

## I 章. 緒 論

### 1. 研究の背景

我が国のメロン (*Cucumis melo* L.) の栽培は、明治中期に新宿御苑でイギリスから導入された 'A1', 'Emerald Gem' 等の品種を試験栽培したことに始まるが、栽培が本格化し全国各地で産地が形成されるのは 1960 年代に入ってからである (瀬古, 1999a). その後経済成長に伴う需要の増加により 1990 年には全国のメロン栽培面積は 18,100 ha となり過去最大となった (農林水産省, 2003). しかし、その後国民一人当たり果実消費量の減退や経済破綻の影響によりメロンの需要が減少し、2005 年の全国の栽培面積は 10,400 ha となり 1990 年対比で 58% (42%減), 収穫量は 241,200 t となった (農林水産省, 2006). 都道府県別にみた 2005 年の収穫量割合は茨城県が 23%, 北海道が 15%, 熊本県が 13%, 愛知県が 6% となっており、北海道のメロンの収穫量は全国で第 2 位に位置している (農林水産省, 2006).

北海道のメロン栽培は赤肉品種を中心とした贈答用メロンの産地として成長し、1992 年にはメロン栽培面積が最大となり 2,240 ha の栽培面積があったが、2005 年には 1,610 ha に減少し、1992 年対比で 72% (28%減) となった (農林水産省, 2006). 全国の栽培面積の減少程度 (42%減) に比較し北海道の栽培面積の減少が 28% に止まっているのは、夕張メロンに代表されるようにメロンが北海道の夏の味覚として国内で確固たる地位を確保しているためと考えられ、メロンは北海道にとって重要な品目となっている。

メロンは、低温や降雨の回避による安定生産、水田等との労働競合の回避のため、ガラス温室やビニールハウス等を利用した施設で栽培されることが多く、そのような施設ではメロンが連作される場合が多い。また、露地トンネル栽培であってもメロンに代わる高収益作物がほとんどないことから連作される場合が多い。このようにメロンは連作されることが多いため、連作障害の発生がメロンの生産安定上の大きな問題点となっている。

メロンの連作障害は、土壌病害の発生と塩類集積に起因するものに大別される。塩類集積による連作障害は主として施設栽培で発生してい

るが、施肥量の抑制、吸肥力の強い緑肥作物導入による塩類の吸収などの技術を用いることによって塩類集積を抑制することができる。また、積雪地帯ではハウス被覆資材を冬期間のみ撤去し、融雪水を利用して土壌塩類を系外へ流出させる方法が慣行的に行われ、無積雪地帯ではハウス被覆資材を夏期間のみ撤去し、梅雨等の降雨を利用して土壌塩類を系外へ流出させる方法が慣行的に行われてきた。これらの技術を用いることで塩類集積は深刻な問題にはなっていない場合が多い。しかし、土壌病害の発生はこれまで度々深刻な問題となってきた。

国内のメロン栽培で問題になっている主な土壌病害は *Fusarium oxysporum* f.sp. *melonis* によるメロンつる割病, *Monosporascus cannonballus* Pollack and Uecker による黒点根腐病, *Verticillium dahliae* Klebahn によるメロン半身萎ちょう病, メロンえそ斑点ウイルス (MNSV) によるメロンえそ斑点病および *Acidovorax avenae* ssp. *citrulli* による果実汚斑細菌病がある。

黒点根腐病は山形県天童市のメロンの根から病原菌が分離・記載されたのが最初で、その後各地に広がっている (植松, 1991), 発病適温は 28°C で、地温が 25~30°C の高温になると多発し、根量が少なく草勢が弱い品種が発病しやすい傾向があるが品種による被害回避は難しい (小牧, 1999). そのため、太陽熱消毒 (小玉・福井, 1979) や土壌消毒剤を用いた土壌消毒および汚染土壌の拡散防止が被害回避の主な対策となっている (小牧・清田, 1998). なお、黒点根腐病は北海道における発生は確認されていない。

メロン半身萎ちょう病は 1976 年に北海道の空知支庁において国内で始めて発生が確認され (北沢・鈴井, 1980), 1992 年には 5 支庁に発生が拡大した (北海道立中央農業試験場, 1995). *V. dahliae* は、ナス科作物では明確な病原性の分化が認められている (萩原, 1990). しかし、ウリ科作物では病原性の分化は認められていないことから (奥村ら, 1999), 後志支庁でのメロン半身萎ちょう病の発生はパレイショで発生した *V. dahliae* に由来するとの見方もある。メロン半身萎ちょう病に対する抵抗性には品種間差が認められており (北海道

立中央農業試験場, 1995), 現在北海道立花・野菜技術センターで抵抗性品種の育成が行われているが実用的な抵抗性品種の育成には至っていない。そのため、被害回避は太陽熱土壌消毒(小玉・福井, 1979), 還元土壌消毒(新村ら, 1999; 新村, 2004; 北海道立道南農業試験場, 1999) および土壌消毒剤を用いた土壌消毒が中心である。また, *Vdahliae* が湛水状態で死滅しやすいことから田畑輪換も効果が期待されている(中住, 1999a)。なお, *Vdahliae* の発病適温は20~24°Cで, 25°C以上では発病しにくいことから北海道以外では大きな問題となっていない(中住, 1999a)。

メロンえそ斑点病は1959年頃に静岡県温室メロンで発生が確認された(岸, 1960)。北海道では1974年に発生が確認され(吉田ら, 1980), その後の被害拡大は緩やかであったが, 1990年代に入り北海道各地で発生が散見されるようになり, 問題が顕在化した(堀田, 2005)。メロンえそ斑点病に対しては, 発生当初は土壌消毒によって対処したが, 真性抵抗性遺伝子を有する抵抗性台木品種が北海道立花・野菜技術センターや民間種苗会社で育成され(平井ら, 2003; 北海道立花・野菜技術センター, 2005), それらの品種の使用が被害回避の有効な方法となりつつある(堀田ら, 2005a)。

メロンにおける果実汚斑細菌病は2005年に富良野市において国内で初めて発生が確認され(堀田ら, 2005b), 病原菌に汚染されたタイ産の台木用品種を使用したことが原因であるとされた(上松ら, 2006)。この病害は発生の歴史が浅く対処法が未確立であるため, 現在ではこの病害が発生したハウスにはメロンを作付けしない等の処置が講じられている。

メロンつる割病菌はレース0, 1, 2, 1,2の4レースに分類され, 更に, レース1,2は1,2w(wilting type)と1,2y(yellowing type)に細分類されている(Risser *et al.*, 1976)。メロンつる割病の国内における初発生の場所および年代は特定されていないが, メロンの栽培の歴史と符合すると推定される。古くから発生しているレースは, レース0とレース2で(並木, 1996, 2000), レース1は1994年に滋賀県で発生が確認されている(並木ら, 1995; 並木, 1996; Namiki *et al.*, 2000)。これらのレースに対しては, 真性抵抗性遺伝子を有する品種を台木として使用することによって発病の抑制に成功している。しかし, 1984年に高知県で

メロンつる割病菌レース0とレース2に真性抵抗性を有するF<sub>1</sub>品種‘アールス東海 R230’と‘アールス東海 R240’が罹病化し, 発病株から分離された菌株の病原性検定によってレース1,2yであることが明らかになった(小林ら, 1988, 1989; 小林, 1989)。さらに1993年に夕張市の4農家で, メロンつる割病菌レース0とレース2に真性抵抗性を有するF<sub>1</sub>台木品種‘夕張改良1号’に接ぎ木したメロンF<sub>1</sub>品種‘夕張キング’の葉が顕著に萎ちようす



図1-1 メロンつる割病菌レース1,2yによる病徴

- A : 葉面の光沢の増加と葉身の肥厚・硬化
- B : 葉身および葉柄の黄化
- C : 株全体の萎凋・枯死

る土壌伝染性病害が発生し（岩田ら, 1994）、発病株から分離された菌株の病原性検定によってレース 1,2y であることが明らかになった（田中・田村, 1997）。レース 1,2y に侵された株は、着果始め頃から下位葉表面に光沢を生じ（図 I-1A）、葉身が肥厚して硬化し、まもなく網目状に葉脈が末端まで黄化し（図 I-1B）、次第には葉全体が激しく黄化・萎凋し、株全体が枯死する（図 I-1C）という特徴的な病徴を有する。レース 0 あるいはレース 2 によるメロンつる割病とは明らかに異なる病徴を示し、葉が黄化するという特徴から通称‘黄化型’と呼ばれている。北海道では初発生から 4 年間で 3 支庁 15 市町村に被害が急速に拡大し、北海道各地のメロン産地に大きな被害をもたらした（田中・田村, 1997; 田中ら, 1997; 北海道立中央農業試験場, 2000）。

レース 1,2y の被害が急速に拡大していた 1998 年と 1999 年に夕張市とそれに隣接する栗山町の農家ハウスで、太陽熱土壌消毒（小玉・福井, 1979; 岸田, 2004）、還元土壌消毒（新村ら, 1999; 新村, 2004; 北海道立道南農業試験場, 1999; 岸田, 2004）および対抗作物として長ネギ、コマツナ、エンバク野生種、ギニアグラス、ソルゴーおよび飼料用トウモロコシを利用したレース 1,2y の被害回避試験が行われた。その結果、太陽熱土壌消毒は効果が低く、還元土壌消毒は効果が不安定であった。その主な原因として、メロン作付け後の 8 月中旬から処理を開始したことによる地温不足が考えられた。さらに、試験を実施したハウスに近接しているメロンの作付け履歴のない水田転換畑の春播コムギ圃場の土壌からレース 1,2y 菌が検出され、一旦農家圃場にレース 1,2y が発生するとハウス周辺の土壌も汚染され、土壌消毒による効果が打ち消される危険性があることが指摘された。このレース 1,2y 菌の移動はハウスと水田転換畑に共通して使用される作業機あるいは作業者の靴底に付着した汚染土壌によるものではないかと推察された（中住, 1999a）。このことから、レース 1,2y 菌の根絶は極めて困難であることが判明した。

