

イオンビームを用いた突然変異育種による温室メロン (*Cucumis melo* L.)

‘静岡 1 号’，‘静岡 2 号’ の育成

種石始弘¹⁾・前島慎一郎⁴⁾・片井秀幸²⁾・大場聖司³⁾・

山田栄成¹⁾・長谷純宏⁵⁾・田中淳⁵⁾

1) 農林技術研究所本所, 2) 農林技術研究所茶業研究センター, 3) 静岡県経済産業部みかん園芸課,
4) 静岡県東部農林事務所, 5) 日本原子力研究開発機構量子ビーム応用研究部門

Development of Musk Melon (*Cucumis melo* L.) 'Shizuiku 1 gou', 'Shizuiku 2 gou' by Ion Beam Breeding

Motohiro Taneishi¹⁾, Shinichiro Maejima⁴⁾, Hideyuki Katai²⁾, Seiji Ohba³⁾,
Hidenari Yamada¹⁾, Yoshihiro Hase⁵⁾, Atsushi Tanaka⁵⁾,

1) Shizuoka Res. Inst. of Agri. and For., 2) Tea Research Center/Shizuoka Res. Inst. of Agri. and For.,
3) Shizuoka pref. Indust. Div of Fruit, Vegetable, and Flower Promotion, 4) Toubu Office of Agri and For.,
5) Quantum Beam Science Directorate, JAEA

キーワード：イオンビーム，温室メロン，低温肥大性，突然変異育種

I 結 言

温室メロンは静岡県を代表する特産作物であり，県西部地域を中心に専用の温室で周年栽培されている．年間を通じて 1.5 kg 前後の果実重で，外観や食味が一定の果実を供給するため，各季節に適した両親を交配して得られた F₁ が栽培されている³⁾．冬季には夜間の最低温度が 21～23℃前後となるよう暖房が行われるが，年間の暖房費は変動経費の 44%を占めるため(重油 80 円/L で試算)²⁾，これを低減することが強く求められてきた．

しかし，暖房費を節減するため低温で栽培すると，①生育の抑制による開花の遅れ，②果実肥大の抑制，③糖の蓄積の遅れによる収穫の遅延，④刺激臭のある「発酵果」の誘発といった諸問題が発生しやすくなることが経験的に知られている．

筆者らは，夜間の栽培温度を低くしても果実が肥大し，高糖度や果実外観に優れる品種の育成を目標に，イオンビームを利用した突然変異育種に取り組んできた．これまでに，M₁ 世代の生育に及ぼす影響から適正照射線量を検討し⁴⁾，M₂ 世代で出現した果実の低温肥大性や高糖度，

果実外観などの有用な変異が M₃ 世代でも安定していることを報告してきた⁵⁾．

本報告では，前報⁵⁾において選抜された有用変異系統について，単体および F₁ での特性を評価し，F₁ 親系統として，果実の肥大性に優れる‘静岡 1 号’と，果実外観に優れる‘静岡 2 号’を選抜したので，その育成経過と品種特性について報告する．

なお，本育種を実施するに当たり，静岡県温室農業協同組合ならびに組合員の皆様には多大なるご協力をいただいた．ここに記して謝意を表する．

II 育 成 経 過

育成経過の概要を図 1 に示した．

2000 年に温室メロン‘アールス・フェボリット’の冬季栽培用 F₁ 親系統の中で品質に優れる‘県温冬系 2 号’(以下‘県温冬 2’)に AVF サイクロトロン(JAEA, Takasaki, Japan)で加速した 20～70Gy のカーボンイオン(¹²C⁵⁺, 220 MeV, LET : 121 keV/μm, 水中飛程 : 約 1.0 mm)を種子照射し⁴⁾，936 個体から自殖種子(M₂ 世代の種子)を得た．

