006)に減少し、露地野菜の安定生産を目的とした生産技術の開発が急務となった。

そこで、2005年から独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構野菜茶業研究所を中核とし、7研究機関からなる高度化事業『関東地域・露地野菜産地における降雨リスク軽減技術の確立』の中で、秋どりレタス栽培における湿害を軽減する新技術の体系化に取り組んできた。

本研究では、1) 湿害に強い品種を播種期ごとに選定し、2) 湿害を軽減する新技術の体系化として、レタス栽培における高畝・全面マルチを利用した降雨リスク軽減技術の検討を行った。

* 現：茨城県農業総合センター鹿島地帯特産指導所

** 現：茨城県農業総合センター

II. 材料および方法

実験1 耐湿性に優れたレタス品種の選定

播種期は、収穫が10月中旬からとなるように8月中旬から3回行った。供試品種として、8月15日播種は‘ケイブル’‘ラプトル’‘サンバレー’‘サウザー’‘キャスパー’‘OGR326’‘スマート’（対照品種）、8月25日播種では‘ゴジラ’‘ヘジラ’‘シニア’‘ララポート’‘Zレタス’‘クリスタル’‘パトリオット’（対照品種）、9月6日播種で‘カスケード’‘スターレイ’‘ネージュ’‘ウィザード’‘みずさわ’（対照品種）を用いた。いずれの品種も培養土（N:150mg・L⁻¹, P₂O₅:1000mg・L⁻¹, K₂O:150mg・L⁻¹）を充填した128穴セルトレイに1穴当たり1粒播種した。8月15日播種は9月1日に、8月25日播種では9月12日、9月6日播種で9月26日に、N:1.5kg・a⁻¹, P₂O₅:1.5kg・a⁻¹, K₂O:1.5kg・a⁻¹を施与した地下水位調節圃場へ定植した。8月15日播種では白黒ダブルマルチを、8月25日および9月6日播種は黒色マルチを展開したベッドに株間を30cm、条間は27cmで1ベッド4条千鳥植えにした。試験規模は、いずれも1区15株で行った。

湛水処理は、8月15日播種は9月17日、8月25日播種で9月30日、9月6日播種では10月24日にい

ずれも結球始期から5日間株元まで地下から水位を上昇させ、地下水位0cmの状態にし、湛水処理を行わなかったレタスとの重量、結球の大きさ、結球緊度、A品球率および萎れ程度を比較して耐湿性を評価した。

実験2 作畝方法、マルチングが湛水処理したレタスの生育に及ぼす影響

供試品種として‘アビオン’を用い、8月11日に実験1と同様な培養土を充填した200穴セルトレイに1穴当たり1粒播種した。9月3日にN:1.0kg・a⁻¹, P₂O₅:1.0kg・a⁻¹, K₂O:1.0kg・a⁻¹を施与し、白黒ダブルマルチを展開した地下水位調節圃場に定植した。

処理区は高畝・全面マルチ区および高畝・無マルチ区として、畝間70cmで株間27cmの単条高畝を作畝し、対照として実験1と同様に株間を30cm、条間は27cmで1ベッドに4条千鳥植えする平畝・マルチ区を設置した。湛水処理はいずれの区も結球始期（10月5日）から5日間、地下水位を上げて行った（図1）。試験規模は1区12株をサンプリングし、4反復で行った。

収穫したレタスは重量、結球の大きさ、結球緊度およびA品球率を測定した。

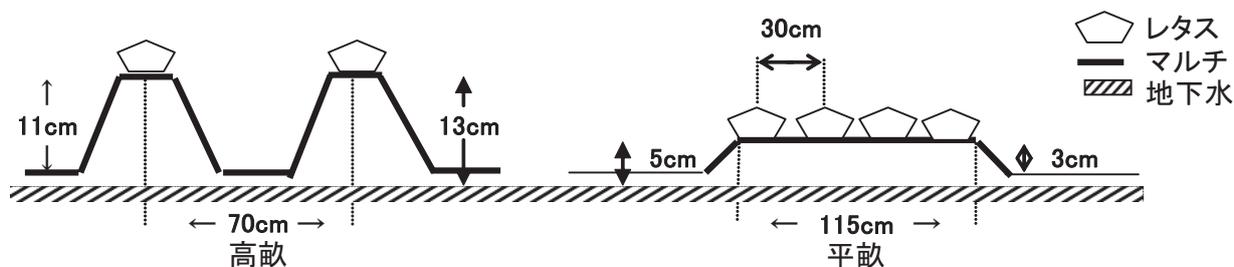


図1 作畝および湛水処理時の地下水位

実験3 現地における高畝・全面マルチ栽培の適用性

試験は坂東市長須地区（沖積土）において実施した。供試品種として‘アビオン’を用い、8月10日に培養土（N:150mg・L⁻¹, P₂O₅:1000mg・L⁻¹, K₂O:150mg・L⁻¹）を充填した200穴セルトレイに1穴当たり1粒播種した。施肥は8月8日に、N:1.0kg・a⁻¹, P₂O₅:1.0kg・a⁻¹, K₂O:1.0kg・a⁻¹を施与した。8月9日に作畝を行い、試験区は実験2と同様に高畝・

全面マルチ区ならびに高畝・無マルチ区および平畝・マルチ区を設置した。栽植様式および定植位置を図2に示した。高畝・全面マルチ区は、専用のマルチャーで作畝し、また、高畝・無マルチも畝間80cmの単条高畝とした。一方、平畝・マルチ区はベッド幅115cmで4条千鳥植えの平畝とした。高畝・全面マルチ区および平畝・マルチ区は、白黒ダブルポリマルチを展開した。

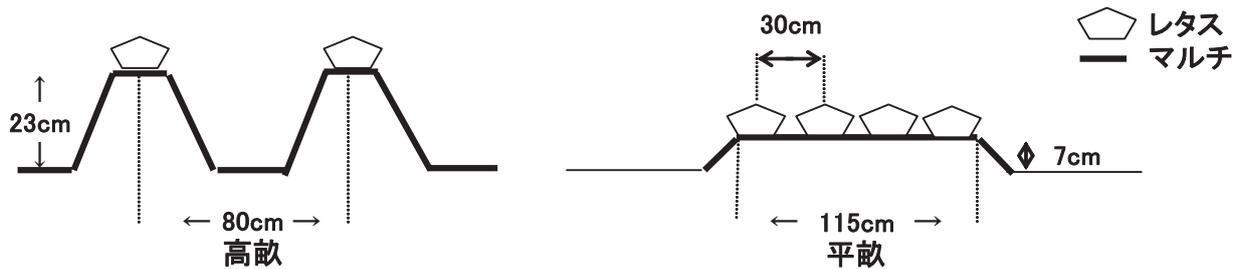


図2 作畝方法

定植は8月29日に行い、8月30日から適宜灌水し、レタスの活着を促した。

調査は、ECHOプローブ（Decagon社）で試験区中央の地下10cmの土壤水分を定植時、活着後および収穫前にそれぞれ測定し、収穫物は生育調査を行った試験区10株のサンプリングを3反復行い、レタスの重量、結球の大きさ、結球緊度およびA品球発生率を測定した。

次に、坂東市長須地区（沖積土）で高畝・全面マルチ栽培の適用性を検討した。供試品種として‘ラプトル’を8月21日に200穴セルトレイに播種し、9月4日に定植した。試験区は高畝・全面マルチ区および高畝・無マルチ区を設置し、栽植はいずれの区も株間27cm、条間45cmとした。施肥量および管理作業は農家慣行でいずれの区も同等に管理した。収穫は10月20日に収穫に至ったレタスを収穫する拾いどりで1区を連続に定植した50株として10反復行い、レタスの重量、結球の大きさ、結球緊度、A品球発生率および収穫個数を測定した。

Ⅲ. 結果

実験1 耐湿性に優れたレタス品種の選定

灌水処理を行ったレタスの収穫時における生育および無処理との比較を表1に示した。8月15日播種において、‘サンバレー’は‘スマート’より全重および調製重が大きく、調製重は無処理との対比が131と最も高かった。しかし、供試した他の6品種はいずれも無処理よりも全重および調製重が小さかった。球高/球径比は‘ラプトル’でやや高く、灌水処理でもさらに高まったが、‘サウザー’および‘OGR326’は無処理との対比が低かった。結球緊度をみると、いず

れの品種も無処理と同等であった。A品球発生率は、‘ケイズル’‘サンバレー’および‘OGR326’でみられず、無処理との対差も‘キャスパ’で同等であったが他では減少した。萎れ程度はいずれの品種も‘スマート’より低く、‘キャスパ’が32.9で著しく低かった。

8月25日播種で全重は‘パトリオット’より‘ゴジラ’は著しく大きかったが、‘ヘジラ’‘シニア’および‘Zレタス’は小さく、調製重では‘パトリオット’より大きい品種はみられず、無処理との対比も‘パトリオット’で高く、‘ゴジラ’および‘シニア’が同等であった。球高/球径比は‘ゴジラ’で対比がやや高まり、‘Zレタス’は低下した。灌水処理したレタスの結球緊度は‘ゴジラ’および‘シニア’で低かったが、無処理との対差はやや高まった。A品球発生率は、‘ゴジラ’で60%と著しく高く、次いで‘ララポート’で、無処理との対差をみても‘ゴジラ’は顕著に高まった。萎れ程度は‘ララポート’が‘パトリオット’より高く、他品種は同等であった。

次に、9月6日播種では‘みずさわ’より‘スターレイ’および‘ウィザード’が全重と調製重が大きく、無処理との対比も著しく高かった。球高/球径比は灌水処理で品種間差はみられなかったが、‘ウィザード’は対比が低く、灌水処理で扁平になった。結球緊度は‘みずさわ’で低く、灌水処理で高まったが、他の品種では無処理との対差が小さくなった。A品球発生率は‘ウィザード’ではみられず、‘スターレイ’で最も高く、無処理との対差もやや大きかった。萎れ程度は‘みずさわ’が最も低く、‘ネージュ’は高かった。また、9月6日播種は、8月15日および8月25日播種よりも総じて低かった。

表1 湛水処理を行ったレタスの収穫時における生育・収量

| 播種日 | 品種名 | 全重 | | 調製重 | | 球高/球径比 | | 結球緊度 ^z | | A品球発生率 | | 萎れ程度 ^w |
|-------|--------|------|-----------------|-----|-----------------|--------|-----------------|-------------------|-----------------|--------|-----------------|-------------------|
| | | (g) | 対比 ^y | (g) | 対比 ^y | 指数 | 対比 ^y | 指数 | 対差 ^x | (%) | 対差 ^x | |
| 8月15日 | ケイズル | 775 | (94) | 522 | (93) | 0.80 | (94) | 0.40 | (-0.04) | 0 | (-58.6) | 56.5 |
| | ラブトル | 613 | (90) | 430 | (96) | 0.91 | (107) | 0.31 | (0.00) | 33.3 | (-9.6) | 53.3 |
| | サンバレー | 761 | (108) | 502 | (131) | 0.77 | (99) | 0.29 | (-0.05) | 0 | (-41.7) | 50.6 |
| | サウザー | 587 | (79) | 408 | (77) | 0.80 | (89) | 0.32 | (0.08) | 30.0 | (-45.0) | 32.9 |
| | キャスパ | 610 | (84) | 358 | (77) | 0.85 | (102) | 0.29 | (0.06) | 33.3 | (2.9) | 47.1 |
| | OGR326 | 528 | (64) | 345 | (61) | 0.76 | (90) | 0.38 | (0.05) | 0 | (-10.0) | 51.8 |
| | スマート | 599 | (78) | 300 | (60) | 0.88 | (102) | 0.27 | (0.08) | 33.3 | (-20.5) | 65.8 |
| 8月25日 | ゴジラ | 963 | (106) | 495 | (91) | 0.80 | (110) | 0.25 | (0.08) | 60.0 | (41.8) | 68.3 |
| | ヘジラ | 536 | (88) | 397 | (84) | 0.90 | (99) | 0.31 | (0.08) | 0 | (-44.4) | 74.5 |
| | シニア | 495 | (84) | 275 | (93) | 0.82 | (103) | 0.20 | (0.04) | 0 | (-50.0) | 72.0 |
| | ララポート | 686 | (74) | 450 | (69) | 0.85 | (101) | 0.31 | (0.13) | 33.3 | (-16.7) | 81.4 |
| | Zレタス | 575 | (64) | 417 | (69) | 0.95 | (87) | 0.25 | (0.11) | 0 | (-10.0) | 70.6 |
| | クリスタル | 693 | (70) | 545 | (75) | 0.93 | (95) | 0.35 | (0.06) | 0 | (0) | 76.5 |
| | パトリオット | 754 | (99) | 584 | (116) | 0.91 | (102) | 0.34 | (0.04) | 0 | (35.0) | 68.6 |
| 9月6日 | カスケード | 527 | (106) | 450 | (109) | 0.93 | (91) | 0.52 | (-0.15) | 22.2 | (22.2) | 54.1 |
| | スターレイ | 869 | (139) | 668 | (163) | 0.91 | (99) | 0.48 | (-0.18) | 30.8 | (7.0) | 45.0 |
| | ネージュ | 631 | (111) | 507 | (116) | 0.95 | (88) | 0.46 | (-0.17) | 10.5 | (0.5) | 65.9 |
| | ウィザード | 1062 | (133) | 895 | (147) | 0.88 | (82) | 0.50 | (-0.14) | 0 | (-43.8) | 42.5 |
| | みずさわ | 640 | (75) | 393 | (63) | 0.90 | (100) | 0.27 | (0.13) | 18.8 | (-14.5) | 33.3 |

^z 調製重/結球の体積 {=調製重/ (π/6×球高×球長径×球短径)}

^y (湛水処理) / (無処理) ×100

^x (湛水処理) - (無処理)

^w Σ (指数×発生株数) / (4×調査株数) ×100

0:健全, 1:外葉1~2枚程度の萎れおよび黄化,

2:外葉4~6枚程度の萎れおよび黄化,

3:外葉の大部分もしくは結球葉一部萎れおよび黄化,

4:株全体の萎れおよび黄化, 5:枯死

実験2 地下水位がレタスの生育に及ぼす影響

地下水位の違いがレタスの生育・収量に及ぼす影響を表2に示した。

高畝・全面マルチ区では湛水処理を行っても、全重、調製重、結球の長さ、結球緊度およびA品収量は湛水無処理区と同等であったが、平畝・マルチ区で湛水処理区が湛水無処理区より全重および調製重が有意に小さく、また、A品球発生率が低下したため、A品収量(換算値)も有意に少なかった。したがって、高畝・全面マルチ区よりも地下水位が高くなる平畝・マルチ区(図1)で、地下水位の影響が大きくなったことがわかった。

実験3 高畝・全面マルチ栽培による湿害軽減と適用性

作畝方法の違いがレタスの生育に及ぼす影響を表3に示した。全重および調製重は高畝・無マルチ区が高畝・全面マルチ区および平畝・マルチ区よりも小さかった。結球の長さは平畝・マルチ区が高畝・全面マルチ区および高畝・無マルチ区よりも高さ、球長径とも短かったが、結球緊度は最も高かった。A品球発生率は高畝・全面マルチ区、高畝・無マルチ区、平畝・マルチ区の順に高く、A品収量(換算値)も高畝・全面マルチ区、高畝・無マルチ区、平畝・マルチ区の順に多かった。

表2 地下水位の違いがレタスの生育・収量に及ぼす影響

| 作畝方法 | 湛水処理 | 全重 (g) | 調製重 (g) | 結球の長さ (cm) | | 結球緊度 ^z | A品球発生率 (%) | A品収量(換算値) (kg・a ⁻¹) |
|--------------|------------------|-----------|------------|------------|------|-------------------|---------------|------------------------------------|
| | | | | 高さ | 球長径 | | | |
| 高畝・ 全面マルチ | 有 | 591 | 372 | 14.0 | 9.9 | 0.35 | 90 | 159 |
| | 無 | 569 | 340 | 13.9 | 10.2 | 0.30 | 95 | 154 |
| | 有意性 ^y | ns | ns | ns | ns | ns | — | ns |
| 平畝・ マルチ | 有 | 540 | 326 | 14.0 | 10.8 | 0.30 | 65 | 147 |
| | 無 | 612 | 370 | 14.2 | 11.0 | 0.33 | 90 | 231 |
| | 有意性 ^y | * | ** | ns | ns | ns | — | ** |

^z 結球緊度は調製重/結球の体積 {=調製重/ (π/6×球高×球長径×球短径)}

^y *, **は同じ作畝方法内についてt-検定によりそれぞれ5%, 1%で有意差あり (n=4)

表3 作畝方法の違いがレタスの生育に及ぼす影響

| 作畝方法 | 全重 (g) | 調製重 (g) | 結球の長さ (cm) | | 結球緊度 ² | A品球発生率 (%) | A品収量 (換算値) (kg・a ⁻¹) |
|----------|-----------|------------|------------|------|-------------------|---------------|-------------------------------------|
| | | | 高さ | 球長径 | | | |
| 高畝・全面マルチ | 818 | 470 | 12.0 | 13.3 | 0.29 | 96.7 | 240 |
| 高畝・無マルチ | 663 | 367 | 12.6 | 12.5 | 0.26 | 80.0 | 156 |
| 平畝・マルチ | 744 | 406 | 11.2 | 11.7 | 0.41 | 73.3 | 178 |

² 調製重/結球の体積 {=調製重/($\pi/6 \times$ 球高 \times 球長径 \times 球短径)}

定植した地下10cmの土壤水分率をみると(表4)、定植時に高畝・全面マルチ区が最も高く、高畝・無マルチ区が最も低かったことから、マルチングによる水分保持効果が認められた。9月10日には、9月7日に台風による降雨(データ省略)があったことから、す

べての区で定植時よりも高まり、とくに、高畝区が平畝区よりも高まった。収穫前は高畝・全面マルチ区で定植時と同等であったが、高畝・無マルチ区は定植時よりやや高まり、平畝・マルチ区でやや低下した。

表4 土壤水分率²(Mv%)の推移

| 作畝方法 | 8月28日 | 9月10日 | 9月27日 |
|----------|-------|-------|-------|
| 高畝・全面マルチ | 37 | 45 | 34 |
| 高畝・無マルチ | 26 | 49 | 29 |
| 平畝・マルチ | 32 | 36 | 28 |

² ECHOプローブで試験区中央の地下10cmを測定し、換算した

次に、高畝栽培におけるマルチングの有無がレタスの生育に及ぼす影響をみると(表5)、1回の拾いどりで高畝・全面マルチ区の未収穫株率が1%で、高畝・

無マルチ区は26%と未収穫株数に有意差がみられ、高畝・全面マルチ区は高畝・無マルチ区よりも収穫株率が高かった。

表5 高畝栽培におけるマルチの有無がレタスの生育に及ぼす影響

| 作畝方法 | 全重 (g) | 調製重 (g) | 結球の長さ (cm) | | 結球緊度 | 未収穫株数 (50株中) | 未収穫株率 (%) |
|------------------|-----------|------------|------------|------|------|-----------------|--------------|
| | | | 高さ | 球長径 | | | |
| 高畝・全面マルチ | 769 | 456 | 13.1 | 16.4 | 0.25 | 0.5 | 1.0 |
| 高畝・無マルチ | 745 | 415 | 12.4 | 16.5 | 0.23 | 13.5 | 26.0 |
| 有意性 ² | ns | * | * | ns | ns | ** | — |

² t-検定により*, **はそれぞれ5%, 1%水準で有意差あり(n=10)

IV. 考察

耐湿性に品種間差があることは、ダイズ(望月・松本, 1991)やソバ(杉本・石井, 2001)で報告されている。レタスでは予備実験でリーフレタス系、コスレタス系および交雑系が耐湿性に優れること(未発表)がわかったので、本研究では主に交雑系を供試した。8月15日播種では萎れ程度が低いものの、湛水処理により重量の低下がみられたことや、A品球発生率が減少したため耐湿性に優れる品種は選定できなかった(表1)。8月25日播種は‘ゴジラ’の全重が湛水処理で高まり、A品球発生率が高かったため、A品収量が多くなることから有望であると考えられた。ま

た、9月6日播種は湛水処理で重量の対比が高くなる品種が多く、その中で‘スターレイ’は調製重の対比が163と高く、A品球発生率も比較的高かったことから最も耐湿性に優れる品種であると考えられた。一方、土壤の過湿は水分および養分吸収を抑制し、植物体内の代謝機能に影響を及ぼすこと(杉本, 1994)から、湛水処理でレタス重量の減少や萎れの発生がみられたと推察される。ダイズでは生育早期に不定根を誘導すると過湿の影響が軽減されること(李ら, 2003)が報告されている。本研究では、根の調査を行っていないが、レタス根の不定根発生に品種差があり、このことが湛水処理時に品種間差がみられた要因の一つと推察された。

一方、村崎・鈴木（2007）は本研究の発端となった2004年の降雨被害の要因を解析し、耕種的要因として高畝およびマルチ展張によって降雨被害が少なかったことを報告している。本研究では作畝方法がレタスの生育に及ぼす影響はみられなかったが、マルチを展張するとレタスの重量が重くなる効果が認められた（表5）。ポリエチレン製マルチには、土壌水分保持の他、地温の調節等の効果が期待されている。本研究で展張した白黒ダブルマルチは、定植が高温期であったため地温の低下を目的に利用した。高畝・無マルチ区では地温が過度に上昇し、加えて土壌水分が不足した（表4）と考えられ、これらの要因によって、A品収量が減少したと考えられた。

次に、作畝方法と地下水位の関係をみると、高畝・全面マルチ区では生育や収量に及ぼす影響はみられず、平畝・マルチ区では調製重の減少、A品球発生率の低下およびA品収量の著しい減少がみられた。マルチを展張して栽培すると、良好な生育をするにもかかわらず、平畝・マルチ区では地下水位5cmの湛水処理を5日間行うとレタスの生育が不良となった。その要因として、土壌中の溶存酸素の欠乏（但野ら、1979）が考えられるが、高畝では地下水位が同じで無マルチ区と全面マルチ区では湛水処理の影響がみられなかったことから、平畝・マルチ区で生育が劣ったのは土壌の還元化による有害物質の発生による害作用（東尾、2009）であると推察された。

現地において秋どりレタスの高畝・全面マルチ栽培を行ったところ、所内ハウスで行った実験と同様に高畝・全面マルチ栽培は、慣行栽培である平畝・マルチ栽培より良好な生育を示し（表3）、A品収量が増加した。実験3では実験2よりも畝を高くした（図1、2）が、高畝・全面マルチ区では作畝から20日経っても定植時の土壌水分は平畝・マルチ区より高く推移した（表4）。これは、土壌表面からの蒸発が抑制されたため土壌水分が保持され、このことがレタスの生育を適度に促進した結果であると考えられた。また、高畝・全面マルチ区は高畝・無マルチ区よりレタスの生育が促進され、圃場全体の揃いが良好（表5）であった。すなわち、一斉収穫にも適し収穫作業の省力化につながると考えられる。本研究では平畝・マルチ区でベッド内の土壌水分の比較を行っていないが、ベッドの中央部と端部で土壌水分の差やレタス個体間の障壁の有無で生育差が生じていると推察された。したがって、高畝・全面マルチ区では、レタスの栽植様式およ

び土壌水分の蒸発が均等であることから、生育の均一性が図られると考えられた。

秋どりレタス栽培では、耐湿性に優れる品種の作付けおよび高畝・全面マルチ栽培で湿害は軽減できるが、圃場の排水性の向上や均一性等土土的見知からも対策を講じる必要があり、費用対効果を検討しながら総合的に露地野菜の生産基盤を強化していくことが重要であると考えられた。

V. 摘要

秋どりレタス栽培において、湿害に強い品種の選定、地下水位とレタスの生育関係および高畝・全面マルチの適用性を検討した。

1. 播種期別に計19品種を供試し、8月25日播種において湛水処理で調製重は中位であるが、A品球発生率が最も高い‘ゴジラ’、および9月6日播種では湛水処理で調製重が大きく、A品球発生率が比較的高い‘スターレイ’を選定した。
2. 地下水位が低い高畝栽培は、地下水位の影響が少なく、A品収量が無処理と同等であることから、湿害軽減に効果があると考えられた。
3. 高畝・全面マルチ栽培は土壌水分が高く推移し、変動が少ないことから生育の促進および生育揃いが良好となり、適用性が高いと考えられた。

謝辞 本研究を行うにあたり、現地で栽培管理をしてくださった坂東市神坂 精氏ならびに後藤光男氏に深甚の謝意を表します。また、現地試験を行うにあたりご配慮を賜った岩井農業協同組合営農部長内田芳美氏をはじめとする関係職員の皆様ならびに坂東地域農業改良普及センター専門員木村 仁氏（現 結城地域農業改良普及センター）に深く感謝の意を表します。

本研究を通して終始暖かいご指導と助言を賜った独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構野菜茶業研究所業務用野菜研究チーム長東尾久雄博士ならびに農業総合センター前首席専門技術指導員横張 久氏に深く感謝の意を表します。また、栽培管理をしてくださった農業総合センター管理課分室小島和明氏ならびに松井 啓氏に心から御礼申し上げます。

引用文献

東尾久雄. 2009. 湛水耐性評価法. 平成21年度野菜

- 茶業課題別研究会資料湿害に強い露地野菜生産を目指して. 野茶研. 13-17.
- 茨城県. 2005. 茨城の園芸, 158-161.
- 茨城県. 2006. 茨城の園芸, 8-17.
- 李 廣弘・朴 相源・權 容雄. 2003. 不定根の早期誘導によるダイズの耐湿性向上. 日作紀72(1): 82-88.
- 村崎 聡・鈴木雅人. 2007. 茨城県内のレタス産地における降雨被害要因の解析. 茨城園研報15: 23-28.
- 望月俊宏・松本重男. 1991. 秋ダイズの耐湿性の品種間差異. 日作紀60(3): 380-384.
- 杉本秀樹. 2003. 水田転作畑におけるダイズの湿害に関する生理・生態学的研究. 愛媛大農学部紀要. 39: 75-134.
- 杉本秀樹・石井優秀. 2001. ソバにおける耐湿性の品種比較. 日作四国支報38: 34-35.
- 但野利秋・切本清和・青山 功・田中 明. 1979. 耐湿性の作物間差—比較植物栄養に関する研究一. 土肥誌. 50: 261-269.

