遮光処理がメロン果実のエチレン生成と「水浸状果」の発症に及ぼす影響

相川敏之¹・西沢 隆^{1*}・伊藤政憲²・富樫政博²・山崎紀子²

¹ 山形大学農学部 997-8555 山形県鶴岡市若葉町

² 山形県砂丘地農業試験場 998-0112 山形県酒田市浜中

Effect of Shading Treatment on Ethylene Production and Water-core in Melon Fruit

Toshiyuki Aikawa¹, Takashi Nishizawa^{1*}, Masanori Ito², Masahiro Togashi² and Noriko Yamazaki²

¹ Faculty of Agriculture, Yamagata University, Tsuruoka, Yamagata 997-8555

² Yamagata Sand Dune Agricultural Experimental Station, Sakata, Yamagata 998-0112

Abstract

‘Andesu’ netted melon plants (*Cucumis melo* L.) were grown under shaded or unshaded conditions, and the relationship between the ethylene production and the development of ‘water-core’ in the fruit was studied. In the pre-ripe stage, ethylene production and fruit softening of the shaded plants were accelerated more than those of the unshaded plants, whereas ‘water-core’ in the fruit was formed only at and after the ripe stage. Although ‘water-core’ at the ripe stage was more apparent in the shaded than in the unshaded plants, some of the fruit developed the disorder even in the unshaded plants. In the unshaded plants, however, the number of ‘water-cored fruit’ did not increase even at the over-ripe stage. In the unshaded plants, both ethylene production and flesh firmness in ‘un-disordered fruit’ at the over-ripe stage were similar to those in ‘water-cored fruit’ on shaded plants at the ripe stage. Our results showed that the development of ‘water-core’ in ‘Andesu’ netted melon fruit was not due to the high ethylene production at the ripe to over-ripe stages.

Key Words : climacteric, flesh firmness, over-ripe, water-soaked symptom

キーワード : 過熟, 果肉硬度, クライマクテリック, 水浸症状, うるみ果

緒 言

クライマクテリック型のメロン果実 (*Cucumis melo* L.) では, 成熟期間中に呼吸量およびエチレン生成量が増加し, 果実の成熟を促す様々な生理的变化をもたらす (北村ら, 1974; Seymour ら, 1993). メロン ‘アンデス’ もクライマクテリック型品種であるが (Nishizawa ら, 2000), 収穫期に「水浸状果」または「うるみ果」と呼ばれる生理障害が発症することがある (Nishizawa ら, 2000). 生産現場では雨天が続いた後に収穫した果実に「水浸状果」の発症が多い (中西ら, 1992). 「水浸状果」は果肉が半透明状に変化する生理障害であるが, 同時にエチレン生成量やアルコール発酵の増加 (Nishizawa ら, 1998, 2000), 糖度や果肉硬度の低下 (Nishizawa ら, 2000), 細胞壁の崩壊を伴う (Du Chatenet ら, 2000). また, 一部の品種では, 果実成長期にカルシウム欠乏処理を行ったり (Bernadac ら, 1996; Du Chatenet ら, 2000; Jean-Baptiste ら, 1999), 株全体を遮光処理することで, 「水浸状果」を再現することができる (中西ら, 1992;

Nishizawa ら, 1998, 2000). カルシウム欠乏処理や遮光処理は, いずれもメロン果実のエチレン生成量を増加させることから (Nishizawa ら, 2000, 2004), エチレン生成量の増加が「水浸状果」発症の直接的要因と思われる. そこで, 本実験ではメロン ‘アンデス’ を供試し, 遮光処理が果実のエチレン生成量の増加と「水浸状果」発症に及ぼす影響を調査し, エチレンと「水浸状果」発症との関係を明らかにすることを試みた.

材料および方法

実験 1 遮光処理がメロン果実のエチレン生成量と「水浸状果」発症に及ぼす影響

植物材料

メロンは山形県砂丘地農業試験場の圃場で栽培した. 1998 年 4 月 9 日にガラス温室内にメロン ‘アンデス’ を播種し, ポット育苗した苗を, 5 月 6 日に 0.8 m × 2.7 m の間隔で 36 株定植し, トンネル早熟栽培を行った. 肥料には, 緩効性肥料 (N : P₂O₅ : K₂O = 10 : 17 : 13 kg · 10 a⁻¹), 苦土石灰 (60 kg · 10 a⁻¹), 苦土重焼燐 (20 kg · 10 a⁻¹) を全量基肥として施与した. 整枝法は慣行の子づる 2 本仕立て栽培とし, 子づるの第 11 ~ 15 節に 2 果 (1 株あたり 4 果) 着

2006 年 5 月 23 日 受付. 2006 年 9 月 11 日 受理.

