

イチゴ炭疽病抵抗性の遺伝的特性と育種

三重県科学技術振興センター農業研究部園芸グループ **もり 森** **とし 利** **き 樹**

はじめに

イチゴは小売店店頭において品種別に販売される。甘くて美味しく綺麗で日持ちのよい品種が好まれ、消費者にアピールする優れた果実品質が重要とされる。そのため、育種においては果実特性に関する改良が偏重される傾向がある。売れなくては意味がないという考え方のもとで、病害抵抗性は後回しにされ、他の作物に比べ病害抵抗性に関する研究が遅れている。しかし、近年、農産物の安全性が見直される中であって、植物本来が持つ病害抵抗性を活用することは、今後いっそう重要になると考えられる。イチゴ栽培における重大病害である炭疽病・うどんこ病および萎黄病については、複合して抵抗性を有する新品種の開発が強く望まれている。

炭疽病 (*Glomerella cingulata*) は、梅雨前後の高温多湿期からまん延し、深刻な苗不足を引き起こす。この時期に枯死をまぬかれても根冠部に菌が潜んでいると、収穫を前にして株が枯死することがあり、生産者にとつ

ては経済的にも精神的にも大きなダメージとなる。1980年代から、罹病性品種の全国的な普及に伴って広くまん延し、現在も難防除病害として大きな問題となっている。ここでは、三重県科学技術振興センター農業研究部で実施しているイチゴの病害抵抗性育種に携わる立場から、炭疽病を中心とした抵抗性の遺伝的背景や選抜手法について報告する。

I 炭疽病抵抗性の品種間差と遺伝様式

表-1に、小林 (1994) がまとめた各研究者による炭疽病抵抗性検定結果の一部を抜粋、加筆して示した。これによると、‘宝交早生’、‘明宝’や‘はつくに’などの抵抗性が高く、‘女峰’、‘芳玉’や‘章姫’などが低い。中間的な‘とよのか’、‘麗紅’や‘アイベリー’は評価方法や条件によって評価が分かれているが、生産現場で発生が問題となっており十分な抵抗性を有するとは言いがたい。近年の品種では、筆者らが育成した‘サンチーゴ’および九州沖縄農業研究センター野菜花き研究部 (旧 野菜・

表-1 イチゴ炭疽病に対する抵抗性の品種間差異 (小林, 1994 から抜粋・加筆)

検定条件	山本 1971	小玉 1978	池田 1987	岡山 1990	岡山 1994	石川ら 1989	山川ら 1990	野口 1990	松尾 1990	斎藤 1994	森 2002
胞子濃度	?	?	2.6×10 ⁵	1.0×10 ⁵	1.0×10 ⁵	2.5-5×10 ⁵	1.0×10 ⁶	1.0×10 ⁵	2.0×10 ⁵	?	5.0×10 ⁵
接種部位	全身	全身	全身	全身	全身	全身	全身	葉柄	全身	?	全身
検定部位	葉身 葉柄	小葉	葉身 葉柄	葉柄 萎凋 枯死	小葉発病 面積率	葉柄 萎凋 枯死	葉柄 萎凋 枯死	病斑進展	葉柄 萎凋 枯死	?	枯死
‘明宝’				◎							
‘はつくに’				◎							
‘宝交早生’	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
‘サンチーゴ’											◎
‘とよのか’			○	×	○	×	○	×	○		○
‘はるのか’	○				×						○
‘麗紅’		×	×	×	○	○		×	×		×
‘アイベリー’				×		○					×
‘女峰’				×	×	△	×	×	×		×
‘芳玉’	×	×						×			×
‘章姫’										×	×

◎：抵抗性高い，○：抵抗性中程度，△：抵抗性やや低い，×：罹病性。

Inheritance and Actual Breeding of Strawberry Resistant to Anthracnose. By Toshiki MORI
(キーワード：イチゴ, 炭疽病, 病害抵抗性, 遺伝, 育種, *Glomerella cingulata*)