トマトの葉の気孔拡散伝導度および蒸散速度に対する 環境要因の影響

稲田秀俊・水野（山邊）あずさ・中原正一

Effects of Environmental Factors on Stomatal Diffusive Conductance and
Transpiration Rate of Leaves of Tomato Seedlings

Hidetoshi INADA, Azusa YAMABE-MIZUNO and Masaichi NAKAHARA

Summary

In order to clarify the effects of environmental factors on the stomatal aperture of tomato leaves, we measured the stomatal diffusive conductance to water vapor (G_s) and transpiration rate (E) of leaves of the Japanese tomato 'Reiyo', which was grown in phytotrons under natural sunlight. A highly positive correlation was found between the G_s and E of the leaves under all environmental conditions. Under the present experimental conditions, the G_s was significantly increased in conditions of high temperature, high vapor pressure deficit (VPD), low relative humidity, high photosynthetic photon flux density (PPFD), and low CO_2 concentration. Furthermore, high temperature and high VPD also induced an increase in G_s under low PPFD conditions. These results suggest that a relatively high VPD might induce stomatal opening of tomato leaves.

キーワード：気孔開度，水蒸気気孔拡散伝導度，蒸散速度，トマト，飽差

I. 緒言

我が国における施設野菜栽培では、高品質・高収益を目標とした野菜の安定的生産技術の開発が進められている。野菜の施設栽培では、環境調節により作物体の生育を制御するため、作物体の環境応答性を迅速かつ簡便に、さらには非破壊で必要な生理・生態情報を把握する研究が進められている（Omasaら，1987；中原・井上，1997；高木ら，2006；久枝ら，2007）。

葉面における CO_2 の吸収や蒸散は葉の気孔開度に大きく依存する。生産性向上に向け光合成を促進させるためには、気孔の開閉状況を迅速に把握し、最適な環境下で作物体を栽培する必要がある。しかしなが

ら、気温や日射量、 CO_2 濃度などの環境条件がトマトの生育や果実収量に及ぼす影響（矢吹，1985；渡邊ら2006；鈴木ら，2009）や葉のガス交換能力に及ぼす影響（矢吹，1985；Yelleら，1989）についての報告はあるが、飽差や湿度の変化がトマトの葉の気孔特性に及ぼす影響については報告例が極めて少なく（矢吹，1985；Xuら，2007）不明な点が多い。

そこで、葉の気孔開閉機構がどのような環境要因の影響を強く受けるのかを解明するために、ポロメーターを用いて葉の気孔開度と環境要因との関連性を調べた。本報で得られた結果は、高生産性施設の開発に向けた環境調節技術の確立に大きく貢献できると思われる。

Table 1. Daily mean, photoperiod mean, darkperiod mean, daily minimum and daily maximum of air temperature, relative air humidity, vapor pressure deficit and concentration of CO₂ in the phytotron during the experimental period.

| Factors | 24-h mean | Photoperiod mean ¹⁾ | Darkperiod mean ²⁾ | Min. value-Max. value |
|--|-----------|--------------------------------|-------------------------------|-----------------------|
| Air temperature (°C) | 18.5 | 19.7 | 17.2 | 15.5 - 30.5 |
| Relative humidity (%) | 79.7 | 78.2 | 81.2 | 50.0 - 94.0 |
| Vapor pressure deficit (hPa) | 4.5 | 5.1 | 3.8 | 1.2 - 20.2 |
| Concentration of CO ₂ (ppm) | 461.6 | 412.5 | 511.5 | 183.0 - 1106.0 |

¹⁾ Photoperiod: 6:00-18:00

²⁾ Darkperiod: 18:00-6:00

II. 材料および方法

1. 植物材料と育成方法

トマト‘麗容’（台木：がんばる根3号）を2009年5月14日にプランター（容積約10L）に定植した。所内圃場の作土層（深さ約30cm）から採取した土壌（黒ボク土）にピートポットVを混和した。平成21年茨城県野菜栽培基準（トマト）に基づき、個体あたりの窒素施肥量が1gになるように複合肥料（N:P₂O₅:K₂O=5:15:5）を土壌混和した。土壌は給水マットを底面に敷いたプランターに詰め、灌水は底面吸水方式とした。供試個体数は2個体/プランター、計12個体/人工気象室×2反復とした。夏季の野外ガラス温室では気温が35℃を超え気孔開閉機能に影響を及ぼす可能性があるため、供試個体は所内の自然光型人工気象室（コイトロンS-308A, 小糸工業）内で育成し、気温は昼（6:00-18:00）20℃/夜（18:00-6:00）16℃に設定した。試験期間における人工気象室内の気温、相対湿度、飽差およびCO₂濃度の変動をTable 1に示す。

2. 水蒸気気孔拡散伝導度および蒸散速度の測定方法

トマトの葉の気孔開度を評価する指標のひとつとして水蒸気気孔拡散伝導度（Gs）、およびGsと密接な関係がある蒸散速度（E）の測定を行った。GsおよびEの測定は、各果房直下の葉の先端の小葉を対象として、6月4日から7月13日までの間の7:00-13:00に、ポロメーター（Li-1600, Li-Cor社製）を用いて行った。なお、ポロメーターによるGsおよびEの測定は非破壊で行うことが可能であり、携帯型であるので野外圃場での測定も可能である。1試料あたりの測定所要時間は短く、約30秒である。また計測器本体に葉温センサおよび光量子センサを搭載し、測定データは他の記憶装置に転送することも可能である。測定時は光量子センサおよび葉面が人工気象室のフレームの影に入らないようにした。一般に葉の光合成速度は葉齢や葉位により異なる（宍戸ら, 1991）ことが知ら

れているため、本報では出葉後8-28日目の第3果房および第4果房直下の葉の気孔特性について解析を行った。

III. 結果および考察

1. 葉の水蒸気気孔拡散伝導度（Gs）と環境要因の関係

トマト‘麗容’について、出葉後8-28日目の果房直下葉の水蒸気気孔拡散伝導度（Gs）と人工気象室内気温、相対湿度、飽差、光合成有効光量子束密度（PPFD）およびCO₂濃度との相関関係をTable 2に示した。Gsと気温との相関係数が最も高く、次いで飽差もしくはPPFDであった。GsとCO₂濃度および相対湿度との関係では負の相関を示した。すなわち、気温の上昇や飽差、日射量の増大、相対湿度の低下に伴って「気孔が開く」する傾向にあり、CO₂濃度の上昇に伴い「気孔が閉鎖」する傾向にあることが明らかになった。

これらの各環境要因とGsとの関係性の詳細をFig. 1に示した。今回、Gsの測定を行った17-24℃の間では気温が高い程、直線的にGsも高くなることが認められた（Fig. 1a）。本報では17℃以下および24℃以上の環境下でのGsの測定は行っていないため、これらの気温域におけるGsについては不明である。しかし、トマトの生育可能な気温域はおおむね10-30℃であり、一般に25℃付近で光合成速度およびGsが最大になること（矢吹, 1985）を考慮すると、今回の結果はこれらの報告とよく一致したと考えられた。

相対湿度の低下（Fig. 1b）および飽差の増大（Fig. 1c）によりGsは上昇した。葉の光合成速度やGsに対する湿度や飽差の影響に関する研究例は極めて限られており（矢吹, 1985; Xuら, 2007）、我が国の慣行のトマト品種については、光合成速度やGsといった葉のガス交換能力に注目した最適な湿度および飽差条件は不明である。本報の結果から、湿度が低下する環境条件・飽差が増大する環境条件下で「気孔開度が増加する」ことが明らかになった。しかし、極端な低湿

Table 2. Correlation between environmental factors in the growth cabinet and stomatal diffusive conductance to H₂O (G_s) of leaf of tomato.

| T ¹⁾ | RH ²⁾ | VPD ³⁾ | PPFD ⁴⁾ | CO ₂ ⁵⁾ |
|------------------------|-----------------------|----------------------|--|-------------------------------|
| (°C) | (%) | (hPa) | ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) | (ppm) |
| 0.750 ^{***6)} | -0.421 ^{***} | 0.631 ^{***} | 0.629 ^{***} | -0.585 ^{***} |

1) Air temperature

2) Relative air humidity

3) Vapour pressure deficit

4) Photosynthetic photon flux density

5) Concentration of CO₂

6) The number indicates correlation coefficient of each environmental factor with stomatal diffusive conductance to H₂O (G_s); significant at 0.1% level (***)

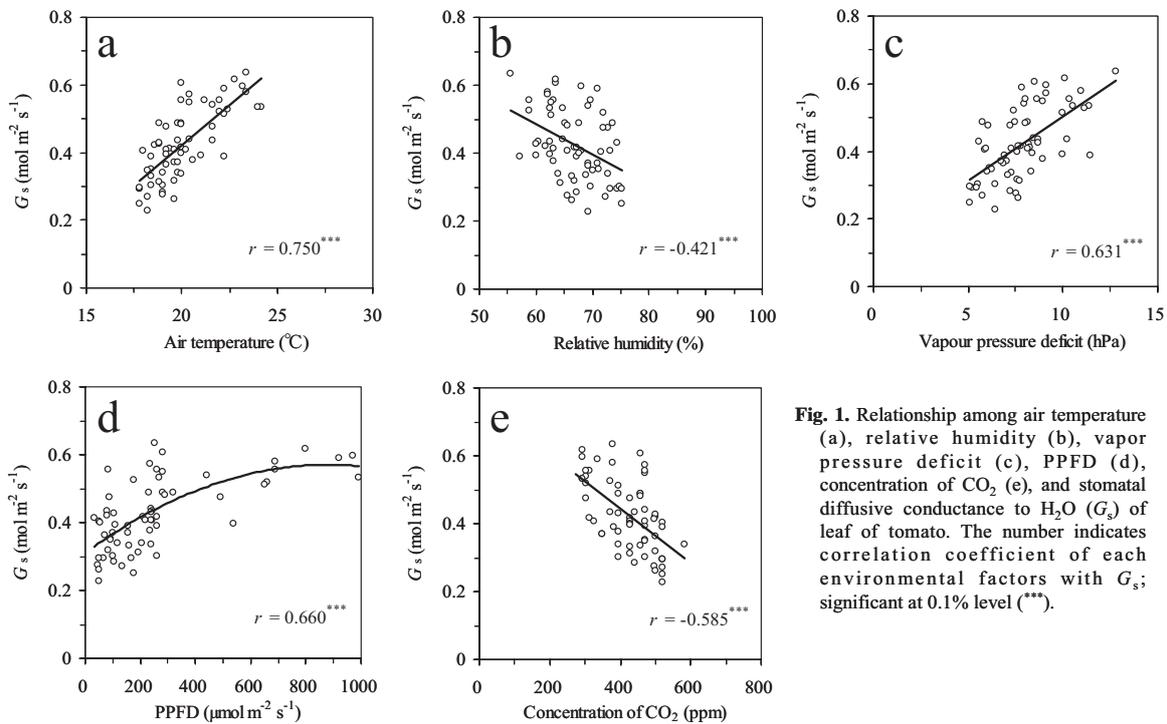


Fig. 1. Relationship among air temperature (a), relative humidity (b), vapor pressure deficit (c), PPFD (d), concentration of CO₂ (e), and stomatal diffusive conductance to H₂O (G_s) of leaf of tomato. The number indicates correlation coefficient of each environmental factors with G_s ; significant at 0.1% level (***)

度・飽差大の条件下では、蒸散速度が著しく上昇し気孔から過剰に水分が失われる可能性もある。そのため、各環境要因と G_s との関係性だけでなく、後述の蒸散速度に対する影響も踏まえ最適な湿度・飽差条件を明らかにする必要がある。

G_s は PPFD の増大に伴って有意に上昇し、PPFD がおむね $600 \mu\text{molm}^{-2} \text{s}^{-1}$ 以上で G_s は頭打ちとなった (Fig. 1d)。この値は、葉齢および葉位を考慮した上で一般的なトマトの葉の光-光合成曲線と比較しても、おむね妥当であると考えられた (宍戸ら, 1991; 高山ら, 2006; 久枝ら, 2007)。しかし、PPFD が $400 \mu\text{molm}^{-2} \text{s}^{-1}$ 未満の場合でも G_s が $0.4 \text{ molm}^{-2} \text{s}^{-1}$ 以上と比較的高くなることも認められた (Fig. 1d)。そこでこの要因を調べるため、PPFD が $400 \mu\text{molm}^{-2} \text{s}^{-1}$ 未

満の値のみを用いて各環境要因と G_s との関係性を調べた (Fig. 2)。その結果、 G_s は気温 (Fig. 2a) および飽差 (Fig. 2c) と正の相関関係を示し、相対湿度 (Fig. 2b) および CO₂ 濃度 (Fig. 2d) とは負の相関関係にあった。これらのことから、PPFD が $600 \mu\text{molm}^{-2} \text{s}^{-1}$ 以上の光条件下では「気孔が開口」し、PPFD が $400 \mu\text{molm}^{-2} \text{s}^{-1}$ 以下の光条件下では気温や飽差が気孔の開閉に重要であることが示唆された。

葉周辺の CO₂ 濃度も気孔開度に大きな影響を及ぼす。人工気象室内の CO₂ 濃度が $290\text{-}580 \text{ ppm}$ の範囲では、CO₂ 濃度の上昇に伴い G_s は有意に低下した (Fig. 1e)。この傾向は既往の研究からも明らかであり、難波ら (2004) はポトスを用いて、 $100\text{-}1000 \text{ ppm}$ の CO₂ 濃度条件下に短時間置かれた葉では 100 ppm の低濃度

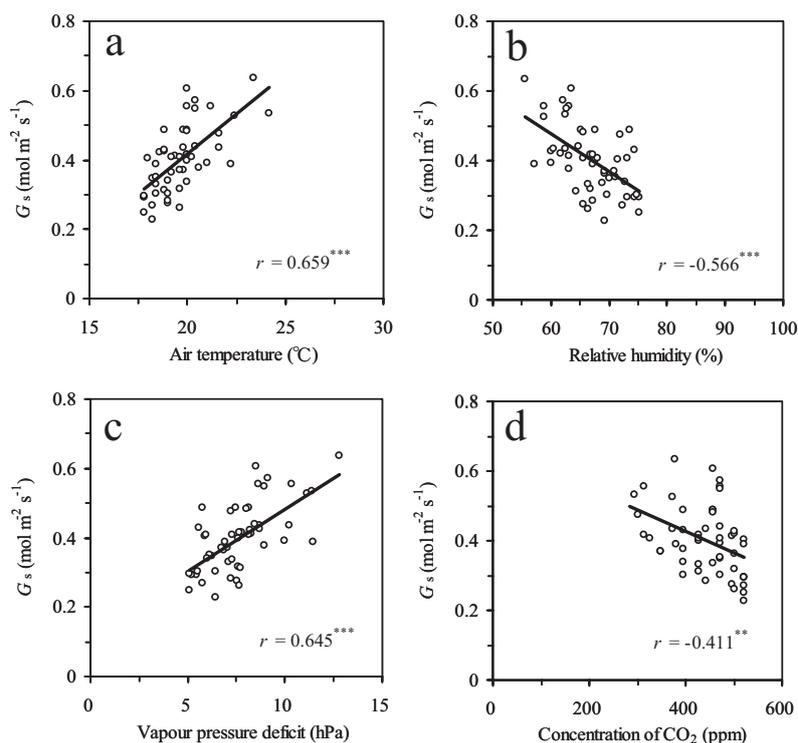


Fig. 2. Relationship among air temperature (a), relative humidity (b), vapor pressure deficit (c), concentration of CO₂ (d), and stomatal diffusive conductance to H₂O (G_s) of leaf of tomato under the condition below 400 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ PPFD. The number indicates correlation coefficient of each environmental factors with G_s ; significant at 0.1% level (***) , 1% level (**).

CO₂環境下で最大の気孔開度を示すことを顕微鏡を用いた直接観察により明らかにした。また, Yelleら, (1989) は 900 ppm の高濃度 CO₂環境下で長期間栽培したトマトでは葉の G_s や光合成速度が低下することを報告している。高濃度 CO₂環境下で長期間栽培した作物は乾物生産量が増大するものの光合成活性が次第に低下することも報告されている (矢吹, 1985)。一方, 果菜類を用いた過去の研究例では高濃度の CO₂環境下で葉の気孔開度が増大する報告もあり, 高濃度の CO₂環境に対する植物の応答性は作物種や品種, 処理期間などにより大きく異なる (矢吹, 1985)。現在我々は, 高濃度の CO₂環境下にてトマトを栽培し葉のガス交換能力について調べている。

2. 様々な環境条件下での葉の水蒸気気孔拡散伝導度と蒸散速度との関係

各環境要因における G_s と蒸散速度 (E) との関係性を Fig. 3 に示す。人工気象室内の気温が 17-19°C, 19.1-20°C, 20.1-24°C の場合 (Fig. 3a), 相対湿度が 55-65%, 65.1-70%, 70.1-75% の場合 (Fig. 3b), 飽差が 5-6 hPa, 7-8 hPa, 9-12 hPa の場合 (Fig. 3c), PPFD が 200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 以下, 201-400 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$,

401 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 以上の場合 (Fig. 3d), CO₂ 濃度が 380 ppm 以下, 381-500 ppm, 501 ppm 以上の場合 (Fig. 3e) に分けて G_s と E の関係性を調べた。いずれの環境要因についても G_s と E は高い正の相関を示した。PPFD の変化 (Fig. 3d) や相対湿度の変化 (Fig. 3b) は G_s と E との関係性 (回帰直線の傾き) に顕著な影響を及ぼさなかった。また, CO₂濃度が 380 ppm 以下 (Fig. 3e) の条件では回帰直線の傾きが急であることから, 低濃度の CO₂環境下では積極的に「気孔を開口」して CO₂を取り込むが, 同時に蒸散も促進されやすく, 一方高濃度の CO₂環境下では「気孔が閉鎖」して, その結果蒸散も抑制されたと考えられた。気温が 17-19°C (Fig. 3a) および飽差が 5-6 hPa (Fig. 3c) の条件下ではいずれも回帰直線の傾きが緩やかであり, G_s の変化に伴う E の変動幅は小さかった。すなわち, 比較的気温が低く, 飽差が小さい環境条件下では過度の蒸散が抑制されるが「気孔が閉鎖」し, 飽差が大きくなるような環境条件下では「気孔が開口」し蒸散が促進されると考えられた。このように「気孔開度」と空気の乾燥度との関係性を評価する場合には, 相対湿度を指標として用いることは厳密には正確ではなく, 気温および飽差を指標として用いるべきである。荒木