一方、レース 1,2y の対抗作物として導入した長ネギは、レース 0 によるメロンつる割病および半身萎ちょう病の被害回避に効果があるとされているが（成田, 1991）、被害回避効果は判然としなかった。コマツナを作付けした場合には

逆にレース 1,2y 菌密度が増加する傾向が見られ、作物の種類によっては土壌中の菌密度が高く維持されるとの報告もあることから（Gordon *et al.*, 1989; 小倉・馬, 1992）、対抗作物の選択には注意が必要であることが明らかになった。イネ科作物には土壌病原菌密度の低減効果があるとされ、リクトウおよびトウモロコシによるキュウリつる割病菌 (*F. oxysporum* f. sp. *cucumerinum*) の菌密度低減（松田ら, 1970）、ソルガムによるキュウリつる割病菌の菌密度低減（小倉・馬, 1992）、エンバク野生種によるアズキ落葉病菌 (*Cephalosporium gregatum*)（佐久間ら, 2002）、ジャガイモそうか病菌 (*Streptomyces turgidiscabies*)（佐久間, 2004）、トマト半身萎ちょう病菌 (*Verticillium dahliae*)（小長井ら, 2002）およびキャベツパーティシリウム萎ちょう病菌 (*Verticillium longisporum*)（酒井, 2004）の菌密度低減が確認されている。しかし、エンバク野生種、ギニアグラス、ソルゴーおよび飼料用トウモロコシを供試、レース 1,2y 菌の密度低減効果を検討したが効果は判然としなかった。

これら夕張市と栗山町で行った現地試験から、一旦農家圃場にレース 1,2y が発生するとハウス周辺の土壌も汚染され、土壌消毒による効果が打ち消される危険性があること、および対抗作物の利用により安定的なレース 1,2y の被害回避効果を得るには更なる検討が必要であることが明らかになった。

以上の経過からレース 1,2y に対しては耕種的防除法では十分な効果が期待できないとの認識が農家や農業指導者に広がり、レース 1,2y に対し強い抵抗性を有する品種の育成に期待が集まった。

## 2. 従来の研究

### 1) メロン (*Cucumis melo* L.) の分類と起源

メロン (*Cucumis melo* L.) は藤下(1983)により以下の 10 変種に細分類されている。

var. *reticulatus* Naud. (ネットメロン)

var. *inodorus* Naud. (冬メロン)

var. *cantalupensis* Naud. (疣メロン)

var. *flexuosus* Naud. (蛇メロン)

var. *makuwa* Makino (マクワ)

var. *microspermus* Kitam. (セイカンマクワ)

var. *conomon* Makino (シロウリ)

var. *momordica* Duthle & Fueller (モモルディカ)

メロン)

var. *dudaim* Naud.

var. *agrestis* Naud. (野生または雑草メロン)

これら10変種の染色体数は $2n=24$ で、変種間の交雑不和合性はなく、変種間で自由に交雑が可能である(藤下・前川, 1967; 藤下, 1983). 栽培種として利用されている変種はヨーロッパ系メロンと呼ばれる var. *reticulatus*, var. *inodorus*, var. *cantalupensis*, および東洋系メロンと呼ばれる var. *makuwa*, var. *conomon* である.

メロンの原産地は、一次センターはアフリカであると考えられている(藤下, 1983; Robinson and Decker-Walters, 1997). 二次センターについては中近東、インドおよび中国西部とする説(藤下, 1983)と中近東、インド(Robinson and Decker-Walters, 1997)とする説がある. しかし、インドのメロンには周縁の南アジア地域より遺伝的多型が多く(Akashi *et al.*, 2002), 南アジアのメロンとマクワ、シロウリが遺伝的に近縁であることから、東洋系メロンの二次センターはインドとその周縁地域であるとする説が最近報告された(Yashiro *et al.*, 2005). この説は東洋系メロンの二次センターとヨーロッパ系メロンの二次センターは異なることを示唆するとも考えられ、ヨーロッパ系メロンの二次センターは中近東および中国西部である可能性があるが、それを証明する知見は発表されていない.

ヨーロッパ系メロンの二次センターの所在は確認されていないが、二次センターから西方の南欧やエジプト方面に拡まって改良されたものがヨーロッパ系メロンであり(藤下, 1983; 瀬古, 1999a), 二次センターのインドとその周縁地域から東方に伝わって発達したものが東洋系メロンのマクワとシロウリであると考えられている(Yashiro *et al.*, 2005). マクワとシロウリは南アジアから中国にかけて広く栽培されているが、日本においては、弥生時代に導入され、その後国内で広く栽培されたとされている(藤下, 1983).

## 2) メロンつる割病菌のレース分化とその分布

先に述べたように Risser *et al.* (1976) は、メロンつる割病菌を 'Charentais T', 'Doublon', 'CM17.187' の3判別品種を用いてレース0, 1, 2, 1,2の4レースに分類し、更に、レース1,2をそ

の特徴から1,2wと1,2yに分類した.

これら5レースのうち、南米、中米および北米で最も広く分布しているレースはレース2で、レース0, レース2の発生は局地的であり、レース1,2の発生はごくわずかである(Martyn and Gordon, 1993; Zuniga *et al.*, 1997; De Cara *et al.*, 2004). また、ヨーロッパと中近東で最も広く分布しているのはレース1で、レース1,2yおよびレース1,2wの発生も多く、レース2は局地的な発生に止まっている(Martyn and Gordon, 1993).

日本国内では、北海道でレース0の発生が多く(北海道立中央農業試験場, 1995), 東北以南でレース0とレース2が同程度に発生している(並木, 1996, 2000). レース1は1994年に滋賀県で発生が確認され(並木ら, 1995; 並木, 1996; Namiki *et al.*, 2000), その後1999年に茨城県でも発生が確認された(小河原ら, 2001, 2003). 茨城県で発生したレース1は滋賀県のレースとは判別品種に対する病原性が若干異なるため(小河原ら, 2003; 薄ら, 2004), 発生経緯についての研究が行われている. 北海道以外では、1988年に高知県でレース1,2yの発生が確認されており(小林, 1989; 小林ら, 1988, 1989), 高知県で発生したレース1,2yは北海道で発生したものより病原性が強く(石内ら, 1995b), しかも北海道で発生したレース1,2yに対して比較的強い抵抗性を示した品種の中にシロウリが多かったのに対し、高知県で発生したレース1,2yに対して比較的強い抵抗性を示した品種の中にマクワが多かった(石内ら, 1995a, 1996). このことから北海道と高知県で発生したレース1,2yは遺伝的にやや異なると考えられている.

## 3) メロンつる割病に対する抵抗性

レース0, レース1およびレース2については優性の真性抵抗性遺伝子が同定されており、レース0とレース2に抵抗性を示す *Fom1* (Risser *et al.*, 1976) および *Fom3* (ZinkandGubler, 1985; Zink, 1991), レース0とレース1に抵抗性を示す *Fom2* (Risser *et al.*, 1976) が報告されている. なお、*Fom1* と *Fom2* には遺伝的な連鎖関係はない(Zink and Thomas, 1990). 真性抵抗性遺伝子 *Fom2* では Wechter *et al.* (1995), Baudracco-Arnas and Pitrat (1996), Zhen *et al.* (1999), Brotman *et al.* (2002), Burger *et al.* (2003), Wang *et al.* (2000,2002) が,

*Fom1* では Baudracco-Arnas and Pitrat (1996), 遠山・神戸 (2002), Brotman *et al.* (2002) が分子マーカーの同定について報告しており, 真性抵抗性遺伝子については DNA レベルでの研究が進んでいる。

レース 1,2 に関する抵抗性の研究はヨーロッパで行われている。Risser and Rode (1973) は, 中国のマクワ‘黄金 9 号’と‘黄金梨まくわ’がレース 1,2 に量的抵抗性を示すことを明らかにし, ‘黄金 9 号’を素材としてレース 1,2 (論文では 1,2y か 1,2w かは明瞭でない) に量的抵抗性を有する ‘Isabelle’ が育成された (Perchepped and Pitrat, 2004)。さらに, Ficcadenti *et al.* (2002) は ‘Isabelle’ とイタリアの在来種 ‘Giallo di Paceco’ の交配後代の花粉を培養して得られた半数体を倍化する方法でレース 1,2w 抵抗性品種 ‘Nad-1’, ‘Nad-2’ を育成した。また, Perchepped and Pitrat (2004) は, レース 1,2 に関する遺伝解析を行い, 抵抗性遺伝子数は 4~14 個で, 遺伝率は 0.72~0.96 であると推定した。さらに, Perchepped *et al.* (2005) は, レース 1,2 に抵抗性を示す微働遺伝子は, 12 連鎖群のうち 5 つの連鎖群に属する計 9 つの QTL からなると推定した。

しかし, これらヨーロッパで育成された品種はマクワの ‘黄金 9 号’ を抵抗性の育種素材とし, レース 1,2w 抵抗性の強化を主目的に育成されて

いる。北海道で発生したレース 1,2y に対してはマクワよりシロウリの中に抵抗性を示す品種が多いとする石内ら (1995a, 1996) の報告も併せ, 著者は北海道で発生しているレース 1,2y はヨーロッパおよび高知で発生している菌株とは病原性が異なると考え, 北海道で独自に抵抗性品種を育成する必要があると判断した。