茶業試験場久留米支場)による中間母本‘久留米素材2号’は抵抗性を有するが、その他の品種は総じて抵抗性が低い。

図-1に、筆者が行った炭疽病抵抗性に関する親子回帰の図を示した。25組の交配組み合わせを用いて、横軸に交配親両親の平均値をとり、縦軸に各交配で得られた実生の平均値をとった。抵抗性が高い両親では横軸の値は大きく、その交配実生の平均値である縦軸の値も大きくなった。同様に、抵抗性が低い両親では横軸の値は小さく、その交配実生の平均値も小さくなった。全体に、両親の平均値よりも実生の平均値の方がわずかに小さくなる傾向が見られたが、おおむね対角線と平行して分布していることから、炭疽病抵抗性は相加的效果が強い遺伝であるといえる。

海外の文献には炭疽病抵抗性に主働遺伝子の関与をうかがわせるものがある (GUPTON and SMITH, 1991)。しかし、前述のとおり各研究者の抵抗性検定結果を総合した場合においても、野口ら (1994) が葉柄を用いて行った国内外 111 品種の検定結果を見ても、抵抗性の程度は連続的である。これらの結果から、炭疽病抵抗性は相加的效果の高い量的な遺伝形質であると考えられる。

II 炭疽病抵抗性の選抜法

1 胞子懸濁液の噴霧接種による実生幼苗選抜法

実際の育種では多数の個体を扱う必要がある。そのた

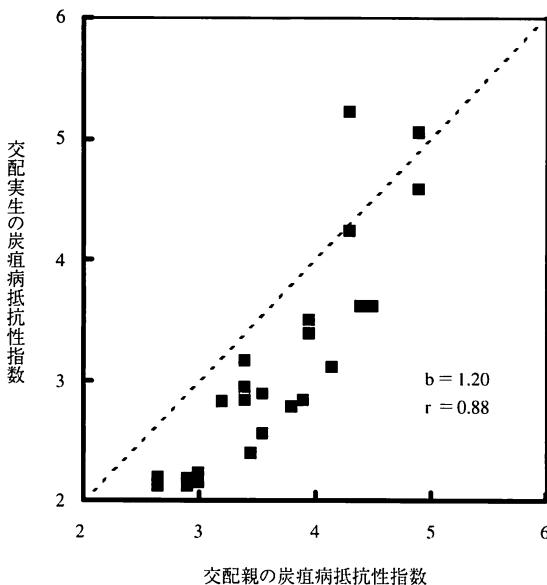


図-1 炭疽病抵抗性に関する交配親と交配実生の親子相関 (森, 2001)

b: 親子回帰係数, r: 親子相関係数。

め、実生株を大きく育ててから選抜を行うよりも、幼苗段階で目的外の株を淘汰することができれば作業が容易になる。実生の苗齢によって炭疽病の進行程度に違いがあるが、抵抗性検定結果は幼苗と成苗との間に高い相関が認められる。そのため、同じ苗齢の集団内であれば抵抗性程度を相対的に比較することができ、実生幼苗段階で抵抗性の選抜が可能である (森, 1998)。

筆者が実施している炭疽病抵抗性の幼苗検定方法は、以下のとおりである。12月から4月の果実収穫期に交配した種子を5月下旬~6月上旬に播種し、30~40日後に5×5×5 cmの小型ポットを25個連結したプラスチックポットに鉢上げする。鉢上げから7~14日後の適切な日に5×10⁵ 個/mlに調整した炭疽病菌胞子懸濁液をたっぷり噴霧接種し、随時、枯死株を除去することによって罹病性個体を淘汰する。

接種までに鉢上げを行うべし、株の密度と生育状態を均一にすることにある。イチゴは発芽のそろいが悪く、そのままでは実生の生育をそろえることが難しい。播種床に長期間おくと窒素が不足し生育が停滞ぎみになる、それを鉢上げすると生育は再び盛んになるため、集団内の株の生育状態をある程度均一にすることができる。