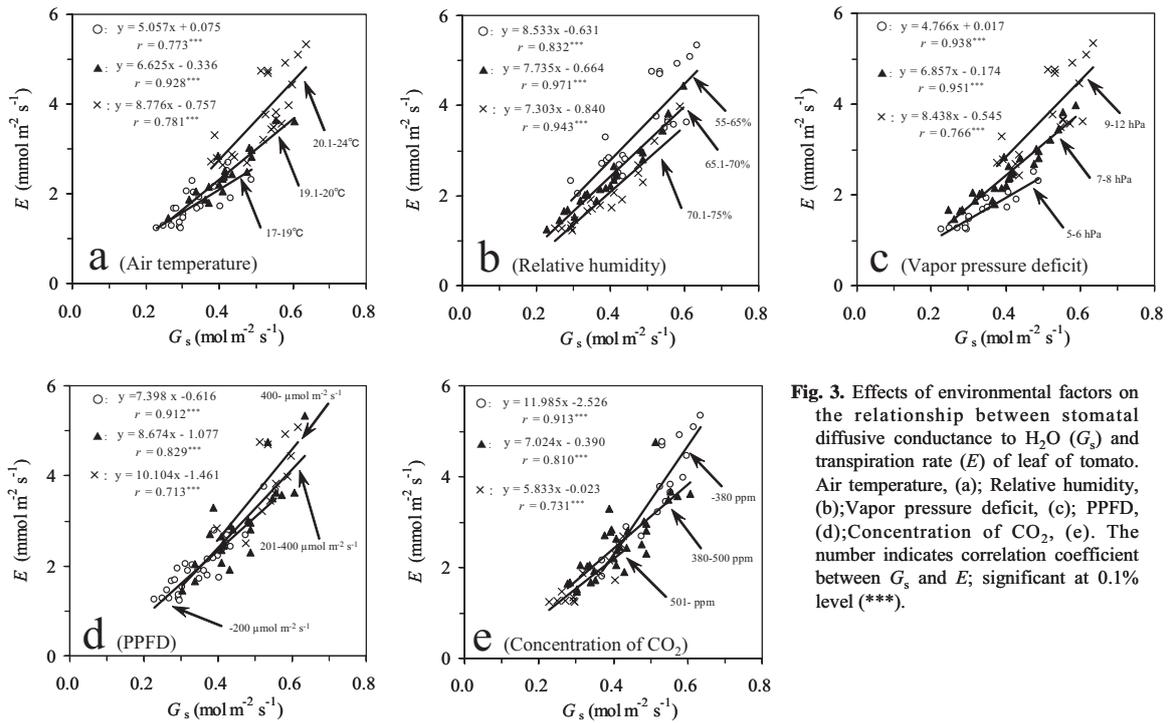


Fig. 3. Effects of environmental factors on the relationship between stomatal diffusive conductance to H₂O (G_s) and transpiration rate (E) of leaf of tomato. Air temperature, (a); Relative humidity, (b); Vapor pressure deficit, (c); PPFd, (d); Concentration of CO₂, (e). The number indicates correlation coefficient between G_s and E ; significant at 0.1% level (***)

(1993) は気温や相対湿度、照度などの環境条件を変化させながらトマトの葉の水ポテンシャルを測定し、葉の水分状態が飽差によって大きな影響を受けることを報告している。また、飽差が小さい環境条件に比べ飽差が大きい環境条件下ではトマトの葉の ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase (ルビスコ) 活性やクロロフィル濃度などの光合成関連要素が高く維持され、高い光合成能力を示すことが報告されている (Xu ら, 2007)。さらに、ハウス内が高湿度・飽差小の条件下で蒸散が抑制されると、蒸散されるべき水分が果実内に流入しトマトの裂果の発生を著しく誘発することも報告されている (渡邊ら, 2006)。本報では人工気象室を用いて気温などの栽培環境を安定させ、トマトの葉の気孔特性を調べた。本報では光合成速度の測定ができなかったが、気孔開度に影響を及ぼす環境要因を明確にすることができた。しかし、春夏期における野外のガラス温室では気温が 35°C を超え飽差が 30 hPa を上回る日も多い。一方、冬春期においては温室を閉め切る時間帯が長く、植物が低濃度の CO₂ 環境や低温環境、飽差が小さい環境下に置かれることになる。現在我々は、これらの時期に野外のガラス温室内で栽培したトマトの葉の気孔特性を調べており、さらに各環境要因が成長や果実収量に及ぼす影響についても調査を進めている。

IV. 摘要

本報では、葉の気孔開度に影響を及ぼす環境要因を調べるために気温などの環境条件を制御した人工気象室内でトマト ‘麗容’ を栽培し、果房直下葉の水蒸気気孔拡散伝導度および蒸散速度を測定した。その結果、検討した条件下では高温、飽差大、低濃度 CO₂ 条件下で水蒸気気孔拡散伝導度が有意に大きく、これらの条件下では蒸散速度も著しく大きかった。また、検討した相対湿度条件下では 55-65% の湿度条件下で水蒸気気孔拡散伝導度が大きかった。さらに、PPFd の上昇に伴い水蒸気気孔拡散伝導度が有意に増大したが、400 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 以下の光条件下では高温、飽差大の条件下で水蒸気気孔拡散伝導度が大きくなった。以上のことから、本報において検討した環境条件下では、飽差が比較的大きい条件でも気孔開度を増大させることができる可能性が高いと考えられた。

謝辞 当研究を実施するに当たり、茨城県農業総合センター園芸研究所長佐久間文雄博士に貴重なご助言を頂きました。また、同所野菜研究室の室員に有益なご助言を頂きました。そして、同センター管理部管理課水野 学氏に栽培および調査の協力を頂きました。ここに記して深く感謝の意を表します。なおこの研究は、新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業、

Cの動態に注目した高生産性施設環境調節技術の開発(課題番号2050)の一環として実施しました。

引用文献

- 荒木陽一. 1993. 環境条件がトマトの体内水分状態に及ぼす影響. 園学雑. 61: 827-837.
- 久枝和昇・高山弘太郎・仁科弘重・東 幸太・有馬誠一. 2007. 大規模トマト生産温室における生産性向上に関する研究 - トマト群落における光強度とCO₂固定量の垂直分布の解析 -. 植物環境工学. 19: 19-26.
- 中原正一・井上吉雄. 1997. 赤外線放射测温によるトマトの水ストレス反応の検出. 農業気象. 53: 191-199.
- 難波和彦・近藤 直・門田充司・笹尾 彰. 2004. CO₂濃度が植物気孔開度に与える影響の顕微画像計測. 植物工場学会誌. 16: 41-49.
- Omasa, K., Shimazaki, K., Aige, I., Larcher, W. and Onoe, M. 1987. Image analysis of chlorophyll fluorescence transients for diagnosing the photosynthetic system of attached leaves. *Plant Physiology*. 84: 748-752.
- 宍戸良洋・尹 千鐘・湯橋 勤・施山紀男・今田成雄. 1991. トマトにおける葉の光合成, 転流・分配の経時的变化と果実肥大に対する葉位別寄与度. 園学雑. 59: 771-779.
- 鈴木隆志・野村康弘・嶋津光鑑・田中逸夫. 2009. 夏秋トマト雨よけ栽培における放射状裂果の発生に及ぼす着果制限, 果房被覆および二酸化炭素施用の影響. 園学研. 8: 27-33.
- 高木弘太郎・石神靖弘・後藤英司・久枝和昇・仁科弘重. 2006. 大規模ガラス温室内のトマト群落におけるクロロフィル蛍光パラメータ (Fv/Fm), SPAD値およびクロロフィル濃度の垂直分布の解析. 植物環境工学. 18: 277-283.
- 渡邊聖文・志和地弘信・岩堀修一・高橋久光. 2006. 施設栽培におけるトマト果実裂果発生要因の解析. 東京農大農学集報. 50: 106-111.
- Xu, H.-L., Iraqi, D. and Gosselin, A. 2007. Effect of ambient humidity on physiological activities and fruit yield and quality of greenhouse tomato. *Acta Horticulturae*. 761: 85-92.
- 矢吹萬壽. 1985. 植物の動的環境. pp. 5-72. 朝倉書店. 東京.
- Yelle, S., Beeson, R.C.Jr., Trudel, M.J. and Gosselin, A. 1989. Acclimation of two tomato species to high atmospheric CO₂. I. Sugar and starch concentrations. *Plant Physiology*. 90: 1465-1472.

水溶性糖類の施用がチンゲンサイ地上部硝酸イオン含量の低減化に対する効果

藤田 裕・植田稔宏

Effect of Water-soluble Carbohydrates Application on the Reduction of Nitrate Ion Concentration in Qing-geng-cai (*Brassica campestris L. var.chinensis*).

Yutaka FUJITA and Toshihiro UETA

Summary

The effect of adding water-soluble carbohydrates to soil on the amount of immobilized inorganic N in the soil and the nitrogen status of vegetables was investigated in qing-geng-cai. The ammonium sulfate or potassium nitrate concentration in the soil was 500 mg N kg⁻¹, and 10000 mg C kg⁻¹ of water-soluble carbohydrates was applied. The oxygen demand of the soil increased to 12 μg g⁻¹ within 14 h and decreased slowly; moreover, the inorganic nitrogen content in the soil decreased rapidly 3 days after application of these carbohydrates. When these water-soluble carbohydrates were applied 14 days before harvest of qing-geng-cai, the nitrate content decreased to about 55% that of the control plot. Moreover, the nitrate content of the soil after harvest was 28% that of the control plot. Thus, addition of water-soluble carbohydrates to the soil before harvest was effective for reducing the nitrate content of qing-geng-cai.

キーワード：硝酸イオン，水溶性糖類，微生物バイオマス，窒素有機化，葉菜類

I. 緒言

チンゲンサイなどの葉菜類に含まれる硝酸イオンは、人体内で還元され亜硝酸塩に変化すると、メトヘモグロビン血症や発ガン性物質であるN-ニトロソ化合物の生成に関与するおそれがあり、その摂取量は少ない方が望ましい（安田，2004；米山，1982）とされている。

一方、還元された亜硝酸塩は殺菌効果があり感染症を防ぐことから、むしろ有益である（J. リロンデル・J-L. リロンデル，2006）という報告もあり、必ずしも一定の結論を得ていない。

しかし、植物体内の硝酸イオンと糖・アスコルビン酸含量には負の相関関係が認められている（建部ら，1995；藤原ら，2005）ことから、高品質な野菜生産において地上部硝酸イオンを低減化する必要性は高いと

考えられる。

土耕栽培において窒素施肥量を減らすと、地上部硝酸イオン濃度は低減するが、同時に生育が劣り葉の黄化も起こりやすいという問題がある。一方、吉田ら（1998）は、ハウレンソウを材料とした水耕栽培において、栽培後期に養分を中断処理した培養液をカリウムのみ添加した水に切り替えることにより可食部硝酸イオン濃度が対照区と比較して1/10まで低下したと報告している。すなわち地上部硝酸イオン濃度の低減は、植物に供給する窒素を一定の生育量になるまでは十分に与え、栽培後期に極端に抑制するという管理が有効である。このように、ある時期から窒素供給量を極端に抑制するという管理は、水耕栽培では養液を窒素成分の含まないものに交換するという手法で比較的容易に行うことが出来る。しかし、葉菜類栽培の大部分を占める土耕栽培では栽培中の土壌から意図的に窒

素成分を除去することは極めて困難と考えられる。

そこで、土耕栽培において、生育期間は十分な窒素供給を行い、収穫期直前に土壌に水溶性糖類を施用することにより土壌中の無機態窒素を微生物バイオマスとして有機化させ、植物への無機態窒素の供給を抑制する栽培管理の効果について検討した。

表1 供試土壌¹⁾の化学性

| 土壌 | pH (KCl) | EC S m ⁻¹ | NO ₃ -N | 可給態P ₂ O ₅ | 交換性 | | |
|--------|-------------|-------------------------|--------------------|----------------------------------|---------------------|-----|------------------|
| | | | | | CaO | MgO | K ₂ O |
| | | | | | mg kg ⁻¹ | | |
| 淡色黒ボク土 | 6.6 | 0.02 | 14.8 | 786 | 5,980 | 938 | 1,010 |

1) 県内笠間市で採取

2. 土壌中の微生物バイオマス活性

水溶性糖類の施用が土壌中の微生物バイオマス活性に及ぼす影響について明らかにするため、微生物バイオマスの増加の指標として土壌の酸素消費量を測定した。

土壌の酸素消費量の測定には酸素消費量計（コンポテスター、富士平工業）を使用した。

500ml容の金属製容器に乾土30g相当量の湿潤土を秤りとり、土壌の窒素濃度が500mg kg⁻¹となるように硫酸アンモニウムを70.8mg（窒素量として15mg）混和した。スクロース区（以下Su区）には、土壌の炭素濃度が10,000mg kg⁻¹となるようにSuを713.1mg（炭素量として300mg）施用した。また、Suを施用しない対照区を設けた。土壌の含水率は各区とも最大容水量の60%に調整した。

試験区をそれぞれ調整した後、直ちに35℃に保たれているコンポテスターの測定ユニットに金属容器を入れ、最初の30時間は1時間ごとに、31時間以後100時間までは定期的に酸素消費量を測定した。

3. 静置培養実験

水溶性糖類の施用が土壌中の無機態窒素量に及ぼす影響を明らかにするため、窒素を含む土壌を畑状態で恒温器を用いて静置培養し、水溶性糖類添加後の無機態窒素量の推移を測定した。

まず、乾土12g相当量の湿潤土を100ml容の広口ビンに入れ、土壌の窒素濃度が500mg kg⁻¹となるように硝酸カリウムを46.6mg（窒素量として6mg）加えた。また土壌の炭素濃度が10,000mg kg⁻¹となるようにSu区はSuを285mg、グルコース区（以下Glu区）はgluを422mg、フルクトース区（以下Flu区）はfluを422mgとそれぞれ加え、また、対照区は無施用とした。なお、土壌の含水率は、各区とも最大容水量の60%に調整した。その後、それぞれのビン口をポリエチレンフィルムで閉じ、30℃で最長7日間静置培

II. 材料および方法

1. 供試土壌

県内笠間市で採取した淡色黒ボク土を湿潤状態のままメッシュサイズ2mmのふるいに通して供試した。土壌の化学性は表1のとおりである。

養した。試験規模は1区3反復とした。

培養開始後1日ごとに、土壌を2molL⁻¹塩化カリウム（土壌：溶液は重量比で約1：10）で浸出し、蒸留法（日本土壌協会、2001）でオートアナライザー（KJELTEC AUTO 1030 Analyzer, tecator）を用いアンモニア態窒素量および硝酸態窒素量を測定し、その合計量を無機態窒素量とした。

4. 栽培実験

1) 栽培方法

収穫期直前の水溶性糖類の施用がチンゲンサイの体内硝酸イオン含量に及ぼす影響を明らかにするため、栽培試験を行った。

硫酸アンモニウムを9.5g（Nとして2g）、リン酸は過リン酸石灰を11.8g（P₂O₅として2g）、カリウムは塩化カリウムを3.3g（K₂Oとして2g）を施用し、混和した土壌を1/5000aワグネルポットに充填した。2006年8月20日に各ポットにチンゲンサイ‘ニイハオ新1号’を6粒播種し、発芽後3個体に間引いた。

栽培は温室内で、かん水には蒸留水を用い、播種後41日間栽培した。収穫14日前に、Su区はSu95g（炭素として40g）を水溶液として200mlをかん水し、対照区は蒸留水200mlをかん水した。試験規模は、1区6反復とした。

2) 植物体硝酸イオンの分析

植物体は午前9時から午前10時の間に収穫し、直ちに分析に供した。硝酸イオン濃度の測定は、地上部約40gに蒸留水200mlを加え、フードミキサーにより1分間均質化し、遠心分離（10,000rpm, 30分）した後、ろ紙（No.5C）でろ過した抽出液を分析に用いた。抽出液の硝酸イオン濃度は、小型反射式光度計システム（RQフレックス、メルク社）を用いて測定した。

3) 収穫跡地土壌の硝酸態窒素分析

栽培跡地の土壌中硝酸態窒素含量は、風乾土10g

に蒸留水 50ml を加え、60 分間振とうした後、イオンクロマトグラフシステム (L-7470, 日立製作所) で測定した。

Ⅲ. 結果

1. スクロース施用が土壤バイオマスの活性に及ぼす影響

図 1 に培養土壌の酸素消費量の推移を示した。対照区は、培養期間全体を通じて大きな変化は無く、酸素消費量はきわめて低いレベルで推移した。一方、Su 区は、培養開始 1 時間後から急速に酸素消費量が増大し、最高 $12 \mu\text{g g}^{-1} \text{min}^{-1}$ を示した。15 時間以降は減少を始め、25 時間以降からは徐々に減少した。これは、火山灰土壌にグルコースを基質として加えた実験結果 (石沢・田辺, 1969) とほぼ一致する傾向であった。

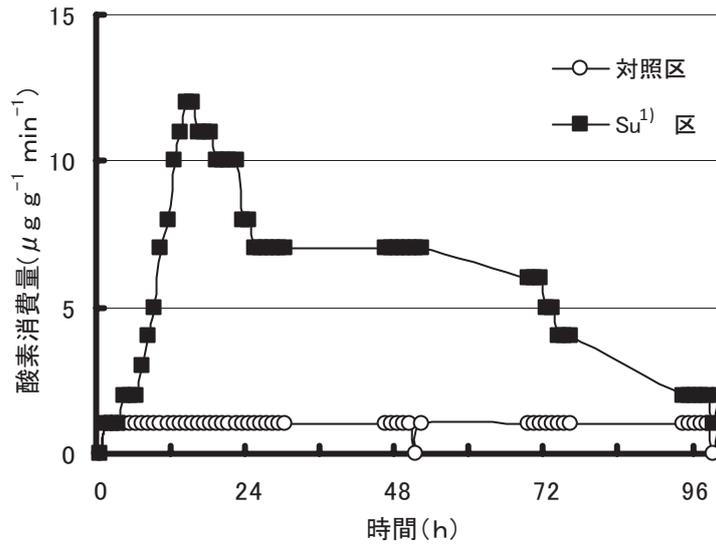


図 1 スクロース施用が土壤酸素消費量に及ぼす影響
酸素消費量は、酸素消費量計 (コンポテスター, 藤平工業) で測定した。
1) Su はスクロースを示す。

2. 水溶性糖類の施用が土壌中の無機態窒素含量に及ぼす影響

水溶性糖類であるスクロース、グルコースおよびフルクトースの施用が土壌中の無機態窒素含量に及ぼす影響について、経日変化を図 2 に示した。

対照区の土壌の無機態窒素含量は、2 日目までやや減

少し 400mg kg^{-1} となった後、4 日目まで増加し、5 日目以降は 530mg kg^{-1} 前後で横ばいに推移した。一方、Su 区は無機態窒素含量は、3 日目までに大きく減少し、4 日目以降は低いレベルで横ばいに推移し 7 日目には 29mg kg^{-1} まで減少した。Glu 区および Flu 区は、Su 区とほぼ同様の傾向を示した。

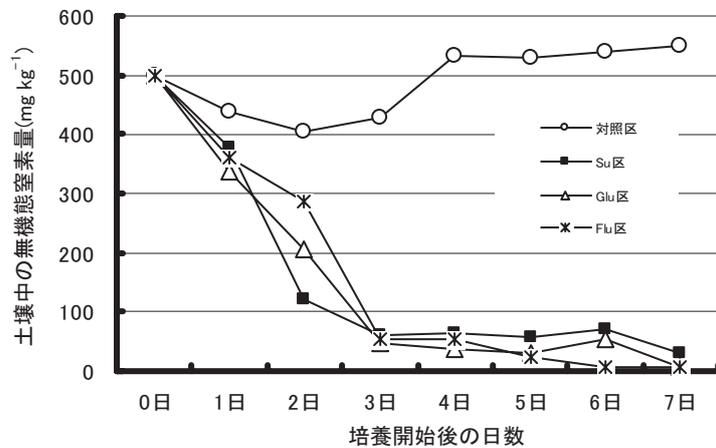


図 2 水溶性糖類の施用が土壌中の無機態窒素含量に及ぼす影響
土壌中の無機態窒素含量は蒸留法で測定した。

3. スクロース施用が植物体内硝酸イオン含量および 土壌中の硝酸態窒素含量に及ぼす影響

植物体内硝酸イオン含量を図3に示した。対照区の硝酸イオン含量は平均で $3,842\text{mg kgFW}^{-1}$ であった。一方、スクロースを収穫14日前に施用したSu区の硝酸イオン含量は、平均で $2,104\text{mg kgFW}^{-1}$ となり、対照区と比較して有意に低下した。低減割合は、対照区の硝酸イオン含量を100とするとSu区は54.8で

あった。

収穫時の地上部新鮮重は、対照区で 155.4g となったのに対し、Su区 125.6g と有意に低下した(図4)。低減割合は、対照区を100とするとSu区は80.8であった。

収穫跡地土壌の硝酸態窒素含量は、対照区が 28.3mg kg^{-1} に対し、Su区は 8.0mg kg^{-1} と有意に低下した(図5)。

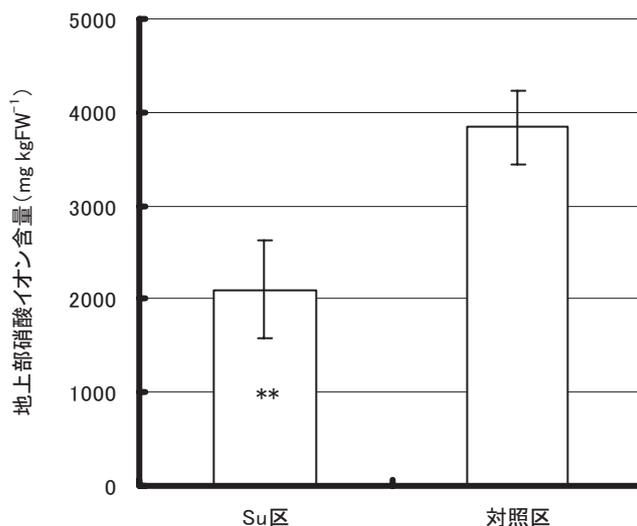


図3 スクロース施用が地上部硝酸イオン含量に及ぼす影響
*印は、t検定により対照区と比較して有意差があることを示す。**は有意水準1%、エラーバーは標準偏差を示す。(n=6)

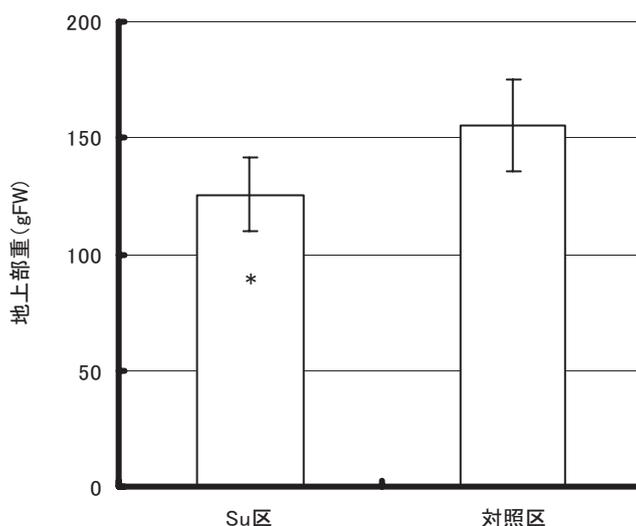


図4 スクロース施用がチンゲンサイ地上部重に及ぼす影響
*印は、t検定により対照区と比較して有意差があることを示す。*は有意水準5%、エラーバーは標準偏差を示す。(n=6)

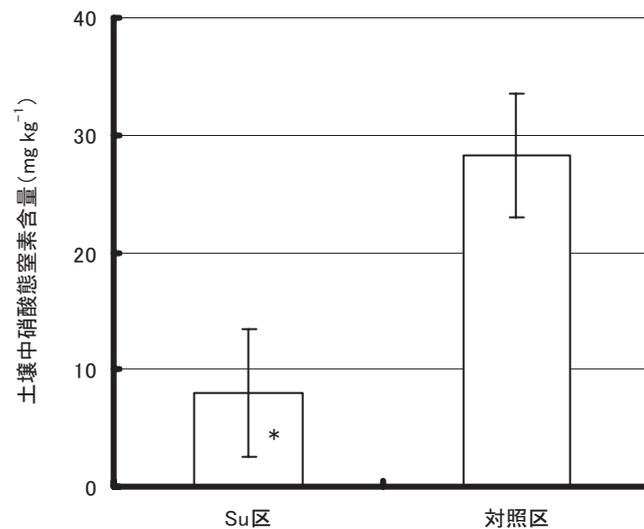


図5 スクロース施用が栽培跡地土壌の硝酸態窒素含量に及ぼす影響
*印は、t検定により対照区と比較して有意差があることを示す。*は有意水準5%，エラーバーは標準偏差を示す。(n=6)