### 3. 研究の目的

北海道でのレース 1,2y の発生確認の翌年にレース 1,2y によるメロンつる割病に対して最もメロン農家の経済的・作業的負担が少なく効果的な方法は何かを高知県等の先例を基に検討した。その結果, 抵抗性品種による被害回避が最適であるという結論に達し, 1995 年に抵抗性品種の育成に着手した。

本論文は, レース 1,2y 抵抗性の遺伝的な解析 (II 章と III 章), 抵抗性台木品種の育成 (IV 章), 抵抗性機作の解明 (V 章) を行い, さらに, 育成した抵抗性台木品種 ‘どうだい 1 号’, ‘どうだい 2 号’ の特性について述べ, 抵抗性台木品種育成についての基礎的知見を示すとともに今後の抵抗性育種についての方向を示し, 抵抗性台木品種によるレース 1,2y の被害回避に資することを目的とした。

## II章. レース 1,2y 抵抗性の遺伝変異

### 目的

Cohen *et al.* (1995) はネットメロンとマクワのレース 1,2 抵抗性に品種間差の存在を認めている。石内ら (1995a, 1996) も、ネットメロン、マクワおよびシロウリ等の計 272 品種について、北海道で発生したレース 1,2y を用いた幼苗接種検定を行い、抵抗性が強と判定された 30 品種のうち 21 品種がシロウリ、3 品種がネットメロンであることを明らかにしている。このように、レース 1,2y 抵抗性には品種間差が存在することから、強い抵抗性を有する品種を育成できる可能性がある。

そこで本章では、北海道内で栽培されている主要品種と、北海道立花・野菜技術センターで保有しているメロン育種のための育種素材（純系品種）および中国から収集した品種のレース 1,2y 抵抗性を検定し、抵抗性の遺伝解析のための品種選定を行うとともに、抵抗性遺伝子の由来についての検討も併せて行うことを目的とした。

### 材料および方法

#### 試験 1

供試材料は北海道での栽培実績がある果実生産用品種 14 品種と台木品種 5 品種を供試した（表 II-1）。抵抗性の相対的な比較のため、石内ら (1995a, 1996) によりメロン品種の中で最も抵抗性が強いとされた品種のひとつで、北海道内でも栽培実績がある純系品種‘バーネットヒルフェボリット’（以降‘バーネット’）を標準品種として供試した。接種方法、罹病程度の調査方法および発病度の算出は駒田 (1976) および飯田 (1984) の方法に準じた標準接種法（表 II-2, 図 II-1）および標準調査法（図 II-2）で行った。調査は供試品種の中で最も抵抗性が弱い品種が全株枯死する直前の接種 13 日後まで行い、調査誤差を減らすため接種 10 日後と 13 日後の計 2 回の調査結果を平均し、各品種の発病度とした。供試株数および反復数は、1 品種当たり 5 株を 1 反復とした 2 反復の乱塊法で行った。



図 II-1 「標準接種法」によるメロンつる割病菌レース 1,2y の幼苗接種検定



発病指数：0  
(無病徴)



発病指数：1  
(子葉の黄化)



発病指数：2  
(黄化を伴った軽い萎凋)



発病指数：3  
(黄化を伴った激しい萎凋)



発病指数：4  
(枯死)

各個体の発病指数は飯田（1984）の基準に従い、各個体および各品種・系統の発病度は次式によって算出する。

$$\text{発病度} = \frac{\sum \text{発病指数} \times 100}{\text{最大発病指数} \times \text{供試個体数}}$$

図 II-2 「標準調査法」による発病指数の評点基準と発病度の計算式

表 II-2 標準接種法

菌株	北海道夕張市で採取され、北海道立中央農業試験場でのレース検定によってレース 1, 2y と同定された菌株（菌株番号：375）を用いる
菌の調整	試験管内のPDA培地（ブドウ糖加用ジャガイモ煎汁培地）上で低温保存されていた菌叢を、7日間PDAシャーレで予備培養（25℃）後、駒田（1976）による駒田培地で7日間振とう培養（25℃）する。培養液は2重のガーゼで濾過し、遠心分離（3000rpm, 5分間）して培地成分を取り除いた後、分生胞子を $1.0 \times 10^6$ 個/mlの濃度に調整する。
接種方法	種子を滅菌済みのパーライトに播種し、播種後11～12日目に苗の根を洗浄した後、駒田（1976）の方法による浸根接種を行う。接種時間は25℃で2時間とする。
接種後の管理方法	接種した苗は、滅菌済みのパーライトを詰めたプラスチック製育苗鉢（25ml）あるいは7.5cmのポリポットに1本ずつ栽植する。灌水は育苗鉢の下からの給水とし、栽植時のみ液体肥料（N：120ppm, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ：100ppm, K <sub>2</sub> O：100ppm）を施用する。接種後の管理はガラス温室内で行い、培地の温度は25℃一定、温室気温は昼25℃、夜20℃に保つ。日長は12時間日長とし、自然日長で不足する場合はナトリウムランプ（1000lux）で日長を延長する。

<sup>2</sup>接種後の管理方法については図 II-1 参照

試験2

台木用 F<sub>1</sub> 品種‘夕張改良1号’はメロン生産現場で台木用 F<sub>1</sub> 品種‘金剛1号’よりレース 1,2y 抵抗性が強いと言われている。しかし, ‘夕張改良1号’は育成元の JA 夕張市の意向により入手が困難である。そこで, JA 夕張市の協力を得て種子の提供を受け, ‘夕張改良1号’と‘金剛1号’および標準品種の‘バーネット’を供試した(表II-3)。

接種方法は試験1に準じ, 調査は供試品種の中で最も抵抗性が弱い品種が全株枯死する直前の接種13日後まで行い, 接種11,12,13日後の計3回の調査結果を平均し, 各品種の発病度とした。供試株数および反復数は, 1品種当たり12株を1

反復とした2反復の乱塊法で行った。

試験3

供試材料は, 花・野菜技術センターで保有している純系品種21品種(表II-4), 中国国内で収集した21品種(表II-2)を用いた。抵抗性検定に用いた標準品種は, ‘バーネット’の他に, 石内ら(1995a, 1996)の結果から‘バーネット’より強い抵抗性を有するシロウリ在来種の‘東京早生(丸葉)’(以降, ‘東京早生’)を用いた。

接種方法は試験1に準じ, 調査は供試品種の中で最も抵抗性が弱い品種が全株枯死する直前の接種14日後まで行い, 接種7,14日後の計

表II-1 北海道内で作付け実績があるメロン19品種のレース1,2y抵抗性

品種番号	variety	種類 <sup>Z</sup>	品種名	発病度
1	<i>reticulatus</i>	S, F <sub>1</sub>	ニューキングレッド	95.0 a <sup>y</sup>
2	<i>reticulatus</i>	R, F <sub>1</sub>	金剛1号	93.8 ab
3	<i>reticulatus</i>	S, F <sub>1</sub>	ビューレッド	93.8 ab
4	<i>reticulatus</i>	S, F <sub>1</sub>	ルピアレッド	83.8 abc
5	<i>reticulatus</i>	S, F <sub>1</sub>	キングナイン	80.0 abc
6	<i>reticulatus</i>	S, F <sub>1</sub>	IK2号	75.0 abc
7	<i>reticulatus</i>	S, F <sub>1</sub>	天恵	72.5 abc
8	<i>reticulatus</i>	S, F <sub>1</sub>	クルーガー	71.3 abc
9	<i>reticulatus</i>	R, F <sub>1</sub>	マジック2号	71.3 abc
10	<i>reticulatus</i>	S, F <sub>1</sub>	レッド113	70.0 abc
11	<i>reticulatus</i>	S, F <sub>1</sub>	エルシー2号	70.0 abc
12	<i>reticulatus</i>	S, F <sub>1</sub>	サッポロレッド	69.4 abc
13	<i>reticulatus</i>	S, F <sub>1</sub>	サッポロキングER	62.5 abc
14	<i>reticulatus</i>	S, F <sub>1</sub>	アンデス	62.5 abc
15	<i>reticulatus</i>	S, F <sub>1</sub>	北紅クイーン	58.8 bc
16	<i>reticulatus</i>	R, F <sub>1</sub>	OKW	55.6 c
17	<i>reticulatus</i>	R, OP	バーネットヒルフェボリット	46.3 d
18	<i>reticulatus</i>	R, F <sub>1</sub>	園研2号	45.0 d
19	<i>reticulatus</i>	S, F <sub>1</sub>	キングメルティアー	43.8 d

<sup>Z</sup> S;果実生産用品種, R;台木品種, F<sub>1</sub>; F<sub>1</sub>品種, OP;純系品種

<sup>y</sup> 異文字間に有意差あり (Tukey, 5%水準)

表II-3 ‘夕張改良1号’のレース1,2y抵抗性

品種番号	variety	種類 <sup>Z</sup>	品種名	発病度
1	<i>reticulatus</i>	R, F <sub>1</sub>	夕張改良1号	32.8 b <sup>y</sup>
2	<i>reticulatus</i>	R, F <sub>1</sub>	金剛1号	94.8 a
3	<i>reticulatus</i>	R, OP	バーネット	32.8 b

<sup>Z</sup> R;台木品種, F<sub>1</sub>; F<sub>1</sub>品種, OP;純系品種

<sup>y</sup> 異文字間に有意差あり (Tukey, 1%水準)



