

日本食品保蔵科学会誌

VOL. 36 NO. 5

会 長	松本 信二	副 会 長	上田 悦範	小宮山美弘	早坂 薫
編集委員長	上田 悦範				
編 集 委 員	石田 裕	稲熊 隆博	井上 茂孝	内野 昌孝	竹永 章生
	寺井 弘文	津久井亜紀夫	藤島 廣二	松田 茂樹	

<報 文>

栽培法の差異および湛液型水耕栽培における培養液濃度の差異が
 ‘毛馬’ キュウリ (*Cucumis sativus* L. cv. Kema) の苦味発現および品質に及ぼす影響…………… (221)
 /嘉悦佳子・森川信也・磯部武志
 中村謙治・阿部一博

水耕栽培における施肥法および培地の差異が
 ‘毛馬’ キュウリ (*Cucumis sativus* L. cv. Kema) の苦味発現および品質に及ぼす影響…………… (227)
 /嘉悦佳子・森川信也・磯部武志
 中村謙治・阿部一博

<報 文> (英文)

1-Methylcyclopropene (1-MCP) 水溶液への浸漬処理がバナナ果実の追熟に及ぼす影響 …………… (235)
 /川口敬太・鈴木康生・寺井弘文

<講 座>

身近な野菜・果物～その起源から生産・消費まで (12)
 ワ サ ビ (Ⅱ) …………… (243)
 /山根京子

<文献抄録> …………… (249)
 <本会記事> …………… (250)
 <会 告> …………… (251)

Food Preservation Science

CONTENTS OF VOL. 36 NO. 5 (2010)

<Article> (Japanese)

- Effects of Culture Method and Hydroponic Solution Nutrient Level
of Bitterness and Quality of Cucumbers (*Cucumis sativus* L. cv. Kema)
KAETSU Keiko, MORIKAWA Shinya, ISOBE Takeshi,
NAKAMURA Kenji and ABE Kazuhiro (221)

- Effects of Fertilizer Application Method and Nutrient Medium
of Bitterness and Quality of Cucumbers (*Cucumis sativus* L. cv. Kema)
KAETSU Keiko, MORIKAWA Shinya, ISOBE Takeshi,
NAKAMURA Kenji and ABE Kazuhiro (227)

<Article> (English)

- Effects of Immersion in Aqueous 1-methylcyclopropene
(1-MCP) Solution on Ripening of Bananas
KAWAGUCHI Keita, SUZUKI Yasuo and TERAJ Hirofumi (235)

<Serialization Lecture> (Japanese)

- Wasabi (Part II)
YAMANE Kyoko (243)

栽培法の差異および湛液型水耕栽培における培養液濃度の差異が ‘毛馬’キュウリ (*Cucumis sativus* L. cv. Kema) の 苦味発現および品質に及ぼす影響

嘉悦佳子^{*1§}・森川信也^{*1}・磯部武志^{*1}
中村謙治^{*2}・阿部一博^{*3}

*1 大阪府環境農林水産総合研究所

*2 エスペックミック(株)

*3 大阪府立大学大学院生命環境科学研究科

Effects of Culture Method and Hydroponic Solution Nutrient Level on Bitterness and Quality of Cucumbers (*Cucumis sativus* L. cv. Kema)

KAETSU Keiko^{*1§}, MORIKAWA Shinya^{*1}, ISOBE Takeshi^{*1},
NAKAMURA Kenji^{*2} and ABE Kazuhiro^{*3}

*1 *Research Institute of Environment, Agriculture and Fisheries, Osaka Prefectural Government,
442 Shakudo, Habikino-shi, Osaka 583-0862*

*2 *Especmic Corp, 3-11-17 Ikeda, Neyagawa-shi, Osaka 572-0039*

*3 *Graduate School of Agriculture and Biological Science, Osaka Prefecture University,
1-1 Gakuen-cho, Naka-ku, Sakai-shi, Osaka 599-8531*

To establish an efficient cultivation system for producing high-quality cucumbers (*Cucumis sativus* L. cv. Kema), a comparison of cucumbers grown in soil culture and hydroponic solution culture with different nutrient levels was carried out. The hydroponically grown cucumbers were bitter compared with the cucumbers grown in soil. The maximum and minimum fruit productions were obtained at high and low nutrient levels, respectively. However, most of the cucumbers were bitter when they were grown at high nutrient level. The cucumbers had the lowest concentration of nitrate ion in the hydroponic culture solution with low nutrient level, and vice versa. Nitrate ions may cause bitterness in cucumbers by promoting nitrogen metabolism, which in turn favors the enzymatic synthesis of cucurbitacin C. From these results, we conclude that the yield of bitter cucumbers can be reduced by growing them in soil culture rather than in rockwool culture and in hydroponic solution with low nutrient level.

(Received Dec. 21, 2009 ; Accepted Aug. 19, 2010)

Key words : cucumber, bitter cucumbers, hydroponic culture, nitrate ion concentration,
nutrient solution concentration

キュウリ, 苦味果, 養液栽培, 硝酸イオン濃度, 培養液濃度

現在, 日本では, 2005年に「食育基本法」が施行され食育という言葉が社会において一般化し¹⁾, 地産地消やスローフードならびに地場産野菜などが消費者に注目されている。この社会の流れを受け, 古くからの大阪地場産野菜である「なにわの伝統野菜」が大阪府でも注目さ

れ, 2005年に「なにわの伝統野菜認証制度」が開始され, 現在, 17品目の野菜が認証されており, 普及・拡大のための活動が行われている²⁾。

「なにわの伝統野菜」の一種である‘毛馬’キュウリは, 大阪市都島区毛馬町発祥の半白系の黒イボ胡瓜で,

*1 〒583-0862 大阪府羽曳野市尺度442

§ Corresponding author, E-mail : kaetsuk@mbox.epcc.pref.osaka.jp

*2 〒572-0039 大阪府寝屋川市池田3-11-17

*3 〒599-8531 大阪府堺市中央区学園町1-1

徳川時代に早熟栽培されており、果実は細長く肉質は脆軟で独特の風味があり珍重されていた^{3),4)}。現在は大阪府の河南町や堺市などで栽培されている。収穫・流通の規格は果長：約30cm、太さ：3cmであり、果梗部から3分の1は淡緑色であるが、果頂部までの残り3分の2は淡緑白色である⁵⁾。食味の特徴として果実の苦味と特有のテクスチャーがあり⁶⁾、そのテクスチャーの特徴を生かして、奈良漬けや糠漬けなどの加工品として食されている^{7),8)}。

しかし、‘毛馬’キュウリでは、過度に苦い果実が生産されることがあり、問題となっている。ウリ科作物46種の果実に含まれる苦味成分は研究が進められ、それらは、ククルピタシンA~Lと命名されており⁹⁾、キュウリの苦味は、ククルピタシンCが原因とされている¹⁰⁾。

一方、作物の品質と栽培法には関係があり、土耕栽培と養液栽培ではハウレンソウの品質について食味や内容成分の含有量に差異がみられるという報告がされている¹¹⁾。また、キュウリ果実における苦味発現は、栽培期間中の急激な温度変化、土壤乾燥、窒素肥料の多施用によっても誘起される¹²⁾。

過度の苦味を有する‘毛馬’キュウリ果実は、消費者に受け入れられにくい。このため、栽培技術によって苦味が軽減できるかどうかを明らかにするために、本研究では、異なる栽培法が‘毛馬’キュウリの苦味強度にどのような影響を及ぼすかを調べた。また、湛液型水耕栽培において培養液濃度の差異が‘毛馬’キュウリの苦味強度にどのような影響を及ぼすかを明らかにするとともに、‘毛馬’キュウリ果実中の硝酸イオン濃度を測定し、果実の苦味強度と硝酸イオン濃度の関係性を調査した。

実験材料および実験方法

1. 栽培法の差異が‘毛馬’キュウリ果実の苦味強度に及ぼす影響

(1) 栽培概要 大阪府環境農林水産総合研究所にて採種した‘毛馬’キュウリ種子を、平成20年1月11日に同研究所所有の栽培施設(全長：20m、横幅：5.4m)に播種し土耕栽培を行った(これを土耕区とする)。あるいは、平成20年1月11日に播種し平成20年1月25日にロックウールブロックに定植し養液栽培を行った(これをロックウール養液栽培区とする)。また、対照区として白イボ系節成キュウリである‘ときわ夏節’をロックウール養液栽培区と同様に栽培した。

すべての試験区の仕立法や摘心および病害虫防除は大阪府が刊行している栽培指針に準じて行った¹³⁾。土耕区の施肥管理は、大阪府が刊行している栽培指針に準じて行った¹³⁾。元肥は完熟堆肥200kg/aを施用し、追肥は棉実油粕7kg/aを4回および化成肥料2kg/aを1回施用した。ロックウール養液栽培区および対照区の施肥管理は、養液栽培用混合肥料を大塚A処方¹⁴⁾で1/2単位(EC約1.2mS/cm)をドリップ灌水し施肥した。施用した全窒素量について、土耕区とロックウール養液栽培区およ

び対照区的全窒素量は、ほぼ同量であった。

‘毛馬’キュウリ果実長は販売規定である約30cmで、‘ときわ夏節’キュウリは販売規格である約20cmで、収穫を随時行い供試材料とした。

(2) 官能検査 各3区の収穫直後のキュウリについて、‘毛馬’キュウリ果実で最も苦味の強い部位である果梗部から約10cmを5mm幅の輪切りにし、同研究所にて苦味についての官能検査を随時行った。被験者は、試験区ごとにのべ50人であった。官能検査は、5段階評価で行い、“苦味なし”を0点で、“少し苦い”を1点で、“苦い”を2点で、“苦味が強い”を3点で、“苦味が強すぎて食べられない”を4点で評価した。

2. 湛液型水耕栽培において培養液濃度の差異が‘毛馬’キュウリの苦味強度に及ぼす影響

(1) 栽培概要 大阪府環境農林水産総合研究所にて採種した‘毛馬’キュウリ種子を、平成21年8月12日にウレタンマットに播種し、平成21年9月4日に定植し、同研究所所有の栽培施設(全長：20m、横幅：5.4m)にて湛液型水耕栽培を行い、収穫した果実を供試材料にした。

すべての試験区の仕立法や摘心および病害虫防除は大阪府が刊行している栽培指針に準じて行った¹³⁾。施肥管理は、養液栽培用肥料を大塚A処方¹⁴⁾で、低濃度(EC約0.8mS/cm)と中濃度(EC約1.2mS/cm)と高濃度(EC約2.4mS/cm)の施肥管理の差異により3試験区を設けた。追肥は、大塚A処方¹⁴⁾で1/2単位(EC約1.2mS/cm)に調整した養液栽培用混合肥料を施肥した。

‘毛馬’キュウリ果実長は販売規定である約30cmで、収穫を行った。

(2) 官能検査 各3区の収穫直後の‘毛馬’キュウリについて‘毛馬’キュウリ果実で最も苦味の強い部位である果梗部から約10cmを5mm幅の輪切りにし、同研究所にて官能検査を平成21年10月21日にのべ22人の被験者を対象に行った。官能検査は、中濃度区を基準とし、低濃度区と高濃度区の苦味について、“非常に弱い”を1点で、“弱い”を2点で、“同等”を3点で、“強い”を4点で、“非常に強い”を5点の5段階で評価した。

(3) 硝酸イオン濃度が苦味強度に及ぼす影響 収穫直後、様々な硝酸イオン濃度の6本の‘毛馬’キュウリ果実の果梗部から約10cmの部位を、それぞれフードプロセッサーで粉碎し、様々な硝酸イオン濃度の‘毛馬’キュウリおろしをつくった。同研究所にて‘毛馬’キュウリおろしの苦味について、平成21年11月6日に官能検査を20人の被験者を対象に行った。

官能検査は、5段階評価で行い、“苦味なし”を0点で、“少し苦い”を1点で、“苦い”を2点で、“苦味が強い”を3点で、“苦味が強すぎて食べられない”を4点で評価した。