* Corresponding author. E-mail: nisizawa@tds1.tr.yamagata-u.ac.jp

果させた。半数の株は、厚さ 0.075 mm のビニルトンネル内で栽培し（無遮光区）、残り半数は着果後 35～54 日（19 日間）にビニルトンネル全体を遮光率 70% のネットで覆った（遮光区）。遮光資材の有無でビニルトンネル内の気温は変化しなかった（中西ら, 1992）。果実は着果後 35 日に 6 果収穫し、その後 40, 45（果実肥大期）、50（収穫適期）および 55 日（過熟期）に無遮光区および遮光区から 6 果ずつ収穫した。

エチレン生成量の測定

収穫した果実の新鮮重を測定し、約 5 L のデシケーター内に密封し、20°C で 1 時間放置した後、デシケーター内の気体 1 mL をシリンジで抜き取り、活性アルミナカラムおよび水素炎イオン化検出器を備えたガスクロマトグラフ（163 型、日立）に注入し、エチレン濃度を測定した。サンプルの注入は 2 回行い、平均値を果実のエチレン生成量として $\mu\text{L} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ で表した。エチレン生成量の計算のための標準として 1 ppm のエチレンガスを同様に注入し、測定した。

水浸症状の評価

エチレン濃度を測定した果実を縦方向に二分割し、切断面に水浸症状が認められた果実は、水浸症状の最大幅 (cm) を測定した（Nishizawa ら, 1998）。

果肉硬度の測定

縦断した果実切片の赤道面における中壁部中央 2ヶ所の果肉硬度を、直径 5 mm の円柱プランジャーを備えたレオメーター（CR-1-10K, サン科学）で測定した（Nishizawa ら, 2004）。

実験 2 「水浸状果」発症時におけるエチレン生成量と果肉硬度の比較

1997, 1998, 2000 および 2002 年に、実験 1 と同様に栽培したメロン「アンデス」を供試した。遮光区は着果後 35

～50 日まで、ビニルトンネル全体を遮光率 65～80% のネットで覆った。水浸症状が初めて認められる収穫適期（着果後 49 日）に、無遮光区および遮光区の果実を収穫し、さらに過熟期（着果後 55 日）に、無遮光区の果実のみを収穫した（各 4～10 果）。収穫した果実は、実験 1 に従ってエチレン生成量、水浸症状の程度および果肉硬度を測定した。結果は 4 年間の平均値として表した。

結 果

実験 1 遮光処理がメロン果実のエチレン生成量と「水浸状果」発症に及ぼす影響

無遮光区、遮光区とも、着果後 45 日以前には「水浸状果」は発症しなかった（第 1 図）。着果後 50 日における水浸症状は、無遮光区では 0.17 cm であったが、遮光区では 0.58 cm と、無遮光区と比べ有意に大きくなった。また、このような有意な処理間の差は着果後 55 日でも認められた。

着果後 35～40 日におけるエチレン生成量は、遮光区、無遮光区とも約 $0.17 \mu\text{L} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ で一定していたが、着果後 45 日以降になると遮光区、無遮光区とも増加し、着果後 50 日ではそれぞれ 2.4 および $1.3 \mu\text{L} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ と、遮光区のエチレン生成量が無遮光区より有意に高くなった（第 2 図）。着果後 55 日では両区ともエチレン生成量はさらに増加したが、処理間に有意差はなかった。

果肉硬度はメロン果実の成熟に伴い低下したが、着果後 50 および 55 日には遮光区の果肉硬度 ($0.13 \sim 0.16 \text{ kg}$) が、無遮光区 ($0.24 \sim 0.23 \text{ kg}$) より有意に低くなった（第 3 図）。

実験 2 「水浸状果」発症時におけるエチレン生成量と果肉硬度の比較

収穫適期の果実では、無遮光区の 34.6% が「水浸状果」となり、その大きさは 0.64 cm であった（第 1 表）。一方、遮光区では 88.5% が「水浸状果」となり、その大きさは

Fig. 1 Effect of shading treatment on the width of 'water-core' in the flesh of 'Andesu' melon fruit in 1998. Each point represents the mean $\pm$ SE (n = 6). * Significant at $P < 0.05$, using student's *t*-test.

Fig. 2 Effect of shading treatment on the ethylene production of 'Andesu' melon fruit in 1998. Each point represents the mean $\pm$ SE (n = 6). * Significant at $P < 0.05$, using student's *t*-test.