表 II-4 花・野菜技術センターで保存している純系21品種のレース1,2y抵抗性

品種番号	variety	品種名	発病度
1	<i>reticulatus</i>	ポルトガル	92.2
2	<i>reticulatus</i>	磐田2号 (アールス系)	92.2
3	<i>reticulatus</i>	スパイシー	89.1
4	<i>reticulatus</i>	安濃4号	87.5
5	<i>reticulatus</i>	アールスフェボリット	87.5
6	<i>reticulatus</i>	アールス夏系16号	87.5
7	<i>reticulatus</i>	磐田1号 (アールス系)	82.8
8	<i>reticulatus</i>	アールス春系1号	82.8
9	<i>reticulatus</i>	ロッキーフォード	81.3
10	<i>reticulatus</i>	アールス秋系3号	81.3
11	<i>reticulatus</i>	HM-G50	78.2
12	<i>reticulatus</i>	HM-G51	76.6
13	<i>reticulatus</i>	アールス秋系1号	73.5
14	<i>reticulatus</i>	アールスフェボリットY	73.5
15	<i>reticulatus</i>	久留米5号	67.2
16	<i>reticulatus</i>	バーネットヒルフェボリット	66.8
17	<i>reticulatus</i>	安濃12号	65.7
18	<i>reticulatus</i>	メロン中間母本農1号 <sup>z</sup>	61.0
19	<i>reticulatus</i>	久留米2号	56.3
20	<i>reticulatus</i>	シャランテ <sup>y</sup>	43.8
21	<i>conomon</i>	東京早生 (丸葉)	30.5

<sup>z</sup> [ ('平塚3号' (var.*reticulatus*) × 'ミータンカン' (var. *makuwa*) ] × '丸池3号' (var.*reticulatus*) .

2回の調査結果を平均し、各品種の発病度とした。なお、供試可能な種子量が僅少であったため、試験は1品種・系統あたり8株の反復なしで行った。

## 結果

### 試験 1

北海道内の主要品種 19 品種の発病度は‘キングメルティー’の 43.8 から‘ニューキングレッド’の 95.0 まで比較的広い変異を示し、既存品種の中にもレース 1,2y 抵抗性に関する比較的広い変異が確認された (表 II-1)。これら 19 品種はいずれもヨーロッパ系メロンである var. *reticulatus* を中心に育成された品種であり、ヨーロッパ系メロンにはレース 1,2y に対する抵抗性に比較的広い変異が存在するとした Cohen *et al.* (1995) の結果と一致した。

石内ら (1995a, 1996) によりネットメロンの中では抵抗性が強いとされた‘バーネット’は、本試験においても発病度が 46.3 で、供試品種では最も強い品種のひとつであり、‘バーネット’と同程度の発病度を示した品種は‘園研 2 号’と‘キング

メルティー’の 2 品種認められた。しかし‘バーネット’より抵抗性が有意に強い品種は認められなかった (表 II-1)。

### 試験 2

‘夕張改良 1 号’の発病度 32.8 は、‘金剛 1 号’より有意に低かったが、メロン品種の中で抵抗性が強いとされる‘バーネット’ (石内ら, 1995a, 1996) の発病度 32.8 と同等であった (表 II-3)。

‘夕張改良 1 号’はメロン生産現場でレース 1,2y 抵抗性が強いと言われている品種であり、北海道内での台木品種としての実績も豊富であることから抵抗性品種育成の際に抵抗性の指標とすべき品種であるが、育成元の J A 夕張市の意向により入手が困難である。しかし、‘夕張改良 1 号’と‘バーネット’の抵抗性程度には差がない上 (表 II-3)、‘バーネット’についても北海道内での台木品種としての栽培実績があることから、今後抵抗性品種育成の指標となる標準品種として‘バーネット’を用いても問題ないと判断された。

表II-5 中国で収集した21品種のレース1, 2y抵抗性

品種番号	遺伝資源番号	variety	収集場所	発病度
1	中4	<i>makuwa</i>	黒竜江省ハルビン市	20.0
2	中2	<i>makuwa</i>	黒竜江省ハルビン市	32.5
3	中3	<i>makuwa</i>	黒竜江省ハルビン市	45.0
4	中5	<i>makuwa</i>	黒竜江省ハルビン市	50.0
5	中6	<i>makuwa</i>	黒竜江省ハルビン市	67.5
6	中1	<i>makuwa</i>	黒竜江省ハルビン市	87.5
7	中28	<i>inodorus</i>	甘粛省蘭州市	32.5
8	中29	<i>inodorus</i>	甘粛省蘭州市	37.5
9	中20	<i>inodorus</i>	甘粛省蘭州市	70.0
10	中73	<i>inodorus</i>	甘粛省蘭州市	72.5
11	中75	<i>inodorus</i>	甘粛省蘭州市	72.5
12	中21	<i>inodorus</i>	甘粛省蘭州市	75.0
13	中74	<i>inodorus</i>	甘粛省蘭州市	77.5
14	中78	<i>inodorus</i>	甘粛省蘭州市	100
15	中35	<i>inodorus</i>	新疆カシュガル市	84.4
16	中37	<i>inodorus</i>	新疆カシュガル市	85.0
17	中36	<i>inodorus</i>	新疆カシュガル市	87.5
18	中90	<i>inodorus</i>	新疆ウルムチ市	87.5
19	中72	<i>inodorus</i>	新疆カシュガル市	90.0
20	中100	<i>inodorus</i>	新疆ウルムチ市	92.5
21	中34	<i>inodorus</i>	新疆カシュガル市	97.5
22	—	<i>reticulatus</i>	バーネットヒルフェボリット	66.8
23	—	<i>conomon</i>	東京早生(丸葉)	30.5

試験3

石内ら(1995a, 1996)により強い抵抗性を有するとされたシロウリ (var. *conomon*) の‘東京早生’の発病度は 30.5 で、供試品種中最も強い抵抗性を示した(表II-4)。供試した var. *reticulatus* 20 品種の発病度はすべて‘東京早生’より高かったが、‘シャランテ’の 43.8 から‘ポルトガル’の 92.2 まで比較的広い変異を示し、試験1と同様の結果となった(表II-4)。本試験に供試した品種は種子が僅少で反復が設定できなかつたため発病度の有意性検定はできなかつたが、‘シャランテ’は‘バーネット’よりやや強い抵抗性を有すると推定された(表II-4)。

供試した var. *reticulatus* に分類される品種のほぼ全てがヨーロッパの var. *reticulatus* を中心に育成された品種であり、試験1と同様にヨーロッパのメロンにはレース 1,2y に対する抵抗性に比較的広い変異が存在すると推測された。

中国黒竜江省から収集したマクワ (var.

*makuwa*) 6 品種のうち、品種番号1と2の2品種は‘東京早生’の発病度 30.5 と大きな差がなく、黒竜江省のマクワには抵抗性の素材が存在すると推測された(表II-5)。甘粛省から収集した通称‘黄河蜜’と呼ばれる冬メロン (var. *inodorus*) の発病度は、品種番号7の 32.5 から品種番号14の 100 まで大きな変異がみられた(表II-5)。また、タクラマカン砂漠の新疆ウイグル自治区に位置するカシュガル市およびウルムチ市から収集した‘ハミウリ’と呼ばれる冬メロン (var. *inodorus*) の発病度は、最も低い品種が 84.4 (品種番号15)、最も高い品種が 97.5 (品種番号21) で変異の幅が狭く、しかも抵抗性も全体的に弱い傾向があつた(表II-5)。

## 考察

石内ら (1995a, 1996) によってメロン品種の中では抵抗性が強いとされた‘バーネット’と同程度の抵抗性を有する既存品種として、‘夕張改良 1 号’、‘園研 2 号’および‘キングメルティー’の 3 品種が認められたが、‘バーネット’以上の強い抵抗性を有する既存品種は認められなかった。

田中・田村 (1997) は‘夕張改良 1 号’の抵抗性の程度ではレース 1,2y の被害回避に効果がないとしていることから、それらの既存品種を用いたレース 1,2y の被害の拡大防止は効果が期待できないと考えられ、‘バーネット’以上の強い抵抗性を有する品種を育成する必要があると考えられた。そのための基礎としてレース 1,2y 抵抗性の遺伝解析が必要であり、次章のダイアレル分析に用いる品種を試験 3 の結果と採種性等の予備データに基づき以下のように選定した。

抵抗性強：‘東京早生’，‘シャランテ’

抵抗性中：

‘メロン中間母本農 1 号’ (以降‘中母農 1 号’)

‘バーネット’

‘アールスフェボリット Y’ (以降，‘アールス’)

抵抗性弱：‘安濃 4 号’，‘スパイシー’

次に、レース 1,2y 抵抗性を、メロンの系統分化の面から検討した。試験 1 および試験 3 に供試した var. *reticulatus* に分類される品種のほぼ全てがヨーロッパの var. *reticulatus* を育種素材として育成された品種であることから、ヨーロッパの var. *reticulatus* にはレース 1,2y に対する抵抗性に比較的広い変異が存在すると考えられた。また、中国から収集した品種のうち、黒竜江省から収集したマクワは全体的に抵抗性が強い傾向があり、マクワの中にはレース 1,2y 抵抗性を有する品種が存在するとした Risser and Rode (1973)、石内ら (1995a, 1996) および Ficcadenti *et al.* (2002) らの報告と一致した。