(4) ‘毛馬’キュウリ果実中に含まれる硝酸イオン濃度測定 収穫した‘毛馬’キュウリ果実の果皮をピー

ラーで果皮表面から1mm厚で切り取り、それぞれの果皮をナイフで細かく刻んだ。また、果皮を剥いた果肉もナイフで細かく刻んだ。それぞれを等量から4倍までの純水を加え、2倍から5倍までに希釈し、ホモジナイザー(PRO Scientific Inc.製 PRO200 Homogenizer)で粉碎後、小型反射式光度計(Merck社製 RQフレックス)で、各部位に含まれる硝酸イオン濃度を測定した¹⁵⁾。それぞれの実験を、3反復行った。

実験結果および考察

1. 栽培法の差異が‘毛馬’キュウリ果実の苦味強度に及ぼす影響

栽培法が異なる‘毛馬’キュウリ果実の苦味についての官能試験の結果をFig. 1に示した。

‘毛馬’キュウリ果実の苦味強度は、ロックウール養液栽培区は3.08点で“苦味が強い”と評価され、土耕区は2.04点で“苦い”と評価された。また、対照区である‘ときわ夏節’キュウリ果実の苦味強度は、0点で“苦味なし”であった。このように官能検査によって、現在、広く一般的に食されている‘ときわ夏節’キュウリ果実には苦味がなく、大阪府の伝統的なキュウリである‘毛馬’キュウリ果実には苦味が強いことが明らかになった。

昔の品種のキュウリは苦味が強く、石川県の伝統野菜である加賀野菜の‘加賀太’キュウリにも苦味が存在し、地方の品種として、石川県で食されており、苦味発現についての研究が行われている¹⁶⁾。しかし、キュウリ果実の苦味は好まれないため、品種改良は進み、現在普及している‘ときわ夏節’キュウリなどの節成キュウリには苦味がなく、広く食されている^{17), 18)}。

‘毛馬’キュウリに関して、土耕栽培果実よりロックウール養液栽培果実のほうが、苦味が強いことが明らかになった。土耕栽培より養液栽培の方が直接培養液中に

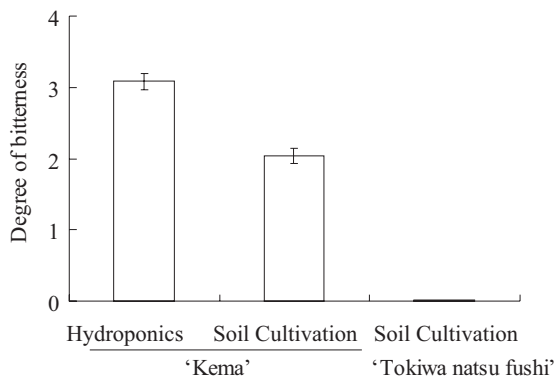


Fig. 1 Effect of culture method on bitterness of ‘Kema’ and ‘Tokiwa natsu fushi’ cucumbers

Values are means of results from fifty panelists and bars represent the S. E.

Vertical axis : Degree of bitterness

0 = “non bitter”, 1 = “weak”, 2 = “moderate”, 3 = “strong”,

4 = “no commercial value”

Horizontal axis : Cultivar and culture method

根部が存在し肥料成分である硝酸イオンに常に接しており、より効率的に硝酸イオンを吸収できるため、植物体中の硝酸態窒素濃度が土耕栽培より高いことがトマトにおいて報告されているが¹⁹⁾、養液栽培では窒素代謝が盛んになるとともに、硝酸還元酵素の活性が高まることでクルビタシンCの生合成が進むため²⁰⁾、土耕栽培果実よりロックウール養液栽培果実の苦味が強かったと考えられた。ただし、今後、培養液を吸収する根部を含むロックウール部分の温度や湿度条件等の検討が必要である。

したがって、‘毛馬’キュウリ果実の苦味強度を栽培法により、コントロールできる可能性が示唆された。

また、果実中に硝酸イオンが少量しか存在しないトマトと比較して、‘毛馬’キュウリは果実中の硝酸イオン濃度を測定することが容易なため、果実中の硝酸イオンと苦味の関連について検討できると考えた。

2. 湛液型水耕栽培において培養液濃度差異が‘毛馬’キュウリの苦味強度に及ぼす影響

湛液型水耕栽培において培養液濃度が異なる‘毛馬’キュウリ果実の収穫果数および良品果数の結果をFig. 2に示した。

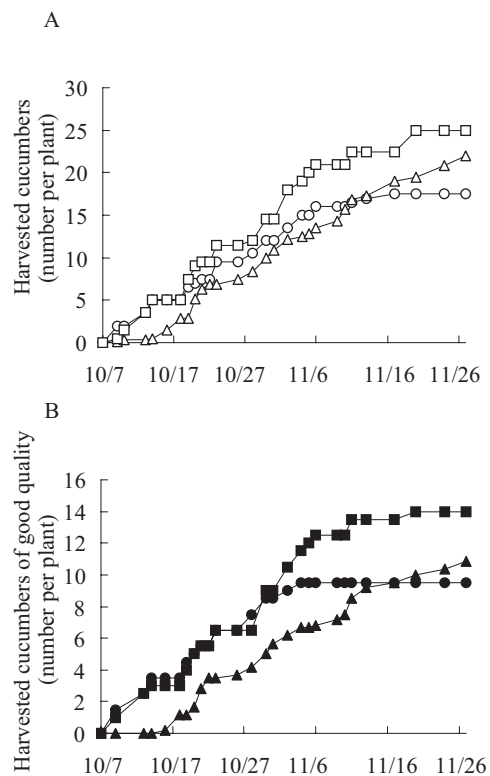


Fig. 2 Effect of hydroponic solution nutrient level on the number of harvested ‘Kema’ cucumbers

A, total number of harvested cucumbers ;

B, total number of harvested cucumbers of high quality

Values are means of results from twenty-two panelists.

Vertical axis : A : total number of harvested cucumbers,

B : total number of harvested cucumbers of good quality

Horizontal axis : Harvest date (month/day)

○and● : Low nutrient level, △and▲ : Medium nutrient level,

□and■ : High nutrient level

収穫果数および良品果数は、高濃度区で最も多く、次いで、中濃度区となり、低濃度区が最も少ないという結果であり、培養液濃度が濃いほど収穫果数および良品果数は多かった。しかし、‘毛馬’キュウリは、曲がり果が発生する⁵⁾などの要因から、良品率は全試験区で約50%であり、特に、収穫後期に曲がり果は多発した。大阪府の慣行法(土耕栽培)で‘毛馬’キュウリは一株当たり約17本収穫できるといわれている⁷⁾が、本試験で、低濃度区では同等で、中濃度区および高濃度区では同等以上の収穫果数であった。

湛液型水耕栽培において培養液濃度が異なる‘毛馬’キュウリ果実の苦味についての官能試験の結果をFig.3に示した。

‘毛馬’キュウリ果実の苦味強度は、中濃度区と比較して、低濃度区は2.55点で苦味が少なく評価され、高濃度区は3.23点で苦味は多いと評価された。したがって、湛液型水耕栽培において培養液濃度が高いほど、苦味が強くなる傾向がみられた。

‘毛馬’キュウリ果実中の硝酸イオン濃度が苦味強度に及ぼす影響をFig.4に示した。

‘毛馬’キュウリ果実に含まれる硝酸イオン濃度が0 ppmから約70ppmまでは、被験者は苦味を感じないと評価したが、約100ppmでは“少し苦い”と評価し、約120ppmでは“苦い”と評価し、約250ppmでは“非常に苦い”と評価した。

したがって、‘毛馬’キュウリ果実に含まれる硝酸イオン濃度が低いと被験者は苦味を感じず、‘毛馬’キュウリ果実中に約70ppm以上の硝酸イオンが含まれていると、‘毛馬’キュウリ果実中の硝酸イオン濃度が高いほど、苦味が強くなることが明らかになった。‘加賀太’キュウリでは、窒素肥料の多施用により苦味果の発

生率が高くなり²¹⁾、‘加賀太’キュウリの苦味系統果実は、果実中に含まれる硝酸イオン濃度が高いという、果実の苦味発現と硝酸イオン濃度の関係について報告されている²⁰⁾。

湛液型水耕栽培における培養液濃度が異なる‘毛馬’キュウリ果実中に含まれる硝酸イオン濃度の結果をFig.5に示した。

果皮について、低濃度区で最も硝酸イオン濃度は低く、次いで、中濃度区となり、高濃度区が最も硝酸イオン濃度は高かった。また、果肉でも、同様の結果であり、すべての試験区で、果肉よりも果皮に硝酸イオンは蓄積されていることが明らかになった。

したがって、‘毛馬’キュウリ果実では、湛液型水耕

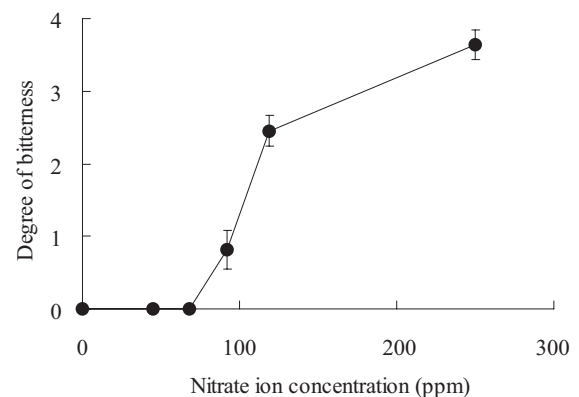


Fig. 4 Relationship of nitrate ion concentration and bitterness of ‘Kema’ cucumbers

Values are means of results from twenty panelists and bars represent the S. E.

Vertical axis: Degree of bitterness

0 = “non bitter”, 1 = “weak”, 2 = “moderate”, 3 = “strong”, 4 = “no commercial value”

Horizontal axis: Nitrate ion concentration (ppm)

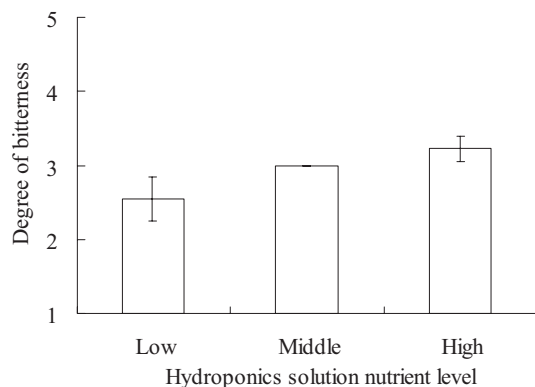


Fig. 3 Effect of different hydroponic solution nutrient levels on bitterness of ‘Kema’ cucumbers

Values are means of results from twenty-two panelists and bars represent the S. E.

Vertical axis: Degree of bitterness

1 = “weak”, 2 = “slightly weak”, 3 = “equal”, 4 = “slightly strong”, 5 = “strong”

Horizontal axis: Nutrient solution level

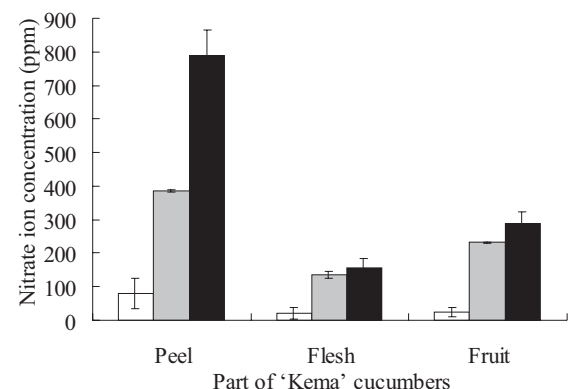


Fig. 5 Effect of hydroponic solution nutrient level on the nitrate ion concentration of ‘Kema’ cucumbers

Values are means of three replicates and bars represent the S. E.