Fig. 3 Effect of shading treatment on the flesh firmness of 'Andesu' melon fruit in 1998. Each point represents the mean $\pm$ SE ($n=6$). *, ** Significant at $P<0.05$ and 0.01 , respectively, using student's t -test.

Table 1 Effect of shading and fruit maturation on incidence and width of 'water-core' in 'Andesu' melon fruits.

Treatment	Water-core	
	Incidence (%) ^z	Width (cm) ^y
Ripe		
Unshaded	34.6	0.64b ^x
Shaded	88.5	0.93ab
Over-ripe		
Unshaded	30.8	1.33a

^z 'Water-cored' fruits / ('Normal' fruits + 'Water-cored' fruits) $\times 100$ ($n=26$). Data show the mean of four years.

^y Average of 'water-cored' fruits ($n=8-23$). Data show the mean of four years.

^x Different characters represent significant at $P<0.05$, using the Tukey-Kramer method.

0.93 cm であった。過熟期の無遮光区では、「水浸状果」の発症率 (30.8%) は収穫適期の遮光区ほど高くならなかったが、発症した水浸症状の大きさ (1.33 cm) は収穫適期の遮光区に比べてやや大きかった。

遮光処理の有無は、果重に有意差をもたらさなかった (ともに約 1.6 kg, データ未掲載)。収穫適期の無遮光区では、「水浸状果」が発症した果実の果肉硬度 (0.21 kg) は、同症状が発症しなかった果実 (「正常果」, 0.42 kg) の 1/2 と有意に低下した。同様の傾向は遮光区や過熟期でもみられたが、両者の間に有意差は認められなかった (第 4 図)。

収穫適期の無遮光区で「水浸状果」が発症した果実のエチレン生成量 ($4.2 \mu\text{L} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$) は、「正常果」 ($1.7 \mu\text{L} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$) の 2 倍以上に達した (第 5 図)。同様の傾向は遮光区でも認められ、「水浸状果」が発症した果実のエチレン生成量 ($6.1 \mu\text{L} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$) は、遮光区の「正常果」 ($4.5 \mu\text{L} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$) より高くなったが、両者の間に有意差は認めら

Fig. 4 Comparison of the flesh firmness between 'water-cored' and 'normal' fruits. Each point represents the mean $\pm$ SE ($n=3-23$). Data show the mean of four years. Different character represents significant at $P<0.05$, using the Tukey-Kramer method.

Fig. 5 Comparison of the ethylene production between 'water-cored' and 'normal' fruits. Each point represents the mean $\pm$ SE ($n=3-23$). Data show the mean of four years. Different character represents significant at $P<0.05$, using the Tukey-Kramer method.

れなかった。過熟期の「正常果」 ($7.8 \mu\text{L} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$) では、収穫適期の「正常果」より有意にエチレン生成量が高くなったものの、「水浸状果」 ($5.8 \mu\text{L} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$) との間に有意差は認められなかった。

考 察

遮光処理はメロン果実に「水浸状果」を発症させる有効な手法であり、遮光程度が強いほど「水浸状果」の発症が多くなる (中西ら, 1992)。本実験では、一部の果実は遮光処理を行わなくとも「水浸状果」が発症したが (第 1 表)、遮光処理は「水浸状果」を発症させる重要な環境要因である。

本実験では、4 年間の調査で得られたデータからメロン

のエチレン生成量と「水浸状果」との関係を検証した。その結果、「水浸状果」は着果後35日以降の果実肥大後期に株全体を遮光処理することで、収穫適期に相当する着果後50日前後に高い割合で発症し（第1表、第1図）、それ以前には発症しなかった（第1図）。したがって、メロンの「水浸状果」は果実の成熟期に限定して発症する生理障害であるが、その発症要因は果実肥大期の環境要因に強く影響されることが示唆された。また、無遮光区であっても収穫適期には34.6%の果実に「水浸状果」が発症したが（第1表）、これは山形県庄内地域は果実肥大期が梅雨期に相当することから、梅雨による日射量不足などの環境要因の影響を受けた結果と考えられる。