甘粛省から収集した‘黄河蜜’と呼ばれるノーネットメロンは、中国国外から導入されたノーネットメロンの‘ハネデュー’ (var. *inodorus*) を育種素材として育成されており (瀬古, 1999b)、現地でマクワやシロウリ等との交配が行われた結果、比較的広い抵抗性の変異を持つに至ったのではないかと推察された。

新疆ウイグル自治区は、メロンの起源の二次センターであると言われており (藤下, 1983)、レース 1,2y 抵抗性の大きな遺伝的変異が期待されたが、対象とした品種が 7 品種と少なかったためかも知れないが、遺伝変異は小さく、抵抗性素材の存在も確認できなかった。

### Ⅲ章. レース 1,2y 抵抗性の遺伝解析

#### 目的

今まで育種の対象としていなかった新しい形質に関する育種を行う場合、その形質に関する遺伝様式を解明することは、育種の効率化・スピード化の面から必須条件である。しかし、著者らがレース 1,2y 抵抗性育種を始めた 1995 年には、レース 1,2y 抵抗性の遺伝解析は行われておらず、抵抗性育種を開始するにあたって遺伝解析が必要であった。そこで、‘バーネット’より強い抵抗性を有する品種を育成することを目的とし、ダイアレル分析によりレース 1,2y 抵抗性に関する遺伝解析を行った。

#### 材料及び方法

材料には、抵抗性が強い品種としてシロウリ (var. *conomon*) の‘東京早生’、ネットメロン (var. *reticulatus*) の‘シャランテ’、中程度の抵抗性を有する品種としてネットメロンの‘中母農 1 号’(高田, 1983), ‘バーネット’および‘アールス’, 抵抗性が弱い品種としてネットメロンの‘安濃 4 号’と‘スパイシー’の計 7 品種を用いた。これらのうち台木品種は‘バーネット’のみで、他の 6 品種は果実生産用品種であるが、果実生産用品種も台木品種の育成素材として利用できることから本試験の供試材料とした。これらの親品種はすべて純系品種であり、ダイアレル分析を行うのに支障がない程度の十分な遺伝的固定度を有するとともに、レース

1,2y に対して広範な抵抗性の変異を示す。また、シロウリとネットメロンはともに染色体数  $2n=24$  の 2 倍体であり、両者間の交雑親和性には問題はなく、両者は自由に交雑可能である (藤下・前川, 1967; 藤下, 1983; 瀬古, 1999b)。これら 7 品種の間で正逆ダイアレル交雑を行い、親品種とそれら品種間の  $F_1$  の計 49 品種・系統を材料として接種検定を行った。

接種方法は表 II-2, 図 II-1 に示した標準接種法とし、罹病程度の調査および発病度の算出は図 II-2 に示した標準調査法で行った。調査は供試品種の中で最も抵抗性が弱い品種が全株枯死する直前の接種 11 日後まで行い、調査誤差を減らすため接種 10~11 日後に計 3 回行った調査結果を平均し、各品種・系統の発病度とした。供試株数および反復数は、1 品種当たり 16 株を 1 反復とした 2 反復の乱塊法で行った。結果は Hayman(1954)の方法に従ってダイアレル分析を行った。計算プログラムには鶴飼(1989)の DIALL を用いた。

#### 結果

7×7 ダイアレル交雑における親品種ならびに  $F_1$  の発病度を表 III-1 に示した。乱塊法によって得られた発病度について分散分析を行ったところ、反復間で有意な差は見られず、遺伝子型間には 0.1%水準の高い有意性があつた。発病度が最も低かつたのはシロウリの‘東京早生’の 1.3 で、最も高

表 III-1 7×7のダイアレルクロスにおける親品種と  $F_1$  の発病度 (2反復の平均値)

♂ \ ♀	1	2	3	4	5	6	7	$X_i$	$X_i - X_i$
1.東京早生(丸葉)	1.3	11.7	20.7	24.5	12.0	22.4	24.0	16.7	-4.5
2.メロン中間母本農1号	15.4	17.5	17.2	26.1	30.7	32.6	16.9	22.3	-2.2
3.バーネットヒルフェボリット	25.0	22.4	32.8	34.4	41.2	56.5	41.1	36.2	1.5
4.アールスフェボリットY	32.8	19.8	32.6	40.9	52.4	47.7	39.3	37.9	-0.8
5.シャランテ	11.5	43.0	53.7	59.9	50.3	53.9	41.1	44.8	6.5
6.スパイシー	26.6	39.6	51.1	52.1	47.7	58.6	65.7	48.8	1.1
7.安濃4号	35.7	17.3	34.7	32.8	33.9	62.5	71.5	41.2	-1.6
$X_i$	21.2	24.5	34.7	38.7	38.3	47.7	42.8		

表Ⅲ-2 発病度に関するダイアレルクロス分散分析表<sup>2</sup>

項目		7×7		6×6	
		自由度	平方和	自由度	平方和
相加効果	a	6	1564.20 ***	5	1500.89 ***
優性効果	b	21	135.35 ***	15	107.07 ***
平均優性偏差	b <sub>1</sub>	(1)	104.94 ***	(1)	97.31 ***
優性偏差の系列間差	b <sub>2</sub>	(6)	115.05 ***	(5)	128.28 ***
各F <sub>1</sub> 固有の優性偏差	b <sub>3</sub>	(14)	146.21 ***	(9)	96.37 ***
平均的正逆交雑差	c	6	43.03 **	5	29.86
特定組合せの正逆交雑差	d	15	15.26	10	11.02
誤差		48	11.18	35	12.06

<sup>2</sup> : Hayman (1954) の分散分析法による

\*\*, \*\*\* : 1%および0.1%水準で有意

表Ⅲ-3 発病度に関する一般組合せ能力(GCA)および特定組合せ能力(SCA)の分散分析表<sup>2</sup>

項目	7×7		6×6	
	自由度	平方和	自由度	平方和
GCA	6	1097.11 **	5	960.20 **
SCA	14	146.21 **	9	96.37 **
反復	21	23.19 *	15	17.30
誤差	41	11.32	29	12.06

<sup>2</sup> : Griffing (1956) の分散分析法による

\*, \*\* : 5%および1%水準で有意

かったのは‘安濃 4号’の71.5であった。F<sub>1</sub>の発病度は、‘東京早生’と‘安濃 4号’の値の間に分布し、顕著な超優性は認められなかった。

Hayman(1954)の方法による分散分析の結果を表Ⅲ-2に示した。分析に用いた環境分散は、反復と遺伝子型の交互作用から推定される親品種の環境分散とF<sub>1</sub>系統の環境分散の差に有意性が認められなかったため、全体をプールした環境分散の推定値(E)を用いた。その結果、7×7のダイアレル交配において平均的正逆交雑差を現すc項に有意な差がみられた。その原因を詳細に検討すると、‘シャランテ’を共通親とする5番目のアレーにおいて、‘シャランテ’を種子親とするF<sub>1</sub>の発病度の方が花粉親とするF<sub>1</sub>より小さいことが主たる原因であると考えられた(表Ⅲ-1)。そのため、‘シャランテ’を除く6品種について6×6のサブダイアレル表を作り、Hayman(1954)の方法による分散分析を行ったところ正逆交雑間差は有

意ではなくなった(表Ⅲ-2)。したがって、‘シャランテ’を除く6品種については正逆交雑に差がないと判断し、以下の分析は6×6のサブダイアレル表について行うこととした。

6×6のダイアレル交配では相加効果を示すa項が0.1%水準で有意であり(表Ⅲ-2)、一般組合せ能力(GCA)も1%水準で有意であった(表Ⅲ-3)。優性効果を示すb項も有意であり、b項を構成する3つの要素であるb<sub>1</sub>項(平均優性偏差)、b<sub>2</sub>項(優性偏差の系列間差)、b<sub>3</sub>項(各F<sub>1</sub>固有の優性偏差、表Ⅲ-3の特定組合せ能力(SCA)に等しい)はいずれも有意な差であった。これらの結果は、一般的な優性効果が存在すること(b<sub>1</sub>項)、ある親品種は他の親品種よりも効果が著しい遺伝子を持つこと(b<sub>2</sub>項)、特定のF<sub>1</sub>組合せで、顕著な優性偏差が認められること(b<sub>3</sub>項)を示している。平均的正逆交雑差を現すc項や、特定組合せの正逆交雑間差を表すd項は有意ではなかった。

レース 1,2y 抵抗性における非対立遺伝子間の相互作用 (エピスタシス) の存在について検討した。6×6 のダイアレル交配では正逆交雑に差がないことが明らかにされたので、反復ごとに正逆交雑の平均値から各系列の分散(Vr)と各系列の F<sub>1</sub> と非共通親との共分散(Wr)を求め、Wr-Vr の均一性を検定したところ、Wr-Vr の系列間の差は有意ではなかった(表Ⅲ-4)。次に、Vr の Vr への回帰係数は 0.942 と 1 に近似したことから(図Ⅲ-1)、レース 1,2y 抵抗性の遺伝子作用に関してエピスタシスの影響は小さく、相加・優性モデルに適合した。また、Vr に対する Wr の回帰直線の Y 軸切片が正の値であることから遺伝子作用は不完全優性と考えられた。

Vr, Wr 等の統計量から推定した遺伝成分を表Ⅲ-5 に示した。相加効果を表す D の値(656.9)に比べて優性効果を表す H<sub>1</sub>, H<sub>2</sub> はそれぞれ 267.5, 190.7 と小さい値であった。この実験に用いた親品種における優性対劣性遺伝子の相対的割合を示す F が正の値を示したことから、供試親全体では発病度に関する遺伝子のうち優性遺伝子の方が劣性遺伝子より多いと推定された。平均優性度を表す  $\sqrt{H_1/D}$  は 0.64 であることから超優性の程度は小さいと推定された。また、親品種における