Vertical axis: Nitrate ion concentration (ppm)

Horizontal axis: Part of ‘Kema’ cucumbers

□: Low nutrient level, □: Medium nutrient level,

■: High nutrient level

栽培において培養液濃度が高いほど、果実中に蓄積する硝酸イオン濃度は高いことが明らかになった。また、作物中に存在する硝酸イオンは、多量摂取により健康に悪影響があると報告されており²²⁾、作物中に存在する硝酸イオン濃度を低減する栽培技術は、消費者のニーズである食の安全・安心および健康に寄与するため、多くの研究が成されている^{23)~25)}。EUでは葉菜類や飲料水において硝酸イオンの摂取上限を定めており、FAOとWHOの合同委員会では、1日当たりの硝酸イオンの許容摂取量は、体重1kg当たり5mg以下が望ましいとされている²⁶⁾。今回、「毛馬」キュウリ果実に含まれる硝酸イオン濃度は、EUおよびFAOとWHOの合同委員会の設定している摂取上限ほど高濃度ではなかった。しかし、「賀太」キュウリでは、果実中の硝酸イオン濃度が高いと、窒素代謝活性が高くなり、ククルピタシンC生合成の促進が起きるとの報告があり²⁰⁾、本研究では、ロックウール養液栽培および高濃度培養液を使用した湛液型水耕栽培において、栽培中に硝酸イオンがより多く蓄積することで、窒素代謝活性が高まり、ククルピタシンC生合成が促進されたと推察した。

以上の結果から、「毛馬」キュウリ果実において土耕栽培よりロックウールによる養液栽培で「毛馬」キュウリの苦味発現がより引き起こされた。また、湛液型水耕栽培において培養液濃度が高いほど、「毛馬」キュウリの苦味発現がより引き起こされた。苦味の弱い「毛馬」キュウリを栽培するためには、ロックウールによる養液栽培より土耕栽培を行い、湛液型水耕栽培においては培養液濃度を低く設定し栽培することが望ましく、湛液型水耕栽培において培養液濃度を低くすると、「毛馬」キュウリ果実中に含まれる硝酸イオン濃度は低く消費者ニーズに合った「毛馬」キュウリの栽培が行うことができると考えられた。しかし、低濃度では収量が慣行法の土耕栽培と同等であったため、今後、養液栽培において収量が慣行法以上で、苦味を低減する技術の確立が必要である。

要 約

「なにわの伝統野菜」の普及・拡大を行い、消費者からのニーズのある苦味が弱く高品質な「毛馬」キュウリの栽培法を確立するため、栽培法の差異および湛液型水耕栽培における培養液濃度の差異が「毛馬」キュウリの苦味発現および品質に及ぼす影響について検討した。

「毛馬」キュウリを土耕栽培およびロックウールによる養液栽培を行い、一般に食されている節成キュウリである「ときわ夏節」と苦味強度を比較した結果、土耕栽培よりロックウールによる養液栽培をすると苦味が強くなることが官能試験の結果から明らかになった。また、現在、広く食されている節成キュウリである「ときわ夏節」果実には、苦味がなく、伝統野菜である「毛馬」キュウリ果実は苦味が強くなることが明らかになった。湛液型水耕栽培

において培養液濃度の差異が「毛馬」キュウリの収量および品質にどのような影響を及ぼすか明らかになった。収量は、低濃度<中濃度<高濃度という傾向があり、果実の苦味強度は、低濃度<中濃度<高濃度という結果であった。また、果実中の硝酸イオン濃度と苦味強度の関係性を明らかにし、果実中に含まれる硝酸イオン濃度は低濃度<中濃度<高濃度という結果であった。

以上の結果から、「毛馬」キュウリ果実において土耕栽培よりロックウールによる養液栽培、および、湛液水耕栽培で培養液濃度が高いほど、「毛馬」キュウリ果実の苦味発現が引き起こされたため、苦味の弱い「毛馬」キュウリを栽培するためには、ロックウールによる養液栽培より土耕栽培を行い、湛液型水耕栽培においては培養液濃度を低く設定し栽培することが望ましいと考えられた。しかし、湛液型水耕栽培での培養液が低濃度の場合では収量が低かったため、今後、収量を落とさず、苦味を低減する技術確立が必要である。

文 献

- 1) 河野公子：食育，食科工，**54**，204（2007）
- 2) 内藤重之・森下正博：「なにわの伝統野菜」の復活と地域・産業の取り組み，大阪食とみどり技セ研報，**43**，5～12（2007）
- 3) 伊藤庄次郎：蔬菜品質解説（朝倉書店，東京），pp.31～34（1952）
- 4) 熊澤三郎：胡瓜栽培の経済的研究，農及園，**8**，371～384（1932）
- 5) 森下正博：大阪在来「毛馬」キュウリの来歴と品種特性，大阪農技セ研報，**37**，27～34（2001）
- 6) 森下正博：キュウリ果実のテクスチャーの品種間差，大阪食とみどり技セ研報，**39**，1～5（2003）
- 7) 森下正博：「毛馬」キュウリ，なにわの伝統野菜（大阪府立農林技術センター，大阪），pp.11～15（1999）
- 8) 森下正博：大阪府＝なにわの伝統野菜の復活による「天王寺蕪，毛馬胡瓜」のEマーク商品化，施設と園芸，**122**，33～36（2003）
- 9) REHM, S., ENSLIN, P. R., MEEUSE, A. D. J. and WESSELS, J. H.: Bitter principles of the Cucurbitaceae, 7. The distribution of bitter principles in this plant family, *J. Sci. Food. Agric.*, **8**, 679～686（1957）
- 10) ENLIN, P. R. and REHM, S.: The distribution and biogenesis of the cucurbitacines in relation to the taxonomy of the Cucurbitaceae, *Proc. Linn. Soc. (London)*, **169**, 230～238（1958）
- 11) 清田マキ・関根康子・藤代岳雄・岡 充・小泉典子：土耕および水耕におけるホウレンソウの成分および生食の食味の差異，栄食誌，**49**，107～112（1996）
- 12) 下間 実：ウリ科植物の苦味物質の遺伝・生化学的研究，生研時報，**12**，85～91（1961）

- 13) 大阪府環境農林水産部農政室：なにわふるさと野菜栽培指針（大阪府環境農林水産部農政室，大阪），pp. 1～7（2004）
- 14) 池田英男：用水と培養液の調整，日本施設園芸協会編，最新養液栽培の手引き（誠文堂，東京）（1996）
- 15) 建部雅子：作物栄養診断のための小型反射式光度計システムによる硝酸及び還元型アスコルビン酸の簡易測定法，土肥誌，**66**，147～112（1995）
- 16) 加納恭卓：‘加賀太’キュウリ果実における苦味発現，金沢大学大学教育開放センター紀要，**18**，55～63（1998）
- 17) 大阪の園芸：きゅうり（近畿農政局大阪統計情報事務所，大阪），pp. 18～23（1960）
- 18) 大阪市史編纂所：天満青物市場史，下（1990）
- 19) 李 光植・喻 景権・太田勝巳・若月利之・松井佳久：水耕栽培トマト中の無機元素濃度の経時変化，土肥誌，**62**，606～612（1991）
- 20) 加納恭卓・山辺 守・石本兼治・福田秀範：‘加賀太’キュウリ (*Cucumis sativus* L. cv. Kagafutokyuri) の葉および果実における苦味発現と窒素代謝との関連，園学雑，**68**，391～396（1999）
- 21) 加納恭卓・関沢雅代・橋本 尚・山辺 守・石本兼治・亀田英喜：‘加賀太’キュウリの苦味果発生における系統分類育種の効果，平成6年度園学北陸支部要旨，15（1994）
- 22) 国包章一：硝酸性窒素および亜硝酸性窒素の健康影響，水環境学会誌，**19**，965～968（1996）
- 23) 建部雅子・岡崎圭毅・鍵下恵太・唐澤敏彦：ハウレンソウの硝酸イオン含有率低減に対する養液土耕栽培の効果，土肥誌，**77**，9～16（2006）
- 24) 篠原 温・塚越 覚・林菜穂子・丸尾 達・北条雅章：ハウレンソウの養液土耕における日射比例型制御による硝酸塩濃度低減化技術の実用化，園学雑，**6**，195～199（2007）
- 25) 上西愛子・野村 研・北浦健生・河田隆弘・北 宜裕：ハウレンソウのシュウ酸塩および硝酸塩濃度に及ぼす窒素施用量と灌水量の影響，農業生産技術管理学会誌，**14**，9～14（2007）
- 26) 田代正一：EUの硝酸塩指令に関する一考察，鹿大農学術報告，**50**，95～101（2000）
（平成21年12月21日受付，平成22年8月19日受理）

水耕栽培における施肥法および培地の差異が ‘毛馬’ キュウリ (*Cucumis sativus* L. cv. Kema) の 苦味発現および品質に及ぼす影響

嘉悦佳子^{*1§}・森川信也^{*1}・磯部武志^{*1}
中村謙治^{*2}・阿部一博^{*3}

*1 大阪府環境農林水産総合研究所

*2 エスペックミック(株)

*3 大阪府立大学大学院生命環境科学研究科

Effects of Fertilizer Application Method and Nutrient Medium on Bitterness and Quality of Cucumbers (*Cucumis sativus* L. cv. Kema)

KAETSU Keiko^{*1§}, MORIKAWA Shinya^{*1}, ISOBE Takeshi^{*1},
NAKAMURA Kenji^{*2} and ABE Kazuhiro^{*3}

*1 *Research Institute of Environment, Agriculture and Fisheries, Osaka Prefectural Government,
442 Shakudo, Habikino-shi, Osaka 583-0862*

*2 *Especmic Corp, 3-11-17 Ikeda, Neyagawa-shi, Osaka 572-0039*

*3 *Graduate School of Agriculture and Biological Science, Osaka Prefecture University,
1-1 Gakuen-cho, Naka-ku, Sakai-shi, Osaka 599-8531*

To establish an efficient cultivation system for producing high-quality cucumbers (*Cucumis sativus* L. cv. Kema), a comparison of cucumbers grown in hydroponic solution culture with different fertilizers applied and nutrient media used were investigated. In the hydroponic solution culture, the cucumbers grown the application of chemical fertilizer were more bitter than the cucumbers grown with the application of organic fertilizer. The cucumbers grown in the chemical hydroponic solution by the deep-flow technique were bitter compared with the cucumbers grown in the hybrid hydroponic solutions (with chemical and organic fertilizers) with a solid substrate. The greatest number of harvested cucumbers was obtained in the chemical hydroponic solutions with a solid substrate, and the least number of harvested cucumbers was obtained in the hydroponic solution with organic fertilizer with a solid substrate. In hydroponics by the deep-flow technique, the cucumbers grown with the application of organic fertilizer had the lowest total phenol concentration, whereas the cucumbers grown with the application of chemical fertilizer had the highest total phenol concentration. The cucumbers grown using organic hydroponics by the deep-flow technique had the lowest nitrate ion concentration, whereas the cucumbers grown using chemical hydroponics by the deep-flow technique had the highest nitrate ion concentration. From these results, we conclude that the yield of bitter cucumbers can be reduced by the application of organic fertilizer in hydroponics rather than by the application of chemical fertilizer, and by the use of hydroponics with a solid substrate rather than by the deep-flow technique.