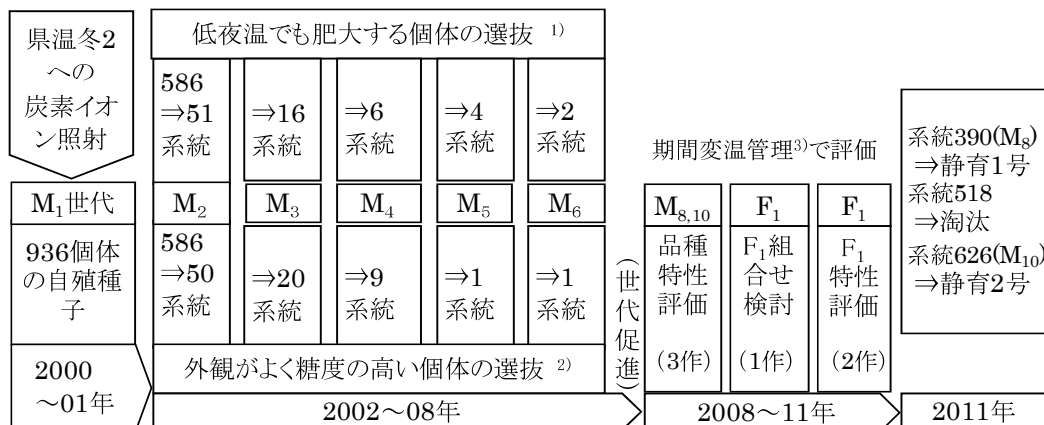


図1 温室メロン「静育1号」および「静育2号」の育成経過

1) 低夜間で管理；夜間(1:30-6:00)の設定温度は定植7日目から収穫まで一定(M₃；18℃，M₄；17℃，M₅～M₆；16℃)

2) 低夜間で管理；夜間(1:30-6:00)の設定温度は定植7日目から収穫まで一定(20℃)

3) 期間変温管理；夜間(0:30-6:00)の設定温度は生育ステージに応じて変温(平均18℃)

このうち、20～40Gyを照射して得られた586系統のM₂世代について、定植7日目以降の最低夜温帯(1:30～6:00)の温度設定を慣行の21～23℃より低い20℃に固定して栽培し、元品種より果実が肥大する51系統と、元品種より果実外観や糖度が優れる50系統を選抜した。肥大性に優れる51系統は、M₃～M₆世代における最低夜温帯の温度設定を、M₃が18℃、M₄が17℃、M₅とM₆が16℃に固定して栽培し、M₆世代までに「系統390」と「系統518」を選抜した。一方、果実外観や糖度に優れる50系統は、M₃～M₆世代を慣行と同じ温度管理で栽培し、M₆世代までに「系統626」を選抜した。

2008年以降は、夜間(16:30～6:00)の最低温度設定を生育ステージに応じて変更する「期間変温管理」(図2)で評価を行った。M₈～M₁₀に世代を進めた3系統の特性評価の他、F₁組合せの検討により交配相手を選定し、「県温冬系3号」(以下、「県温冬3」)を花粉親とするF₁の特性評価を実施した。この結果、元品種である「県温冬2」に

比べF₁組合せの親として優れることが確認されたため、肥大性に優れる「系統390」を「静育1号」、果実外観に優れる「系統626」を「静育2号」と命名し、2011年に育成を完了した。「系統518」は単体では肥大性が優れていると判断されたが、F₁では「系統390」を種子親としたものより劣るため淘汰した。なお、以下の文章では育成された2品種のみデータを示し、命名された品種名により特性を記述する。

III 育成品種の特性

1. 品種特性把握のための栽培・調査方法

(1) 育成品種の評価

「静育1号」および「静育2号」の特性調査は、世代をすすめたM₈、M₁₀世代の種子を用い、「県温冬2」を対照品種として2008年度と2009年度に3作行った(表1)。

いずれもスリークオータ型ガラス温室の隔離ベッドに

表1 育成品種およびF₁の特性評価、F₁組み合わせ試験における栽培概要

試験内容	栽培場所 ¹⁾	試験構成	株間 (cm)	着果節 位(節)	交配日 (年/月/日)	収穫日 ²⁾ 数(日)	内容調 ³⁾ 査目安	備考
品種 特性 評価	所内	1区3株3反復	38	11	08/12/16	50	220Hz	自走式自動灌水 アーケラント ⁴⁾ 無処理
	現地	1区3-5株3反復	37	11	09/2/16	51	6日目	
	所内	1区2株2反復	35	11	10/1/19	52	220Hz	
F ₁ 組合せ	所内	1区3株2反復	35	11	10/1/19	52	220Hz	自走式自動灌水、アーケラント ⁴⁾ 無処理
F ₁ 特性 評価	現地	1区12株4反復	34	13	10/12/18	51	210Hz	チューブ ⁴⁾ 灌水、アーケラント ⁴⁾ 3000倍2回
	現地	(ラテン方格)	36	13	11/12/11	51	210Hz	手灌水、アーケラント ⁴⁾ 4000倍2回