胞子懸濁液の濃度については、10⁵ 個/mlのレベルであれば大きな差はない。それよりも、接種後の温度・湿度条件の影響が大きい。表-2に、接種後の管理温度の違いが選抜株率に及ぼす影響を示した。接種から8日間の温度の影響は非常に大きく、これによって淘汰圧をある程度制御することができる。通常の試験では、気温28°C、湿度100%の接種箱に一昼夜入れた後、人工気象室あるいはガラス室に配置し、一般的には24°Cに、淘

表-2 イチゴ実生幼苗への炭疽病菌胞子懸濁液接種後8日間の管理温度が抵抗性レベル別の選抜株率に及ぼす影響 (森, 1998)

病害抵抗性指数	温度別選抜株率			
	20°C	22°C	24°C	26°C
2	21	0	0	0
3	67	24	14	0
4	54	62	15	8
5	89	53	26	21
6	92	92	58	0
7	119	81	100	25

病害抵抗性指数：数字が大きいほど抵抗性が高いことを示す。罹病性品種‘女峰’2~3、抵抗性品種‘宝交早生’6~7。選抜株率：無選抜区の実生群において抵抗性指数別の分布数を調べ、それに対する各温度の選抜区で得られた抵抗性指数別の分布数の比を示す (単位: %)。

汰圧を強める場合にはそれより高温で、弱める場合には低温で管理している。実際の大規模な育種過程では、高温夜温が予想される日を選び、ガラス室内の湿度を高めて濡れ時間を確保しやすい夕方に接種している。

2 切断葉柄を用いた検定法

噴霧接種による検定方法では、周辺へ孢子が飛散し想定外の感染を引き起こしたり、接種株が感染源となって圃場を汚染する危険性がある。筆者らは検定専用温室を使用し周辺への汚染を防いでいるが、病原菌は管理可能な条件下で扱わなければならない。

そのため、野口ら (1994) は、株から切断した葉柄を用い実験室内で接種を行う抵抗性検定方法を開発している。この方法は、展開第3葉の葉柄を葉身の直下から切除し、その先端部分を 10^5 個/mlの孢子懸濁液に漬け、逆の基部側はパラフィンで塞ぐ。接種後、25°Cの湿室中で発病させ、3~7日後に病斑長を測定する。株の栄養条件や生育環境の影響を受けると考えられるため、同一条件で栽培した指標品種との比較など相対的に抵抗性を評価する。

III 病害抵抗性選抜を組み込んだ育種体系

1 炭疽病抵抗性の幼苗選抜は果実品質に影響しない

幼苗選抜で残った実生は、9月に定植し、12月ごろから果実を収穫することができる。筆者ら (2003) は、炭疽病抵抗性に関する幼苗検定を実施した実生群と非選抜の実生群の間で、果実重、果実硬度、糖度、酸度、糖酸比および果色の $L^*a^*b^*$ 値ならびに早晩性に関連する出蕾日を比較した。その結果、交配組み合わせの間で差が見られる形質があっても、炭疽病抵抗性選抜の有無による違いはすべての項目で見られなかった。炭疽病抵抗性と果実品質等との間に大きな相関はないと考えられる。

したがって、果実を確認する前に幼苗段階で炭疽病抵抗性選抜を実施しても、優良果実品質や早生性の株の出現頻度に影響を及ぼすことはないと考えられる。

2 実生幼苗選抜を組み込んだ栄養系選抜体系

炭疽病抵抗性の実生幼苗選抜を組み込んだ栄養系選抜体系の一例として、「サンチーゴ」を育成するに至った三重県科学技術振興センター農業研究部における選抜経過を表-3に示した。1994年2~3月に場内で育成した28系統を母本として176組の交配を行った。5月31日に播種し、各交配4~50株(平均45株)の実生合計7,907株を、7月4日に前述の連結プラスチックポットに鉢上げした。7月19日に炭疽病菌孢子懸濁液を噴霧接種し、随時、枯死株を除去した。9月5日までに1,940株が枯死し5,967株が残存していたが、施設規模