(Received Apr. 2, 2010; Accepted Aug. 19, 2010)

Key words : cucumber, bitterness, hydroponics, nitrate ion concentration, organic fertilizer

キュウリ, 苦味, 養液栽培, 硝酸イオン濃度, 有機肥料

*1 〒583-0862 大阪府羽曳野市尺度442

§ Corresponding author, E-mail : kaetsuk@mbbox.epcc.pref.osaka.jp

*2 〒572-0039 大阪府寝屋川市池田3-11-17

*3 〒599-8531 大阪府堺市中区学園町1-1

現在、日本では、食に関する社会の流れを受け、古くからの大阪地場産野菜である「なにわの伝統野菜」が大阪府でも注目され、2005年に「なにわの伝統野菜認証制度」が開始され、現在、17品目の野菜が認証されており、普及と消費拡大のための活動が行われている¹⁾。

「なにわの伝統野菜」の一種である‘毛馬’キュウリは、大阪市都島区毛馬町登祥の半白系の黒イボ胡瓜で、現在は大阪府の河南町や堺市などで栽培されている^{2),3)}。食味の特徴として果実の苦味と特有のテクスチャーがあり⁴⁾、そのテクスチャーの特徴を生かして、奈良漬けや糠漬けなどの加工品として食されている^{5),6)}。

しかし、‘毛馬’キュウリでは、過度に苦い果実が生産されることがあり、過度の苦味を有する‘毛馬’キュウリ果実は、消費者に受け入れられにくいと、問題視されている⁷⁾。そこで、筆者らは、‘毛馬’キュウリを湛液型水耕栽培において培養液濃度を低下させると、苦味を低減できることを明らかにした⁸⁾。また、‘毛馬’キュウリ果実において、果実の苦味と果実中に含まれている硝酸イオン濃度には、相関関係があることも明らかにした⁸⁾。しかし、苦味を低減させるために培養液濃度を低下させると、収量が慣行栽培以下になり、果実色が薄くなった。一方、著者らは有機肥料および無機肥料を併用してミツバの養液栽培を行うと、慣行法と同等な収量および品質を維持しつつ、ミツバ作物中の硝酸イオン濃度が低減することを明らかにした⁹⁾。また、大阪特産野菜の一種である‘水ナス’において、軽石を培地に使用したフィールド養液栽培を行うと、湛液型養液栽培と比較して‘水ナス’果実中の硝酸イオン濃度を低減できることを著者らは明らかにした¹⁰⁾。

このため、作物中の硝酸イオン濃度を低減する有機肥料の使用およびフィールド養液栽培を行うことで、‘毛馬’キュウリ果実の収量および品質を維持しつつ、果実の苦味を軽減できるかどうかを明らかにするために、本研究では、異なる培地および施肥法が‘毛馬’キュウリの苦味強度にどのような影響を及ぼすかを明らかにするとともに、‘毛馬’キュウリ果実中の苦味強度とフェノール物質含量および硝酸イオン濃度を調べた。

実験材料および実験方法

(1) 栽培概要 大阪府環境農林水産総合研究所にて採種した‘毛馬’キュウリ種子を、2009年8月12日にパーミキュライトに播種した。播種後、ビニルトンネル内で育苗し、2009年9月4日にパーミキュライトを洗い落とし、1試験区6株ずつ定植し、同研究所所有の栽培施設(全長:20m, 横幅:5.4m)にて養液栽培を行った。

栽培は、以下の4試験区で行った。

- ・無機水耕区: 無機肥料のみを施した湛液型水耕栽培。
- ・有機水耕区: 有機肥料のみを施した湛液型水耕栽培。
- ・無機フィールド区: 無機肥料のみを施したフィールド

養液栽培(固形培地として軽石状のパミスサンドを使用)。

- ・ハイブリッドフィールド区: 無機肥料と有機肥料を併用したフィールド養液栽培。

無機水耕区および無機フィールド区における施肥管理は、無機肥料であるマツザキ1号・2号(N10.4%, P2.1%, K14.4%)を大塚A処方1/2単位¹¹⁾で施肥し、ECを約1.2 mS/cmに維持した。フィールド区の養液栽培部にはW65×L585 cmの栽培ベッドにパミスサンドを使用し、容量350Lの給水タンクを付属し、フロートバルブによりシステム内の培養液量が常に一定となるように水が補給される。有機水耕区およびハイブリッドフィールド区に施した有機肥料は、コーンスターチを生産する際の産業廃棄物であるコーンステーパーリカー(N3%, P3%, K2%)を使用した。ハイブリッドフィールド区では、給水タンクに無機肥料と有機肥料を窒素換算量で1:1となるよう添加した。同様に、無機フィールド区では、無機肥料のみを添加した。無機水耕区は、フィールド区と同様の栽培ベッドにポンプを追加した栽培システムにより、無機肥料を使用した循環型湛液水耕を行った。また、有機水耕区は、無機水耕区と同様のシステムにおいて有機肥料のみを使用し、無機水耕区と同量の窒素量を施用し循環型湛液水耕を行った。その際、有機肥料の無機化を進めるため、土壌を投入し十分に曝気を行った。栽培中は、培養液のECとpHならびに無機塩類濃度を定期的に測定した。すべての試験区の仕立法や摘心および病害虫防除は大阪府が刊行している栽培指針に準じて行った¹²⁾。

‘毛馬’キュウリ果実の外観品質特性は、果梗部から3分の1は淡緑色であるが、果頂部までの残りの3分の2は淡緑白色であり⁷⁾、収穫・流通の規格は果長:約30 cm, 太さ:3 cmである。2009年10月9日から販売規格に達した‘毛馬’キュウリ果実を適宜収穫した。

(2) 官能検査 各4試験区の収穫直後のキュウリについて、‘毛馬’キュウリ果実で最も苦味の強い部位である果梗部から約10cmの部位を、それぞれフードプロセッサーで粉碎し、同研究所にて苦味についての官能検査を2009年11月6日に12人の被験者を対象に行った。官能検査は、“苦味なし”を0点で、“少し苦い”を1点で、“苦い”を2点で、“苦味が強い”を3点で、“苦味が強すぎて食べることができない”を4点の5段階で評価した。

(3) ‘毛馬’キュウリ果実中に含まれる総フェノール物質含量およびオルトジフェノール含量測定 一般的に青果物の苦味および渋味を呈するといわれているフェノール物質は¹³⁾、栽培中の施肥量と相関があり、無機肥料の窒素施肥量が多いほど、作物中のフェノール物質含量は高くなるとの報告がある^{14)~17)}。そこで、‘毛馬’キュウリ果実中に含まれる総フェノール物質含量およびオルトジフェノール含量を測定した。

各試験区の果実について、果梗部の先端から約10cmまで約10cmの部分、ナイフで細かく刻み、それぞれの試料10gを100ml三角フラスコに量りとり、80%エタノールを40ml加えて還流管を取りつけ、80℃で20分抽出した。冷却後、ホモジナイザー（PRO Scientific Inc.製 PRO 200 Homogenizer）で粉碎した後、試料を吸引ろ過し試料を50mlに定容した。

得られたろ液2mlを量りとり、1Nフェノール試薬2mlを加えて混合し、3分後に10%炭酸ナトリウム2mlを加えた。混合後、1時間放置し、530nmにおける吸光度を測定した（日立製作所 U-2000形ダブルビーム分光光度計）。それぞれの実験を、3反復行った。

また、得られたろ液1mlを量りとり、0.1N塩酸2mlを加えて混合した。その後、蒸留水100mlに亜硝酸ナトリウム10gとモリブデン酸ナトリウム10gを溶かしたArnow試薬2mlを加えて十分に混合し、1N水酸化ナトリウム2mlを加えた。赤ワイン色を呈したところへ蒸留水2mlを加えて室温で20分間放置し、530nmにおける吸光度を測定した（日立製作所製 U-2000形ダブルビーム分光光度計）。それぞれの実験を、3反復行った。

(4) ‘毛馬’キュウリ果実中に含まれる硝酸イオン濃度測定 収穫した‘毛馬’キュウリ果実の果皮をピーラーで果皮表面から1mm厚で切り取り、それぞれの果皮をナイフで細かく刻み分析に供し、果肉もナイフで細かく刻み分析に供した。それぞれを含量によって等量から4倍の純水を加えることによって希釈し、ホモジナイザー（PRO Scientific Inc.製 PRO200 Homogenizer）で粉碎後、小型反射式光度計（Merch社製 RQフレックス）で、各部位に含まれる硝酸イオン濃度を測定した¹⁸⁾。それぞれの実験を、3反復行った。

実験結果および考察

1. 培地および施肥法の差異が‘毛馬’キュウリ果実の収量に及ぼす影響

養液栽培において培地および施肥法が異なる‘毛馬’キュウリ果実の収穫果数および良品果数の結果をFig. 1に示した。

1株当たりの収穫果数（Fig. 1-A）は、ハイブリッドフィールド区で最も少なく約19本であったが、ほかの試験区である有機水耕区と無機水耕区ならびに無機フィールド区は同等で収穫果数は約22本であり、収穫物の総重量についても同等であった。また、1株当たりの良品収穫果数（Fig. 1-B）は、無機フィールド区で最も多く、次いで、無機水耕区と有機水耕区であり、ハイブリッドフィールド区が最も少なかった。慣行法である土耕栽培で‘毛馬’キュウリは1株当たり総収穫本数は約17本といわれている¹⁹⁾が、養液栽培を行った本試験では、全試験区で慣行法以上の収量であった。

‘毛馬’キュウリは、収穫後期に多発する曲がり果⁷⁾などの要因から、良品率は一般的に食されている節成キュウリと比較すると低くなる。

良品率を計算すると、良品収穫果数と同様に、無機フィールド区で最も高く約60%であった。次いで、無機水耕区と有機水耕区が約50%であり、ハイブリッドフィールド区が最も低く約45%であった。

有機肥料を養液栽培に使用する場合、有機肥料の無機化が必須であるが²⁰⁾、固形培地が存在するフィールド養液栽培では、栽培槽の下の給水溝から給水シートを伝って培養液を供給する。そのため、培養液内物質の交換が行われず溶存酸素濃度も維持できないため、有機肥料の無機化が十分に行われなかったことが収量の低下の原因のひとつと考えられた。また、栽培中、給水溝にバイオフィームが蓄積しており、給水を妨害していたことも、収量の低下の原因のひとつと考えられた。しかし、有機水耕区では、培養液の曝気が行われ溶存酸素濃度も維持したため、有機肥料の無機化が効率よく行われ、植物体も栄養分を吸収することができ、無機水耕区と同

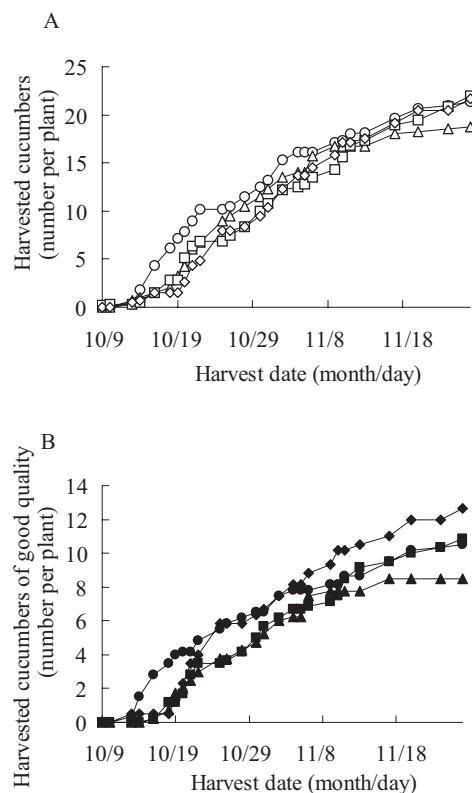


Fig. 1 Effect of culture method (nutrient medium and fertilizer application method) on the number of harvested ‘Kema’ cucumber s

A, total number of harvested cucumbers ;
 B, total number of harvested fruits of good quality
 Vertical axis: A : total number of harvested cucumbers,
 B: total number of harvested cucumbers of good quality
 Horizontal axis: Harvest date (month/day)
 ○and● : OH (organic hydroponics by the deep-flow technique),
 △and▲ : HHS (hybrid hydroponics with a solid substrate),
 □and■ : CH (chemical hydroponics by the deep-flow technique),
 ◇and◆ : CHS (chemical hydroponics with a solid substrate)

等の収量を得られたと考えられた。

2. 施肥法および培地の差異が‘毛馬’キュウリ果実の苦味強度に及ぼす影響

水耕栽培において施肥法および培地が異なる‘毛馬’キュウリ果実の苦味についての官能試験の結果をFig. 2に示した。

‘毛馬’キュウリ果実の苦味強度は、無機水耕区で最も高く約3.7点と評価され、次いで、無機フィールド区の約3.5点で、ハイブリッドフィールド区の約2.5点で、有機水耕区で最も低く約0.8点と評価された。

以上の結果から、全窒素量中の有機肥料の割合が高いほど、‘毛馬’キュウリ果実中の苦味は低減した。また、無機肥料を使用した場合、湛液型養液栽培と比較して、固形培地が存在するフィールド養液栽培を行うと‘毛馬’キュウリ果実中の苦味は低減した。これは、湛液型養液栽培では、肥料成分と根部が直接接しており、肥料成分を吸収しやすく、苦味成分の生合成を促進し苦味が強まったと考察された。一方、フィールド養液栽培では、固形培地が根部の周辺に存在するため、湛液型養液栽培ほど肥料成分を吸収しにくく、苦味が低減したと考察された。

したがって、‘毛馬’キュウリ果実の苦味強度を施肥法および培地により、コントロールできる可能性が示唆された。

3. 施肥法および培地の差異が‘毛馬’キュウリ果実の品質に及ぼす影響

養液栽培において培地および施肥法が異なる‘毛馬’キュウリ果実中に含まれる総フェノール物質含量およびオルトジフェノール含量の結果をFig. 3に示した。

総フェノール物質含量は、無機水耕区および無機フィールド区で最も高く、ハイブリッドフィールド区および有機水耕区で最も低かった。オルトジフェノール含量は、‘毛馬’キュウリ果実中に含まれる総フェノール物質含量に占める割合は低かったが、総フェノール物質含量と同様の結果であった。