1) スリークオータ型ガラス温室にて低温栽培(期間変温管理)

2) 交配から収穫までの日数

3) 果実の固有振動値(Hz)または収穫後日数を目安に実施

4) 1-ナフタレン酢酸トリウム液剤0.2% (商品名 アーケラント⁴⁾)

おける土耕，有機質肥料の立体栽培とし，慣行の栽培管理に準じて実施した。

温度設定は，定植から収穫までの夜間(16:30～6:00)の平均温度を慣行より 2.5℃低く設定する“期間変温管理”(図2)とした。すなわち，1日の温度設定を 6:00～16:30(日中)，16:30～20:30(前夜)，20:30～0:30(後夜1)，0:30～6:00(後夜2)の4区分とし，生育ステージに応じて設定温度を変更した。栽培期間を通じての最低温度設定は，活着後～ヤゴ水(交配7日前)および，ネット終了後の果実硬化の解消以降(概ね交配30日後)における 0:30～6:00 の 16℃とした。なお，期間変温管理による燃料節減量を，温室暖房燃料消費試算ツール⁷⁾により算出したところ，慣行と比べ夜間で 18%，日中を含めた全日で 23%と試算された。

生育特性として，交配10日前の草丈および葉数¹⁾，12節の両性花開花日数を調査した。果実特性として，収穫時の果実重，果実の縦径および横径を測定し，果面凹凸や外観等級は静岡県温室農業協同組合の出荷基準に準じて評価した。収穫した果実は，室温(20℃)で貯蔵後，打音計(静岡製機 MELOC²⁾)による固有振動値が所定の値(表1)以下となった時点で赤道面を切断し，対称となるように内果皮の2～6箇所の果汁をデジタル糖度計(ATAGO PAL-1)で測定した他，食味および発酵程度を評価した。

(2) F₁交配組合せの検討

F₁組合せ親の検討は，‘静育1号’および‘静育2号’を種子親とし，低温期の F₁組合せに利用される‘県温冬系1-3’(以下‘県温冬1-3’)，または‘県温冬3’を花粉親とした F₁種子を用い，2009年度に1作実施した(表1)。参考品種として，冬季栽培用 F₁の‘県温冬1311’(‘県温冬系1-1’×‘県温冬1-3’)を用い，特性栽培管理，温度設定および特性調査は前述と同様に行った。

(3) 育成品種を用いた F₁の評価

F₁の特性評価は，‘静育1号’および‘静育2号’に‘県温冬3’を交配した F₁種子を用い，元品種である‘県温冬2’に‘県温冬3’を交配した F₁種子を対照として，2010年度と2011年度に現地生産者温室にて2作実施した(表1)。栽培管理，温度設定および特性調査は前述と同様に行った。また，交配16日前後から収穫まで，8～12日ごとに果実の縦径および横径を測定して肥大の推移を調査した。