Ⅳ. 考察

1. 土壌微生物活性と窒素の形態変化

一般的に、スクロースなどの水溶性糖類は、土壌微生物に呼吸基質として速やかに利用される。

土壌の酸素消費量は、基質を添加した場合、微生物の存在量に関係づけられ(石沢・田辺, 1969), また一部の土壌を除いて土壌微生物の増殖を最も強く制限している要因は炭素源としての有機物である(西尾, 1986)ことから、本報告でSu区の酸素消費量が開始後14時間までに急速に増加した要因は、微生物バイオマスがスクロースを炭素源として利用して増殖したためと考えられる(図1)。

一方で、土壌中の無機態窒素と微生物バイオマスの関係は、新鮮な有機物を施用していない畑土壌では土壌微生物による硝酸態窒素の取り込み活性は非常に低い(Nishio *et al.*, 1993)が、炭素率の高い有機物の施用下では微生物バイオマスに取り込まれる無機態窒素量が著しく増加するため、土壌はいわゆる窒素飢餓の状態になる。

このことから、本報告で無機態窒素が十分に存在する条件下においてスクロース、グルコースおよびフルクトースを施用した場合に処理後3日目までに土壌の無機態窒素含量が大きく低下した要因は、微生物バイオマスの増加とそれに伴う窒素の取り込みによるものと考えられる(図2)。

つまり、水溶性糖類の施用は、微生物バイオマスを増加させ、それに伴って土壌中の無機態窒素の大部分

を微生物バイオマスとして速やかに有機化させたと考えられる。

2. 水溶性糖類の施用と植物体内硝酸イオン含量の関係

植物は、主にアンモニア態や硝酸態などの無機態窒素を吸収・利用している。また、微生物バイオマスに有機化された窒素は、2:1型鉱物に固定された窒素などよりも作物に吸収されにくい(Preston, 1982)という報告もある。植物体内の硝酸イオン含有率と施肥窒素との間には正の相関があることが一般的に知られており、水耕栽培による生育後期の養分中断処理(吉田ら, 1998)や土耕栽培による土壌中の窒素成分を考慮した窒素診断施肥(加藤ら, 2008)により可食部硝酸イオン含有率を低下できるという報告がある。

本報告で、地上部の植物体内硝酸イオン含量が減少した要因は、収穫の14日前に土壌にスクロースを施用した結果、微生物バイオマスが増加しそれに伴い土壌に残存した無機態窒素が有機化し、植物の窒素吸収を抑制させたためと考えられる。また、収穫跡地土壌の硝酸態窒素含量がSu区で低い値であったことから(図5)、スクロース施用による土壌の無機態窒素の低減効果は収穫期まで維持できたと考えられる。

一方で、Su区の地上部重が対照区と比較して有意に低い値となったことから(図4)、無機態窒素を有機化して吸収を抑制する時期が早すぎた可能性がある。静置培養実験から、水溶性糖類施用による窒素の有機化に要する時間は30℃条件で3日程度と考えられることから(図2)、実際の栽培においてスクロース処理の時期をさらに遅くすることは可能であり、今後水溶性

糖類施用の実用化を図る上での検討事項である。

なお、炭素源の消耗に伴って微生物が死滅すると、微生物バイオマス態窒素は徐々に無機化されて、いずれ植物に吸収されると考えられる。微生物バイオマス態窒素の代謝回転速度は腐植と比べてはるかに速く、年間に複数回作付けする葉菜類においては次作への影響を考慮する必要がある、これについてもさらに検討する必要がある。

V. 摘要

水溶性糖類の施用が土壌中の無機態窒素の有機化に及ぼす影響や、チンゲンサイ栽培における水溶性等類の施用が作物体内の窒素栄養条件に及ぼす影響を検討した。

土壌の窒素濃度を 500mg kg^{-1} になるように硫酸アンモニウムまたは硝酸カリウムで施用し土壌の炭素濃度が $10,000\text{mg kg}^{-1}$ となるように水溶性炭素を施用して畑状態で培養した結果、土壌の酸素消費量は開始後14時間までに急速に増加し最高 $12\mu\text{g g}^{-1}\text{min}^{-1}$ になった後緩やかに低下した。また、そのときの土壌中の無機態窒素含量は、開始後3日間で急速に減少した。

チンゲンサイのポット栽培において、収穫14日前に土壌にスクロースを施用した結果、チンゲンサイの地上部硝酸イオン含量は対照区の約55%に低減した。また、収穫跡地土壌の硝酸態窒素含量は対照区の約28%であった。

以上のことから、土耕栽培におけるチンゲンサイの地上部硝酸イオン含量を低減させる方法として、収穫期の前に水溶性糖類を施用することが有効と考えられた。

引用文献

1. 石沢修一・田辺市郎. 1969. 土壌の微生物活性. 農技研報 B. 21 : 115 - 155.
2. 藤原隆広・熊倉裕史・大田智美・吉田祐子・亀野貞. 2005. 市販ハウレンソウの L-アスコルビン酸および硝酸塩含量の周年変動. 園学研. 4 (3) : 347 - 352.
3. J. リロンデル・J-L. リロンデル. 2006. 硝酸塩は本当に危険か (越野正義訳). pp. 65 - 125. 農文協. 東京.
4. 加藤一幾・植田稔宏・松本英一. 2008. 黒ボク土地域の高温期コマツナ施設栽培における可食部硝酸イオン濃度の低減化. 園学研. 7 (3) : 345 - 350.
5. 日本土壌協会編. 2001. 土壌機能モニタリング調査のための土壌, 水質及び植物体分析法. pp. 75 - 79. 日本土壌協会. 東京.
6. 西尾道徳. 1986. 植物養分の貯蔵源・供給源としての土壌微生物菌体. 農業技術. 41 (7) : 307 - 311.
7. Nishio, T・Sekiya, H・Kogano, K. 1993. Transformations of nitrogen fertilizer in plant-soil system with special attention to the comparison between submerged condition and upland field condition. *ibid.* 40 : 1 - 8.
8. Preston, C.M. 1982. Availability of residual fertilizer nitrogen immobilized as clay-fixed ammonium and organic N. *Can. J. Soil Sci.* 62 : 479 - 486.
9. 建部雅子・石原俊幸・松野宏治・藤本順子・米山忠克. 1995. 窒素施肥がハウレンソウとコマツナの生育と糖, アスコルビン酸, 硝酸, シュウ酸含有率に与える影響. 土肥誌. 66 : 238 - 246.
10. 安田 環. 2004. 野菜の硝酸濃度とその低減対策. 農及園. 79 : 647 - 651.
11. 米山忠克. 1982. 空気, 土, 水, 植物における硝酸, 亜硝酸, N-ニトロソ化合物. 保健の科学. 24 : 725 - 729.
12. 吉田 敦・原田和夫・菅原彰敏・但野利秋. 1998. 水耕ハウレンソウの糖, アスコルビン酸, 硝酸, シュウ酸含有量に及ぼす養分中断処理の効果と問題点. 土肥誌. 69 : 178 - 184.

非破壊計測手法によるメロンの食べ頃判定および予測

佐野健人・石井貴*・鹿島恭子

Predicting Whether Melons (*Cucumis melo* L.) Are Ready to Eat by Non-destructive Methods

Taketo SANO, Takashi ISHII and Kyouko KASHIMA

Summary

In ripe 'Andesu gogou' melons, the flesh firmness is 0.62 kg, and the acoustic impulse transmission is 44.5 m/s. If the acoustic impulse transmission is represented by y_a , and the number of days until the melon is ready to eat by x , the relationship between the two can be represented by $y_a = -3.65x + 44.5$. Thus, we can predict the number of days until the melon is ready to eat if we measure the acoustic impulse transmission. In ripe 'Ahrusu Miyabi Natsukei' melons, the flesh firmness is 0.52 kg, the acoustic impulse transmission is 40.0 m/s, and the elasticity index is 4.9×10^6 . From the definitions in the previous paragraph, the relationship between x and y_a can be represented by $y_a = 925/(x + 23.1)$. If the elasticity index is represented by y_e , its relationship with y_e can be represented by $y_e = 130/(x + 26.4)$. Thus, we can predict the number of days until the melon is ready to eat from these relationships.

キーワード：食べ頃，予測，メロン，果肉硬度，非破壊，打音伝搬速度，弾性指標

I. 緒言

メロンは収穫後に「追熟」の過程を経て、「食べ頃」となる品目である。しかしながら、メロンの追熟を人為的にコントロールすることは困難であり、販売者からは「食べ頃」を予測・判定する技術の確立が要望されている。

近年では非破壊で熟度を判定する研究が様々な品目について行われている。メロンについては杉山(1998)や黒木ら(2006)が非破壊計測機器を開発している。杉山の方法は、果実を叩いた時に、その音が一定の距離を伝わる速度(打音伝搬速度)が果実の軟化に伴い遅くなることを利用したものである。これに対し、黒木らの方法は、果実に振動を与えた場合に、果実が特定の周波数で共鳴すること、そしてその周波数が果実の軟化に伴い変化することを利用したものである。杉山の方法は一定距離間(マイクとマイクの間)の伝搬速度を測れば良いため、果実の大きさや重量の情報を

要しない利点がある反面、果実に接触させる必要があることや打点による誤差を考慮し複数点で複数回計測する必要がある。それに対し、黒木らの方法は周波数分布が果実の大きさに依存するため、果実の重量により補正する必要がある反面、測定部位による誤差が小さく、1果実あたりの測定回数が少なくすむ利点がある。

本報告では本県産春メロンの主力品種である「アンデス5号」、夏メロンの主力品種「アールス雅夏系」について、官能評価による硬さと熟度の関係を明らかにし、硬さを杉山、黒木らが開発した機器を用いて非破壊手法で測定することにより、「食べ頃」か否かを判定することと、測定値をもとにあと何日で「食べ頃」になるかを予測する方法について検討した。

II. 材料および方法

供試したメロン「アンデス5号」は茨城県銚田市

*現 茨城県北農林事務所 常陸大宮地域農業改良普及センター

の農協から、計量区分 LA, 品質区分優品を 2005 年 5 月 11 日と 25 日, 2006 年 5 月 11 日と 24 日, 2007 年 5 月 15 日と 6 月 12 日に、市場出荷品と同じものを購入し、20℃設定の人工気象室（人工光グロースキャビネット FR または KG:小糸工業株）で保存した。‘アールス雅夏系’は 2006 年 8 月 24 日と 2007 年 9 月 10 日には茨城県銚田市の生産者から計量区分 3L, 品質区分優品相当品を、さらに、2007 年 9 月 26 日に茨城県銚田市の農協から計量区分 3L, 品質区分優品の市場出荷品と同じものを購入し、25℃設定の人工気象室で保存した。

各果実は購入後 2～3 日おきに打音伝搬速度と弾性指標（‘アールス雅夏系’のみ）を測定し、測定後の一部の果実は果肉硬度の測定および食味官能評価（食味調査）に供した。

打音伝搬速度は非破壊式硬度計（ファームテスター SA-I: 東洋精機）を用い、果実 1 個当たり赤道面 4ヶ所を 3 打ずつ合計 12 打、打音伝搬速度を測定し、平均値を算出した。

弾性指標は非破壊式粘弾性測定器「食べ五郎」（2006）、小型振動解析装置 KP α -AP1（2007）（いずれも有生物振動研究所）を用い果実の第 2 共鳴周波数を求めた。第 2 共鳴周波数より、式（1）を用いて弾性指標を算出した。

$$\text{式(1): 弾性指標} = (\text{第 2 共鳴周波数 Hz})^2 \times (\text{果重 g})^{2/3}$$

果肉硬度は果実硬度計 KM-1（藤原製作所）で円柱型直径 5mm のプランジャーを用いて、果実縦断面の果肉中央部 3ヶ所（果実の上部、中央部、下部）の貫入抵抗値（kg）を測定し、果肉の貫入抵抗値の平均値を果肉硬度とした。

食味調査は、1 果実につき所内職員 16 人で硬さおよび熟度を以下の通り評価し、平均値を算出した。

硬さ「非常に硬い = -3 点, やや硬い = -2, わずかに硬い = -1 点, 丁度良い = 0 点, わずかに軟らかい = +1 点, やや軟らかい = +2 点, 非常に軟らかい = +3 点」

熟度「未熟 = -2 点, やや未熟 = -1 点, 適熟 = 0 点, やや過熟 = +1 点, 過熟 = +2 点」

Ⅲ. 結果および考察

1. 熟度と硬さの関係

図 1 に食味官能評価の「硬さ」と「熟度」の結果を品種別に示した。両品種ともに「硬さ」は「熟度」との相関が高く、「硬さ」を「熟度」の指標とすることは妥当と考えられた。‘アンデス 5 号’では「硬さ」+0.082 で、‘アールス雅夏系’では「硬さ」+0.205 で「適熟」となり、両品種とも「ごくわずかに軟らかい」と感じられたものが適熟と判定された。

食味官能試験による評価は、実際の人の味覚によるものであるという強みがある反面、パネラーを確保する必要があること、パネラーへの負担が大きく 1 回あたりの供試試料数を余り多くできないことなどが問題である。そのため、機械的に「硬さ」を評価する手法が望ましい。このような硬さの評価手段としては、硬度（果肉の貫入抵抗値）によるものが一般的である。図 2 に果肉硬度と「硬さ（食味官能評価）」の関係を示した。両品種とも硬さと硬度には有意な相関が見られた。「硬さ」と硬度の両変数を標準化した上で、線形関係式を用いて関係式を算出した（丹羽 2008）ところ、‘アンデス 5 号’では硬度 0.62kg で、‘アールス雅夏系’では硬度 0.52kg で先に上げた適熟の硬さとなった。

以上、熟度を硬さで評価するとともに、食味官能評

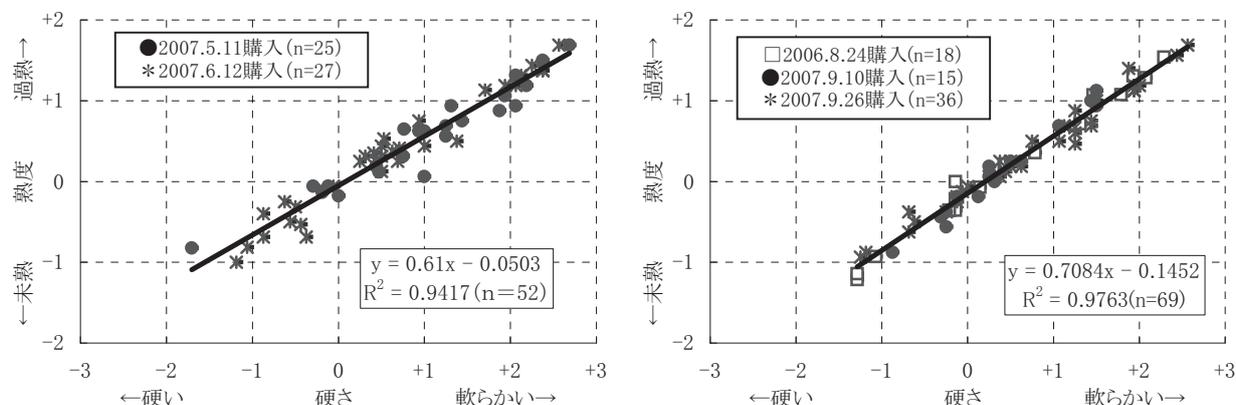


図1 食味官能調査による硬さと熟度の関係(左:アンデス5号、右:アールス雅夏系)

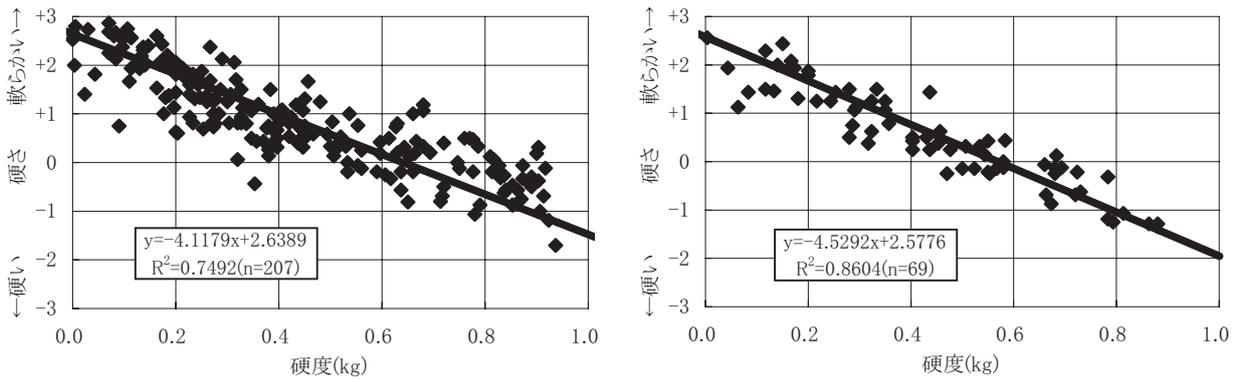


図2 硬度と食味官能評価による硬さの関係(左:アンデス5号、右:アールス雅夏系)

※ ‘アンデス5号’207個の内訳
 2005.5.11購入(n=40), 2005.5.25購入(n=40)
 2006.5.11購入(n=30), 2006.5.24購入(n=40)
 2007.5.15購入(n=25), 2005.6.12購入(n=32)

※ ‘アールス雅夏系’69個の内訳は図1に同じ

価に拠らず、果肉硬度から熟度を判定できると考えられ、‘アンデス5号’では硬度0.62kg, ‘アールス雅夏系’では硬度0.52kgで適熟となる。

2. 食べ頃の判定

前節で硬度から熟度の判定について述べたが、硬度を測る際には果実を切断(破壊)する必要があるため、ここでは非破壊による硬さの評価に取り組んだ。

打音伝搬速度および弾性指標(‘アールス雅夏系’のみ)を測定した果実の食味官能評価の結果を図3に示した。いずれの項目も硬さと有意な相関が見られ、前節と同様に、変数を標準化した上で、線形関係式を

用いて関係式を算出した(丹羽2008)ところ、‘アンデス5号’では打音伝搬速度44.5m/sで、‘アールス雅夏系’では打音伝搬速度40.0m/s、弾性指標 4.9×10^6 で前節で求めた適熟の硬さとなった。

以上、打音伝搬速度および弾性指標より硬さを評価できた。前節で述べたとおり硬さから熟度を判定できることから、‘アンデス5号’では打音伝搬速度44.5m/sで、‘アールス雅夏系’では打音伝搬速度40.0m/sまたは弾性指標 4.9×10^6 で適熟と考えられ、打音伝搬速度または弾性指標がこれらの値に近い場合は食べ頃と判定できる。

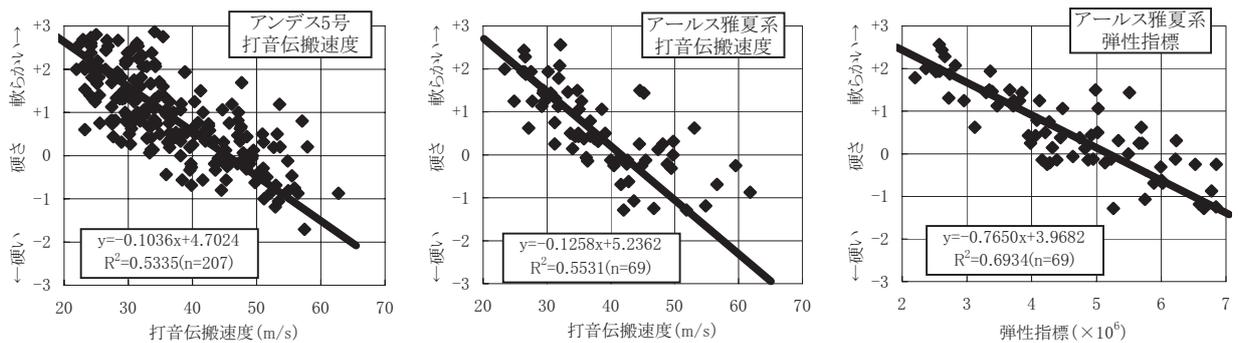


図3 打音伝搬速度または弾性指標と食味官能評価による硬さの関係(各メロンの購入日は図2に同じ)

3. 食べ頃の予測

店頭や商品のPOP、パンフレットなどでは、「出荷後(あるいは収穫後)何日」が「食べ頃」という表記が見られる。

しかしながら、図4に示したとおり、同一生産者が同一日に収穫・出荷した個体であっても打音伝搬速度および弾性指標にはバラツキが見られ、収穫日または

出荷日を基準に食べ頃までの日数を述べることには無理がある。

一方、打音伝搬速度や弾性指標から食べ頃までの日数を予測するには、その変化をモデル化し、モデルを基に変化量を算出、食べ頃を予測するといった手法が考えられる。

打音伝搬速度や弾性指標は果実の軟化に伴い変化す

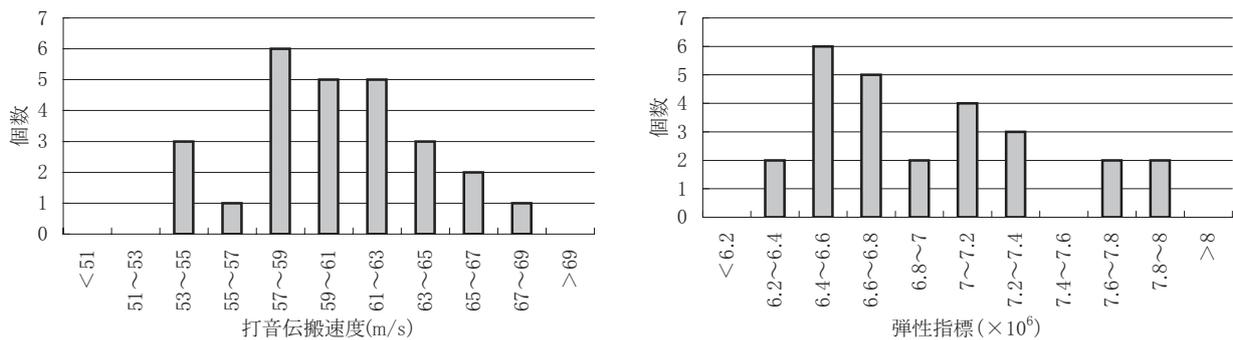


図4 同一生産者・同一収穫日のメロンの、打音伝搬速度(左)および弾性指標(右)の分布

※ 2007年9月10日購入・測定 of 'アールスメロン' 26個

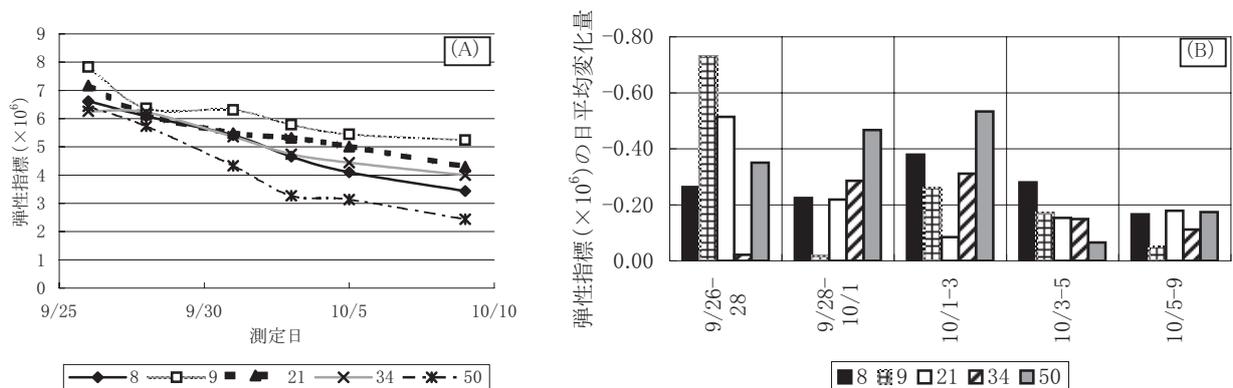


図5 弾性指標の経日変化(左:A)と変化量(右B)