Valantin-Morison ら（2006）は、1株当たりの着果数を増加させた場合、メロン果実同士で同化産物の競合が起こり、果実肥大が抑制されることで「水浸状果」が発症すると述べている。本実験では、遮光処理を行っても果重は無遮光区と変わらなかったが（ともに約1.6 kg）、これは果実肥大速度が緩やかになった着果後35日以降に短期間の遮光処理をおこなったことと、果実内部への水の流入が相対的に遮光区の果実で多かったことが原因と考えられる（Nishizawa ら、2000）。遮光処理を行うと無遮光区に比べ果実の糖度、特にスクロース濃度が大きく低下することから（Nishizawa ら、1998, 2000）、果実に転流する同化産物の減少が「水浸状果」の直接的要因として作用している可能性がある（Valantin-Morison ら、2006）。しかし、中西ら（1992）によると、メロン「アンデス」において無遮光栽培で発症した「水浸状果」の糖度は、「正常果」と有意な差はない。したがって、糖度の低下は「水浸状果」の直接的要因ではないと考えられる。

一方、メロンの「水浸状果」は、果実発育期に日射量を抑制することによって誘起される早熟が発症の直接的要因と思われる（Nishizawa ら、1998）。本実験の遮光区でも、収穫適期（着果後50日）に急激に果肉硬度が低下したこと（第3図）、また、収穫適期の無遮光区であっても「水浸状果」が発症した果実の方が「正常果」より果肉硬度が有意に低下したことは（第4図）、果実の早熟が「水浸状果」の一因であることを示唆する。しかし、過熟期では、「正常果」であっても収穫適期で「水浸状果」が発症した果実と同程度に果肉硬度が低下したことから（第4図）、収穫適期における果肉硬度の低下は、必ずしも「水浸状果」の直接的要因ではないと考えられる。

本実験で、果肉に水浸症状が認められた着果後50日（収穫適期）は、無遮光区および遮光区ともエチレン生成量が急増し、特に遮光区のエチレン生成量は無遮光区に比べて有意に高くなった（第2図）。しかし、収穫適期の時点で遮光区の「水浸状果」と「正常果」のエチレン生成量を比較すると、両者の間に有意差は認められなかった（第5図）。さらに、過熟期では、「正常果」のエチレン生成量は「水浸状果」と有意差が認められなかったにもかかわらず（第5図）、

「水浸状果」の発症率は収穫適期の無遮光区に比べ増加しなかったことから（第1表）、遮光処理によって収穫適期に増加したエチレン生成量や過熟に伴って増加したエチレン生成量が、「水浸状果」発症の直接的要因になっているとは言えない。

Valantin-Morison ら（2006）は「水浸状果」が発症したメロン果実と「正常果」との間のエチレン生成量には差がないと述べている。また、Ca 欠乏に伴い生じるメロンの「水浸状果」では、クライマクテリックにおけるエチレン生成量の増加前にエチレン作用阻害剤である1-メチルシクロプロペン（1-MCP）を処理した場合でも、未処理の果実と同時期に「水浸状果」が発症することから（Du Chatenet ら、2000）、「水浸状果」の発症には収穫期の高濃度のエチレンは必要ないことが示唆される。

メロン果実は成熟初期であってもエチレンに反応し、成熟初期に生じる低濃度のエチレン生成は、その後の成熟によって生じるテクスチャーなどの変化に重要な役割を持つ（Bianco ら、1977; Pratt ら、1977; Yamamoto ら、1995）。本実験において、エチレン生成の増加が始まる着果後45日のエチレン生成量は、処理間で有意差は認められないものの、遮光区（ $0.53 \mu\text{L} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ）の値は無遮光区（ $0.35 \mu\text{L} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ）の1.5倍に達した（第2図）。従って、エチレンが「水浸状果」発症の直接の原因でないにしても、遮光処理または日照不足によって生じた成熟初期のエチレン生成により誘起された果実内部の生理的变化が、「水浸状果」の発症の直接的要因である可能性がある。

Du Chatenet ら（2000）は、細胞壁の崩壊により拡大した細胞間隙に、水が流入することで「水浸状果」が発症すると推察した。メロン果実では、 β -ガラクトシダーゼが果肉硬度の低下に伴う細胞壁成分の分解に重要な役割を持つ（Ranwala ら、1992）。トマト果実では成熟に関連する数種の β -ガラクトシダーゼのmRNAの蓄積が、エチレンによって制御される（Moctezuma ら、2003）。従って、細胞壁分解酵素の活性が早期に発現または活性が高まることで細胞壁のかい離が生じ、細胞間隙に流入した水によって「水浸状果」が発症したと思われる。