2. 育成品種の特性評価

(1) ‘静育1号’の特性

‘静育1号’は元品種と比べ，定植から収穫までの日数に違いは観察されないが(データ略)，交配10日前の草丈および葉数が劣り，12節開花日数が大きい傾向を示す

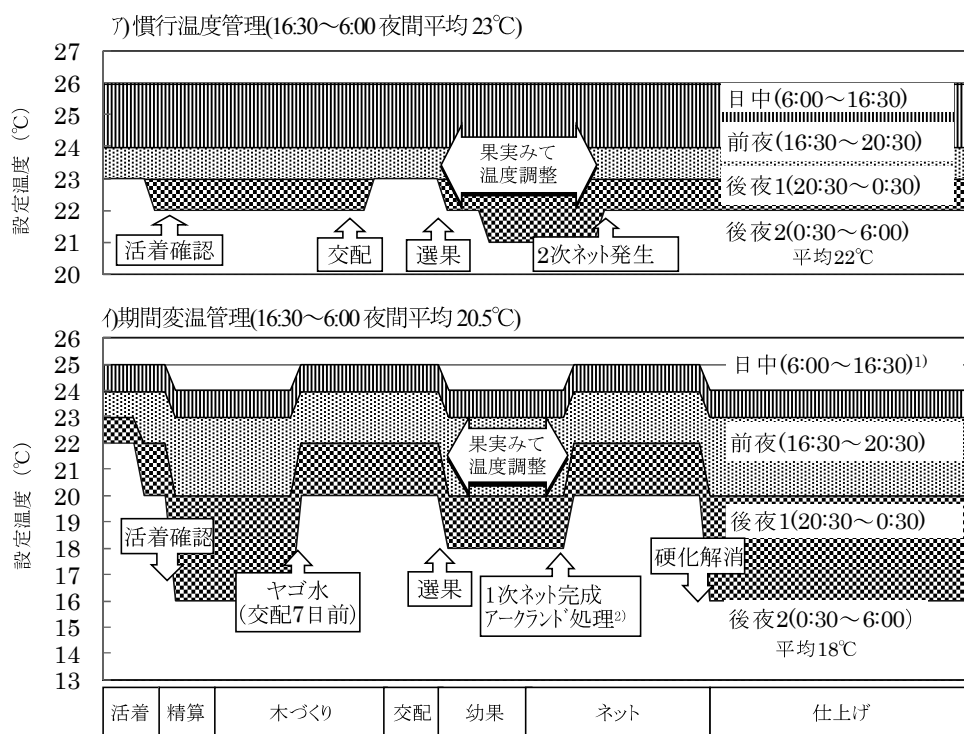


図2 慣行および期間変温管理における生育ステージ・時間帯別の最低温度設定

1) 曇天時の日中は 26℃に設定 2) 1-ナフタル酢酸トリカ液剤 0.2%(商品名 アークラント)

(表2). 収穫時の果実が80g程重く、果形が縦長で、果面凹凸は同程度であるが(表2), ネットが密に入り(写真1), 外観等級が優れている(表2). 果肉糖度が高く、食味評価や発酵指数は同程度である(表2).

(2) ‘静育2号’の特性

‘静育2号’は元品種の‘県温冬2’と比べ、定植から収穫までの日数に違いは観察されず(データ略), 交配10日前の草丈および葉数, 12節開花日数は同等である(表2). 収穫時の果実重は同等, 果形が縦長で、果面凹凸の発生はなく(表2), ネットが密に入り(写真1), 外観等級が優れている(表2). 果肉糖度は高いが, 発酵指数が大きいため食味評価は劣る(表2).

3. F₁交配組合せの検討

‘静育1号’を種子親にした場合, 花粉親にかかわら

ず交配10日前の草丈および葉数, 12節開花日数, 果形指数, 果肉糖度および発酵指数は同等であったが, ‘県温冬3’を花粉親とした方が, 収穫果実が重く, 果面凹凸が小さく, 外観等級が優れ, 食味評価が高い傾向を示した(表3).

‘静育2号’を種子親にした場合, 花粉親にかかわらず交配10日前の草丈や葉数, 12節開花日数, 果形指数, 果肉糖度および外観等級は同等であったが, ‘県温冬3’を花粉親とした方が, 収穫果実が重く, 果面凹凸は小さく, 発酵指数が高かったものの, 食味評価が高い傾向を示した.

このことから, 育成した2品種の花粉親として‘県温冬3’を選定した. なお, この組合せは現地で冬季に栽培されている‘県温1311’と比べ, 食味評価が高く, 収穫果実が重い傾向を示した(表3).

表2 温室メロン‘静育1号’および‘静育2号’の生育特性および果実特性¹⁾

品種名	交配10日前		12節開 ³⁾	収穫	4)	5)	6)	果肉糖度 (Brix%)	7)	8)
	草丈 (cm)	葉数 (枚)	花日数 (日)	果実重 (g)						
静育1号	44.7	10.5	22.0	1184 a	1.03	0.2	7.1	15.1	3.6	15.1
静育2号	51.0	11.4	20.3	1086 b	1.04	0	7.1	15.2	3.0	45.9
県温冬2(元品種)	52.6	11.7	20.2	1103 b	1.01	0.3	6.4	14.7	3.4	19.4
分散分析 ²⁾	△	△	-	*	-	-	-	△	-	-

1) 期間変温管理(2008-2009年度), 11節着果, アークラント[®]無処理

果実重, 果面凹凸, 糖度は3作分, 12節開花日数は1作分, その他は2作分の平均値)

2) *, △, -, 5%, 10%水準で有意差あり, 分散分析せず アルファベットはTukey多重比較(5%)

3) 鉢上げから13節両性花が開花するまでの日数 4) 果形指数=縦径×横径 5) カボチャ様縦溝程度; (0無, 1軽微-3深)

6) 外観等級; 1(劣)-10(優), 7以上が上位等級(山, 富士)に相当

7) 肉質を含む評価; 1(劣)-5(優)