※ 2007年9月26日購入の'アールスメロン'のうち、10/12まで経日的に測定した19個から無作為に5個を抽出し示した。凡例の番号は各メロンに付した識別番号

ることが知られており、高橋ら(2007)は弾性指標は直線的に減少するとし、それを根拠に適熟までの日数の推定の可能性に触れている。

図5Aに'アールスメロン'の弾性指標の測定結果の一部を示した。2007年9月26日に60個を農協より購入し10月12日まで経日的に測定した19個より無作為に5個のデータを示した。

先の高橋ら(2007)の述べたように、弾性指標が直線的に減少するのであれば、弾性指標の変化量は一定である。そこで、図5Bに、弾性指標の変化量を示したが、弾性指標の変化量は一定ではなかった。さらに、その変化量が一定しない傾向は'アンデス5号'の打音伝搬速度でも同様であった(データ略)。

このことから、打音伝搬速度および弾性指標の変化を近似するモデルそのものを検討する必要がある、経時的に減少する変数の近似として、以下を想定した。

- 1) 1次関数型: $y = ax + b$
- 2) 逆比例型: $y = a / (x + b)$
- 3) 指数型: $y = ae^{-bx}$

ここで、打音伝搬速度または弾性指標(以下、非破

壊指標と表す)を y 、食べ頃までの日数を x とすると、 a 、 b はいずれも定数であるが、それをどのように決定するかが課題である。

上述のように、モデルの構造が線形ではないものを含むため、「食べ頃までの日数」と「硬さ」に注目して一般線形化を行った。すなわち、「食べ頃までの日数」と実際に試食するまでの日数の差を X 、試食したときの硬さの官能評価値を Y としたとき、 $Y = \alpha X + \beta$ の関係(予測より早く食べると硬く、予測を過ぎて食べると軟らかく、予測どおりに食べると $\beta =$ 適熟の硬さとなる)を想定した。

この一般線形化されたモデルを満たし、その決定係数 R^2 が最も大きくなるように前述の1)~3)の定数を決定した。具体的には、「食べ頃までの日数」が0の時、食べ頃(適熟)となることから、 $x=0$ のとき、非破壊指標 y は先に述べた適熟の値となり、「アンデス5号」の打音伝搬速度を例にとると、 $x=0$ のとき、 $y=44.5\text{m/s}$ で、このことから1次関数型では b が44.5、逆比例型では a/b 、指数型では a が44.5となる。更に、表計算ソフト Microsoft Excel のソルバー

表1 非破壊指標変化を近似するモデル式のパラメータ類

| 品種 (測定方法) | アンデス5号 (打音伝搬速度) | | | アールス雅夏系 (打音伝搬速度) | | | アールス雅夏系 (弾性指標) | | | | | |
|--------------|--------------------|----------|-------------|---------------------|------|----------|--------------------|-------------|------|----------|-------------|-------------|
| | 式の種類 | $y=ax+b$ | $y=a/(x+b)$ | $y=ae^{bx}$ | 式の種類 | $y=ax+b$ | $y=a/(x+b)$ | $y=ae^{bx}$ | 式の種類 | $y=ax+b$ | $y=a/(x+b)$ | $y=ae^{bx}$ |
| a | | -3.62 | 730 | 44.5 | | -2.56 | 925 | 40.0 | | -0.253 | 130 | 4.92 |
| b | | 44.5 | 16.4 | -0.0700 | | 40.0 | 23.1 | -0.0521 | | 4.92 | 26.4 | -0.0439 |
| 式の種類 | $Y=\alpha X+\beta$ | | | $Y=\alpha X+\beta$ | | | $Y=\alpha X+\beta$ | | | | | |
| α | | 0.208 | 0.211 | 0.210 | | 0.151 | 0.163 | 0.157 | | 0.175 | 0.182 | 0.179 |
| β | | 0.128 | 0.128 | 0.128 | | 0.205 | 0.205 | 0.205 | | 0.205 | 0.205 | 0.205 |
| R^2 | | 0.595 | 0.591 | 0.594 | | 0.696 | 0.747 | 0.725 | | 0.799 | 0.813 | 0.808 |

表2 食べ頃までの日数の目安

| 品種 | 測定項目 | 食べ頃までの日数 | | | | | | |
|---------|-----------------------|----------|------|------|------|------|------|------|
| | | -6 | -4 | -2 | 0 | +2 | +4 | +6 |
| | | ←未熟 | | | 適熟 | 過熟→ | | |
| アンデス5号 | 打音伝搬速度(m/s) | 66.3 | 59.0 | 51.8 | 44.5 | 37.3 | 30.1 | 22.8 |
| アールス雅夏系 | 打音伝搬速度(m/s) | 54.0 | 48.4 | 43.8 | 40.0 | 36.8 | 34.1 | 31.8 |
| | 弾性指標($\times 10^6$) | 6.4 | 5.8 | 5.3 | 4.9 | 4.6 | 4.3 | 4.0 |

機能を用い、 $Y=\alpha X+\beta$ のモデルの R^2 を最大にするよう残りの定数を求めた。

その結果を表1に示した。 R^2 の大きい式を採用し、アンデス5号(打音伝搬速度)では一次関数型、アールス雅夏系では打音伝搬速度、弾性指標ともに反比例型に近似されたモデルを採用した。

採用したそれぞれのモデルより、非破壊指標と食べ頃までの日数を求めた(表2)。熟度判定が 0 ± 0.5 の範囲を適熟とすると、図1よりその範囲に相当する「硬さ」は「アンデス5号」で $-0.737 \sim +0.902$ 、「アールス雅夏系」で $-0.501 \sim +0.911$ である。

予測に用いたデータのうち、食べ頃までの日数が0

± 0.5 以内(食べ頃の日)で食味をしたメロンの「硬さ」は、「アンデス5号」で21個中20個が、「アールス雅夏系」では5個中4個(打音伝搬速度)または4個中4個すべてが先の「硬さ」の範囲に納まった。

なお、2008年産「アンデス5号」計量区分LAを 20°C で保存した17個のうち、購入日の打音伝搬速度から予測した食べ頃予測日に食味したもの2個は、「硬さ」 $+0.17$ と $+0.50$ であり、2個とも丁度良い硬さの範囲内であった(図6)。このときの各パネラーの評価点は、「硬さ」 $+0.17$ の果実(図7・A)で12名中8名が、「硬さ」 $+0.50$ の果実(図7・B)で同6名が「丁度良い」硬さと判定した。

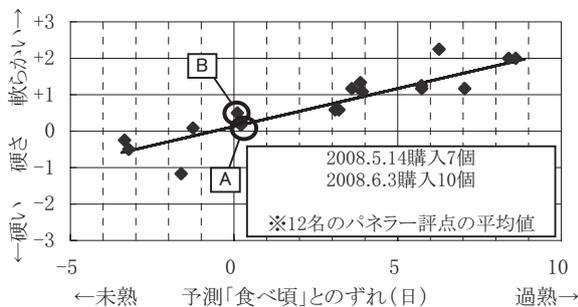


図6 「アンデス5号」の予測値(実線)と実測値(点)

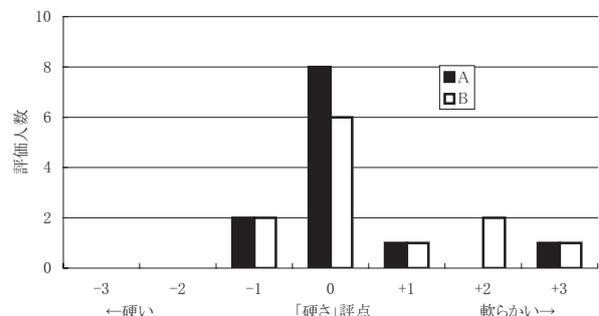


図7 「硬さ」食味評価のパネラー評点のずれ分布

※ 図6でA、Bと示した「アンデス5号」について、パネラー12名の「硬さ」食味評価の評点分布を示した。

IV. 摘要

‘アンデス5号’では果肉硬度 0.62kg の時に適熟となり、この時の打音伝搬速度は 44.5m/s である。打音伝搬速度を y 、食べ頃までの日数を x とすると、両者の関係は $y = -3.65x + 44.5$ で表すことができ、これにより食べ頃までの日数を予測することができる。

‘アールスメキシコ’では 0.52kg で適熟、この時の打音伝搬速度は 40.0m/s、弾性指標は 4.9×10^6 である。打音伝搬速度を y とすると $y = 925 / (x + 23.1)$ 、弾性指標を y とすると $y = 130 / (x + 26.4)$ で食べ頃までの日数との関係を表すことができ、これにより食べ頃までの日数を予測することができる。

引用文献

- 杉山純一. 1998. 打音によるメロンの非破壊計測. 農業および園芸. 73 : 238-246.
- 黒木信一郎・藤路陽・櫻井直樹. 2006. 簡易型非破壊食べ頃予測装置の開発. 園学雑 75 別 2 : 420.
- 高橋正大・谷脇満・藤路陽・櫻井直樹. 2007. 振動法によるメロンの熟度推定とその品種間比較. 園学研 6 別 2 : 386.
- 丹羽誠. 2008. これならわかる化学のための統計手法 - 正しいデータの扱い方. pp. 109. (株)化学同人. 京都.

茨城県におけるイチゴ炭疽病菌の菌種 および数種薬剤に対する耐性菌の発生状況

菊地麻里・小河原孝司・橋本由美・宮本拓也・金田真人・冨田恭範

Identification of *Colletotrichum* Species Causing Strawberry Anthracnose and Distribution of Fungal Strains Resistant to Some Fungicides in Ibaraki Prefecture

Mari KIKUCHI, Takashi OGAWARA, Yumi HASHIMOTO, Takuya MIYAMOTO, Masato KANEDA and Yasunori TOMITA

Summary

Strawberry anthracnose is caused by *Colletotrichum gloeosporioides* (teleomorph: *Glomerella cingulata*) and *C. acutatum*. Eighty isolates of the pathogen collected from 16 commercial strawberry fields in Ibaraki Prefecture, Japan, were tested for identification by using culture (Satou・koganezawa, 2005) and PCR methods (Ishii *et al.*, 1998). All the isolates were identified as *C. gloeosporioides*. Additionally, a total of 148 isolates collected from 30 commercial strawberry fields were examined for their sensitivity to the fungicides benomyl, diethofencarb and azoxystrobin by using a mycelial growth inhibition method on PDA agar medium and inoculation tests with potted strawberry plants. Every isolate tested was resistant to benomyl and sensitive to diethofencarb. As the result of inoculation tests with five isolates, diethofencarb+thiophanate-methyl showed good control efficacy against the 5 isolates, but this effect was lower than that of propineb. Then, the isolates from 19 of the 30 fields were resistant to azoxystrobin. Azoxystrobin had no effect against the isolates.

キーワード：分類・同定，薬剤耐性，防除，イチゴ，イチゴ炭疽病菌

I. 緒言

近年、茨城県では、イチゴ炭疽病が多発生し問題となっている。本病の病原菌には、主にしおれ症状を起こす *Colletotrichum gloeosporioides* (完全世代名：*Glomerella cingulata*) と、1991年に長崎市で発生した葉枯症状を主とする *C. acutatum* の2種が報告されている(築尾ら, 1992)。しかし、近年、北海道で *C. acutatum* がイチゴにしおれ症状を起こすとの報告がある(三澤ら, 2008)。本県において両菌の発生状況が調査された事例はなく、その分布状況は不明である。しかし、両菌種の判別は病徴のみでは困難であり、さらに、両菌は菌株や培養条件により類似した形態をと

る場合も多く、識別が困難である。両菌種を判別する方法として、佐藤・小金澤(1995)は両菌の薬剤感受性の違いにより、Ishii *et al.* (1998)は両菌に特異的なプライマーを用いたPCR法により判別出来ることを明らかにした。

また、*C. gloeosporioides* では、各種薬剤に対する耐性菌の発生が認められており、特にベノミルやチオファネートメチルを含むベンズイミダゾール系剤に対する耐性菌は、他県の主要なイチゴ産地において高頻度で検出されている(楠ら, 1992; 松尾, 1990; 岡山, 1991; 手塚・牧野, 1989)。また、ベンズイミダゾール系剤および本剤に負の交差耐性を示すN-フェニルカーバメート系剤であるジエトフェンカルブの両剤に

対し感受性が低下した菌株が低率だが認められている(稲田, 2009; 奈尾, 2005)。加えて, アゾキシストロビンに対する耐性菌の発生も報告されている(稲田ら, 2008a)。本県においても, これら薬剤は本病の防除に用いられているため, 感受性の変動には注意を払う必要がある。

そこで, 本研究では, 本県で発生する菌種を調査した。加えてベノミル, ジェトフェンカルブ, アゾキシストロビンに対する薬剤感受性について培地検定法により調査するとともに, これらを成分とする薬剤の防除効果をポット苗を用いた接種試験によって検討したので報告する。

II. 材料および方法

1. イチゴ炭疽病菌の菌種の判別

1) 培地検定法

茨城県内の16圃場から炭疽病の発病株を採取した。クラウン, 葉, 葉柄, ランナーの病徴部と健全部との境界部分から切り取った組織片を有効塩素濃度0.5%の次亜塩素酸ナトリウム水溶液で2~3分間表面殺菌した後, 素寒天平板(WA)培地に置床し, 25°Cで数日間培養して伸長した菌糸の先端部をPDA平板培地に置床した。本培地上に形成した分生子を, 滅菌水に懸濁後, WA培地上に塗抹し, 25°Cで一晩培養した後, 顕微鏡下で単孢子分離して炭疽病菌80菌株を得た。菌株は試験に供試するまで, 1/10濃度のPDA斜面培地上で, 4°Cで保存したものを供試した。

菌種の判別は, 佐藤・小金澤(1995)の方法に準じて行った。供試菌株をPDA平板培地において25°Cで5日間前培養し, 直径4mmのコルクボーラーで寒天ブロックと共に打ち抜いた菌そう先端部をベノミル1,250ppm添加, ジェトフェンカルブ625ppm添加または薬剤無添加の各PDA平板培地に置床した。なお, 使用した薬剤としては, それぞれベノミル50%水和剤(商品名:ベンレート水和剤)およびジェトフェンカルブ25%水和剤(商品名:パウミル水和剤, 住友化学工業(株)より分譲)を用い, ベノミルはオートクレーブ殺菌前, ジェトフェンカルブは殺菌後に約50°Cに冷ました培地に添加した。25°Cで5日間培養した後, 培地上に生育した菌そうの直径を測定し, 薬剤無添加培地に対する生育率を下記の式により算出した。

$Y=A/B \times 100$ 。Yは生育率(%), Aは薬剤添加

PDA培地での菌そう直径(mm), Bは薬剤無添加PDA培地での菌そう直径(mm)を示す。

判定はベノミル添加培地で無添加培地と比較し20%以下の生育率を示す菌株を*C. gloeosporioides*, ベノミル添加培地で20%以上の生育率を示し, ジェトフェンカルブ添加培地で20%以上の生育率を示す菌株を*C. acutatum*とした。また, *C. gloeosporioides*のベンズイミダゾール系剤耐性菌の場合は, ベノミル添加培地で20%以上の生育率を示すが, ジェトフェンカルブ添加培地では20%以下の生育率を示すことで判別した。なお, 検定はいずれの培地とも各菌株においてそれぞれ2反復で行った。

2) PCR法

上述の培地検定法と同様の菌株を供試した。供試菌株をPS液体培地において28°Cで5日間培養し, ガーゼで菌糸を取り除いた後, 室温で10分間, 3,000rpmで遠心分離を行い, 沈殿した分生子の全量をDNA抽出に供試した。DNA抽出はISOPLANT II(ニッポンジーン, 東京)を用いて行った。

PCR反応に供試するプライマーは, 上流に*C. gloeosporioides*を特異的に検出するプライマーCgInt(Mills *et al.*, 1992), または, *C. acutatum*を特異的に検出するCaInt2(Sreenivasaprasad *et al.*, 1996)を, 下流にITS4(White *et al.*, 1990)を用いた。PCR反応液は, DNA抽出サンプル2μLを鋳型として用い, dNTP 0.2mM, 上述の各プライマー0.5μM, Taq DNA polymerase(Promega, USA) 1.25Uになるように混合し, 反応量を20μLとした。PCR反応は94°C×4分の熱変性後, 94°C×1分, 59°C×2分, 72°C×2分を40サイクル行い, 最後の伸長反応を72°C×7分で行った(Ishii *et al.*, 1998)。得られたPCR産物を1.5%アガロースゲルで電気泳動し, エチジウムブロマイドで染色した後, 紫外線照射下でCgIntとITS4の組み合わせでは450bp付近, CaInt2とITS4の組み合わせでは500bp付近のバンドの有無を調査した。なお, 現地から採集した菌株を供試する前に, *C. gloeosporioides*, *C. acutatum*および*Fusarium oxysporum* f. sp. *melonis*の園研保存菌株を用いてプライマーの有効性を確認した。

2. 数種薬剤に対する感受性の検定

1) ベノミルおよびジェトフェンカルブ

炭疽病菌の菌種を判別するのに供試した80菌株に

加え、新たに上述の方法で14圃場から採取した68菌株を供試した。両剤に対する感受性の検定は稲田(2009)に準じて行った。供試菌株をPDA平板培地において、25℃で5日間前培養し、直径4mmのコルクボーラーで寒天ブロックと共に打ち抜いた菌そう先端部をベノミル10ppm添加、ジエトフェンカルブ10ppm添加、薬剤無添加の各PDA平板培地に置床した。なお、使用した薬剤は前述の培地検定の薬剤と同様である。25℃で3日間培養した後、培地上に1mm以上の菌そう生育が認められる場合を耐性菌とし、1mm未満、または生育が認められない場合を感受性菌と判定した。なお、検定はいずれの培地とも各菌株においてそれぞれ2反復で行った。

2) アゾキシストロビン

上述のベノミルおよびジエトフェンカルブの感受性検定と同様の菌株を供試した。本剤に対する感受性検定は稲田ら(2006)の方法に準じて行った。すなわち、供試菌株をPDA平板培地において、25℃で5日間前培養し、直径4mmのコルクボーラーで寒天ブロックと共に打ち抜いた菌そう先端部を、アゾキシストロビン100ppm(商品名:アミスター20フロアブル)添加およびサリチルヒドロキサム酸(SHAM)1,000ppm添加、SHAMのみを添加した各PDA平板培地に置床した。25℃で3日間培養した後、菌糸伸長が見られなかった菌株を感受性菌、SHAMのみを加用したPDA平板培地上の菌そうと同程度に伸長した菌株を耐性菌と判断した。

3. 数種薬剤の防除効果の検討

前述の培地検定において異なる薬剤感受性を示した5菌株について薬剤の防除効果をイチゴポット苗を用いた接種試験により検討した。供試薬剤は、感受性検定で用いた成分または同系統の成分からなるジエトフェンカルブ・チオファネートメチル水和剤(商品名:ゲッター水和剤)1,000倍液とアゾキシストロビン水和剤(商品名:アミスター20フロアブル)2,000倍液とし、対照薬剤としてプロピネブ水和剤(商品名:アントラコール顆粒水和剤)500倍液を用いた。なお、菌株は、2008年に茨城県内で分離した本病原菌である*C. gloeosporioides*のIbCG08002(銚田市A圃場)、IbCG08003(銚田市B圃場)、IbCG08012(水戸市A圃場)、IbCG08005(銚田市C圃場)およびIbCG0810(銚田市G圃場)の計5菌株を供試

した。5菌株ともベノミル耐性菌かつジエトフェンカルブ感受性菌であり、アゾキシストロビンに対してはIbCG08002、IbCG08003、IbCG08012が耐性、IbCG08005、IbCG08010が感受性である。接種には、PS液体培地で振とう培養し、2重のガーゼでろ過した後、分生子を滅菌水に懸濁して作成した分生子懸濁液(1×10⁵個/mL)を用いた。イチゴ5葉期苗(品種‘とちおとめ’)10株に、上記の3薬剤をそれぞれ10mL/株を散布し、24時間経過後、分生子懸濁液5mL/株を噴霧接種した。接種後、ポリ袋で覆って高湿度条件とし、約28℃で3日間静置した後、パイプハウス内で管理した。接種約20日後に炭疽病の発病状況を株別に調査し、指数化して発病度および防除価を下記により算出した。

発病指数は、0:発病を認めない、1:小葉または葉柄にわずかな病斑(10個以内)、2:小葉または葉柄に多数の病斑、3:葉柄の折損、4:株全体の萎ちようまたは枯死。

発病度 = \sum (指数別発病株数 × 指数) × 100 / (4 × 調査株数)。

防除価 = $\{1 - (\text{薬剤処理区の平均発病度} / \text{無処理区の平均発病度})\} \times 100$ 。

Ⅲ. 結果

1. イチゴ炭疽病菌の菌種の判別

1) 培地検定法

本県の16圃場から採取した80菌株のうち66菌株は、薬剤無添加培地と比較し、ベノミル添加培地での生育率が20%以下であった(表1)。また、残りの14菌株についても、ベノミル添加培地では生育率が20%以上で、かつ、ジエトフェンカルブ添加培地ではほとんど菌糸生育を認めなかった。したがって、本検定に供試した80菌株は、すべて*C. gloeosporioides*と判断された。

2) PCR法

プライマーの有効性を確認した結果、*C. gloeosporioides*では、*C. gloeosporioides*を検出するCgIntとITS4のプライマーセットのみでバンドが認められ、*C. acutatum*では*C. acutatum*を検出するCaInt2とITS4のセットでのみバンドが認められたのに対し、*Fusarium oxysporum* f. sp. *melonis*では両プライマーセットでバンドが認められなかったことか