‘毛馬’キュウリ果実の苦味強度が約3.5点以上で高かった無機水耕区と無機フィールド区では、‘毛馬’キュウリ果実中に含まれる総フェノール物質含量およびオルトジフェノール含量も高く、苦味強度が1点以下で低かった有機水耕区では、‘毛馬’キュウリ果実に含まれる総フェノール物質含量およびオルトジフェノール含量も低かった。したがって、養液栽培において、固形培地および有機肥料を使用することによって、‘毛馬’キュウリ果実のフェノール物質含量を低減できることを明らかにした。しかし、苦味強度が約2.5点であったハイブリッドフィールド区の総フェノール物質含量およびオルトジフェノール含量は、有機水耕区と同等に低かったため、フェノール物質が‘毛馬’キュウリ果実の苦味に直接関与しているとは言及することはできなかった。

筆者らは、‘毛馬’キュウリ果実において、果実の苦

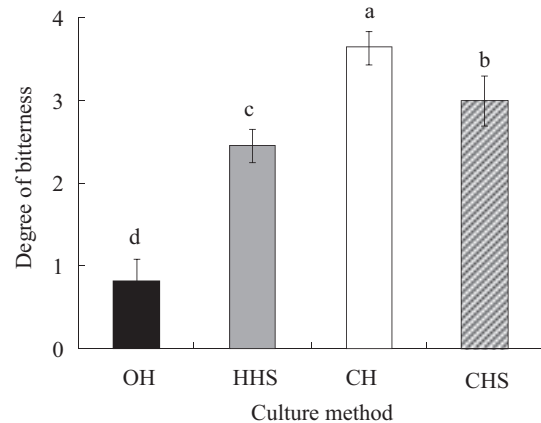


Fig. 2 Effect of culture method (nutrient medium and fertilizer application method) on bitterness of ‘Kema’ cucumbers

Values are means of results from twelve panelists and bars represent the S. E.

Different characters indicate that the means are significantly different at 5 % level by Fisher’s LSD.

Vertical axis: Degree of bitterness

0 = “non bitter”, 1 = “weak”, 2 = “moderate”, 3 = “strong”, 4 = “no commercial value”

Horizontal axis: Culture method (sown in Fig. 1)

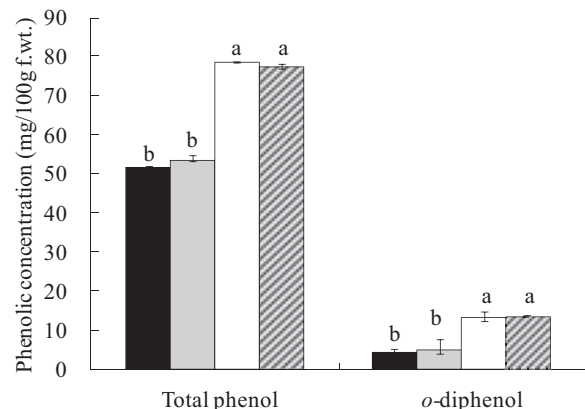


Fig. 3 Effects of culture method (nutrient medium and fertilizer application method) on total phenol and o-diphenol concentrations of ‘Kema’ cucumbers

Values are means of three replicates and bars represent the S. E. Different characters indicate that the means are significantly different at 5 % level by Fisher’s LSD.

Vertical axis: Total phenol and o-diphenol concentrations (mg/100 g f. wt.)

Horizontal axis: Total phenol and o-phenol concentrations

■: OH, □: HHS, □: CH, ▨: CHS (sown in Fig. 1)

味と果実中に含まれている硝酸イオン濃度には、相関関係があると報告した⁸⁾。そこで、本研究では、苦味発現に関与する培養液中および果実中の硝酸イオン濃度を測定した。

湛液型水耕栽培における培養液中に含まれる硝酸イオン濃度の結果をFig. 4に示した。

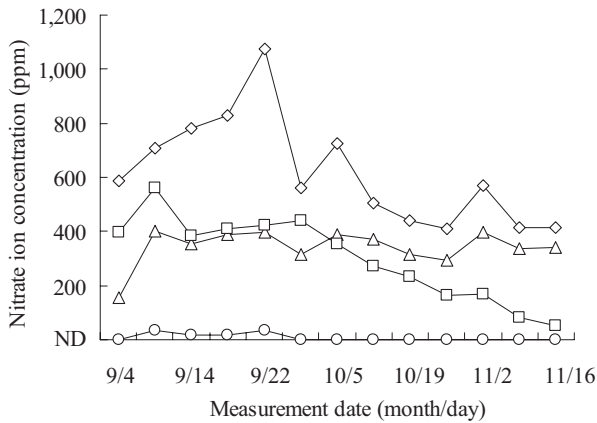


Fig. 4 Change in nitrate ion concentration of hydroponic solution

Vertical axis : Nitrate ion concentration (ppm)
Horizontal axis : Measurement date (month/day)
○ : OH, △ : HHS, □ : CH, ◇ : CHS (sown in Fig. 1)

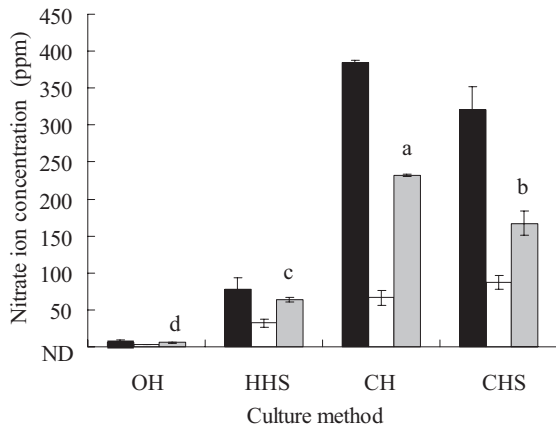


Fig. 5 Effect of culture method (nutrient medium and fertilizer application method) on nitrate ion concentration of 'Kema' cucumbers

Values are means of three replicates and bars represent the S. E. Different characters indicate that the means are significantly different at 5 % level by Fisher's LSD.

Vertical axis : Nitrate ion concentration (ppm)
Horizontal axis : Culture method (sown in Fig. 1)
■ : Peel, □ : Flesh, ▨ : Fruit

培養液の硝酸イオン濃度は、有機水耕区の硝酸イオン濃度は栽培期間を通じて検出限界以下であった。ハイブリッドフィールド区の栽培中の硝酸イオン濃度は約400 ppmの濃度を維持し、無機水耕区は栽培初期には、約400 ppmであったが、栽培期間中に低下し、栽培後期には約100ppm以下になり、無機フィールド区は栽培初期には約600ppm以上であったが、栽培期間中に低下し、400 ppmから500ppmまでの濃度を維持した。

養液栽培における培地および施肥法が異なる '毛馬' キュウリ果実中に含まれる硝酸イオン濃度の結果を Fig. 5に示した。

果実中の硝酸イオン濃度は、無機水耕区が約230ppmで最も高く、次いで、無機フィールド区が約170ppmであり、ハイブリッドフィールド区が約60ppmで、有機水耕区が約2 ppmで最も低かった。果皮についても、果実と同様の結果であったが、果肉については、無機フィールド区が最も高く、次いで、無機水耕区であった。全試験区で、果肉よりも果皮に多く硝酸イオンは蓄積された。

筆者らの研究では、無機肥料を施して培養液濃度を異なる '毛馬' キュウリの湛液型養液栽培を行ったところ、低濃度の培養液で栽培すると、果実中の硝酸イオン濃度は低減し、果実の苦味も低減したが収量も低下した⁸⁾。しかし、本研究にて、有機肥料を施して '毛馬' キュウリの湛液型養液栽培を行うと、収量は無機肥料を施した場合と同等で、果実中の硝酸イオン濃度は低減し、果実の苦味も低減した。これは、硝酸態窒素以外の様々な窒素形態を含む有機肥料を施すことで、'毛馬' キュウリの生育に必要な窒素量を持続的に供給することができたためと考えられた。

以上の結果から、無機肥料単用において、培地が異なった場合、培養液のみを使用した湛液型養液栽培より固形培地を支持体とするフィールド養液栽培のほうが果実中の硝酸イオン濃度を低減することができた。また、全施肥量に対する有機肥料の割合が高いほど、果実中の硝酸イオン濃度は低減した。

'加賀太' キュウリの苦味系統果実は、果実中に含まれる硝酸イオン濃度が高いという、果実の苦味発現と硝酸イオン濃度の関係について報告があり²¹⁾、本試験の結果はその知見と同様の結果であった。'加賀太' キュウリでは、窒素肥料の多施用により苦味果の発生率が高くなるとの報告があるが²²⁾、栽培中に使用する肥料の種類を無機肥料から有機肥料に転換することで、'毛馬' キュウリ果実の苦味が低減することを明らかにした。

作物中に存在する硝酸イオンは、多量摂取により健康に悪影響があると報告されており²³⁾、作物中に存在する硝酸イオン濃度を低減する栽培技術は、消費者のニーズである食の安全・安心および健康に寄与するため、多くの研究が成されている^{24)~26)}。また、硝酸イオン濃度が高いことはキュウリ果実の苦味の強さにも関係しており、'加賀太' キュウリでは、果実中の硝酸イオン濃度が高いと、窒素代謝活性が高くなり、ククルピタシンC生合成の促進が起きるとの報告があり²¹⁾、本研究では、養液栽培において、無機肥料単用および培養液のみの使用により、栽培中の果実に硝酸イオン濃度がより多く蓄積することで、窒素代謝活性が高まり、苦味成分の生合成が促進されたと推察した。

以上の結果から、'毛馬' キュウリ果実において無機肥料単用より有機肥料単用による養液栽培を行うことで、果実中の苦味は低減し、有機肥料と無機肥料を併用することでも、果実中の苦味は低減したため、全施肥量に対する有機肥料の割合が高いほど、果実中の苦味は低減し

た。また、無機肥料単用では、湛液型養液栽培より、フィールド養液栽培を行うと、果実中の苦味は低減した。有機肥料単用の湛液型養液栽培を行うことで、苦味の弱い‘毛馬’キュウリを栽培することが実現できた。また、‘毛馬’キュウリ果実中に含まれる硝酸イオン濃度を低減でき、消費者ニーズに合った‘毛馬’キュウリの栽培が行うことができると考えられた。しかし、有機肥料を使用したフィールド養液栽培を行うと、培養液内物質の交換が行われず溶存酸素濃度も維持できないため、有機肥料の無機化が十分に行われなかったことや給水溝に蓄積したバイオフィームによる給水の妨害等により、収量の低下が起きたため、今後、より苦味を低減するため、これらの問題点を解決した技術を確認することが必要である。

要 約

苦味が弱い‘毛馬’キュウリの栽培法を確認するため、養液栽培において施肥法および培地の差異が‘毛馬’キュウリの苦味発現および品質に及ぼす影響について検討した。

養液栽培において、無機肥料のみを施した‘毛馬’キュウリ果実は、有機肥料のみを施した‘毛馬’キュウリ果実よりも苦味が強かった。また、湛液型養液栽培を行った‘毛馬’キュウリ果実は、固形培地を支持体とするフィールド養液栽培を行った‘毛馬’キュウリ果実よりも苦味が強かった。収量は、無機肥料単用でフィールド養液栽培をすると最も多く、次いで、湛液型養液栽培であり、有機肥料と無機肥料を併用しフィールド養液栽培をすると最も少なかった。また、果実中の総フェノール含量は、有機肥料単用の湛液型養液栽培で最も低く、無機肥料単用の湛液型養液栽培で最も高かった。果実中の硝酸イオン濃度は、有機肥料単用の湛液型養液栽培で最も低く、無機肥料単用の湛液型養液栽培で最も高かった。

以上の結果から、苦味の弱い‘毛馬’キュウリを栽培するためには、無機肥料単用より有機肥料単用が望ましく、また、無機肥料単用においては湛液型養液栽培よりフィールド養液栽培することが望ましいことを明らかにした。