8) 発酵程度0(無), 1(微)-4(甚)から算出; 発酵指数=(微の個数+少の個数×2+中の個数×3+甚の個数×4)/(総個数×4)×100

表3 温室メロン‘静育1号’および‘静育2号’を種子親に用いたF₁組合せ特性¹⁾

F ₁ 交配組合せ		交配10日前		12節開 ³⁾	収穫	4)	5)	6)	果肉糖度 (Brix%)	7)	8)
種子親	花粉親	草丈 (cm)	葉数 (枚)	花日数 (日)	果実重 (g)						
静育1号	県温冬1-3	86.4 ab	15.9 a	20.3	1127 ab	1.03	0.3	7.3	15.2	4.2	0
	県温冬3	85.2 ab	15.8 ab	20.2	1173 a	1.03	0.0	7.5	15.2	4.7	0
静育2号	県温冬1-3	78.3 b	15.1 b	20.8	992 b	1.01	0.2	7.0	15.1	3.5	0
	県温冬3	85.3 ab	15.5 ab	20.7	1065 ab	1.02	0	7.0	14.7	4.2	15
県温冬1311(参考F ₁)		87.8 a	15.9 a	20.5	1104 ab	1.02	0.3	7.2	15.0	3.2	0
分散分析 ²⁾		*	*	n.s.	**	-	-	-	n.s.	-	-

1) 期間変温管理(09/12/24定植, 交配1/19, 収穫3/12, 1区3株2反復), アークラント[®]無処理

2) **, *, n.s., -, 1%, 5%水準で有意差あり, 5%水準で有意差なし, 分散分析せず アルファベットはTukey多重比較(5%)

3) 定植後から12節両性花が開花するまでの日数

4) 果形指数=縦径×横径

5) カボチャ様縦溝程度; (0無, 1軽微-3深)

6) 外観等級; 1(劣)-10(優), 7以上が上位等級(山, 富士)に相当

7) 肉質を含む評価; 1(劣)-5(優)

8) 発酵程度0(無), 1(微)-4(甚)から算出; 発酵指数=(微の個数+少の個数×2+中の個数×3+甚の個数×4)/(総個数×4)×100

4. 育成品種を用いたF₁の特性(現地栽培)

(1) ‘静育1号’を用いたF₁の特性

‘静育1号’のF₁は対照F₁と比べ、定植から収穫までの日数に違いは観察されないが(データ略)、交配10日前

の草丈および葉数が僅かに劣り、13節開花日数も僅かに遅れる(表4)。収穫時の果実重は70g程度重く、果形はやや縦長、果肉糖度は同等で発酵果は確認されない(表4)。外観の上位等級の割合は同等だが、等級8以上の割合は明らかに多い(図3)。ネットが密に入り(写真2)、全体の食

表4 温室メロン‘静育1号’および‘静育2号’を用いたF₁の生育特性および果実特性(現地栽培)¹⁾

F ₁ 組合せ	交配10日前		13節開 ³⁾	収穫	4)	5)	6)	果肉 糖度 (Brix%)	7)	8)
	草丈 (cm)	葉数 (枚)	花日数 (日)	果実重 (g)						
静育1号×県温冬3	57.3 b	13.9 b	53.3 a	1645 a	1.01	0.4	7.3	13.7 b	3.7	0
静育2号×県温冬3	59.3 ab	14.0 ab	53.0 b	1581 b	1.01	0.4	7.6	14.1 a	3.9	0
県温冬2×県温冬3(対照F ₁)	60.3 a	14.2 a	52.5 c	1574 b	0.99	0.7	7.0	13.9 ab	3.7	0
分散分析 ²⁾	**	**	**	**	—	—	—	*	—	—

1) 期間変温管理(2010/10/28鉢上-12/18交配;2011/10/20鉢上-12/11交配), 13節着果, 交配51日収穫, アークランド3000又は4000倍2回

2) 1区12株, 4×4のラン方格, 2作調査 ** , *, —; 1%, 5%水準で有意差あり, 分散分析せず アルファベットはTukey多重比較(5%)

3) 鉢上げから13節両性花が開花するまでの日数 4) 果形指数=縦径÷横径 5) カボチャ様縦溝程度; (0無, 1軽微-3深)

6) 外観等級; 1(劣)-10(優), 7以上が上位等級(山, 富士)に相当

7) 肉質を含む評価; 1(劣)-5(優)