表1 茨城県で採集したイチゴ炭疽病菌の培地検定法およびPCR法による検定結果

| 採取場所 ¹⁾ | 供試菌株数 | 薬剤添加培地における | | | | PCR増幅されたプライマー | |
|--------------------|-------|------------------------------|----------|----------|----------|----------------------------|-------------|
| | | 菌糸生育率別の菌株数 (株) ²⁾ | | | | セット別の菌株数 (株) ³⁾ | |
| | | Ben:<20% | Ben:>20% | Ben:>20% | Ben:>20% | CgInt+ITS4 | CaInt2+ITS4 |
| | | — | Die:<20% | Die:>20% | | | |
| 鉾田市 | A | 5 | 5 | 0 | 0 | 5 | 0 |
| | B | 8 | 8 | 0 | 0 | 8 | 0 |
| | C | 5 | 3 | 2 | 0 | 5 | 0 |
| | D | 4 | 3 | 1 | 0 | 4 | 0 |
| | E | 3 | 3 | 0 | 0 | 3 | 0 |
| | F | 5 | 4 | 1 | 0 | 5 | 0 |
| | G | 5 | 4 | 1 | 0 | 5 | 0 |
| | H | 5 | 5 | 0 | 0 | 5 | 0 |
| | I | 5 | 4 | 1 | 0 | 5 | 0 |
| | J | 5 | 3 | 2 | 0 | 5 | 0 |
| | K | 5 | 5 | 0 | 0 | 5 | 0 |
| 水戸市 | 5 | 5 | 0 | 0 | 5 | 0 | |
| 常陸大宮市 | 5 | 4 | 1 | 0 | 5 | 0 | |
| 行方市 | 5 | 4 | 1 | 0 | 5 | 0 | |
| 稲敷市 | 5 | 1 | 4 | 0 | 5 | 0 | |
| 笠間市 (園研) | 5 | 5 | 0 | 0 | 5 | 0 | |
| 合計 | 80 | 66 | 14 | 0 | 80 | 0 | |

1) 鉾田市のA~Kは採取場所が同一市内で異なることを示す。

2) 菌糸生育率(%) = (薬剤添加PDA培地での菌そう直径 (mm)/薬剤無添加PDA培地での菌そう直径 (mm))。検定は佐藤・小金澤 (1995) に準じた。なお, Benはベノミル添加培地, Dieはジエトフェンカルブを示す。

3) 用いたプライマーCgInt, CaInt2, ITS4はそれぞれ, Mills *et al.* (1992), Sreenivasaprasad *et al.* (1996), White *et al.* (1990) より, 反応条件はIshii *et al.* (1998) より引用した。

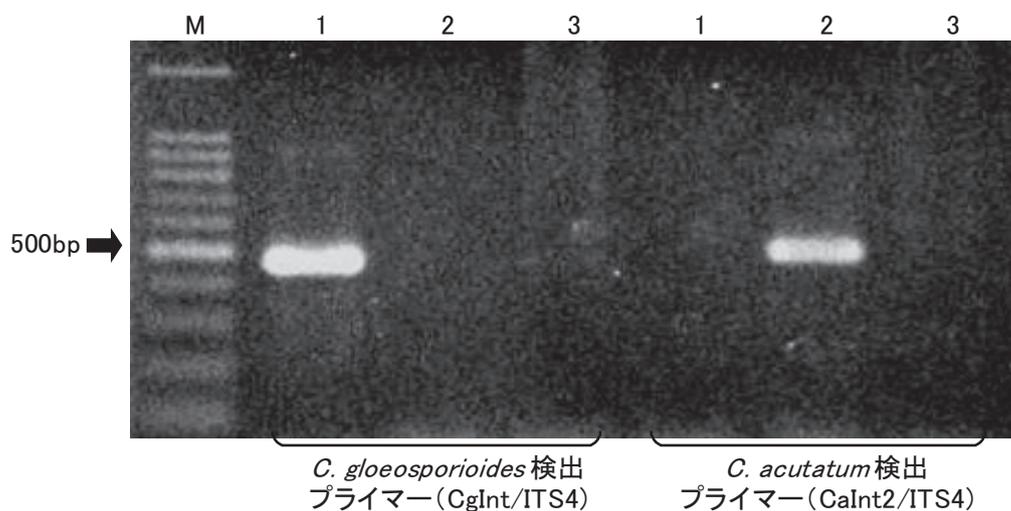


図1 特異的プライマーを用いたPCRによる

Colletotrichum gloeosporioides 及び *C. acutatum* の判別

レーンM: マーカー (100bpラダー)

レーン1: *C. gloeosporioides* (園研保存菌株)

レーン2: *C. acutatum* (園研保存菌株)

レーン3: *Fusarium oxysporum* f. sp. *melonis* (園研保存菌株, コントロール)

ら、プライマーの有効性を確認することが出来た（図1）。

このプライマーを用いてPCRを行った結果、茨城県の16圃場から採取した80菌株すべてで、*C. gloeosporioides*を検出するプライマーセットで450bp付近にバンドが認められ、*C. acutatum*を検出するCaInt2とITS4のセットではバンドは認められなかった（表1）。

2. 数種薬剤に対する感受性の検定

1) ベノミルおよびジエトフェンカルブ

30圃場から採取した148菌株すべてが、ベノミル添加培地において、培地上に1mm以上の菌そう生育が認められたことから耐性菌と判定した（表2）。また、ジエトフェンカルブ添加培地ではすべての菌株で菌そう生育が認められなかったことから感受性菌と判定した。

2) アズキシストロビン

30圃場のうち19圃場から分離した炭疽病菌は、アズキシストロビンおよびSHAM加用培地上において、SHAMのみを添加した培地とほぼ同等の菌そう生育が認められたことから本剤耐性菌であった。その他の11圃場から分離した菌株は、殺菌剤添加培地で菌そう生育が認められなかったことから、感受性菌であった。（表2）。

3. 数種薬剤の防除効果の検討

供試した菌株に対する、ジエトフェンカルブ・チオファネートメチル水和剤の防除価は、53～67であり、対照のプロピネブ水和剤と比べて、やや低い防除効果が認められた（表3）。アズキシストロビン水和剤は本剤耐性菌に対しては、防除効果が認められなかったが、感受性菌に対しては防除価33または71と菌株によりばらつきはあるものの耐性菌と比較し防除価が高かった。

表2 茨城県におけるイチゴ炭疽病菌のベノミル、ジエトフェンカルブ、アズキシストロビンに対する耐性菌の発生状況

| 採取場所 ¹⁾ | 供試菌株数 (株) | 各薬剤感受性別菌株数 (株) ²⁾ | | | | | | 菌株採取年月日 | |
|--------------------|--------------|------------------------------|-----|-----------|----|-----------|----|------------|-------------|
| | | ベノミル | | ジエトフェンカルブ | | アズキシストロビン | | | |
| | | 感受性 | 耐性 | 感受性 | 耐性 | 感受性 | 耐性 | | |
| 鉾田市 | A | 5 | 0 | 5 | 5 | 0 | 0 | 5 | 2008年6月13日 |
| | B | 8 | 0 | 8 | 8 | 0 | 0 | 8 | 2008年6月18日 |
| | C | 5 | 0 | 5 | 5 | 0 | 5 | 0 | 2008年6月18日 |
| | D | 4 | 0 | 4 | 4 | 0 | 0 | 4 | 2008年6月18日 |
| | E | 3 | 0 | 3 | 3 | 0 | 3 | 0 | 2008年6月18日 |
| | F | 5 | 0 | 5 | 5 | 0 | 5 | 0 | 2008年6月18日 |
| | G | 5 | 0 | 5 | 5 | 0 | 5 | 0 | 2008年8月19日 |
| | H | 5 | 0 | 5 | 5 | 0 | 0 | 5 | 2008年9月11日 |
| | I | 5 | 0 | 5 | 5 | 0 | 0 | 5 | 2008年9月26日 |
| | J | 5 | 0 | 5 | 5 | 0 | 0 | 5 | 2008年11月5日 |
| | K | 5 | 0 | 5 | 5 | 0 | 5 | 0 | 2008年11月5日 |
| | L | 5 | 0 | 5 | 5 | 0 | 0 | 5 | 2008年11月28日 |
| | M | 3 | 0 | 3 | 3 | 0 | 0 | 3 | 2008年12月9日 |
| | N | 5 | 0 | 5 | 5 | 0 | 5 | 0 | 2008年12月24日 |
| 水戸市 | O | 5 | 0 | 5 | 5 | 0 | 0 | 5 | 2008年12月17日 |
| | P | 5 | 0 | 5 | 5 | 0 | 0 | 5 | 2008年12月17日 |
| | Q | 5 | 0 | 5 | 5 | 0 | 0 | 5 | 2009年7月29日 |
| | A | 5 | 0 | 5 | 5 | 0 | 0 | 5 | 2008年9月11日 |
| | B | 5 | 0 | 5 | 5 | 0 | 0 | 5 | 2009年6月15日 |
| | C | 5 | 0 | 5 | 5 | 0 | 5 | 0 | 2009年8月28日 |
| | D | 5 | 0 | 5 | 5 | 0 | 5 | 0 | 2009年9月30日 |
| | E | 5 | 0 | 5 | 5 | 0 | 0 | 5 | 2009年9月30日 |
| | 小美玉市 | 5 | 0 | 5 | 5 | 0 | 5 | 0 | 2009年1月20日 |
| | 常陸大宮市 | A | 5 | 0 | 5 | 5 | 0 | 0 | 5 |
| B | | 5 | 0 | 5 | 5 | 0 | 5 | 0 | 2009年8月18日 |
| 行方市 | 5 | 0 | 5 | 5 | 0 | 0 | 5 | 2008年6月30日 | |
| 稲敷市 | 5 | 0 | 5 | 5 | 0 | 0 | 5 | 2008年11月6日 | |
| 筑西市 | A | 5 | 0 | 5 | 5 | 0 | 0 | 5 | 2009年2月23日 |
| | B | 5 | 0 | 5 | 5 | 0 | 5 | 0 | 2009年6月23日 |
| 笠間市（園研） | 5 | 0 | 5 | 5 | 0 | 0 | 5 | 2008年4月9日 | |
| 合計 | 148 | 0 | 148 | 148 | 0 | 53 | 95 | | |

1) A～Qのアルファベットは採取場所が同一市内で異なることを示す。

2) ベノミルおよびジエトフェンカルブの検定は稲田（2009），また，アズキシストロビンの検定は稲田ら（2006）の培地検定法に準じて行った。

表3 各種薬剤のイチゴ炭疽病に対する防除効果

| 供試薬剤 (希釈倍率) | 各菌株に対する防除価 ¹⁾²⁾ および無処理における発病度 | | | | |
|--|--|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | IbCG08002 | IbCG08003 | IbCG08012 | IbCG08005 | IbCG08010 |
| ジエトフェンカルブ・ チオファネートメチル水和剤 (1000倍) | 58 | 53 | 67 | 56 | 63 |
| アゾキシストロビン水和剤 (2000倍) | 0 | 0 | 0 | 33 | 71 |
| プロピネブ水和剤 (500倍) | 92 | 93 | 100 | 89 | 77 |
| 無処理区 | 60 | 75 | 45 | 45 | 35 |

1) 接種菌株はいずれも *Colletotrichum gloeosporioides* であり, IbCG08002, IbCG08003 および IbCG08012 はアゾキシストロビン耐性菌で, IbCG08005 および IbCG08010 はアゾキシストロビン感受性菌である。

2) 薬剤散布した24時間後に, 供試菌株の分生子懸濁液 (1×10^5 個/ml) を接種し, 約20日後に発病状況を調査し, 発病度から防除価を算出した。発病指数は, 0: 発病を認めない, 1: 小葉または葉柄にわずかな病斑 (10個以内), 2: 小葉または葉柄に多数の病斑, 3: 葉柄の折損, 4: 株全体の萎ちょうまたは枯死, とし, 発病度 = Σ (指数別発病株数 \times 指数) \times 100 / (4 \times 調査株数), 防除価 = {1 - (薬剤処理区の平均発病度 / 無処理区の平均発病度)} \times 100 を算出した。

IV. 考察

Colletotrichum gloeosporioides と *C. acutatum* は薬剤に対する感受性が異なることが報告されており (松尾ら, 1994), 防除対策を行う上でその判別が重要となる。本研究では, 供試した80菌株の全てが, 培地検定法 (佐藤・小金澤, 1995) および PCR 法 (Ishii *et al.*, 1998) により *C. gloeosporioides* であることが強く示唆された。今回の調査では認められなかった, *C. acutatum* による炭疽病は, これまでに, 岩手 (河野・木曾, 1990), 栃木 (石川ら, 1992), 静岡 (秋田, 1992), 佐賀 (築尾・小林, 1992) および長崎 (築尾ら, 1992) で発生が確認されているが, その後, 全国のイチゴ産地での大きな被害は報告されていない。*C. acutatum* による炭疽病の被害が一部にとどまっている原因については明らかではない。本県においても今後発生が拡大する可能性はあるものの, 現時点での炭疽病の防除対象となる病原菌は *C. gloeosporioides* が主体になると考えられた。

さらに, 本県における炭疽病菌の数種薬剤に対する感受性を検討したところ, 本検定で供試した148菌株すべてがベンズイミダゾール系薬剤耐性, かつ, ジエトフェンカルブ感受性であった。奈尾 (2005) によると, 従来, ベノミル水和剤は本病に対して優れた効果を示していたが, 耐性菌が優占化した2003年時点での防除効果は低下していた。本県においても, 本剤は根部浸漬等で萎黄病防除も兼ねて使用されているが, 今回

の結果から本病に対する効果は期待できないと考えられた。一方, この耐性菌に対してジエトフェンカルブ・チオファネートメチルはプロピネブには及ばないものの防除効果を示した。ベンズイミダゾール系薬剤とジエトフェンカルブは負の交差耐性を示すことから, 本県において, この混合剤は耐性菌に対しても有効と考えられた。しかし, 近年, 他県において両剤に耐性を示す菌株の発生が認められている (稲田, 2009; 奈尾, 2005)。今回の結果では, そのような菌株の発生は認められなかったが, 本混合剤の使用には十分注意を払う必要がある。

また, アゾキシストロビンに対する耐性菌も高頻度で検出され, この耐性菌に対する本剤の接種試験による防除効果も低下していた。稲田 (2008b) によると, 佐賀県において, 本耐性菌は2003年に初確認以降, 2007年まで高頻度で検出されていた。同報告と同様に本研究においても, 薬剤の使用状況が明らかとなっていないため, 耐性菌がどのような散布体系の中で発生しているのかは不明である。しかし, アゾキシストロビン等の QoI 剤は耐性菌発生リスクが高い剤であること (Keith・Derek, 2007) キュウリうどんこ病菌やべと病菌 (Ishii *et al.*, 2001), 褐斑病菌 (伊達ら, 2004), ナスすすかび病 (矢野・川田, 2003) など各種病原菌においてもやはり高頻度で耐性菌が検出されていることを考慮すれば, イチゴ炭疽病菌においても耐性菌の発生には同剤の連用等の不適切な使用が直接関与しているとは考えづらく, QoI 剤を適切に使用し

たとしても耐性菌の密度の急増につながると考えられる。したがって、本研究において耐性菌が検出された圃場はもちろん、検出されなかった圃場においても本剤の使用には注意が必要である。

イチゴの育苗期間は3ヶ月以上を要し、この間、炭疽病防除に多くの薬剤散布が行われている。各種薬剤への耐性菌が認められており、薬剤防除のみに頼るだけでは、本病を防ぐことは困難である。育苗方法も含めた効果的な防除法を確立する必要がある。

V. 摘要

茨城県における、*Colletotrichum gloeosporioides* と *C. acutatum* の発生状況を培地検定法（佐藤・小金澤, 1995）およびPCR法（Ishii *et al.*, 1998）により検討した。その結果、16圃場から採集した全80菌株が *C. gloeosporioides* であり、*C. acutatum* は確認されなかった。さらに、本県における *C. gloeosporioides* の数種薬剤に対する感受性を培地検定を用いて調査するとともにその防除効果をイチゴポット苗を用いた接種試験で検討した。培地検定の結果、30圃場から採取した148菌株すべてがベンズイミダゾール系剤耐性菌、かつ、ジエトフェンカルブ感受性菌であった。これらの菌株のうち5菌株について、接種試験を行ったところ、ジエトフェンカルブ・チオファネートメチル水和剤の防除効果はプロピネブ水和剤に比べやや劣るが、効果が認められた。また、アゾキシストロビン水和剤に対する耐性菌は、30圃場のうち19圃場で認められ、耐性菌に対し、本剤の防除効果は認められなかった。

謝辞 本研究を行うにあたり、佐賀県農業試験研究センター稲田稔特別研究員にご指導ご助言をいただきました。ジエトフェンカルブ水和剤は住友化学工業（株）より分譲いただきました。また、各地域農業改良普及センターのみなさまには、イチゴ炭疽病菌の採集にあたり、多大なご協力を頂きました。ここに心より感謝申し上げます。

引用文献

1. 秋田滋 .1992. 静岡県のイチゴから分離された炭そ病菌の性質. 関東病虫研報 .39 : 135-136.
2. 伊達寛敬・片岡英子・谷名光治・佐々木静江・井上幸次・那須英夫・粕山信二 .2004. 岡山県におけるチオファネートメチル, ジエトフェンカルブ及びアゾキシストロビンに対するキュウリ褐斑病菌の感受性. 日植病報 .70.10-13.
3. 稲田稔・山田智子・石井英夫 .2006. イチゴ炭疽病菌 (*Glomerella cingulata*) のアゾキシストロビン剤耐性検定. 日植病報 .72 (4) : 260 (講要) .
4. 稲田稔・石井英夫・Chung, Wen-Hsin・山田智子・山口純一郎・古田明子 .2008a. ストロビルリン系薬剤耐性イチゴ炭疽病菌 (*Colletotrichum gloeosporioides* (*Glomerella cingulata*)) の発生. 日植病報 .74 : 114-117.
5. 稲田稔・山口純一郎・古田明子 .2008b. 佐賀県におけるストロビルリン系剤耐性イチゴ炭疽病菌 (*Glomerella cingulata*) の発生推移. 日植病報 .74(3) : 270 (講要) .
6. 稲田稔・山口純一郎・古田明子 .2009. 佐賀県におけるベンズイミダゾール系薬剤およびジエトフェンカルブ剤耐性イチゴ炭疽病菌 (*Glomerella cingulata*) の発生と各種薬剤の防除効果. 九病虫研報 .55 : 31-36.
7. Ishii, H., Iwamoto, S., Nishimura, K., and Fukaya, M., 1998. Comparative studies on fungicide sensitivity and other characteristics in *Colletotrichum* isolated from various plant species. Proceedings of the 1998 Brighton Conference, Pest & Dis. 529-534.
8. Ishii, H., Fraaije, B. A., Sugiyama, T., Noguchi, K., Nishimura, K., Takeda, T., Amano, T. and Hollomon, D. W., 2001. Occurrence and molecular characterization of strobilurin resistance in cucumber powdery mildew and downy mildew. Phytopathology. 91 : 1166-1171.
9. 石川成寿 .1992. 栃木県で発生した *Colletotrichum acutatum* Simmonds によるイチゴ炭そ病. 関東病虫研報 .39 : 129-133.
10. 河野敏郎・木曾皓 .1990. 岩手県下で発生したイチゴ炭そ病菌の2,3の性質. 関東病虫研報 .37 : 115-116.
11. Keith, J. B. and Derek, W. H., 2007. Fungicide Resistance in Crop Pathogens: How can it be managed?. pp. 23-27. CROPLIFE INTERNATIONAL, Belgium.
12. 楠幹生・三浦靖・十河和博・都崎芳久 .1992. イチゴ炭そ病に関する研究 第1報 香川県におけるイチゴ炭そ病のベノミル耐性菌発生と各種薬剤の

- 効果. 香川農試研報 .43 : 29-35.
13. 松尾和敏 .1990. 長崎県におけるイチゴ炭そ病の性状と同定. 九病虫研報 .36 : 41-45.
14. 松尾和敏・管康弘・中須賀孝正 .1994.*Colletotrichum acutatum* によるイチゴ炭そ病の薬剤防除法. 九病虫研報 .40 : 17-21.
15. Mills,P.R.Sreenivasaprasad,S. and Brown,A.E..1992. Detection and differentiation of *Colletotrichum gloeosporioides* isolates using PCR.FEMS Microbiol.Lett.98 : 137-144.
16. 三澤知央・柏森美如・堀田治邦 .2008.*Colletotrichum acutatum* による萎凋性のイチゴ炭疽病の発生. 日植病報 .74 : 82 (講要) .
17. 奈尾雅浩 .2005. 愛媛県におけるイチゴ炭疽病 (*Glomerella cingulata*) に対する薬剤の防除効果. 愛媛農試研報 .39 : 50-59.
18. 岡山健夫 .1991. ベノミル剤耐性イチゴ炭そ病菌の出現とその対策, 関西病虫研報 .33 : 15-19.
19. 佐藤豊三・小金澤硯城 .1995. 日本産 *Colletotrichum acutatum* の *Colletotrichum gloeosporioides* 類似菌株と両種の判別法. 日植病報 .61 : 619-620 (講要) .
20. Sreenivasaprasad,S.,Sharada,K.,Brown,A. E.and Mills,P.R..1996.PCR-based detection of *Colletotrichum acutatum* on strawberry.Plant Pathol.45 : 650-655.
21. 手塚信夫・牧野孝宏 .1989. イチゴ炭そ病の発生様相と防除. 関東東山病虫研報 .36 : 92-94.
22. 築尾嘉章・小林紀彦 .1992. イチゴから分離された *Colletotrichum acutatum* に類似する炭そ病菌. 日植病報 .58 : 114 (講要) .
23. 築尾嘉章・小林紀彦・松尾和敏・太田孝彦 .1992. イチゴ葉枯炭そ病 (新称) 菌の分類学的検討. 日植病報 .58 : 554 (講要) .
24. White T.J.,Bruns T.D.,Lee S.,and Taylor J.T..1990. Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics. PCR protocols : a guide to methods and applications.315-322.Academic Press.U.K..
25. 矢野和孝・川田洋一 .2003. ストロビルリン系薬剤耐性ナスすすかび病菌の発生. 日植病報 .69 : 220-223.

温湯散布によるイチゴ炭疽病および灰色かび病防除の可能性

小西博郷・小河原孝司・島本桂介・冨田恭範

Hot Water Spraying for the Control of Anthracnose and Gray Mold on Strawberry

Hirosato KONISHI, Takashi OGAWARA, Keisuke SHIMAMOTO and Yasunori TOMITA

Summary

The effects of hot water spraying on strawberry anthracnose or gray mold were examined in order to determine whether it is possible to control these diseases and the optimum conditions for protecting strawberry plants from these fungi. Hot water spraying before or after the inoculation of anthracnose or gray mold pathogens was found to be effective in terms of controlling the disease. A spraying time of 30 seconds required a spraying temperature of 40°C or more, and a spraying time of 10 seconds or more required a spraying temperature of 50°C. Moreover, hot water spraying at 45°C for 30 seconds did not injure the strawberry plants. Therefore, hot water spraying can be used for the control of strawberry anthracnose or gray mold.