正負対立遺伝子の割合を表す  $(\sqrt{4DH_1+F}) / (\sqrt{4DH_1-F})$  は 0.18 であったことから、正負対立遺伝子が親品種に同じ割合ではないと推定された。広義および狭義の遺伝率はそれぞれ 0.96 と 0.81 と高い値を示した。

各親における発病度(Pr)と優性遺伝子対劣性遺伝子の相対的割合を示す Wr+Vr との関係を図Ⅲ-2 に示した。その結果、両者の間に 5%水準で有意な値(自由度=4 で r=0.811)に近い正の相関(r=0.777)がみられ、発病度が低い品種ほど相加的な抵抗性遺伝子を多く集積している傾向があった。

### 考察

メロンつる割病菌レース 1,2y に対する抵抗性に関し多様な変異を示すネットメロンおよびシロウリの 7 品種を用いて総当たり交雑を行い、ダイアレル分析を行った結果、正逆交雑間に有意な差が認められた。正逆交雑間に有意性が認められたことの原因と考えられるネットメロンの‘シャランテ’を除く 6 品種でサブダイアレル表を作成し、再度ダイアレル分析を行ったところ正逆交雑間に有意な差はなくなった。これは、‘シャランテ’のレース 1,2y に対する抵抗性に関し、核外遺伝子が関与していることを示しているものと推定される。しかし、6×6 のダイアレル交配で正逆交雑に有意差は認められなかったが、‘東京早生’を花粉親とする F<sub>1</sub> の発病度の方が種子親とする F<sub>1</sub> よりやや小さく、‘シャランテ’とは逆の傾向を示したことから、核外遺伝子の関与については今後詳細に検討する必要がある。

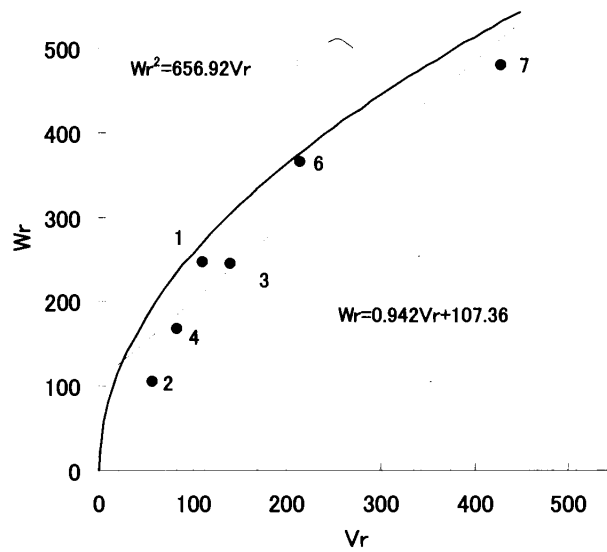
表Ⅲ-4 発病度の6×6ダイアレル分析における Vr(各系列のF<sub>1</sub>と非共通親との共分散)-Vr(各系列の分散)の均一性

項目	自由度	平方和
系列間差	5	3591.19 <sup>ns</sup>
ブロック間差	1	2013.73 <sup>ns</sup>
誤差	5	1062.05

<sup>ns</sup>:有意差なし

表Ⅲ-5 発病度における6×6ダイアレルクロスから評価した遺伝成分

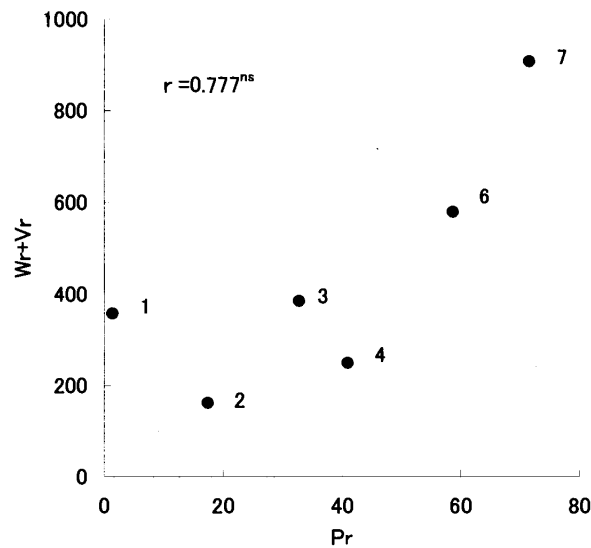
	成分	評価値
相加効果	D	656.92
優性効果	H <sub>1</sub>	267.51
	H <sub>2</sub>	190.69
優性対劣性遺伝子の相対的割合	F	238.12
環境分散	E	12.06
平均優性度	$\sqrt{H_1/D}$	0.64
対立遺伝子の平均頻度	H <sub>2</sub> /4H <sub>1</sub>	0.18
優性遺伝子と劣性遺伝子の総数の比	$(\sqrt{4DH_1+F})/(\sqrt{4DH_1-F})$	3.63
優性を示す遺伝子数	h <sup>2</sup> /H <sub>2</sub>	0.30
狭義の遺伝率		0.81
広義の遺伝率		0.96



図III-1 発病度に関する 6×6 ダイアレルクロス の  $W_r/V_r$  図

( $W_r$ : 各系列の F1 と非共通親との共分散,  $V_r$ : 各系列の分散)

- 1: 東京早生 (丸葉), 2: メロン中間母本農 1 号, 3: バーネットヒルフェボリット  
 4: アールスフェボリット Y, 6: スパイシー, 7: 安濃 4 号



図III-2 6×6 ダイアレルクロスにおける  $W_r+V_r$  と  $P_r$  の関係

( $W_r+V_r$ : 優性遺伝子対劣性遺伝子の相対的割合,  $P_r$ : 親の発病度)

- 1: 東京早生 (丸葉), 2: メロン中間母本農 1 号  
 3: バーネットヒルフェボリット, 4: アールスフェボリット Y  
 6: スパイシー, 7: 安濃 4 号

なお、‘シャランテ’を疣メロン (var. *cantalupensis*) に分類する報告もあり (Yashiro *et al.*, 2005), ‘シャランテ’については系統分化の面からの検討も必要である。

‘シャランテ’を除く6品種におけるダイアレル分析の結果、発病度に関し狭義の遺伝率は0.81と高く、正逆交雑に差がなく、遺伝的変異の大部分は相加効果によるものであり、優性効果は小さいことが明らかになった。

レース 1,2y 抵抗性と優劣性の関係は交雑組合せによって異なり、ネットメロンの品種間雑種では抵抗性の強い方が優性を示した。しかし、ネットメロンの中で抵抗性が比較的強い‘中母農1号’、‘バーネット’および‘アールズ’と、シロウリの‘東京早生’との雑種では、抵抗性の強い方が劣性を示した。このことは、シロウリの‘東京早生’がPrの値が小さいにもかかわらずWr+Vrの値が比較的大きかったために、優性遺伝子の作用方向を示すPrとWr+Vrの相関が有意にならなかったことにも表れている(図III-2)。これは、シロウリである‘東京早生’がネットメロン5品種とは異なる抵抗性遺伝子を持っていることを示し、その抵抗性遺伝子はネットメロン5品種の遺伝的背景に対して劣性であると推定された。また、シロウリの‘東京早生’がメロンつる割病レース 1,2y に対し強い抵抗性を示すのは、相加的遺伝子と劣性の抵抗性遺伝子の両者が関与しているためではないかと推定される。

石内ら(1995a, 1996)は、ネットメロン、シロウリおよびマクワ(var. *makuwa*)等の計272品種について、メロンつる割病レース 1,2y に対する抵抗性の品種間差を明らかにするため北海道で発生したレース 1,2y を用いた幼苗接種検定を行った。その結果、抵抗性が強と判定された30品種のうち21品種がシロウリ、3品種がネットメロンであった。

メロンの原産地は、一次センターはアフリカであると考えられているが(藤下, 1983; Robinson and Decker-Walters, 1997)、東洋系メロンであるマクワやシロウリの二次センターはインドとその周縁地域であると考えられており(Yashiro *et al.*, 2005)、ヨーロッパ系メロン(ネ

ットメロン: var. *reticulatus*, 疣メロン: var. *cantalupensis*, 冬メロン: var. *inodorus*)の二次センターとは異なる可能性が指摘されている。このように、ネットメロンとシロウリは異なる系統分化過程をたどってきた変種であり、両者が異なる遺伝的組成を持っていることは十分に考えられる。シロウリの多くの品種がレース 1,2y に抵抗性を示すという石内ら(1995a, 1996)の結果と、本研究でシロウリの‘東京早生’がネットメロンとは異なる劣性の抵抗性遺伝子を持つと推定されたことを考え併せると、抵抗性遺伝子の由来はメロンの系統分化と深く関係していると考えられる。

本試験に用いた7品種の中で最もレース 1,2y に対する抵抗性が強い品種はシロウリの‘東京早生’であるが、シロウリは一般的に低温伸長性がネットメロンより劣る。メロンの主たる作期が低温期を経る北海道では、シロウリを台木品種として利用することは難しい。さらに、‘東京早生’でもわずかながら発病するため台木品種としては実用上問題がある。そのため、ほとんど罹病しない台木品種を新たに育成する必要がある。