8) 発酵程度0(無), 1(微)-4(甚)から算出; 発酵指数=(微の個数+少の個数×2+中の個数×3+甚の個数×4)/(総個数×4)×100

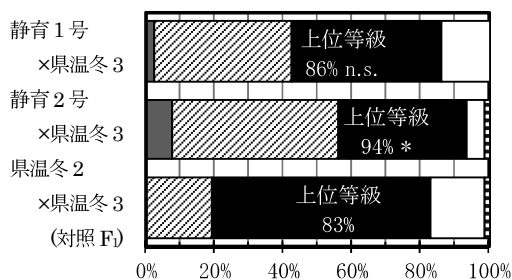


図3 温室メロン‘静育1号’および‘静育2号’を用いたF₁の外観等級¹⁾の発生割合(現地栽培)

*, n.s.; 上位等級(等級7以上)の発生割合の検定(対照に対するフィッシャーの直接確率; n=94)で5%で有意差あり, 10%で有意差なし

1) 静岡県温室農業協同組合出荷基準に準じ10段階評価(10: 最良-1: 最劣)

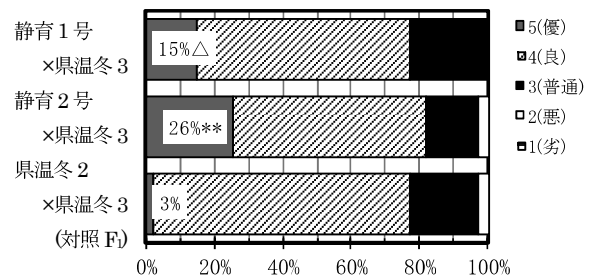


図4 温室メロン‘静育1号’および‘静育2号’を用いたF₁の食味評価の発生割合(現地栽培)

**Δ; 食味評価5の発生割合の検定(対照に対するフィッシャーの直接確率; n=40)で1%で有意差あり, 10%で有意差あり

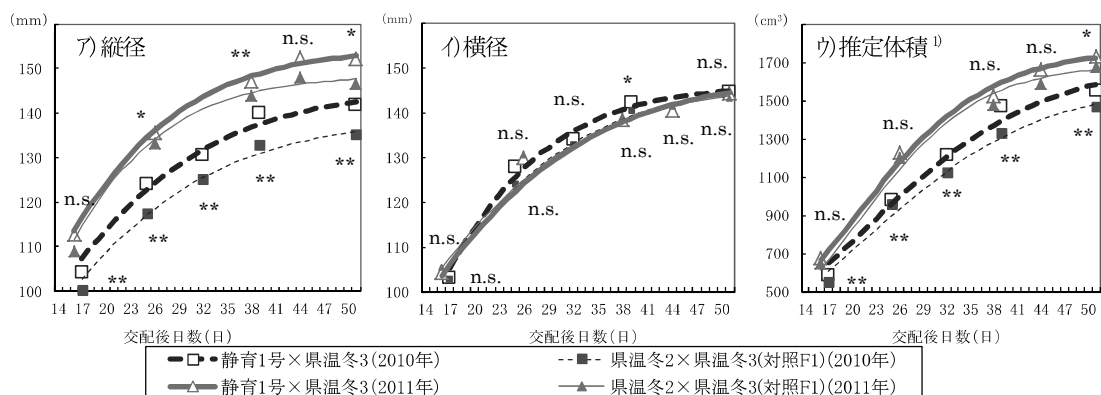


図5 温室メロン‘静育1号’を用いたF₁の交配から収穫までの果実肥大推移(現地栽培)²⁾

**, n.s.; 年毎の各調査日における対照F₁を基準とするダネットの検定(n=47)により, 1%, 5%で有意差あり, 10%で有意差なし

1) 推定体積=縦径×横径×横径÷8×3.14×4÷3

2) 平均値をマーカーで, 平均値の推移をロジスチック曲線で示した

味評価は同等であるものの(表4)、食味が特に優れる果実が多い傾向を示す(図4)。

果実の推定体積および縦径は、交配16日目以降、対照F₁に比べ大きく、収穫が近づくに従いその差が大きくなる(図5)。横径は対照F₁と同程度で推移するため、縦に長い幼果の特性が収穫時の果実の肥大に影響していると考えられる。