キーワード：イチゴ，温湯散布，炭疽病，灰色かび病

I. 緒言

イチゴ栽培における農薬使用量は他の野菜に比べて多く、多方面から減農薬への取り組みが求められている。また、植物体への適度な高温処理は、病害虫防除に利用可能であることが知られており、例えばキュウリでは耐病性を高める抵抗性誘導を引き起こし(Kubo and Sato, 2002)、トマト栽培においては病害虫対策となり得る(Sato et al., 2004)。イチゴに対する温湯処理に関しては、定植苗を温湯浸漬することにより、うどんこ病の発病が抑えられる(小坂橋ら, 2002)ことや、葉に対する温湯散布により、うどんこ病少発生条件での高い防除効果がみられる(山岸ら, 2007)ことなどが明らかにされている。本研究では、イチゴ炭疽病および灰色かび病の発病を抑制し、植物体に影響のない温湯の処理条件の知見を得るため、段階的に温湯の温度および処理時間を変えて植物体に温湯を散布し、効果の比較検討を行った。

II. 材料および方法

1. 温湯散布処理

イチゴ苗は7.5cm径ポットで育苗した6複葉程度のものを用い、品種は‘とちおとめ’、‘ひたち姫’または‘宝交早生’を用いた。温湯散布処理として、イチゴ苗を33cm×40cm×24cmの発泡スチロール製の箱で覆い、箱内上面に取り付けた丸型四頭口ノズル2個から温水を頭上散布した。イチゴ苗3～5株を菌接種の1～2日前または1～3日後に、温湯処理時間を30秒間に設定した場合は温度を40、45、50、55°Cにして、温湯処理温度を50°Cに設定した場合は時間を10、20、30、45、60、90、120、180秒間にして温湯散布を行った。

2. 病原菌接種

炭疽病菌孢子懸濁液(1.0×10⁵個/mL)または灰色かび病菌孢子懸濁液(1.0×10⁶個/mL)を、ハンドスプレーでイチゴ苗1株当たり5mL散布した。炭

疽病菌を接種した苗は、ビニル袋内に入れて24時間室温で放置した後、袋を取りパイプハウスへ移した。また、灰色かび病菌を接種した苗はビニル袋で覆った状態で人工気象室（明12時間23℃，暗12時間23℃）へ移した。

3. 発病調査

炭疽病に関しては、菌接種7日後に、全葉調査で1複葉当たりの病斑数を算出した。

灰色かび病に関しては、菌接種7日後に、全葉を発病指数別（0：発病なし，1：病斑がわずかに認められる，2：病斑面積が1/4未満，3：病斑面積が1/4～1/2未満，4：病斑面積が1/2以上）に調査し、発病度＝ $\{ \sum (\text{発病指数} \times \text{発病指数別葉数}) / (4 \times \text{調査葉数}) \} \times 100$ を算出した。

4. 熱害評価

30秒間温湯散布処理の4日後に、各株について熱害程度の調査を行った。なお熱害程度は、温湯処理の影響無し、葉の一部が褐変変化、葉全体が褐変変化、葉の枯死の4段階とした。

Ⅲ. 結果

1. 温湯散布による病害の予防効果

1) イチゴ炭疽病

炭疽病菌接種2日前に30秒間の温湯散布を行うこ

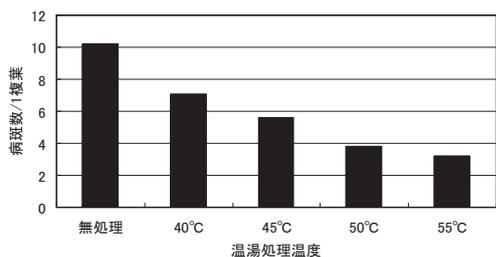


図1 温湯処理温度の違いによるイチゴ炭疽病の葉における病斑数の差異（温湯処理時間は30秒間，炭疽病菌接種の2日前に温湯散布）

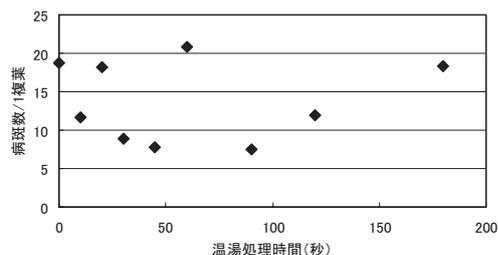


図2 温湯処理時間の違いによるイチゴ炭疽病の葉における病斑数の差異（温湯処理温度は50°C，炭疽病菌接種の1日前に温湯散布）

とで、菌接種7日後のイチゴ葉における炭疽病の病斑数はいずれの温度でも無処理に比べて少なくなった（図1）。また、病斑数は温度が高いほど少なくなり、温度依存的な傾向が見られた（図1）。さらに、菌接種1日前の温湯散布でも同様の結果が得られた（データ省略）。炭疽病菌接種1日前に50°Cの温湯散布を処理時間別に行ったところ、菌接種7日後の葉における炭疽病の病斑数は、処理時間によってバラつきはあるものの、無処理に比べて全体的に少なくなる傾向が見られた（図2）。しかし、120秒間以上散布した場合には病斑数が増加する傾向が見られた（図2）。処理時間が長いと熱害と思われる葉やけが認められ（データ省略）、葉への悪影響が発病増加の一因と考えられた。

2) イチゴ灰色かび病

灰色かび病菌接種1日前に30秒間の温湯散布を行うことで、菌接種7日後の葉における灰色かび病の発病度はいずれの温度でも無処理と比較して低くなった（図3）。また、発病度は温度が高いほど低くなり、温度依存的な傾向が見られた（図3）。さらに、菌接種2日前の温湯散布でも同様の結果が得られた（データ省略）。灰色かび病菌接種1日前に50°Cの温湯散布を行うことで、菌接種7日後の葉における灰色かび病の発病度は、処理時間が50秒間までは処理時間が長いほど低くなったが、それ以上になると発病度が増加する傾向が見られた（図4）。しかし、60～180秒間の処理でも無処理と比較すると発病度は低く抑えられた（図4）。

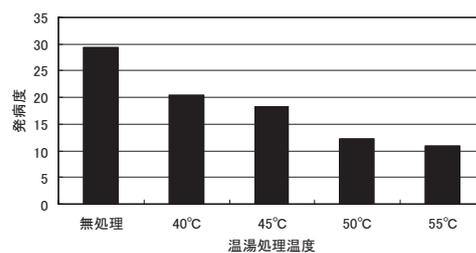


図3 温湯処理温度の違いによるイチゴ灰色かび病の葉における発病度の差異（温湯処理時間は30秒間，灰色かび病菌接種の1日前に温湯散布）

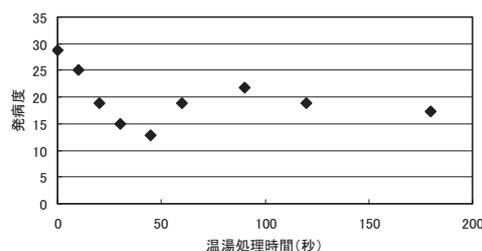


図4 温湯処理時間の違いによるイチゴ灰色かび病の葉における発病度の差異（温湯処理温度は50°C，灰色かび病菌接種の1日前に温湯散布）

2. 温湯散布による病害の発病進展抑制効果

1) イチゴ炭疽病

炭疽病菌接種1日後に30秒間の温湯散布を行うことで、菌接種7日後の葉における炭疽病の病斑数は、いずれの温度でも無処理に比べて少なくなった(図5)。また、病斑数は温度が高いほど少なくなり、温度依存的な傾向が見られた(図5)。さらに、菌接種2日後または3日後の温湯散布でも同様の結果が得られた(データ省略)。炭疽病菌接種1日後に50℃の温湯散布を行うことで、菌接種7日後の葉における炭疽病の病斑数は、無処理に比べて少なくなり、処理時間が長いほど病斑数が減少する傾向が見られた(図6)。

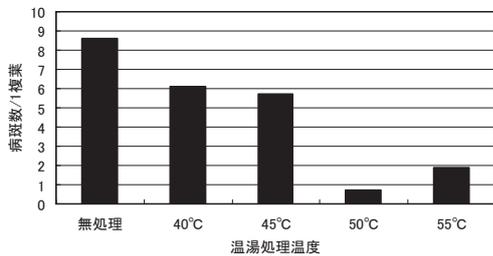


図5 温湯処理温度の違いによるイチゴ炭疽病の葉における病斑数の差異 (温湯処理時間は30秒間、炭疽病菌接種の1日後に温湯散布)

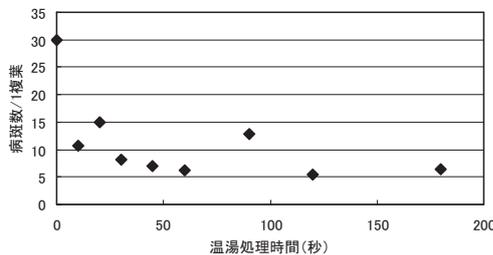


図6 温湯処理時間の違いによるイチゴ炭疽病の葉における病斑数の差異 (温湯処理温度は50℃、炭疽病菌接種の1日後に温湯散布)

さらに、菌接種3日後の温湯散布でも同様の結果が得られた(データ省略)。

2) イチゴ灰色かび病

灰色かび病菌接種1日後に30秒間の温湯散布を行うことで、菌接種7日後の葉における灰色かび病の発病度はいずれの温度でも無処理と比較して低くなった(図7)。灰色かび病菌接種1日後に50℃の温湯散布を行うことで、菌接種7日後の葉における灰色かび病の発病度は、無処理と比較して全体的に低くなり、処理時間が長いほど発病度が低くなる傾向が見られた(図8)。

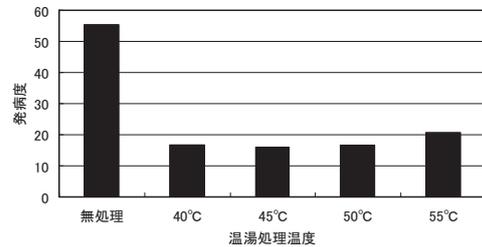


図7 温湯処理温度の違いによるイチゴ灰色かび病の葉における発病度の差異 (温湯処理時間は30秒間、灰色かび病菌接種の1日後に温湯散布)

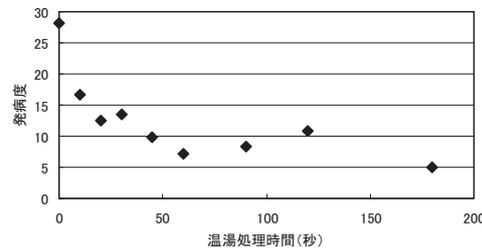


図8 温湯処理時間の違いによるイチゴ灰色かび病の葉における発病度の差異 (温湯処理温度は50℃、灰色かび病菌接種の1日後に温湯散布)

表1 温湯処理温度の違いによるイチゴ苗への熱害の影響

| 温湯処理温度 | 熱害評価別株数 | | | |
|--------|---------|-------------|------------|------|
| | 影響無し | 葉の一部 褐変化 | 葉全体 褐変化 | 葉の枯死 |
| 無処理 | 14 | 0 | 0 | 0 |
| 40°C | 14 | 0 | 0 | 0 |
| 45°C | 14 | 0 | 0 | 0 |
| 50°C | 10 | 3 | 1 | 0 |
| 55°C | 5 | 8 | 1 | 0 |

注) 温湯処理時間は30秒間として温湯散布を行った。

3. 温湯散布による熱害の影響

イチゴ苗における熱害評価で、45℃以下30秒間の温湯散布では植物体に影響は見られなかったが、50℃

では14株中4株で、55℃では14株中9株で葉の一部の褐変化、または葉全体の褐変化が認められ、特に55℃では実用上問題が生じると考えられた(表1)。

IV. 考 察

イチゴ定植苗への50℃、180秒間の温湯処理によりうどんこ病の発病が抑制されるという温湯浸漬に関する知見(小坂橋ら, 2002), および55℃、1秒間の温湯処理は中発生条件での1回散布では効果が認められないが、極少発生条件での3回程度の散布で効果が認められるという、うどんこ病を抑えるための温湯散布に関する知見(山岸ら, 2007)がすでに報告されている。これらと合わせて、温湯散布にイチゴ炭疽病および灰色かび病に対する防除効果が見られたという今回の結果から、温湯散布によるイチゴの総合的な病害防除の可能性を見出すことができた。そして、予防効果と発病進展抑制効果の両方が認められたことから、植物体内の抵抗性誘導および病原菌への直接的な影響が考えられ、定期的な温湯散布処理が実用であると期待できる。

今回の試験では、発泡スチロール製の箱でイチゴ苗をほぼ密閉する状態で温湯散布を行った。この方法では温湯散布の30秒間で、箱内温度は温湯温度より2.1～4.3℃下がった温度にまで、葉面温度は温湯温度より3.5～6.0℃下がった温度にまで達した(データ省略)。また、病害虫防除に有効であるキュウリ(Kubo and Sato, 2002)とトマト(Sato et al., 2004)への高温処理は、夏場の温室密閉状態が条件であった。しかし温湯散布の実用化を考える上で、密閉状態で散布処理を行うことは現実的ではないので、散布中の適切な葉面温度を保持するための条件設定や機器開発が今後求められる。

本研究で得られた結果から、イチゴ栽培において病害防除効果を可能な限り高め、育苗施設や本圃で植物体に負の影響のない温湯散布の適用が可能であることが示唆された。現在、葉面温度50℃を基本とする条件での温湯散布試験を進めており、今後は温湯散布の条件による植物体各部位の温度変化などさらに細かいデータを蓄積していくと同時に、実用化レベルでの試験を重ねる必要があると思われる。

V. 摘 要

温湯をイチゴ苗上に散布することによる病害防除の可能性について検討した。炭疽病菌の接種前または接

種後に温湯を散布することでイチゴの葉における炭疽病の病斑数は無処理区と比較して共に減少し、灰色かび病についても同様の傾向が認められた。温湯散布条件としては、炭疽病菌および灰色かび病菌接種前後で散布時間を30秒間に設定した場合は40℃以上で、温度を50℃に設定した場合は散布時間10秒間以上で効果があり、温湯散布の効果には温度依存のおよび時間依存の傾向が見られた。また、45℃、30秒間の温湯散布ではイチゴ苗に熱害の影響は見られなかった。以上より、温湯散布にはイチゴの炭疽病および灰色かび病に対する予防効果および発病進展抑制効果の両方があると考えられ、イチゴ栽培における温湯散布実用化への可能性が示唆された。

謝 辞 本研究は、新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業「温湯散布による施設イチゴの農薬使用量削減と保鮮技術の確立」(平成20～22年度)の一環として行いました。特に、研究総括者である茨城大学農学部附属フィールドサイエンス教育研究センター佐藤達雄准教授に厚く御礼申し上げます。

引用文献

- 小坂橋基夫・中島規子・柏尾具俊・西村範夫. 2002. 温湯浸漬によるイチゴうどんこ病およびハダニの不活化処理法の検討. 日本植物病理学会報 68(2): 197.
- Kubo, M. and Sato, T. 2002. Utilization of high temperature stress as plant resistance activators for control of summer greenhouse cucumber diseases. *Acta Hort.* 588: 171-174.
- Sato, T., Watanabe, S., Nakano, Y., Kawashima, H., Takaichi, M., Sogawa, S., Shinkawa, T., Nakashita, H., Yasuda, M. and Yoshida, S. 2004. The effects of high temperature and high salinity stress on summer single-truss tomato cultivation. *Acta Hort.* 659: 685-692.
- 山岸菜穂・江口直樹・徳竹浩文・原廣美. 2007. イチゴうどんこ病, キュウリうどんこ病に対する温湯散布の防除効果. 日本植物病理学会報 73(3): 260.

ポットカーネーション栄養系品種の低コスト生産における 加温温度、長日処理、摘心時期の影響

駒形智幸・本図竹司*

Effects of Night Temperature, Long Day Treatment, and Pinching Time on
Vegetative Propagation-type Pot Carnation Cultivars in terms of Fuel Saving

Tomoyuki KOMAGATA and Takeshi MOTOZU*

Summary

We investigated the effects of forcing temperature, long day treatment, and pinching time on growth and flowering in vegetative propagation-type pot carnations with the aim of determining the most fuel-efficient conditions. From December 20, 2006, until the time of flowering, 20 cultivars of pot carnations were grown in heated glass houses in which the minimum night temperature was 6°C, 9°C, or 12°C (which is the usual cultivation temperature). We compared the cultivars grown at 6 and 9°C to those grown at 12°C, and on the basis of comparison, we selected 5 of the 9°C cultivars and 4 of the 6°C cultivars as low-temperature flowering cultivars to be prepared for shipping on Mother's Day. Long day treatment (day length, 16 h) using the incandescent lamp accelerated flowering time at the night temperature of 9°C, and 18 cultivars were ready for shipping on Mother's Day. In addition, if the pinching time was extended, it was possible to accelerate flowering. In the case of 'Dreaming', if pinching is done 3 weeks earlier than usual and the cultivar is grown at a night temperature of 6°C, it is possible to reduce the fuel input by half.

キーワード：ポットカーネーション, 加温温度, 長日処理, 摘心時期, 鉢物

I. 緒言

茨城県のポットカーネーションは、2006年の東京都中央卸売市場における販売金額がおよそ1億2千万円でシェア26%を占め、本県における主要な鉢花品目となっている。ポットカーネーションは、そのほとんどが母の日出荷向けに生産されているが、母の日に出荷するには、5月初旬までに開花させることができるかどうかが生産上の大きなポイントとなっている。そのため生産現場では、主に栽培温度や摘心時期などを変えることによって開花調節を行っている。県内では、年内を加温温度10°C前後のやや低温で管理し、年明けから12~15°Cで管理する事例が多い。しかし、近年燃油価格が上昇してきたことから、より低コストでの栽培技術開発が求められている。切り花

カーネーションの開花調節については多くの研究があるが(藤野ら, 1982; 堀川, 1982; 森岡ら, 1981; 佐藤, 1976; 浦野ら, 1995; 米村ら, 1981), ポットカーネーションについてはわずかである(八木, 1990; 米村, 1980)。さらに、ポットカーネーションに関する報告はいずれも実生系品種を使ったものであり、現在の営利品種の主流である栄養繁殖系の品種については結果が利用できない可能性がある。そこで、栄養系品種における低コスト生産技術確立のため加温温度や長日処理、摘心時期と生育、開花との関係について検討した。

II. 材料および方法

1. 栽培温度が生育、開花に及ぼす影響(実験1)

表1に記した20品種について、最終摘心日以降加

*現在茨城県農業総合センター生物工学研究所

温温度を6℃, 9℃, 12℃とし, 換気温度を20℃に設定した所内のガラス室で栽培し, 生育ならびに開花状況を調査した。種苗会社から分譲されたセル成形苗を2006年10月上～中旬に9cmポットに鉢上げし(‘コッペリア’, ‘カレリア’, ‘プリティローズ’, ‘バンビーノ’は11月2日に鉢上げ), 2007年1月10～12日に12cmポットに鉢替えした。鉢上げ後, 11月18日または11月28日に1回目の摘心を行い, 12月20日に最終摘心を行った。培養土は赤土, 無調整ピートモス, パーライトを容積比2:2:1で混合し, 過りん酸石灰, 重焼りん, ようりんを培養土1Lあたり2gずつ, 肥効調節型肥料(6-38-6)を1.5g, 苦土石灰をピートモス1Lあたり6g添加した。追肥は液肥(15-15-15または14-8-26)を使用し, 窒素濃度150～200mg/Lで鉢上げ約1ヶ月後から週1回の間隔で施用した。11月1日以降, 最終摘心日まで加温温度12℃で管理した。1区あたり6～18鉢を供試した。

2. 長日処理が生育, 開花に及ぼす影響(実験2)

実験1の加温温度9℃区において, 16時間日長(明期4時～20時)とする長日区を設け, 自然日長下での生育, 開花状況と比較した。長日区は75W白熱灯をベンチ上約1.3m, 2.5m間隔で設置した。長日処理は最終摘心日の12月20日から3月31日まで行った。その他の管理は実験1に準じた。1区あたり6～12鉢を供試した。

3. 栽培温度, 長日処理, 摘心時期が生育, 開花に及ぼす影響(実験3)

‘ドリーミン’, ‘マイフェアレディ’を供試し, 実験1に示した3水準の加温温度処理に加え, 9℃加温区において最終摘心日を11月27日(1回目摘心11月2日)に早めて日長を自然日長と16時間日長とした2処理および最終摘心日を12月20日(1回目摘心11月18日)として16時間日長とした1処理, 6℃加温区において最終摘心日を11月27日に早めて日長を自然日長と16時間日長とした2処理の合計8処理で試験区を構成した。また, 加温開始から開花までの燃料消費量を温室暖房燃料消費試算ツール(野菜茶業研究所, 試用版, ver0.8)で試算した。11月1日から加温温度を12℃に設定して管理し, 最終摘心日以降は各区の所定の加温温度で管理した。長日処理は最終摘心と同時に開始し, 処理方法は実験2と同様に行った。その他は実験1に準じた。

Ⅲ. 結果および考察

1. 栽培温度が生育, 開花に及ぼす影響(実験1)

結果を表1に示した。‘バンビーノ’以外の品種では, 加温温度が高いほど開花が早まった。各加温温度における開花時期は品種により大きく異なり, 加温温度12℃では‘コッペリア’が3月9日と最も早く開花したのに対して, ‘ピグレット’では5月3日と品種により開花に約2ヶ月近くの差がみられた。全品種の開花日数の平均は12℃, 9℃, 6℃でそれぞれ118.2日, 128.9日, 137.0日だった。母の日に出荷するには, 母の日の日取りにもよるが, 5月5日までに全株が開花しなければならぬと仮定すると, 表1からこれを満たす品種は加温温度12℃では‘コッペリア’, ‘カレリア’など18品種, 9℃では‘コッペリア’, ‘カレリア’, ‘プリティローズ’, ‘バンビーノ’, ‘サマードレス’の5品種, 6℃では‘コッペリア’, ‘カレリア’, ‘プリティローズ’, ‘バンビーノ’の4品種だった。本実験では母の日出荷が目的であるため, 加温温度12℃では一部の品種, 加温温度9℃以下では多くの品種でさらに開花を促進する工夫が必要である。切り花カーネーションにおける生育適温は昼温15～20℃, 夜温10℃程度とされるが(米村, 1996), 摘心後7～9週間5℃程度の低温で加温し, その後加温温度を上げて管理すると, 摘心直後から加温温度をあげて管理した場合と開花時期は変わらないか品種によってはむしろ早くなることや(浦野ら, 1995), 秋定植の作型では摘心直後から13℃で加温するよりも9週間以上遅らせて加温した方が開花は早まり, 節数も少なくなるとの報告がある(森岡ら, 1981)。これらから, カーネーションの開花促進には, 摘心後一定期間ある程度の低温を経過させてから加温することが効果的であると考えられる。実生系ポットカーネーションでも摘心後1月上旬から3月上旬まで加温温度を5℃～10℃で管理し, それ以後を15℃で管理すれば4月25日前後に開花することから(八木, 1990), 摘心後厳寒期を比較的低温で管理し, その後加温温度を上げて管理すれば低コスト生産が可能であると考えられる。今後は生育時期別に, より効率的な温度管理を検討するとともに, ‘コッペリア’のように6℃加温でも4月上旬に開花する品種は, より低温での加温温度や換気温度について検討する必要がある。