本試験では、レース 1,2y に対する抵抗性の大部分は相加効果によるものであり、優性効果は小さく、超優性もほとんど認められなかった。このほかに、抵抗性に関与する核外遺伝子の存在、シロウリの‘東京早生’が持つ劣性の抵抗性遺伝子の存在が明らかになった。これらの結果から、‘東京早生’よりレース 1,2y 抵抗性の強い台木品種を新たに育成するためには、雑種強勢によって抵抗性を高めることを期待したF<sub>1</sub>品種育成は困難であり、相加効果を有する抵抗性遺伝子を多く集積した上で、‘東京早生’が持つ劣性の抵抗性遺伝子を発現させる育種手法、つまり系統選抜法等による固定種の育成が最適であろうと考えられる。具体的には、‘安濃1号’×‘東京早生’あるいは‘バーネット’×‘東京早生’の品種間交雑後代から相加的抵抗性遺伝子と‘東京早生’由来の劣性抵抗性遺伝子を併せもった抵抗性の強い個体を選抜することが有効ではないかと考えられる。



## IV章 . レース 1,2y 抵抗性台木品種の育成

### 1. レース 1,2y 抵抗性台木品種の育成

#### 目的

前章でレース 1,2y 抵抗性の育種学的情報を得るため抵抗性に関しダイアレル分析を行った結果、抵抗性の遺伝変異は量的遺伝子に支配され、その大部分は相加効果を有する微働遺伝子によると推察した。また狭義および広義の遺伝率も 0.8 以上と高く、系統選抜法による選抜で高い選抜効果が得られることが期待された。

そこで本章では、前章で得られた知見を基に、‘東京早生’より強いレース 1,2y 抵抗性を有する品種育成を目的とした。なお、メロンは産地ブランドが確立している場合には果実生産用の穂木品種の変更が容易でないことが多いことと、緊急に育成することが要求されていたため、抵抗性果実生産用品種ではなく抵抗性台木品種の育成を目指した。

#### 材料及び方法

育種素材は前章で選定したシロウリの‘東京早生’、メロンの‘中母農 1 号’と‘バーネット’を供試した。ただし、抵抗性を有する核外遺伝子を持つと推定される‘シャランテ’については、抵抗性台木品種の育成が緊急を要することから、抵抗性台木品種を育成した後に戻し交雑の素材として利用することとし、本章における育種素材には用いなかった。

メロンの方がシロウリより種子が大きい（藤下, 1983）、播種や接ぎ木の作業性を良好にすることを目的としてメロン品種を種子親として用いた。

‘中母農 1 号’×‘東京早生’および‘バーネット’×‘東京早生’の F<sub>1</sub> 採種を 1994 年 3 月に行い、F<sub>1</sub> の自殖種子採種を 1995 年 7 月に行って F<sub>2</sub> 種子を得た。F<sub>2</sub> の 30 個体を母集団とし、1996 年 8 月に最初の選抜を行った。その後、系統育種法により温室内で年間 1~4 世代の選抜を行った（表 IV-1）。

抵抗性台木品種の育成が緊急を要することから、育種目標をレース 1,2y 抵抗性の強化に絞り、

台木品種として必要とされる低温伸長性や草勢等（中住, 1999b）についての選抜は行わなかった。

個体選抜は接種 20 日前後に行い、選抜された個体は直径 30 cm のポリポットに移植し、自殖種子を採種した。選抜に用いたメロンつる割病菌レース 1,2y の接種方法は標準接種法（表 II-1, 図 II-1）に準じて行った。

#### 結果と考察

‘どうだい 1 号’（AT5-13-23-1）の選抜経過を表 IV-1 に示した。

1996 年 8 月の第 1 回目の個体選抜において、‘バーネット’×‘東京早生’の F<sub>2</sub> の発病度は 88.3 で、種子親‘バーネット’の 90.0 と同等となり、‘中母農 1 号’×‘東京早生’の F<sub>2</sub> の発病度 75.8 も種子親‘中母農 1 号’の 78.3 と同等となった。III 章の結果から推察すると、F<sub>2</sub> の発病度は両親の中間となることが期待されたが、種子親のメロン品種と同等となった。‘バーネット’×‘東京早生’の F<sub>2</sub> の 30 個体のうち抵抗性に優れる 1 個体（VT3）を選抜し、採種した。‘中母農 1 号’×‘東京早生’の F<sub>2</sub> の 30 個体についても抵抗性に優れる 3 個体（AT2, AT3, AT5）を選抜し、採種した。

1997 年 1 月の第 2 回目の個体選抜において、‘AT2’の発病度は 47.7 であり、‘東京早生’の 35.9 より発病度がやや高かったが、‘VT3’、‘AT3’および‘AT5’の発病度はそれぞれ 23.8, 12.9, 18.5 で‘東京早生’より発病度が低く、F<sub>2</sub> 集団における個体選抜において顕著な選抜効果が得られたことが明らかになった。‘VT3’の 36 個体のうち抵抗性に優れる 1 個体（VT3-18）を選抜し、採種した。‘AT3’の 87 個体、‘AT5’の 42 個体の計 129 個体のうち抵抗性に優れる 8 個体（AT3-4, AT3-12, AT3-15, AT3-16, AT3-26, AT5-8, AT5-13）を選抜し、採種した。なお、‘AT2’の 32 個体についても予備的に 2 個体（AT2-3, AT2-4）を選抜し、採種した。

1997 年 5 月の第 3 回目の個体選抜では、選抜系統の発病度が‘AT5-8’と‘AT5-13’の 0 から‘AT3-12’の 82.3 まで大きな変異が見られたが‘AT3-12’を除く 9 系統は‘東京早生’の発病度 62.5 と同等以下で

表IV-1 レース1, 2y抵抗性台木品種‘どうだい1号’の選抜経過

世代	品種・系統名	1996年8月			1997年1月			1997年5月			1997年8月			1998年2月		
		n <sup>2</sup>	発病度	SD	n	発病度	SD	n	発病度	SD	n	発病度	SD	n	発病度	SD
P(♂)	東京早生(丸葉):T	10	42.5	1.83	16	35.9	0.89	16	62.5	1.67	20	100	0	16	79.7	1.3
P(♀)	メロン中間母本農1号:A	15	78.3	1.64	16	45.3	1.17	16	79.1	1.28	20	100	0	16	85.9	1
P(♀)	バーネットヒルフェボリット	10	90.0	0.70	16	87.5	0.97	16	82.8	0.48	20	100	0	16	100	0
F <sub>2</sub>	VT(バーネット×東京早生)	30	88.3	1.01												
	AT(中母農1号×東京早生)	30	75.8	1.33												
F <sub>3</sub>	VT3				36	23.8	1.43									
	AT2				32	47.7	1.72									
	AT3				87	12.9	1.18									
	AT5				42	18.5	1.32									
F <sub>4</sub>	VT3-18						24	25.0	1.50							
	AT2-3						24	55.2	1.93							
	AT2-4						21	60.7	1.96							
	AT3-4						11	11.4	1.21							
	AT3-12						24	82.3	1.37							
	AT3-15						24	19.8	0.93							
	AT3-16						22	31.8	1.58							
	AT3-26						22	34.1	1.50							
	AT5-8						24	0	0							
	AT5-13						24	0	0							
F <sub>5</sub>	AT5-8-17								19	96.1	0.69					
	AT5-8-23								22	100	0					
	AT5-13-3								12	75.0	1.54					
	AT5-13-6								21	78.6	1.35					
	AT5-13-18								17	100	0					
	AT5-13-20								23	90.2	0.94					
	AT5-13-23								24	94.8	0.83					
F <sub>6</sub>	AT5-13-3-1										36	62.5	1.4			
	AT5-13-3-2										25	69.8	1.2			
	AT5-13-3-3										55	80.5	1.4			
	AT5-13-6-1										85	79.1	1.1			
	AT5-13-20-1										57	44.7	1.1			
	AT5-13-23-1										108	49.1	1.2			

<sup>2</sup>: 選抜集団の個体数

あった。この結果から、発病度が0の‘AT5-8’と‘AT5-13’を中心に個体選抜を行うこととし、‘AT5-8’の24個体のうち抵抗性に優れる2個体(AT5-8-17, AT5-8-23)と、‘AT5-13’の24個体のうち抵抗性に優れる5個体(AT5-13-3, AT5-13-6, AT5-13-18, AT5-13-20, AT5-13-23)を選抜し、採種した。なお、‘バーネット’×‘東京早生’の交配に由来する‘VT3-18’からも個体選抜を行い、採種を行ったが、結実した種子が不稔であり、次世代種子

を得ることが出来なかった。

1997年8月の第4回目の個体選抜は、‘東京早生’、‘中母農1号’および‘バーネット’の発病度がいずれも100となる厳しい条件下で行ったが、供試系統の発病度は100には達せず、強い抵抗性を維持していることが明らかになった。供試した7系統のうち、発病度が75.0と比較的低かった‘AT5-13-3’から3個体選抜し、‘AT5-13-6’、‘AT5-13-20’および‘AT5-13-23’からもそれぞれ1個

体選抜し、採種した。

1998年2月の第5回目の個体選抜は、‘東京早生’の発病度が79.7と比較的強い条件下で行った。前回の選抜で最も期待された‘AT5-13-3’の後代の発病度は62.5から80.5であり、‘東京早生’と同等からやや強い程度の抵抗性しか示さなかったが、‘AT5-13-20-1’と‘AT5-13-23-1’の発病度がそれぞれ44.7と49.1であり、‘東京早生’より強い抵抗性を示した。それら2系統の抵抗性にはほとんど差が認められなかったが、個体間の成育の揃いや草勢等（データ略）を考慮し、最終的に‘AT5-13-23-1’に‘空知台1号’の系統名を付し、各種の試験に供試した。本報ではこれ以降、‘空知台1号’を、その品種登録名である‘どうだい1号’と称する。