(2) ‘静育2号’を用いたF₁の特性

‘静育2号’のF₁は対照F₁と比べ、定植から収穫までの日数に違いは観察されず(データ略)、交配10日前の草丈や葉数、13節開花日も同等である(表4)。収穫時の果実重は同等で、果径がやや縦長である。果肉糖度はやや高い傾向を示し、発酵果は確認されない(表4)。外観の上位等級の割合や等級8以上の割合が明らかに多く(図3)。ネットは密に入り(写真2)、食味が特に優れる果実が多い(図4)。

5. 育成品種と期間変温栽培方法における今後の課題

本報では、育成した2品種を期間変温管理のもと評価してきたが、それぞれの特性は前報⁹⁾での選抜の経過を反映しており、低温栽培では‘静育1号’を、外観や糖度を重視する場面では‘静育2号’、といった使い分けが望ましいと考えられる。この特性はF₁でも同様に現れるため、育成品種はF₁の種子親として有望と考えられる。

また、考案した“期間変温管理”については、夜間で18%の暖房用燃料⁹⁾が節減できると見込まれるが、今後実測による節減量の把握が必要である。現地栽培試験を行った生産者からは“土壌が乾きにくく、果実硬度の調整が難しい”との評価もあり、設定温度に応じた灌水量の加減など、“期間変温管理”における栽培管理方法についても、あわせて検討が必要であろう。

なお、現地における栽培試験では、対照F₁でも①開花は遅れない、②慣行の交配後日数でも1.5kg前後の果実となる、③果実と糖度が十分高い、④発酵果が発生しない、との結果が得られたことから、“期間変温管理”の他品種への適用についても、今後検討する必要があると考えられた。

IV 摘 要

1. 暖房温度を低く管理しても果実外観や果肉糖度が優れ、肥大する温室メロンを目標に、2000年に‘県温冬

2’にイオンビームを照射して突然変異を誘起した。6世代にわたる選抜と数世代の世代促進の後、単体およびF₁の特性調査を行い、2011年に育成を完了し、育成品種として‘静育1号’および‘静育2号’と命名した。

2. ‘静育1号’および‘静育2号’を種子親とするF₁組み合わせの花粉親として‘県温冬3’を選定した。
3. ‘静育1号’、および‘静育1号’と‘県温冬3’のF₁は、‘県温冬2’、および‘県温冬2’と‘県温冬3’のF₁に比べ、収穫時の果実が縦長で、果実重が70~80g重い。果実外観が優れ、果肉糖度は同程度である。
4. ‘静育2号’、および‘静育2号’と‘県温冬3’のF₁は、‘県温冬2’および‘県温冬2’と‘県温冬3’のF₁に比べ、収穫時の果実が縦長で、果実重が同程度である。果実外観が特に優れ、果肉糖度は同程度である。

引 用 文 献

- 1) 荒川博(1994)：温室メロンにおける生育速度と雌花着生の関係。静岡農試研報, 39, 17~28.
- 2) 石上清(1994)：打音解析法による温室メロン果肉硬度の非破壊評価。静岡農試研報, 38, 21~28
- 3) 神谷圓一(1969)：温室メロンの栽培と経営。誠文堂新光社、東京、70~73.
- 4) 片井秀幸・種石始弘・大塚寿夫・鹿園直哉・田中淳(2004)：イオンビーム(¹²C⁶⁺)の種子照射による温室メロン(*Cucumis melo* L.)のM₁世代生育に対する影響。静岡農試研報, 49, 17~27.
- 5) 前島慎一郎・片井秀幸・種石始弘・山田栄成・大須賀隆司・長谷純宏・田中淳(2008)：イオンビームの温室メロン育種への有効性。静岡農林研報, 1, 21~28.
- 6) 静岡県農業水産部(2004)：静岡県作物原単位(温室メロン)。
- 7) 高市益行・川嶋浩樹・黒崎秀仁・安場健一郎(2007)：わが国各地における各種温室の暖房燃料消費量の試算ツール。野菜茶研成果情報, 9~10.