開花時の草丈は全品種で加温温度が低いほど大きくなった(表1)。全品種を平均すると6℃では12℃よ

りも約30%、9℃では15%程度大きくなり、草姿が変化することに留意する必要がある。

表1 加温温度がポットカーネーションの開花ならびに開花時の草丈に及ぼす影響

| 品種名 | 加温温度 (°C) | 平均開花日 (月/日) | 全株開花日 (月/日) | 到花日数 (日) | 草丈 (cm) | 品種名 | 加温温度 (°C) | 平均開花日 (月/日) | 全株開花日 (月/日) | 到花日数 (日) | 草丈 (cm) |
|--------------------|-----------|-------------|-------------|----------|---------|----------|-----------|-------------|-------------|----------|---------|
| コッペリア | 12 | 3/9 | 3/16 | 79.7 | 22.9 | シフォン | 12 | 4/20 | 5/2 | 121.5 | 20.3 |
| | 9 | 3/24 | 3/29 | 94.6 | 25.2 | | 9 | 5/3 | 5/10 | 134.3 | 23.8 |
| | 6 | 4/5 | 4/10 | 106.8 | 30.3 | | 6 | 5/7 | 5/13 | 138.8 | 26.4 |
| 分散分析 ¹⁾ | | ** | | ** | ** | 分散分析 | | ** | | ** | ** |
| カレリア | 12 | 4/4 | 4/26 | 91.6 | 23.2 | オレンジデュオ | 12 | 4/22 | 5/6 | 123.0 | 25.0 |
| | 9 | 4/12 | 4/22 | 113.8 | 26.9 | | 9 | 5/9 | 5/13 | 140.4 | 27.6 |
| | 6 | 4/21 | 4/28 | 122.8 | 32.3 | | 6 | 5/16 | 5/21 | 147.0 | 29.5 |
| 分散分析 | | ** | | ** | ** | 分散分析 | | ** | | ** | ** |
| プリティローズ | 12 | 4/8 | 4/14 | 109.2 | 14.8 | プリュレ | 12 | 4/22 | 4/29 | 123.3 | 25.0 |
| | 9 | 4/11 | 4/27 | 112.8 | 17.9 | | 9 | 5/2 | 5/9 | 133.5 | 28.1 |
| | 6 | 4/19 | 4/26 | 120.0 | 21.2 | | 6 | 5/8 | 5/15 | 139.7 | 32.3 |
| 分散分析 | | ** | | ** | ** | 分散分析 | | ** | | ** | ** |
| バンビーノ | 12 | 4/10 | 4/21 | 111.9 | 17.2 | マイフェアレディ | 12 | 4/23 | 5/4 | 124.8 | 19.4 |
| | 9 | 4/6 | 4/20 | 107.5 | 19.4 | | 9 | 5/4 | 5/7 | 135.3 | 23.5 |
| | 6 | 4/12 | 4/19 | 113.0 | 25.2 | | 6 | 5/11 | 5/14 | 142.5 | 26.5 |
| 分散分析 | | ns | | ns | ** | 分散分析 | | ** | | ** | ** |
| レモンソフト | 12 | 4/14 | 4/22 | 115.3 | 25.3 | オードリー | 12 | 4/24 | 5/4 | 125.6 | 22.0 |
| | 9 | 5/1 | 5/10 | 132.6 | 28.7 | | 9 | 5/7 | 5/14 | 138.5 | 25.0 |
| | 6 | 5/7 | 5/13 | 138.7 | 30.4 | | 6 | 5/10 | 5/16 | 141.7 | 27.0 |
| 分散分析 | | ** | | ** | ** | 分散分析 | | ** | | ** | ** |
| ドリーミン | 12 | 4/15 | 4/23 | 116.2 | 24.2 | アリエル | 12 | 4/24 | 5/4 | 125.6 | 21.1 |
| | 9 | 4/27 | 5/10 | 128.1 | 27.4 | | 9 | 5/4 | 5/12 | 135.7 | 24.5 |
| | 6 | 5/9 | 5/17 | 140.1 | 28.5 | | 6 | 5/13 | 5/17 | 144.8 | 28.5 |
| 分散分析 | | ** | | ** | ** | 分散分析 | | ** | | ** | ** |
| カミーユピンク | 12 | 4/17 | 4/30 | 118.3 | 22.4 | ティータイム | 12 | 4/25 | 5/2 | 126.4 | 19.2 |
| | 9 | 4/29 | 5/6 | 130.5 | 26.1 | | 9 | 5/8 | 5/13 | 139.6 | 25.9 |
| | 6 | 5/6 | 5/10 | 137.7 | 28.1 | | 6 | 5/17 | 5/21 | 148.8 | 29.6 |
| 分散分析 | | ** | | ** | ** | 分散分析 | | ** | | ** | ** |
| カミーユ | 12 | 4/17 | 4/27 | 118.8 | 24.0 | メル | 12 | 4/25 | 5/5 | 126.9 | 19.7 |
| | 9 | 4/28 | 5/9 | 129.3 | 26.5 | | 9 | 5/5 | 5/11 | 136.9 | 22.6 |
| | 6 | 5/9 | 5/12 | 140.0 | 29.2 | | 6 | 5/18 | 5/23 | 149.1 | 25.6 |
| 分散分析 | | ** | | ** | ** | 分散分析 | | ** | | ** | ** |
| サマードレス | 12 | 4/18 | 4/29 | 119.5 | 24.8 | ポラリス | 12 | 4/30 | 5/5 | 131.6 | 28.7 |
| | 9 | 4/25 | 5/3 | 126.9 | 27.8 | | 9 | 5/4 | 5/11 | 135.9 | 31.7 |
| | 6 | 5/2 | 5/8 | 133.5 | 32.9 | | 6 | 5/19 | 5/23 | 150.0 | 33.3 |
| 分散分析 | | ** | | ** | ** | 分散分析 | | ** | | ** | ** |
| アスコット | 12 | 4/20 | 5/1 | 121.2 | 22.1 | ピグレット | 12 | 5/3 | 5/9 | 134.2 | 25.5 |
| | 9 | 5/3 | 5/11 | 134.9 | 26.0 | | 9 | 5/5 | 5/11 | 136.6 | 27.8 |
| | 6 | 5/10 | 5/12 | 141.3 | 30.8 | | 6 | 5/12 | 5/21 | 143.5 | 31.1 |
| 分散分析 | | ** | | ** | ** | 分散分析 | | ** | | ** | ** |

最終摘心日の12月20日以降各加温温度で管理し、日中は20℃で換気を行った(11月1日～12月19日は12℃で加温) 到花日数は12月20日から開花までの日数

1)各品種において*は5%、**1%水準で有意差があり、nsは有意差がない

2. 長日処理が生育、開花に及ぼす影響 (実験2)

開花は長日処理で早まった (表2)。長日処理による開花促進は‘マイフェアレディ’と‘カミーユピンク’ではそれぞれ24日、28日と小さかったが、‘アスコット’、‘オレンジデュオ’、‘オードリー’、‘ピグレット’では9日以上と大きく、全品種を平均すると6.2日開花が早まった。実験1と同様に、母の日出荷のための全鉢開花日の限界を5月5日とすると、供試した20品種の内‘マイフェアレディ’、‘アリエル’以外の18品種で母の日出荷が可能となる。カーネーションは相対的長日植物であり、長日条件下で開花が早まること (Chengら, 1971; 藤野ら, 1982; 堀川, 1982; 浦野ら, 1995; 八木, ; 米村, 1980; 米村ら, 1982; 米村, 1996), 長日による開花促進効果は品種間差が大きいこと (佐藤, 1976) が知られている。本実験の結果も長日処理によって開花が促進され、その程度は品種により異なった。母の日出荷が可能と思われる品種数は自然日長の5品種から長日処理によって18品

種に増加した。長日処理の効果は花芽分化と発達の初期までを促進し (Chengら, 1971; 米村, 1996), 蕾の発達は日長の影響をほとんど受けないとされる (米村, 1980; 米村, 1996)。電照開始時期や電照期間について、米村 (1980) によればわい性カーネーションでは摘心後30日以内に電照を開始し、電照期間は30日でよいとしている。実際には摘心前に側枝が伸びている場合があり、摘心後は必ずしも側枝の伸長がそろっているとは限らないので、摘心後できるだけ早く電照を開始し、電照期間は30日よりやや長めにした方がよいと考えられる。

開花時の草丈は‘バンビーノ’、‘コッペリア’、‘カレリア’では長日処理によって5cm以上大きくなったが、多くの品種では長日処理の影響は小さく (表2), 株幅や側枝数に及ぼす影響も小さかったことから (データ省略) 長日処理による品質変化は小さいと考えられる。

表2 長日処理がポットカーネーションの開花と開花時の草丈に及ぼす影響

| 品種 | 平均開花日 (月/日) | | | 全株開花 日 (月/日) | | 到花日数(日) ³⁾ | | | 草丈(cm) | | |
|----------|------------------|------------------|-----------------------|--------------------|------|-----------------------|-------|---------|--------|------|---------|
| | ND ¹⁾ | LD ¹⁾ | t検 定 ²⁾ | ND | LD | ND | LD | t検 定 | ND | LD | t検 定 |
| | コッペリア | 3/24 | 3/21 | * | 3/29 | 3/26 | 94.6 | 91.0 | * | 25.2 | 31.6 |
| バンビーノ | 4/6 | 4/3 | ns | 4/20 | 4/8 | 107.5 | 104.0 | ns | 19.4 | 29.0 | ** |
| プリティローズ | 4/11 | 4/6 | ns | 4/27 | 4/10 | 112.8 | 107.7 | ns | 17.9 | 20.5 | ** |
| カレリア | 4/12 | 4/6 | * | 4/22 | 4/10 | 113.8 | 107.7 | * | 26.9 | 32.6 | ** |
| サマードレス | 4/25 | 4/21 | * | 5/3 | 4/28 | 126.9 | 122.3 | * | 27.8 | 30.4 | ** |
| ドリーミン | 4/27 | 4/20 | ns | 5/10 | 5/2 | 128.1 | 121.8 | ns | 27.4 | 23.8 | ** |
| カミーユ | 4/28 | 4/20 | ** | 5/9 | 4/24 | 129.3 | 121.5 | ** | 26.5 | 26.1 | ns |
| カミーユピンク | 4/29 | 4/26 | ns | 5/6 | 4/30 | 130.5 | 127.7 | ns | 26.1 | 26.6 | ns |
| レモンソフト | 5/1 | 4/27 | * | 5/10 | 5/1 | 132.6 | 128.2 | * | 28.7 | 26.1 | * |
| ブリュレ | 5/2 | 4/26 | ** | 5/9 | 4/30 | 133.5 | 127.2 | ** | 28.1 | 28.1 | ns |
| シフォン | 5/3 | 4/24 | ** | 5/10 | 4/28 | 134.3 | 125.6 | ** | 23.8 | 23.3 | ns |
| アスコット | 5/3 | 4/24 | ** | 5/11 | 4/30 | 134.9 | 125.0 | ** | 26.0 | 25.8 | ns |
| マイフェアレディ | 5/4 | 5/1 | ns | 5/7 | 5/6 | 135.3 | 132.8 | ns | 23.5 | 24.5 | * |
| アリエル | 5/4 | 4/29 | * | 5/12 | 5/8 | 135.7 | 130.2 | * | 24.5 | 25.9 | * |
| ポラリス | 5/4 | 4/28 | * | 5/11 | 5/3 | 135.9 | 129.7 | * | 31.7 | 30.7 | ns |
| ピグレット | 5/5 | 4/26 | ** | 5/11 | 4/30 | 136.6 | 127.3 | ** | 27.8 | 27.4 | ns |
| メル | 5/5 | 5/1 | * | 5/11 | 5/5 | 136.9 | 132.1 | * | 22.6 | 22.0 | ns |
| オードリー | 5/7 | 4/28 | ** | 5/14 | 5/3 | 138.5 | 129.0 | ** | 25.0 | 23.6 | ns |
| ティータイム | 5/8 | 5/2 | ** | 5/13 | 5/4 | 139.6 | 133.2 | ** | 25.9 | 24.4 | ns |
| オレンジデュオ | 5/9 | 4/29 | ** | 5/13 | 5/5 | 140.4 | 130.7 | ** | 27.6 | 25.6 | ns |

12月20日以降加温温度9℃, 換気温度20℃で栽培(11月1日~12月19日は12℃加温)

1)ND: 自然日長区, LD: 長日区 (12月20日~3月31日の間, 4時~20時が明期の16時間日長となるよう75W白熱電球で電照した)

2) t検定において ns は有意差無し, *は5%, **は1%で有意差があることを示す

3)到花日数は処理開始(12月20日)から開花までの日数

3. 栽培温度、長日処理、摘心時期が生育、開花に及ぼす影響（実験3）

結果を表3に示した。開花については両品種とも同様な傾向を示し、栽培温度が高いほど、また、最終摘心時期が早いほど、さらに長日処理により開花が早まった。母の日出荷のための全株開花日の限界を5月5日とすると、‘ドリーミン’では12℃加温区、9℃加温の11月27日摘心区、9℃加温の12月20日摘心・長日区、6℃加温の11月27日摘心区で母の日出荷が可能と考えられた。同様に‘マイフェアレディ’では12℃加温区、9℃加温の11月27日摘心区で母の日出荷が可能と考えられた。これらの結果から、摘心時期を早めることによる開花促進効果は非常に高く、‘ドリーミン’では慣行（12月20日）よりおよそ3週間早い11月27日に最終摘心を行えば加温温度を6℃に下げても母の日出荷が可能であり、‘マイフェアレディ’では11月27日に摘心を行えば加温温度を9℃に下げても母の日出荷が可能と思われる。米村(1980)は、わい性カーネーション‘ピカデリー’を用いた実験で、花芽形成に重要なのは側枝の齢であり、早期に摘心を行うことによって側枝を花芽形成可能な齢に早く到達させ、長日条件によって花成誘導の条件を与えることが早期開花の基本であると考察している。本実験で加温温度9℃において、最終摘心時期と長日処理の有無による開花状況を比較してみると、いずれの品

種も最終摘心時期が早いほど長日処理による開花促進効果が高く、米村の考察を裏付けるものであった。

実験結果をもとに母の日出荷のための燃料消費量を試算し、慣行栽培に対する燃料消費割合を計算した。その結果、燃料消費割合は最終摘心を11月27日に行った場合、‘ドリーミン’では加温温度6℃で44.1%、‘マイフェアレディ’は加温温度9℃・長日処理で72.3%となり、燃料消費量を大幅に削減できることが示唆された。本実験では11月1日の加温開始から最終摘心までの加温温度を12℃とした。そのため、加温温度9℃以下では最終摘心日を12月20日とした場合、11月27日摘心よりも加温開始から12℃で加温する期間が長くなり、燃料消費量が多くなった。加温開始から最終摘心までの加温温度を12℃より低くすれば、さらに燃料消費量を削減できると考えられる。

草丈は、両品種とも加温温度が低いほど大きくなったが、‘ドリーミン’では長日処理により草丈増加が抑制された。摘心時期の影響はみられなかった(表3)。

以上から、11月27日に最終摘心を行い、加温温度を6℃で栽培することによって燃料消費量を12℃の半分程度に抑制できる可能性が示された。加温温度6℃で母の日に安定的に出荷するためには、品種の選定や長日処理を考慮しながら最終摘心の適期を検討するとともに、品種によっては草丈増加の防止が必要と考えられる。

表3 加温温度、最終摘心時期、日長が生育開花ならびに燃料消費に及ぼす影響

| 品種 | 加温温度 ¹⁾ | 最終摘心日(月/日) | 長日処理 ²⁾ | 平均開花日(月/日) | 全株開花日(月/日) | 草丈(cm) | 燃料消費量 ³⁾ (L/100m ²) | 燃料消費割合(%) |
|----------|--------------------|------------|--------------------|------------|------------|--------|--|-----------|
| ドリーミン | 12℃ | 12/20 | 無 | 4/15 | 4/23 | 24.2 | 2,720 | 100 |
| | | 11/27 | 有 | 4/ 2 | 4/13 | 24.4 | 1,940 | 71.3 |
| | 9℃ | 11/27 | 無 | 4/17 | 4/26 | 27.2 | 1,980 | 72.8 |
| | | 12/20 | 有 | 4/20 | 5/ 2 | 23.8 | 2,000 | 73.5 |
| | 6℃ | 12/20 | 無 | 4/27 | 5/10 | 27.4 | 2,000 | 73.5 |
| | | 11/27 | 有 | 4/18 | 4/23 | 24.8 | 1,200 | 44.1 |
| マイフェアレディ | 12℃ | 12/20 | 無 | 4/23 | 5/ 4 | 19.4 | 2,740 | 100 |
| | | 11/27 | 有 | 4/14 | 5/ 2 | 22.9 | 1,980 | 72.3 |
| | 9℃ | 11/27 | 無 | 4/29 | 5/ 3 | 22.3 | 1,990 | 72.6 |
| | | 12/20 | 有 | 5/ 1 | 5/ 6 | 24.4 | 2,000 | 73.0 |
| | 6℃ | 12/20 | 無 | 5/ 4 | 5/ 7 | 23.5 | 2,000 | 73.0 |
| | | 11/27 | 有 | 4/28 | 5/ 7 | 26.8 | 1,200 | 43.8 |
| | | 12/20 | 無 | 5/11 | 5/14 | 26.5 | 1,370 | 50.0 |

1)各温度での加温処理は最終摘心日より開始し、最終摘心までは11月1日から12℃加温とした

2)無：自然日長、有：最終摘心日以降3月31日まで、4時～20時が明期の16時間日長となるよう75W白熱電球で電照した

3)暖房開始から開花日までの燃料消費量を温室暖房燃料消費試算ツール(試用版, ver0.8. 野菜茶研)で試算した

IV. 摘要

ポットカーネーション栄養系品種の低コスト生産を目的として、生育開花に及ぼす加温温度、長日処理、摘心時期の影響について検討した。20品種を供試して、2006年12月20日から加温温度6、9℃および12℃で栽培して慣行の12℃と比較し、9℃で5品種、6℃では4品種の母の日出荷可能な低温開花性品種を選定した。一方、白熱灯による長日処理（16時間日長）には開花促進効果が認められ、加温温度9℃において18品種で母の日出荷が可能となった。さらに早期に摘心することで開花期を前進させることが可能で、‘ドリーミン’では慣行よりも約3週間早く摘心して加温温度6℃で栽培すれば、慣行の半分以下の燃料消費量で母の日出しが可能となる。

謝 辞 本研究を行うにあたり、ポットカーネーションの苗を提供して下さったキリンアグリバイオ株式会社、株式会社サカタのタネ、雪印種苗株式会社に深く感謝いたします。

参考文献

- Cheng, L. H. and R. W. Langhans. 1971. Floral initiation, development, and associated phenomena of *Dianthus caryophyllus* L. Part I - Effect of photoperiod. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 96 (4) : 504-509.
- 藤野守弘・藤原辰行・藤本治夫. 1982. 環境制御による温室カーネーション花茎品質の改善 第2報 生長と開花に及ぼす低夜温と日長の影響. 兵庫農総セ研報. 30 : 49-56.
- 森岡公一・高瀬尚明. 1981. カーネーションの品種生態に関する試研(2) 暖房開始時期が生育開花に及ぼす影響. 昭和57年度花き試験成績概要集(北陸東海近畿). 56. (未発表)
- 堀川法隆. 1982. カーネーションの計画的生産に関する研究(第5報) 電照時期および期間と長日処理方法が開花期に及ぼす影響. 香川農試研報. 34 : 6-10.
- 佐藤義機. 1976. カーネーションの計画的生産に関する研究 2 整枝・長日処理と品種の開花特性. 香川農試研報. 28 : 1-7.
- 浦野永久・浅野昭. 1995. カーネーションの母の日出荷栽培における長日処理・夜温管理方法が開花に及ぼす影響. 茨城農総セ園研研報. 3 : 54-58.
- 八木和弘. 1990. 鉢物カーネーションの4、5月出荷栽培の基本と留意点. 施設園芸. 32 (9) : 13-16.
- 米村浩次. 1980. わい性カーネーション・ピカデリーの開花促進と草姿の調節. 愛知農総試研報. 12 : 101-108.
- 米村浩次・大石一史・大須賀源芳. 1981. スプレイカーネーションの定植時期と日長条件の違いが生育、開花に及ぼす影響. 愛知農総試研報. 13 : 235-242.
- 米村浩次. 1996. 農業技術体系花き編7. pp. 25-30. 農文協. 東京.

BULLETIN
OF THE
HORTICULTURAL INSTITUTE,
IBARAKI AGRICULTURAL CENTER

CONTENTS

| | |
|--|----|
| Tetsurou KASHIMA, Ayano SUGIYAMA, Hisashi NAGATSUKA, Yumi UJIIE, Hisao KUSANO and Yasunori TOMITA : | |
| Effects of Carbon Dioxide Gas Treatment with Dry Ice on the Larvae of <i>Curculio sikkimensis</i> (HELLER) in the Chestnut | 1 |
| Takashi KAIJZUKA, Satoshi MURAZAKI, Masaichi NAKAHARA and Masahito SUZUKI : | |
| Select the Cultivars and Use of Ridges, Allover Mulch for Reducing the Harmful Effects of Soil Flooding | 9 |
| Hidetoshi INADA, Azusa YAMABE-MIZUNO and Masaichi NAKAHARA : | |
| Effects of Environmental Factors on Stomatal Diffusive Conductance and Transpiration Rate of Leaves of Tomato Seedlings | 17 |
| Yutaka FUJITA and Toshihiro UETA : | |
| Effect of Water-soluble Carbohydrates Application on the Reduction of Nitrate Ion Concentration in Qing-geng-cai (<i>Brassica campestris L. var.chinensis</i>) | 23 |
| Taketo SANO, Takashi ISHII and Kyouko KASHIMA : | |
| Predicting Whether Melons (<i>Cucumis melo L.</i>) Are Ready to Eat by Non-destructive Methods | 29 |
| Mari KIKUCHI, Takashi OGAWARA, Yumi HASHIMOTO, Takuya MIYAMOTO, Masato KANEDA and Yasunori TOMITA : | |
| Identification of <i>Colletotrichum</i> Species Causing Strawberry Anthracnose and Distribution of Fungal Strains Resistant to Some Fungicides in Ibaraki Prefecture | 35 |
| Hirosato KONISHI, Takashi OGAWARA, Keisuke SHIMAMOTO and Yasunori TOMITA : | |
| Hot Water Spraying for the Control of Anthracnose and Gray Mold on Strawberry | 43 |
| Tomoyuki KOMAGATA and Takeshi MOTOZU : | |
| Effects of Night Temperature, Long Day Treatment, and Pinching Time on Vegetative Propagation-type Pot Carnation Cultivars in terms of Fuel Saving | 47 |