表-3 炭疽病抵抗性の実生幼苗選抜を組み込んだ栄養系選抜経過の一例(森, 2000)

年次	月日	項目	規模
1年目 1994	2~3月	交配	176組
	5/31	播種	
	7/4	鉢上げ	7,907株
	7/19	炭疽病菌孢子懸濁液の噴霧接種	
	7~9月	枯死株除去	残数5,967株
	9/5	定植	2,840株
2年目 1995	12~2月	圃場選抜 (果実品質等)	351株
	5~9月	ランナー増殖・ 育苗	
	9/12	定植	351系統×4株
3年目 1996	12~4月	圃場選抜 (果実品質等)	14系統
	5~9月	ランナー増殖・ 育苗	
	9/17	定植	14系統×10株×2反復
4~5年目 1997~1998	12~4月	圃場選抜(果実 品質・収量性等)	1系統
		現地適応性 委託試験	県内5か所

三重県科学技術振興センター農業研究部 1994年度開始。

に合わせるため残存株の中から2,840株を選んで定植した。12月から翌年2月にかけて果実品質等が優れた351株を選抜した。1995年4月に選抜した株を掘上げ、株ごとに各6株をランナー増殖して栄養系とした。以降、果実品質や栽培特性が優れた系統を選抜し、選抜系統をランナーによって栄養繁殖しながら、数年かけて最も優秀な系統に絞り込んでいった。この方法は、病害抵抗性選抜を組み込まない慣行の育種法と同様である。なお、イチゴのランナーは親と同じ遺伝形質を持ち、栄養系(クローン)は遺伝的に均一な集団になるため、種子繁殖作物のような固定の必要はない。

以上のように、炭疽病抵抗性の実生幼苗選抜は、イチゴの慣行的な育種体系に無理なく組み込むことができる。幼苗段階の選抜だけでは、罹病性株が偶然に生き残ることがある。2年目以降に切断葉柄を用いた抵抗性選抜等を併用することも有効と考えられる。しかし、筆者らは、次項に述べる世代更新による集団全体の抵抗性改良を目指しており、1代目で罹病性株が偶然生き残ることがあっても、2代、3代と世代を進めるうちにそれらの因子は排除されると考え、実生幼苗選抜以外の炭疽病抵抗性選抜は行っていない。

表-4 3組の交配後代における炭疽病抵抗性の選抜反応 (森, 2001)

交配組み合わせ	世代	病害抵抗性指数						指数 平均	選抜差	遺伝 獲得量	遺伝率
		2	3	4	5	6	7				
'女峰' × 'とよのか'	F ₁	9	22	16	9	2	1	0	3.59	1.83	
	F ₂	5	19	14	11	8	1	2	4.15		0.56 0.30
'女峰' × '宝交早生'	F ₁	4	23	15	14	11	1	0	4.12	1.97	
	F ₂	1	7	12	14	16	3	9	5.32		1.20 0.61
'とよのか' × '宝交早生'	F ₁	1	4	12	14	16	8	5	5.40	2.12	
	F ₂	3	9	6	9	17	6	11	5.48		0.08 0.04

F₁ 世代の上位 16% を選抜し、それらの間の任意交配によって F₂ 世代を育成、選抜差：選抜集団 (F₁ 世代の上位 16%) の平均値と F₁ 世代における全体の平均値の差、遺伝獲得量：F₂ 世代全体の平均値と F₁ 世代全体の平均値の差、遺伝率：遺伝獲得量/選抜差。

3 世代の更新による抵抗性因子の集積

炭疽病抵抗性は相加的な遺伝様式を示す。そのため、様々な抵抗性程度の実生集団の中から相対的に抵抗性の高い個体を選抜し次世代の交配親に用いると、その交配から得られる実生集団は前の世代より抵抗性が高くなるものと考えられる。