摘 要

メロン「アンデス」を遮光ないし無遮光条件下で育て、果実のエチレン生成量と「水浸状果」発症との関係を調べた。

1. 遮光区では、収穫適期以前における果実のエチレン生成量の増加と果肉の軟化が、無遮光区より顕著に現れたが、「水浸状果」は収穫適期以降でのみ発症した。
2. 収穫適期に発症する「水浸状果」は、無遮光区より遮光区でより顕著に増加したが、一部の果実では無遮光区でも発症した。また、無遮光区では、過熟期になっても「水浸状果」の発症率は上昇しなかった。
3. 無遮光区では、過熟期における「正常果」の果肉硬度やエチレン生成量は、収穫適期における遮光区の「水

浸状果」と同程度の値を示した。

本実験の結果から、メロン‘アンデス’果実における「水浸状果」の発症には、収穫適期以降に認められる高いエチレン生成は必要なく、遮光処理によって生じた、成熟初期のエチレン生成の増加が重要な役割を持っていると考えられた。

謝 辞 本研究の実施にあたり、多大な御援助を頂いた山形県砂丘地農業試験場の諸氏に心よりお礼申し上げます。

引用文献

- Bernadac, A., I. Jean-Baptiste, G. Bertoni and P. Morard. 1996. Changes in calcium contents during melon (*Cucumis melo* L.) fruit development. *Sci. Hortic.* 66: 181–189.
- Bianco, V. V. and H. K. Pratt. 1977. Compositional changes in muskmelons during development and in response to ethylene treatment. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 102: 127–133.
- Du Chatenet, C., A. Latche, E. Olmosc, B. Ranty, M. Charpentreau, R. Ranjeva, J. C. Pech and A. Graziana. 2000. Spatial-resolved analysis of histological and biochemical alterations induced by water-soaking in melon fruit. *Physiol. Plant.* 110: 248–255.
- Jean-Baptiste, I., P. Morardo and A. Bernadac. 1999. Effect of temporary calcium deficiency on the incidence of a nutritional disorder in melon. *Acta Hort.* 481: 417–423.
- 北村利夫. 1974. メロン果実の貯蔵に関する研究. 第1報. 追熟中における呼吸量, エチレン生成および揮発性物質生成の変化と品種間差異. 山形大紀要(農学). 7: 253–260.
- Moctezuma, E., D. L. Smith and K. C. Gross. 2003. Effect of ethylene on mRNA abundance of three β -galactosidase genes in wild type and mutant tomato fruit. *Postharv. Biol. Technol.* 28: 207–217.
- 中西政則・栗田公司・北川 守. 1992. 遮光およびかん水がメロンのうるみ果発生に及ぼす影響. 日砂丘誌. 39: 9–17.
- Nishizawa, T., A. Ito, Y. Motomura, M. Ito and M. Togashi. 2000. Changes in fruit quality as influenced by shading of netted melon plants (*Cucumis melo* L. ‘Andesu’ and ‘Luster’). *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 69: 563–569.
- Nishizawa, T., T. Kobayashi and T. Aikawa. 2004. Effect of calcium supply on the physiology of fruit tissue in ‘Andesu’ netted melon. *J. Hort. Sci. Biotechnol.* 79: 500–508.
- Nishizawa, T., S. Taira, M. Nakanishi, M. Ito, M. Togashi and Y. Motomura. 1998. Acetaldehyde, ethanol, and carbohydrate concentrations in developing muskmelon fruit (*Cucumis melo* L. cv. Andesu) are affected by short-term shading. *HortScience* 33: 992–994.
- Pratt, H. K., J. D. Goeschl and F. W. Martin. 1977. Fruit growth and development, ripening, and the role of ethylene in the ‘Honey Dew’ muskmelon. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 102: 203–210.
- Ranwala, A. P., C. Suematsu and H. Masuda. 1992. The roll of β -galactosidases in the modification of cell wall components during muskmelon fruit ripening. *Plant Physiol.* 100: 1318–1325.
- Seymour, G. B. and W. B. McGlasson. 1993. Melons. p. 273–290. In: G. Seymour, J. Taylor and G. Tucker (eds.). *Biochemistry of fruit ripening*. Chapman & Hall, London.
- Valantin-Morison, M., B. E. Vaissiere, C. Gary and P. Robin. 2006. Source-sink balance affects reproductive development and fruit quality in cantaloupe melon (*Cucumis melo* L.). *J. Hort. Sci. Biotechnol.* 81: 105–117.
- Yamamoto, M., T. Miki, Y. Ishiki, K. Fujinami, Y. Yanagisawa, H. Nakagawa, N. Ogura, T. Hirabayashi and T. Sato. 1995. The synthesis of ethylene in melon fruit during the early stage of ripening. *Plant Cell Physiol.* 36: 591–596.