文 献

- 1) 内藤重之・森下正博：「なにわの伝統野菜」の復活と地域・産業の取り組み，大阪食とみどり技セ研報，**43**，5～12（2007）
- 2) 伊藤庄次郎：蔬菜品質解説，pp.31～34（1952）
- 3) 熊澤三郎：胡瓜栽培の経済的研究，農及園，**8**，371～384（1932）
- 4) 森下正博：キュウリ果実のテクスチャーの品種間差，大阪食とみどり技セ研報，**39**，1～5（2003）
- 5) 森下正博：‘毛馬’キュウリ，なにわの伝統野菜，pp.6～9（1999）
- 6) 森下正博：大阪府＝なにわの伝統野菜の復活による‘天王寺蕪，毛馬胡瓜’のEマーク商品化，施設と園芸，**122**，33～36（2003）
- 7) 森下正博：大阪在来‘毛馬’キュウリの来歴と品種特性，大阪農技セ研報，**37**，27～34（2001）
- 8) 嘉悦佳子・森川信也・磯部武志・中村謙治・阿部一博：栽培法および養液栽培における培養液濃度の差異が‘毛馬’キュウリの苦味発現に及ぼす影響，園学研，**9**（別1），182（2010）
- 9) 嘉悦佳子・森川信也・磯部武志・中村謙治・阿部一博：水耕ミツバ作物中の硝酸イオン濃度を低下させる栽培法，園学研，**8**（別2），216（2009）
- 10) 嘉悦佳子・森川信也・磯部武志・中村謙治・阿部一博：栽培法の差異が‘水ナス’果実中の硝酸イオン濃度に及ぼす影響，日本ベジタリアン学会第9回大会要旨，7（2009）
- 11) 池田英男：用水と培養液の調整，日本施設園芸協会編，最新養液栽培の手引き（誠文堂，東京）（1996）
- 12) 大阪府環境農林水産部農政室：なにわふるさと野菜栽培指針（大阪府環境農林水産部農政室，大阪），pp.1～7（2004）
- 13) 茶珍和雄：園芸作物保蔵論（株式会社建帛社，東京），pp.142～148（2007）
- 14) 山内直樹・田村順介・緒方邦安：異なった施肥条件で生育したオクラ果実のアスコルビン酸ならびにフェノール物質含量と低温障害発生，栄養と食糧，**33**，293～298（1980）
- 15) 秋葉 香・加藤 淳・小嶋道之：施肥量および登熟過程の違いがアズキのポリフェノール含量に及ぼす影響，日本土壌肥料学会講演要旨集，**48**，193（2002）
- 16) 李 家華・石黒悦爾・根角厚司・石川大太郎・清水圭一・坂田佑介・橋本文雄：肥料の違いが茶ポリフェノール類の含量に与える影響，農業生産技術管理学会誌，**14**，87～92（2007）
- 17) 中多啓子・小川静香・田中宗浩・尊田民嘉・安田みどり・藤田修二・福元裕二：施肥の違いによる栽培サラダナのラジカル捕捉活性の相違，日本家政学会誌，**58**，407～411（2007）
- 18) 建部雅子：作物栄養診断のための小型反射式光度計システムによる硝酸及び還元型アスコルビン酸の簡易測定法，土肥誌，**66**，147～112（1995）
- 19) 森下正博：‘毛馬’キュウリ，なにわの伝統野菜，pp.6～9（1999）
- 20) 篠原 信：有機肥料の養液栽培－並行複式無機化法による養液内微生物生態系構築法，農業および園芸，**81**，753～764（2006）
- 21) 加納恭卓・山辺 守・石本兼治・福田秀範：‘加賀太’キュウリ（*Cucumis sativus* L. cv. Kagafutokyuri）の葉および果実における苦味発現と窒素代謝との関連，園学雑，**68**，391～396（1999）

- 22) 加納恭卓・関沢雅代・橋本 尚・山辺 守・石本兼治・亀田英喜：‘加賀太’キュウリの苦味果発生における系統分類育種の効果，平成 6 年度園学北陸支部要旨，p.15 (1994)
- 23) 国包章一：硝酸性窒素および亜硝酸性窒素の健康影響，水環境学会誌，**19**，965～968 (1996)
- 24) 建部雅子・岡崎圭毅・鍵下恵太・唐澤敏彦：ハウレンソウの硝酸イオン含有率低減に対する養液土耕栽培の効果，土肥誌，**77**，9～16 (2006)
- 25) 篠原 温・塚越 覚・林菜穂子・丸尾 達・北条雅章：ハウレンソウの養液土耕における日射比例型制御による硝酸塩濃度低減化技術の実用化，園学雑，**6**，195～199 (2007)
- 26) 上西愛子・野村 研・北浦健生・河田隆弘・北 宜裕：ハウレンソウのシュウ酸塩および硝酸塩濃度に及ぼす窒素施用量と灌水量の影響，農業生産技術管理学会誌，**14**，9～14 (2007)
- (平成22年 4 月 2 日受付，平成22年 8 月19日受理)
-

Effects of Immersion in Aqueous 1-methylcyclopropene (1-MCP) Solution on Ripening of Bananas

KAWAGUCHI Keita*, SUZUKI Yasuo*[§] and TERAJ Hirofumi*

* Graduate School of Agricultural Science, Kobe University, Rokkodai-cho 1-1, Nada-ku, Kobe 657-8501

The effects of immersion in aqueous 1-methylcyclopropene (1-MCP) solution on the ripening of bananas were investigated. Mature green bananas were immersed in water (control) or 0.1, 1, 10, 50, 100, or 1,000 μg (active ingredient) L^{-1} aqueous 1-MCP solution for 10 min 2 days after the start of ethylene treatment (DASE) and stored at 20°C in the dark. In the bananas treated in 50, 100, and 1,000 μg L^{-1} 1-MCP solutions, an increase in color score was suppressed, and the ratio of the brown spot area to the surface area increased slightly and remained low until 12 DASE. To investigate the effects of the duration of immersion on ripening, the bananas were immersed in 100 μg L^{-1} aqueous 1-MCP solution for 0.5, 1, 3, 6, 10, or 15 min or not immersed (control) 2 DASE and stored at 20°C in the dark. In the bananas treated for 10 and 15 min, increases in the score and ratios were suppressed. The internal quality of the bananas immersed in 100 μg L^{-1} aqueous 1-MCP solution for 10 min, which was effective and efficient in suppressing ripening, was similar to that of the control, and the edible period was prolonged by more than twofold. These results suggest that immersion of bananas in aqueous 1-MCP solution is a very practical postharvest application because of the easy availability of 1-MCP.

(Received Mar. 24, 2010 ; Accepted Jun. 28, 2010)

Key words : banana, edible period, 1-MCP, quality, ripening

バナナ, 可食期間, 1-MCP, 品質, 追熟

Bananas are typically a climacteric fruit and harvested in the mature green stage, transported, and then ripened artificially with ethylene before being sent to the market. The ripening of ethylene-treated bananas proceeds by autocatalytic ethylene production, and the bananas become edible approximately 4 days after ethylene treatment. Commercially, once bananas are induced to ripen with ethylene, their marketing life is approximately 3 ~ 5 days¹⁾. Thus, postharvest techniques to extend shelf-life in the market and edible life have been demanded.

1-Methylcyclopropene (1-MCP), an ethylene action inhibitor, is commercially used worldwide to suppress ethylene-mediated ripening and senescence in various fruits and vegetables, including apples, avocados, bananas, plums, tomatoes, peaches, and pears²⁾. Because the affinity of 1-MCP for the ethylene receptor is approximately 10 times greater than that of ethylene, 1-MCP competitively inhibits the binding of ethylene to the receptor and, as a result, inhibits ethylene action. Thus, 1-MCP delays

ethylene-induced effects on ripening and senescence³⁾. So far, 1-MCP exposure of horticultural crops has generally been accomplished via treatment with gas in sealed containers. However, the availability of this method is limited in commercial situations because the treatment requires the use of facilities and a long period between 12 and 24 h³⁾.

Recently, preparations of 1-MCP designed for use as aqueous solutions have been formulated as a flexible treatment, and the availability of preharvest and postharvest aqueous 1-MCP treatments has been suggested. Although the efficiency of gaseous 1-MCP treatment on the ripening of bananas has been extensively researched, the effects of aqueous 1-MCP treatment on bananas have not yet been clarified. Here, we elucidated the feasibility of immersion in aqueous 1-MCP solution for extending the edible period of bananas by researching the optimum conditions for immersion, including 1-MCP concentration and immersion duration, as well as the internal quality of bananas.

§ Corresponding author, E-mail : ysuzuki@kobe-u.ac.jp

Materials and Methods

1. Plant material

Mature green bananas (*Musa* AAA group) imported from the Philippines were purchased from Summit Kobe Gohdo Bussan Co., Ltd. All hands were separated into fingers, and injured or brown bananas were removed. The cut surfaces of the bananas were then dipped in 1% (v/v) sodium hypochlorite solution and washed with water. The fingers were treated with ethylene and then with 1-MCP (see below). After the treatments, the bananas were stored in plastic trays (23cm × 30cm × 6cm) placed inside polyethylene bags (thickness, 0.03mm) with 8 punched holes (diameter, 5mm) at 20°C in the dark. Each treatment used 5 replicate fingers.

2. Ethylene treatment

About 20 banana fingers from different hands for each container were treated with 100 $\mu\text{L L}^{-1}$ ethylene in a 24.8-L polyethylene container sealed with a rubber stopper at 20°C for 18 h in the dark.

3. 1-MCP treatment

The bananas were treated without (control) or with aqueous 1-MCP solution prepared from Smart Fresh™ (3.3% active ingredient, Rohm & Haas Japan Co., Ltd.) 2 days after the start of ethylene treatment (DASE). Solutions were prepared with the indicated amounts of 1-MCP powder. Different quantities of the powder containing the desired levels of the active ingredient were suspended in 10 L water at 22~24°C in a plastic container (38cm × 47cm × 14cm) and stirred gently with a spatula for 1 min. The solutions after preparation were held for 10 min prior to starting the treatment. The bananas were immersed in the solutions and covered with a glass plate to ensure their complete coverage during the immersion period. After removal, the bananas were quickly wiped with a paper towel, dried, and stored. To investigate the effects of aqueous 1-MCP solution on ripening, the bananas were immersed in solutions prepared with 1-MCP powder at 0.1, 1, 10, 50, 100, and 1,000 $\mu\text{g L}^{-1}$ for 10 min. Bananas immersed in water for 10 min were used as controls. To investigate the effects of immersion duration on ripening, aqueous 1-MCP solution was prepared at a concentration of 100 $\mu\text{g L}^{-1}$, and bananas were immersed for 0.5, 1, 3, 6, 10, or 15 min. Those that were not immersed in 1-MCP were used as control. For the determination of internal quality,

bananas immersed in water (control) or aqueous 1-MCP solution at 100 $\mu\text{g L}^{-1}$ for 10 min were used.

4. Determination of peel color

The peel color of the bananas was assessed everyday according to a color chart⁴⁾ (1=Green, 2=Green, trace of yellow, 3=More green than yellow, 4=More yellow than green, 5=Yellow, green tips, 6=Full yellow, 7=Yellow, lightly flecked with brown, and 8=Yellow with increasing brown areas) until the score of 2 bananas in each treatment became 8. In the case that the crown rot of the stem occurred, it was assessed until the day before the crown rot of the stem of 2 bananas in each treatment reached the top of the finger, except for determination of the edible period. The first day of the edible period was defined as the day when the score reached 5, and the last day was defined as the day when it was 7. For determination of the edible period, the edible period of each fruit was measured and, in the case that crown rot occurred, the last day of the edible period was defined as the day before it reached the top of the finger.

5. Determination of brown spots

The determination of brown spots was conducted as described previously⁵⁾. Brown spots on the peel were identified using digital images of each banana by ImageJ software, a public domain image analysis application (<http://rsb.info.nih.gov/ij/>). Images of each banana for analysis were adjusted using Adobe Photoshop Elements 4.0 (Adobe Systems). The surface and brown spot areas of the banana peel were calculated using ImageJ, and the ratio of the brown spot area to the surface area was expressed in percentage.

6. Determination of flesh firmness

Flesh firmness was measured using a penetration tester push-pull scale (Imada Seisakusho Co., Ltd.) fitted with a 3-mm-diameter plunger. The plunger was used to penetrate each banana three times. The measurement result was analyzed by Tukey's multiple comparison test.