このような世代の更新を実際に行った結果を表-4 に示した。'女峰' × 'とよのか'、'女峰' × '宝交早生' および 'とよのか' × '宝交早生' の三つの交配実生群を用いて、それぞれの交配組み合わせ内で、F₁ 世代で抵抗性の高い上位 16% を選抜し、それらの間の任意交配から F₂ 世代を育成した。F₁ 世代における全体の平均値と選抜集団の平均値の差が選抜差で、F₁ 世代全体の平均値と F₂ 世代全体の平均値の差が遺伝獲得量である。選抜差に対する遺伝獲得量の割合が遺伝率で育種の改良の効率を表している。罹病性品種と抵抗性品種の交配である '女峰' × '宝交早生' の交配で、最も高い遺伝率が得られた。両親の差が大きいと、その実生のバリエーションも大きくなる。大きなバリエーションの中で抵抗性の高い実生を選ぶと、その次世代で抵抗性が高い集団を効率よく得ることができる。また、抵抗性品種を含まない '女峰' × 'とよのか' の交配でも、F₂ 世代で最も抵抗性の高い指数 8 クラスの個体が 2 株得られ、比較的高い遺伝率が認められた。このことは、抵抗性品種を用いなくても、相対的に抵抗性の高い個体を選んで世代を進めるだけで、炭疽病抵抗性の改良が可能であることを示している。

筆者らは、抵抗性品種の '宝交早生'、中間的な 'とよのか' と 'アイベリー' ならびに罹病性品種の '女峰' の間で交配を行い、その後代において、炭疽病抵抗性選抜された株を次の世代の交配親として用いることを繰り返した。交配親は数年にわたって用いることがあったため年数と世代数は必ずしも一致しないが、年数が進むに従って炭疽病抵抗性選抜の生存株率が向上した (表-5)。5

表-5 世代更新による炭疽病抵抗性遺伝子の集積を目的とした実際育種場面における炭疽病抵抗性選抜株率の変化 (森, 2000)

	1990	1991	1992	1993	1994
交配母本数	4	47	21	161	28
交配組み合わせ数	16	95	100	263	176
育成実生数	2,928	5,091	5,114	11,869	7,907
炭疽病抵抗性選抜株数	1,113	3,147	3,295	8,974	5,967
炭疽病抵抗性選抜株率 (%)	33.1	63.9	66.1	75.8	76.0

年目の生存株率 76.0% は、抵抗性品種 '宝交早生' を自殖した実生群と同等であることから、この年には選抜集団全体が抵抗性になっていたと考えられる。

このように、抵抗性の高い個体を選抜しながら世代を進めることによって、集団全体の抵抗性を高めてゆることができる。集団全体が抵抗性になり、どの株を選んでも抵抗性という状態になると、その中で慣行のイチゴ品種と同様に果実品質や栽培特性等に関する栄養系選抜を進めるだけで炭疽病抵抗性の高品質系統を得ることができる。

おわりに

イチゴの炭疽病抵抗性に関しては、実生幼苗段階で孢子懸濁液を噴霧接種し枯死株を淘汰しながら世代を進めるという比較的簡易な方法によって解決できるめどがあった。周辺の汚染防止可能な選抜環境を整えることができれば、果実品質等を重視した従来の育種の中で効率よく有効に活用することができ、炭疽病抵抗性を付与した高品質品種の育成が可能である。

一方、うどんこ病については、病原菌の培養増殖や維持が困難であり、レースの存在も報告されている。リーフディスクによる検定法や実生に対する孢子懸濁液の噴霧接種も試みられているが、再現性に問題が残るようである。現状では一般に圃場での自然発病によって抵抗性

を評価しているが、今後、合理的な検定・選抜法の確立が望まれる。萎黄病については、ランナーを通して感染するため実生段階で接種検定を行うことはできない。現在、筆者らは、2年目以降にランナー増殖した株を用いて、黒田・富川(2001)が開発した水耕栽培による萎黄病抵抗性検定方法の活用を検討している。この方法は、萎黄病菌孢子懸濁液に浸根接種した後、湛液型水耕栽培で液温を制御し発病程度を評価するもので、土壌への菌の灌注等による検定方法よりも精度が高く検定後の滅菌が容易である。今後、これらの研究を組み合わせ、炭疽