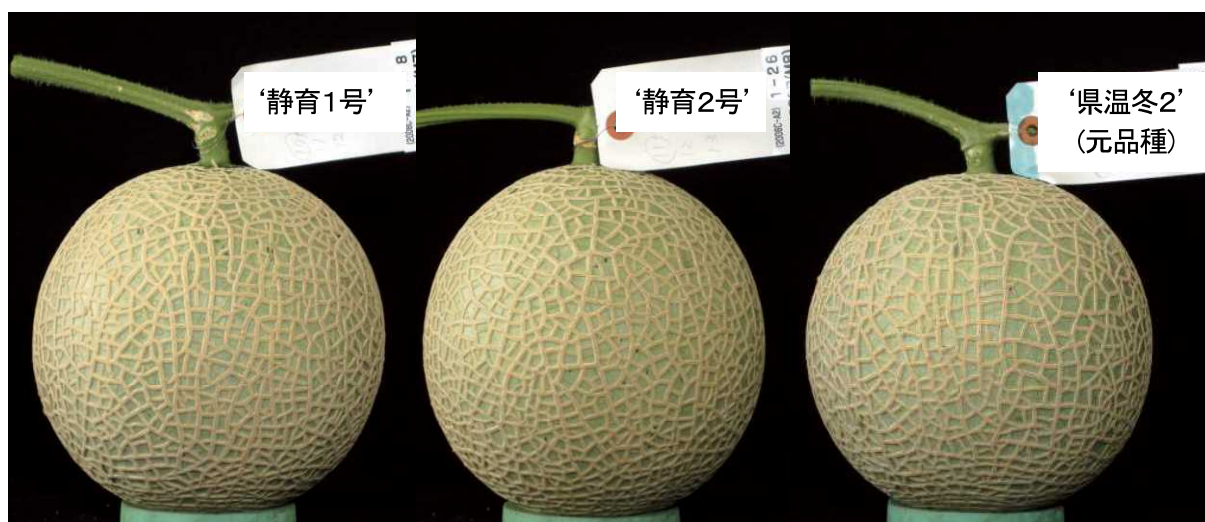


写真1 温室メロン‘静育1号’および‘静育2号’の果実外観

期間変温管理による低温栽培(2008/12/16 交配)，1-ナフタル酢酸トリウム液剤 0.2%(商品名 アーランド)不使用

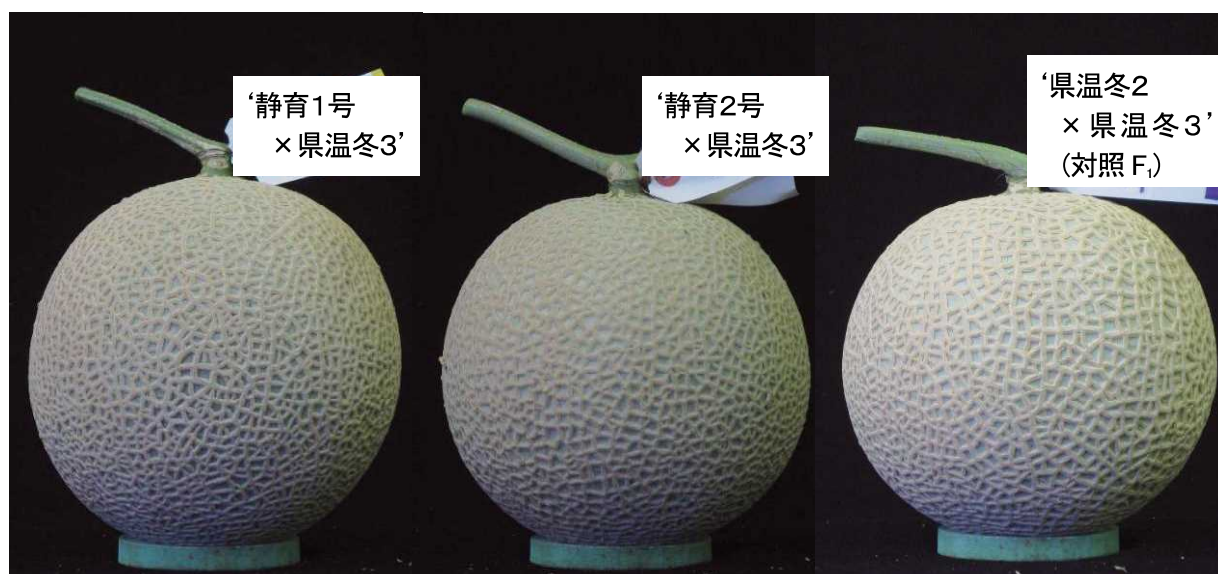


写真2 温室メロン‘静育1号’および‘静育2号’を用いた F₁の果実外観(現地栽培)

期間変温管理による低温栽培(2010/12/18 交配)，1-ナフタル酢酸トリウム液剤 0.2%(商品名 アーランド)3000 倍 2 回散布