7. Soluble solid content and titratable acidity

Approximately 20 g of banana flesh was homogenized in an equal weight of water. The homogenate was centrifuged at 5,000 rpm for 20 min at 20°C. The supernatant was obtained and used for determining soluble solid content using a hand-held refractometer N-1 (Atago Co., Ltd.). The value was determined to be double. For determining titratable acidity (TA), the supernatant was titrated

against 0.1 N NaOH using phenolphthalein as the indicator and expressed as percent citric acid.

Results

1. Effects of aqueous 1-MCP solution on the ripening of bananas

To evaluate the efficiency of aqueous 1-MCP solution on the suppression of ripening in bananas, we investigated the changes in the peel color of bananas immersed in aqueous 1-MCP solution at various concentrations. The color score of the control bananas increased continuously during storage and reached 5 and 7 DASE, respectively (Fig. 1). The color score of the bananas treated in 0.1, 1, and 10 $\mu\text{g L}^{-1}$ 1-MCP solutions changed almost the same as that of the control. However, in the bananas treated in 50, 100, and 1,000 $\mu\text{g L}^{-1}$ 1-MCP solutions, an increase in the color score was suppressed. The color score increased slowly after 4 DASE and reached 5, 7 DASE. To clarify the effects of aqueous 1-MCP solution on the development of brown spots, the ratio of the brown spot area to the surface area was investigated. In the control and bananas treated in 0.1 $\mu\text{g L}^{-1}$ 1-MCP solution, brown spots occurred 6 DASE (Fig. 2). Then, the ratio increased consistently and finally reached 9.6% and 12.0%, respectively. In the bananas treated in 1, 10, 50, 100, and 1,000 $\mu\text{g L}^{-1}$ 1-MCP solutions, brown spots occurred 7 DASE. After their occurrence, in the bananas treated in 1 and 10 $\mu\text{g L}^{-1}$ 1-MCP solutions, the ratio of the brown spot area to the surface area increased continuously and became almost identical to the ratio of the control and bananas treated in 0.1 $\mu\text{g L}^{-1}$ 1-MCP solution 9 DASE. In contrast, in the bananas treated in 50, 100, and 1,000 $\mu\text{g L}^{-1}$ 1-MCP solutions, the ratio increased slightly and remained low until 12 DASE, which indicates that the treatment suppresses the development of brown spots.

2. Effects of immersion duration on the ripening of bananas

The effects of immersion duration on the efficacy of the aqueous 1-MCP treatment were examined using aqueous 1-MCP solution at 100 $\mu\text{g L}^{-1}$, which was thought to be a subsaturating concentration. Immersion in aqueous 1-MCP solution at 100 $\mu\text{g L}^{-1}$, as shown in the data above, effectively delayed ripening following a 10-min immersion. The color score of the control reached 5 DASE and

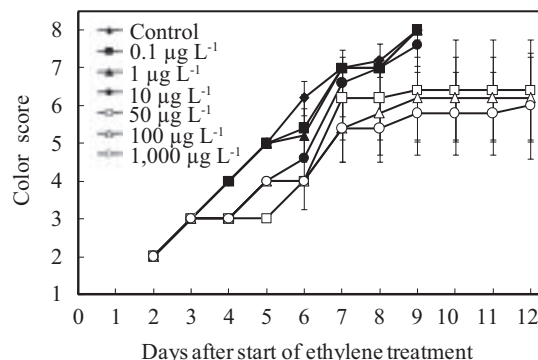


Fig. 1 Effects of aqueous 1-MCP treatment on peel color of bananas

Bananas were treated with water (control) (◆) or aqueous 1-MCP solution at 0.1 (■), 1 (▲), 10 (●), 50 (□), 100 (△), or 1,000 (○) $\mu\text{g L}^{-1}$ for 10 min, following treatment with 100 $\mu\text{L L}^{-1}$ ethylene for 18 h, and then stored at 20°C. 1-MCP treatment was conducted 2 days after start of ethylene treatment. Vertical bars represent the standard deviation of the mean of 5 bananas. Some error bars and symbols are hidden by other symbols.

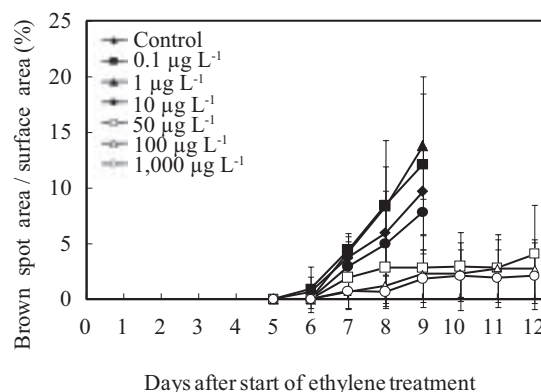


Fig. 2 Effects of aqueous 1-MCP treatment on brown spot area-to-surface area ratio of banana peel

Bananas were treated with water (control) (◆) or aqueous 1-MCP solution at 0.1 (■), 1 (▲), 10 (●), 50 (□), 100 (△), or 1,000 (○) $\mu\text{g L}^{-1}$ for 10 min, following treatment with 100 $\mu\text{L L}^{-1}$ ethylene for 18 h, and then stored at 20°C. 1-MCP treatment was conducted 2 days after start of ethylene treatment. Vertical bars represent the standard deviation of the mean of 5 bananas. Some error bars and symbols are hidden by other symbols.

exceeded 7 DASE (Fig. 3). The color score of the bananas subjected to other treatments exceeded 5 DASE. Afterward, the scores of the bananas treated for 0.5, 1, 3, and 6 min increased continuously. In the bananas treated for 10 and 15 min, an increase in the score was suppressed, and the score remained almost constant until 8 DASE. Brown spots occurred 6 DASE in the bananas treated with 1-MCP for all durations tested (Fig. 4). The ratios of the control and bananas treated for 0.5 min increased consistently and finally reached about 9%.

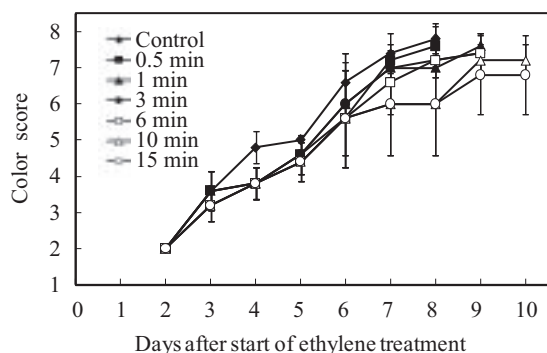


Fig. 3 Effects of aqueous 1-MCP immersion duration on peel color of bananas

Bananas were treated with $100\mu\text{g L}^{-1}$ aqueous 1-MCP solution for 0.5 (■), 1 (▲), 3 (●), 6 (□), 10 (△), or 15 (○) min, following treatment with $100\mu\text{L L}^{-1}$ ethylene for 18 h, and then stored at 20°C . 1-MCP treatment was conducted 2 days after start of ethylene treatment. Bananas that were not immersed in 1-MCP were used as control (◆). Vertical bars represent the standard deviation of the mean of 5 bananas. Some error bars and symbols are hidden by other symbols.

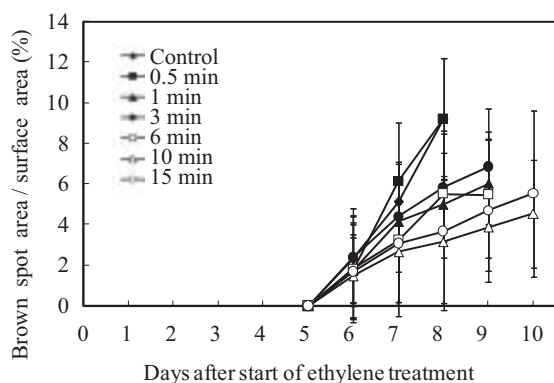


Fig. 4 Effects of aqueous 1-MCP immersion duration on brown spot area-to-surface area ratio of banana peel

Bananas were treated with $100\mu\text{g L}^{-1}$ aqueous 1-MCP solution for 0.5 (■), 1 (▲), 3 (●), 6 (□), 10 (△), or 15 (○) min, following treatment with $100\mu\text{L L}^{-1}$ ethylene for 18 h, and then stored at 20°C . 1-MCP treatment was conducted 2 days after start of ethylene treatment. Bananas that were not immersed in 1-MCP were used as control (◆). Vertical bars represent the standard deviation of the mean of 5 bananas. Some error bars and symbols are hidden by other symbols.

In the bananas treated for other durations, especially 10 and 15 min, increases in the ratios were suppressed.

3. Internal quality of bananas treated with $100\mu\text{g L}^{-1}$ aqueous 1-MCP solution for 10 min

Because it was clarified that immersion in aqueous 1-MCP solution at $100\mu\text{g L}^{-1}$ for 10 min was effective and efficient for suppressing the ripening of bananas, we investigated the internal

quality of the control and 1-MCP-treated bananas on the first and last days of the edible period to determine whether the quality of fruit treated with aqueous 1-MCP solution was good. There were no differences in firmness on the first day of the edible period between the control and 1-MCP-treated bananas. In the control, firmness decreased during the edible period, but, in 1-MCP-treated bananas, the initial value was maintained during the edible period (Fig. 5). Throughout the edible period of both treatments, there were no significant differences in the soluble solid content (Fig. 6). In the control, TA was about 0.3% on the first day of the edible period; it decreased during the edible period (Fig. 7). In the 1-MCP-treated bananas, TA on the first day was similar to that of the control on the last day and was maintained during the edible period. The effects of the treatment on the edible period were measured by assessing each fruit. The treatment significantly prolonged the edible period by more than twofold: the period of the control was 2 days, while the period of the treated fruit was about 4.8 days (Fig. 8).

Discussion

The gaseous 1-MCP treatment of bananas affects their ripening. The 1-MCP treatment of preclimacteric mature green bananas extends their green life⁶⁾, and the effectiveness of 1-MCP varies with fruit maturity⁷⁾. Mature green bananas treated with 300 nL L^{-1} 1-MCP after 48 h of ethylene treatment had a 6-day shelf-life (half-ripe to over-ripe), compared with 3 days for the nontreated bananas, without affecting the green life (unripe to half-ripe)⁸⁾. Banana ripening induced by ethylene could be delayed by exposure to $0.3\mu\text{L L}^{-1}$ 1-MCP at color stage 3, as evaluated using the L^* value of banana peel, and it has been concluded that the treatment extends the edible life to 12 days at 25°C ⁹⁾. The period between the firm and fully ripe stages of bananas is prolonged by 1-MCP treatment at $1\mu\text{L L}^{-1}$ 2 DASE⁵⁾. Intensive research in this area has indicated that the time of 1-MCP treatment is very important for extending shelf-life and edible life. Here, 2 DASE was adopted as the immersion time of bananas based on the results of Tojo *et al.*⁵⁾

Although it has been suggested that the postharvest 1-MCP treatment of bananas is feasible, it has not been used for commercial applications. Recently, research on the use of aqueous 1-MCP

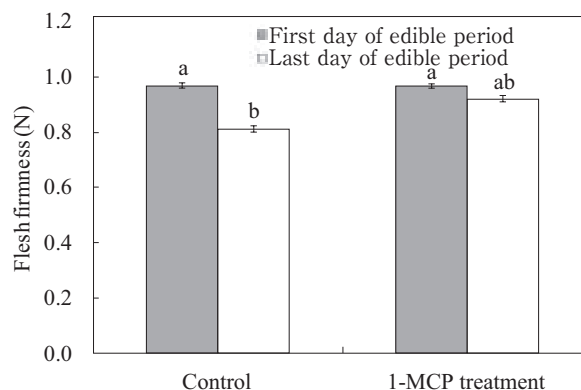


Fig. 5 Effects of aqueous 1-MCP treatment on flesh firmness of bananas

Bananas were treated with water (control) or aqueous 1-MCP solution at $100\mu\text{g L}^{-1}$ for 10 min, following treatment with $100\mu\text{L L}^{-1}$ ethylene for 18 h, and then stored at 20°C . The flesh firmness of the bananas was measured on the first (■) and last (□) days of the edible period. 1-MCP treatment was conducted 2 days after start of ethylene treatment. Vertical bars represent the standard deviation of the mean of 5 bananas. Values with different letters are significantly different ($P < 0.05$).