病抵抗性に加えてうどんこ病および萎黄病抵抗性をあわせ持つ複合抵抗性品種を育成する計画に取り組んでいる。

引用文献

- 1) GUPTON, C. L. and B. J. SMITH (1991): J. Amer. Soc. Hort. Sci. **116**(4): 724~727.
- 2) 小林紀彦(1994): 植物防疫 **48**: 333~336.
- 3) 黒田克利・富川 章(2001): 日植病報 **67**: 183.
- 4) 森 利樹(1998): 園学雑 **67**: 934~938.
- 5) ———ら(2000): 三重農技研報 **27**: 27~36.
- 6) ———(2001): 同上 **28**: 15~21.
- 7) ———・北村八祥(2003): 園学雑 **72**: 64~68.
- 8) 野口裕司ら(1994): 野菜茶試報 **A.9**: 13~26.

発行図書

野菜作りのエキスパート

— やさしい病害虫の防ぎ方 —

阿部善三郎・小林五郎・伊達 昇 編 B5判 本文202頁+口絵8頁+付録55頁

定価 3,990 円税込み (本体 3,800 円) 送料 340 円

家庭などで気軽に栽培できる野菜について、上手な栽培方法から病害虫などによるトラブルの防ぎ方のポイントを、野菜作りの技術の指導と研究に従事している全国の技術および研究者がわかりやすく解説した書です。

お申し込みは直接当協会へ、前金(現金書留・郵便為替)で申し込むか、お近くの書店でお取り寄せ下さい。

社団法人 日本植物防疫協会 出版情報グループ 〒170-8484 東京都豊島区駒込 1-43-11

郵便振替口座 00110-7-177867 TEL (03)3944-1561(代) FAX (03)3944-2103 メール: order@jppa.or.jp

! 発行図書!

鳥獣害防止対策の決定版

鳥獣害対策の手引

江口祐輔・三浦慎悟・藤岡正博 編著

A4判 154頁オールカラー

定価 3,780 円税込み 送料 340 円

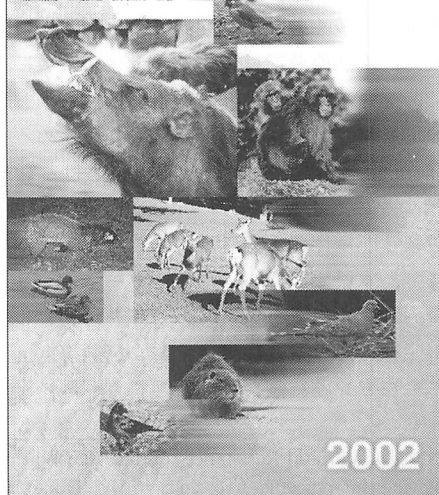
豊富なカラー写真を本文中にちりばめ、図・表・写真により一般農家の方にも分かりやすく解説した手引き書です。

内容項目は、農林業被害状況、獣害編(ニホンザル、イノシシ、シカ、カモシカ、ツキノワグマ、タネキ、ハクビシン、アライグマ、ヌートリア)、鳥害編(被害防止対策の基本、主な農作物加害鳥の特徴、カラス、ヒヨドリ、ムクドリ、ハト、スズメ、カモ)、資料編(行政対応、用語解説、文献資料)

資料提供: 農林水産省植物防疫課・林野庁・環境省・文化庁

鳥獣害対策の手引

江口祐輔・三浦慎悟・藤岡正博 編著



2002

お申し込みは直接当協会へ、前金(現金書留・郵便振替)で申し込むか、お近くの書店でお取り寄せ下さい。

社団法人 日本植物防疫協会 出版情報グループ 〒170-8484 東京都豊島区駒込 1-43-11

郵便振替口座 00110-7-177867 TEL (03)3944-1561(代) FAX (03)3944-2103 メール: order@jppa.or.jp