‘どうだい1号’（図IV-1）はレース 1,2y 抵抗性台木として1999年に登録申請を行い2002年に品種登録された（登録番号第10755号）。

III章で、レース 1,2y の抵抗性遺伝子は相加効果を有する微働遺伝子および劣性の抵抗性遺伝子によって支配され、遺伝率は抵抗性の広義、狭義の遺伝率がともに0.8以上であるとしたが、本節の結果でも初期選抜で高い選抜効果が得られ、III章の結果と矛盾しなかった。しかし、この結果は育成過程の中で得られた情報であり、今後、統計的な解析が必要である。

## 2. レース 1,2y 抵抗性の選抜効果

### 目的

‘どうだい1号’の育成過程の初期世代において高い選抜効果が得られたことを前節で述べた。本節では、選抜余剰種子を用い、レース 1,2y 抵抗性が世代を経る毎にどのように変化したかを把握して世代毎の選抜効果を明らかにし、III章で述べた遺伝解析の結果を検証するとともに、今後のレース 1,2y 抵抗性育種のあり方について考察することを目的とした。

### 材料及び方法

供試材料は、‘どうだい1号’の親2品種（‘中母農1号’、‘東京早生’）と、それらのF<sub>1</sub>、F<sub>2</sub>およびF<sub>3</sub>系統からF<sub>6</sub>系統（‘どうだい1号’）を供試した。F<sub>3</sub>以降の系統は‘どうだい1号’育成の際に選抜対象となった個体の自殖種子のうち、選抜に用いなかった余剰種子を用いた。各品種・系統の供試個体数は表V-1に示した個体数とした。

接種検定法は標準接種法（表II-1、図II-2）ならびに標準調査法（図II-1）に準じて行った。本試験では強い淘汰圧をかける目的で、III章で罹病程度が低かった‘中母農1号’が全個体枯死する直前の接種後18～20日目に発病度を調査した。

### 結果

種子親である‘中母農1号’が全個体枯死する直前を目安として発病度を調査したため、その発病度は97.9で、花粉親の‘東京早生’の発病度は85.6であった。F<sub>1</sub>の発病度は93.8、F<sub>2</sub>世代の発病度は91.2で、いずれも両親の中間の値を示した。しかし、これらの間には統計的な差異はなく（表IV-2）、親やF<sub>1</sub>世代でほとんどの個体が罹病する強い淘汰圧の下で試験を実施したことが確認できた。

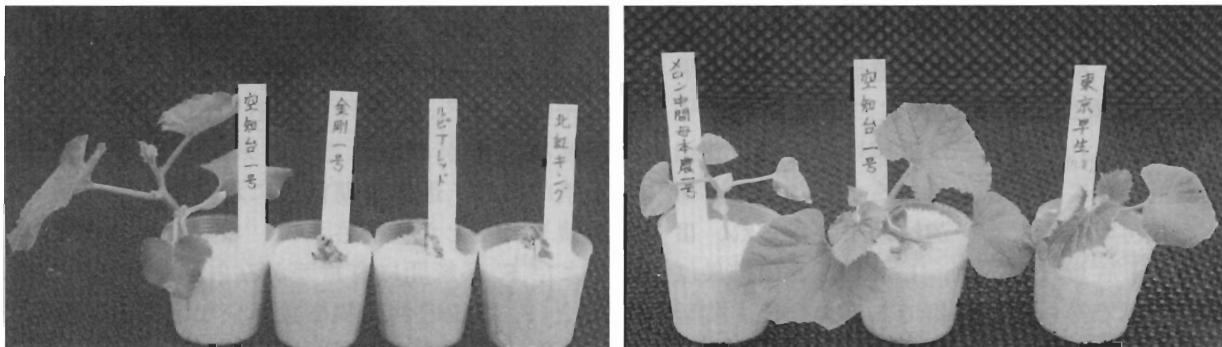
F<sub>2</sub>集団の発病度91.2に対し、F<sub>3</sub>系統の発病度は35.8であり、最初の選抜で顕著な選抜効果が上がっていたことが確認された（表IV-2）。さらに、F<sub>3</sub>系統からF<sub>4</sub>、F<sub>5</sub>世代に至る間に世代当たり10程度発病度が漸減した。F<sub>3</sub>系統とF<sub>6</sub>系統間に有意差があり、選抜中期世代においても選抜効果が累積したことが確認された。なお、F<sub>4</sub>系統とF<sub>5</sub>およびF<sub>6</sub>系統間に有意差がみられなかったのは、F<sub>3</sub>とF<sub>6</sub>系統の供試個体数が少ないことが影響していると推察された。

F<sub>6</sub>系統である‘どうだい1号’の発病度は12.4であり、レース 1,2y に強い抵抗性を有するとされた‘東京早生’の発病度85.6より顕著に強い量的抵抗性を有することが明らかになった（表IV-2）。発病度の標準偏差は両親とそれらのF<sub>1</sub>系統で小さく、F<sub>2</sub>系統で最大となり、それ以降の世代で遺伝的な固定により漸減することが期待された。しかし、‘中母農1号’の発病度の標準偏差は0.24、F<sub>1</sub>系統は0.49と小さく、期待された結果となったが、F<sub>2</sub>系統は0.77と比較的小さく、‘東京早生’とF<sub>3</sub>系統からF<sub>6</sub>系統は0.96から1.20と比較的大きく、世代の経過とともに漸減する傾向がなく、期待された結果とは異なった。これは供試個体数が少なかつたことと実験誤差等の要因によるのではないかと推察された。

表IV-2 ‘どうだい1号’育成過程における親とその分離世代の発病度

世代	品種名	調査個体数	発病度	
			平均値	標準偏差
P(♀)	メロン中間母本農1号	32	97.9 a <sup>c</sup>	0.24
P(♂)	東京早生(丸葉)	31	85.6 a	0.97
F <sub>1</sub>		32	93.8 a	0.49
F <sub>2</sub>		32	91.2 a	0.77
F <sub>3</sub>		32	35.8 b	1.20
F <sub>4</sub>		24	25.7 bc	1.20
F <sub>5</sub>		16	16.3 bc	0.96
F <sub>6</sub>	どうだい1号	17	12.4 c	0.98

<sup>c</sup>異なる文字間に有意差あり(5%水準、Tukey-Kramer)



図IV-1 メロンつる割病菌レース 1,2y 接種 21 日後の各品種の発病程度

‘空知台1号’=‘どうだい1号’

### 考察

‘中母農1号’×‘東京早生’の後代を用いて育成された‘どうだい1号’の選抜過程における抵抗性の世代間比較を行った結果、F<sub>2</sub>世代における選抜で顕著な選抜効果が認められた。この顕著な選抜効果には、‘東京早生’に由来する劣性抵抗性遺伝子(Ⅲ章参照)が同型接合化したことが関与している可能性もあるが、‘東京早生’の発病度が85.6と高い値を示したことから劣性抵抗性遺伝子の効果は相対的に小さいと推定される。したがって、F<sub>2</sub>世代における顕著な選抜効果は主として相加効果を有する比較的少ない数の微働遺伝子の同型接合化であると考えられ、レース 1,2y 抵抗性の多くの部分は相加

効果を有する抵抗性微働遺伝子によるものであるとするⅢ章の結果および Perchepped and Pitrat (2004) の結果と矛盾しない。

東(1995)がイネいもち病の圃場抵抗性育種で指摘しているように、遺伝的背景が異なる両親の交雑後代は微働遺伝子の集積による超越分離が起きやすい。本試験の選抜初期世代で顕著な選抜効果が得られたことに関しては、系統分化過程がそれぞれ異なるネットメロンとマクワおよびシロウリ(Whitaker and Born, 1954)を材料として用いたことが関与していると推測された。すなわち、ネットメロンとマクワを育種素材に持つ‘中母農1号’と、シロウリの‘東京早生’の遺伝的背景が相互に異なっているため F<sub>2</sub>世代における顕著な選抜効果となって表

れたのではないかと考えられた。つまり、 $F_2$  世代における顕著な選抜効果は、メロン変種間における抵抗性遺伝子の集積とそれらの同型接合化によるものではないかと推察した。この仮説は抵抗性遺伝子に連鎖する分子マーカーなどによって検証する必要があるが、遺伝的背景が遠縁な両親の交雑によるメロンの抵抗性台木育種は、今後の新しい方向ではないかと思われる。

さらに、 $F_3$  から  $F_5$  系統までの世代では緩やかな選抜効果がみられ、 $F_3$  世代以降においても相加効果を有する抵抗性微働遺伝子のホモ接合が進んだと考えられる。ただし、その選抜効果は  $F_2$  世代に比較して小さかったことから、メ

ロンの変種間における抵抗性遺伝子の数は全体として比較的少ないと考えられる。この結果は、抵抗性の広義、狭義の遺伝率がともに 0.8 以上であるとした III 章の結果、および染色体倍加系統を用いた実験によりレース 1,2 (y,w) の抵抗性遺伝子数は 4~14 であり (Perchepped and Pitrat, 2004)、レース 1,2 (y,w) に抵抗性を示す微働遺伝子は、5つの連鎖群に属する9つの QTL に座乗しているとする Perchepped *et al.* (2005) の結果と大きな矛盾点はないと考えられる。高い狭義の遺伝率と本実験での  $F_2$  での選抜効率から見て、今後レース 1,2y 抵抗性育種にあたって、分離初期世代での選抜が有効であることが示唆される。