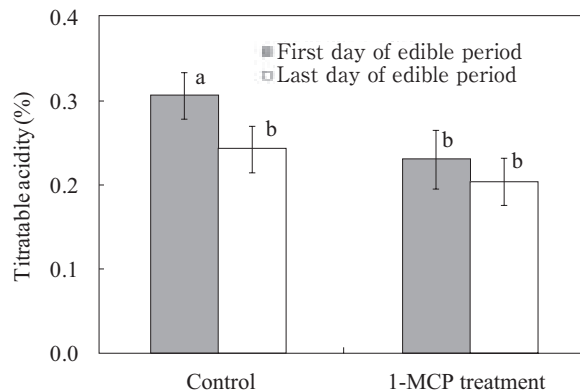


Fig. 7 Effects of aqueous 1-MCP treatment on titratable acidity of bananas

Bananas were treated with water (control) or aqueous 1-MCP solution at $100\mu\text{g L}^{-1}$ for 10 min, following treatment with $100\mu\text{L L}^{-1}$ ethylene for 18 h, and then stored at 20°C . The titratable acidity of the bananas was measured on the first (■) and last (□) days of the edible period. 1-MCP treatment was conducted 2 days after start of ethylene treatment. Vertical bars represent the standard deviation of the mean of 5 bananas. Values with different letters are significantly different ($P < 0.05$).

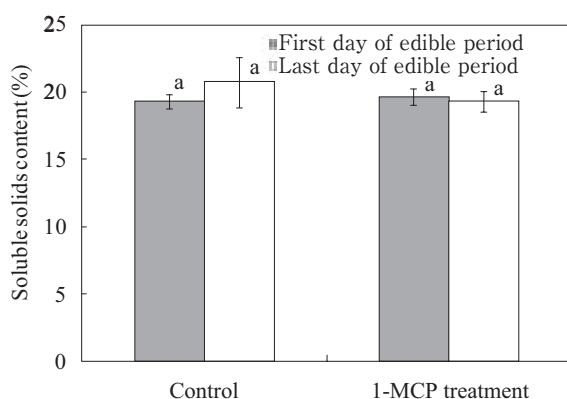


Fig. 6 Effects of aqueous 1-MCP treatment on soluble solid content of bananas

Bananas were treated with water (control) or aqueous 1-MCP solution at $100\mu\text{g L}^{-1}$ for 10 min, following treatment with $100\mu\text{L L}^{-1}$ ethylene for 18 h, and then stored at 20°C . The soluble solid content of the bananas was measured on the first (■) and last (□) days of the edible period. 1-MCP treatment was conducted 2 days after start of ethylene treatment. Vertical bars represent the standard deviation of the mean of 5 bananas. Values with different letters are significantly different ($P < 0.05$).

formulations has been reported. Postharvest treatment with aqueous 1-MCP solution of climacteric fruits, including tomatoes, avocados, plums, and apples^(10~14), suppresses ripening. Aqueous 1-MCP solution, compared with gaseous 1-MCP, markedly reduces the treatment duration, which indicates its great advantage for practical use.

In this study, the effects of aqueous 1-MCP solution on the ripening of bananas were investigated.

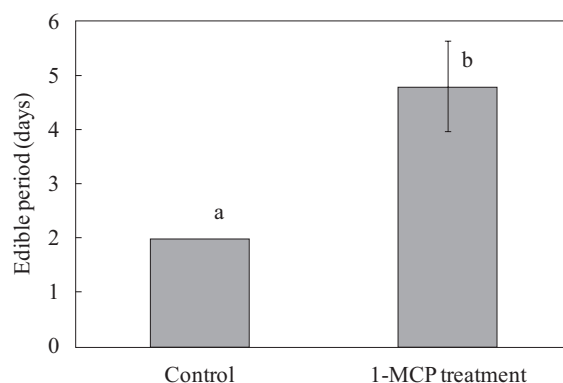


Fig. 8 Effects of aqueous 1-MCP treatment on edible period

Bananas were treated with water (control) or aqueous 1-MCP solution at $100\mu\text{g L}^{-1}$ for 10 min, following treatment with $100\mu\text{L L}^{-1}$ ethylene for 18 h, and then stored at 20°C . 1-MCP treatment was conducted 2 days after start of ethylene treatment. Vertical bars represent the standard deviation of the mean of 5 bananas. Values with different letters are significantly different ($P < 0.05$).

When the immersion duration was 10 min, increases in the color score and brown spots were suppressed at aqueous 1-MCP concentrations above $50\mu\text{g L}^{-1}$ (Figs.1 and 2). When the concentration of aqueous 1-MCP solution was $100\mu\text{g L}^{-1}$, the increases were suppressed for the immersion duration of 10 min or more (Figs.3 and 4). These results showed that the immersion of bananas in aqueous 1-MCP solution could delay ripening and that immersion in aqueous

1-MCP solution at $100 \mu\text{g L}^{-1}$ for 10 min is optimum. Under these conditions, it was revealed that aqueous treatment could prolong the edible period by more than twofold (Fig. 8) similarly to gaseous treatment^{8),9)}. Quality factors, including the firmness, soluble solid content, and acidity (Figs. 5, 6, and 7) of aqueous 1-MCP-treated bananas during the edible period, were almost the same as those of the control, as the internal quality of gaseous-1-MCP-treated bananas was similar to that of the control^{6),8)}, which means that aqueous 1-MCP treatment has no negative impacts on fruit quality. Gaseous 1-MCP treatment could cause uneven peel degreening^{7),15)}, which is neither desirable nor acceptable for marketers and consumers; however, in this study, aqueous 1-MCP treatment caused none of this problem. Crown rot occurred in the stem of some bananas because of the prolonged storage period, ending the edible period. The edible period could be longer if crown rot is prevented with appropriate use of sodium hypochlorite solution, which is widely used for the postharvest sanitization of horticultural crops. In this case, note that sodium hypochlorite solution affects the efficacy of aqueous 1-MCP treatment¹⁶⁾.

We conclude that aqueous 1-MCP solution is effective in delaying the ripening of ethylene-treated bananas and extends the edible period by more than twofold compared with the control. This suggests that aqueous 1-MCP treatment of bananas is a breakthrough technology with advantages of simplified equipment and shortened treatment duration. It will contribute to the economical distribution of bananas through reduction in postharvest losses.

References

- 1) PELAYO, C., VILAS-BOAS, E. V. B., BENICHOU, M. and KADER, A. A.: Variability in responses of partially ripe bananas to 1-methylcyclopropene, *Postharvest Biol. Technol.*, **28**, 75~85 (2003)
- 2) WATKINS, C. B.: Overview of 1-methylcyclopropene trials and uses for edible horticultural crops, *HortScience*, **43**, 86~94 (2008)
- 3) MITSUI, B.: An ethylene blocking material 1-methylcyclopropene, *Regulation of Plant Growth & Development*, **41**, 163~169 (2006)
- 4) CSIRO: Banana ripening guide, CSIRO Division of Food Research, Circular 8, Melbourne, Australia (1972)
- 5) TOJO, F., SUZUKI, Y., KAWAGUCHI, K. and TERAI, H.: Effects of 1-methylcyclopropene (1-MCP) treatment on ripe stages of banana fruit, *Food Preser. Sci.*, **35**, 73~77 (2009)
- 6) GOLDING, J. B., SHEARER, D., WYLLIE, S. G. and MCGLOSSON, W. B.: Application of 1-MCP and propylene to identify ethylene-dependent ripening processes in mature banana fruit, *Postharvest Biol. Technol.*, **14**, 87~98 (1998)
- 7) HARRIS, D. R., SEBERRY, J. A., WILLS, R. B. H. and SPOHR, L. J.: Effect of fruit maturity on efficacy of 1-methylcyclopropene to delay the ripening of bananas, *Postharvest Biol. Technol.*, **20**, 303~308 (2000)
- 8) BAGNATO, N., BARRETT, R., SEDGLEY, M. and KLIBER, A.: The effects on the quality of Cavendish bananas, which have been treated with ethylene, of exposure to 1-methylcyclopropene, *Int. J. Food Sci. Technol.*, **38**, 745~750 (2003)
- 9) KOIZUMI, A., BABA, T. and MANAGO, M.: Effects of 1-methylcyclopropene on edible life of banana fruit, *Hort. Res.*, **7**, 585~590 (2008)
- 10) MANGANARIS, G. A., VICENTE, A. R., CRISOSTO, C. H. and LABAVITCH, J. M.: Effect of dips in a 1-methylcyclopropene-generating solution on 'Harrow Sun' Plums stored under different temperature regimes, *J. Agric. Food Chem.*, **55**, 7015~7020 (2007)
- 11) MANGANARIS, G. A., CRISOSTO, C. H., BREMER, V. and HOLCROFT, D.: Novel 1-methylcyclopropene immersion formulation extends shelf life of advanced maturity 'Joanna Red' Plums (*Prunussalicina* Lindell), *Postharvest Biol. Technol.*, **47**, 429~433 (2008)
- 12) ARGENTA, L. C., FAN, X. T. and MATTHEIS, J. P.: Responses of 'Golden Delicious' apples to 1-MCP applied in air or water, *HortScience*, **42**, 1651~1655 (2007)
- 13) CHOI, S. T., TSOUVALTZIS, P., LIM, C. I. and HUBER, D. J.: Suppression of ripening and induction of asynchronous ripening in tomato and avocado fruits subjected to complete or partial exposure to aqueous solutions of 1-methylcyclopropene, *Postharvest Biol. Technol.*, **48**, 206~214 (2008)
- 14) CHOI, S. T. and HUBER, D. J.: Influence of aqueous 1-methylcyclopropene concentration, immersion duration, and solution longevity on the postharvest ripening of breaker-turning tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit, *Postharvest Biol. Technol.*, **49**, 147~154 (2008)
- 15) JIANG, Y. M., JOYCE, D. C. and MACNISH, A. J.: Extension of the shelf life of banana fruit by

- 1-methylcyclopropene in combination with polyethylene bags, *Postharvest Biol. Technol.*, **16**, 187~193 (1999)
- 16) CHOI, S. T., HUBER, D. J., KIM, J. G. and HONG, Y. P.: Influence of chlorine and mode of application on efficacy of aqueous solutions of 1-methylcyclopropene in delaying tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit ripening, *Postharvest Biol. Technol.*, **53**, 16~21 (2009)

1-Methylcyclopropene (1-MCP) 水溶液への浸漬処理がバナナ果実の追熟に及ぼす影響

川口敬太・鈴木康生・寺井弘文
神戸大学大学院農学研究科
(〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1)

1-methylcyclopropene (1-MCP) 水溶液への浸漬処理のバナナ果実の追熟に及ぼす影響が調べられた。エチレン処理開始後2日に、緑熟バナナは、コントロールとし

て水、または0.1, 1, 10, 50, 100, 1,000 $\mu\text{g L}^{-1}$ の1-MCP水溶液に10分間浸漬処理され、その後20℃暗所下で貯蔵された。50, 100, および1,000 $\mu\text{g L}^{-1}$ の1-MCP水溶液で処理された果実では、カラスコアの増加が抑制され、褐色斑点の表面積に占める割合の増加はわずかであり、エチレン処理開始後12日まで低いままであった。浸漬時間が追熟に及ぼす影響を調べるために、エチレン処理開始後2日に、果実は100 $\mu\text{g L}^{-1}$ の1-MCP水溶液に0.5, 1, 3, 6, 10または15分間浸漬処理され、20℃暗所下で貯蔵された。なお、コントロールは浸漬処理をおこなわないものとした。10分間および15分間処理した果実では、カラスコアと褐色斑点の表面積に占める割合の増加が抑制された。追熟の抑制に効果的かつ効率的であった、100 $\mu\text{g L}^{-1}$ の1-MCP水溶液に10分間浸漬処理を行った果実の内部品質はコントロールと差異は認められず、また果実の可食期間は2倍以上に延長された。これらの結果から、1-MCP水溶液によるバナナ果実への処理は、その有用性から極めて実用的な収穫後の処理であることが示唆された。

(平成22年3月24日受付, 平成22年6月28日受理)