

イチゴ炭疽病抵抗性自殖系統の育成および同系統を交配した後代集団における抵抗性個体出現率の向上効果

内村要介*・片山貴雄¹⁾・平島敬太

イチゴの炭疽病抵抗性品種を簡易、短期間および効率的に育成する目的で、炭疽病抵抗性品種「サンチーゴ」の自殖後代で炭疽病菌噴霧接種と生存株の自殖による世代更新を繰り返し、炭疽病抵抗性が「サンチーゴ」より高度に固定した自殖系統を育成した。これらの育成系統を炭疽病に罹病性の品種と交配した後代実生集団は、炭疽病菌接種後の生存株率が58~98%で、抵抗性品種「サンチーゴ」を交配した場合の4~64%に比べて同等以上に高かった。以上のことから、「サンチーゴ」の自殖と炭疽病抵抗性選抜による世代更新を繰り返した自殖系統を交配親に用いることで、罹病性品種と交配した後代実生集団における抵抗性株の出現率が向上し、炭疽病抵抗性品種の育成を効率化できることを明らかにした。

[キーワード：イチゴ、育種、自殖、炭疽病抵抗性]

Breeding of Strawberry Selfed Lines with Resistance to Anthracnose and Their Application to Improving Resistance in Progeny Populations. UCHIMURA Yosuke, Takao KATAYAMA and Keita HIRASHIMA (Fukuoka Agriculture and Forestry Research Center, Chikushino, Fukuoka 818-8549, Japan) *Bull. Fukuoka Agric. For. Res. Cent.* 1:17-21 (2015)

To develop new strawberry varieties with anthracnose resistance efficiently and rapidly, we performed accelerating breeding using the resistant variety 'Sanchiigo' by repeatedly self-fertilizing and selecting offspring by spraying them with a conidial suspension of anthracnose fungi. We ultimately developed promising parent lines with greater genetically fixed resistance to anthracnose than 'Sanchiigo'. These parent lines and 'Sanchiigo' were both crossed with susceptible lines, and the offspring were sprayed with a conidial suspension of anthracnose fungi. Offspring of the former cross survived at a higher rate (58–98% survival) than offspring of the latter (4–64% survival). These results successfully demonstrated that the new parent lines derived by the breeding method from the anthracnose resistant variety 'Sanchiigo' efficiently increased the frequency of resistant seedlings in the progeny populations.

[Key words: strawberry, breeding, self-fertilizing, anthracnose resistance]

緒言

イチゴ炭疽病菌（完全世代：*Glomerella cingulata*, 不完全世代：*Colletotrichum gloeosporioides*）によるイチゴ炭疽病は、葉や葉柄に黒色汚斑状の病斑を生じ、ひどい場合には株の萎凋、枯死を引き起こす重要病害である。本病は育苗期に多発すると苗不足を招き、本圃での発生は即減収につながる。また、罹病株や外観が健全な潜在感染株で形成された胞子が降水や頭上灌水により飛散し（石川 2005）、感染が拡大する。本県に普及している品種は罹病性であるため、抵抗性を備えた品種の育成が急務となっている。

発病には品種間差が認められており（片山ら 2008, 石川 2005, 岡山 1989, 池田 1987, 山本 1970）、抵抗性品種は2002年に「サンチーゴ」（森ら 2000）がはじめて品種登録され、その後2006年に「いちご中間母本農2号」（沖村ら 2004）、2010年に「かおり野」（森・北村 2008）と「カレンベリー」（沖村ら 2008）、2011年には「おおきみ」（沖村ら 2011）が品種登録された。

本県の炭疽病抵抗性品種の育成では、前述した抵抗性品種のうち、果実品質が優れる「サンチーゴ」を交配親として多用してきたが、「サンチーゴ」を罹病性品種に交配した後代実生集団に炭疽病菌を噴霧接種（片山ら 2008）した場合、生存株率は数%~十数%程度と低かった（未発表）。「サンチーゴ」は循環選抜法に準じて優良遺伝子を集積して育成された品種であり（森ら 2000）、種子親

の系統「91007」は、罹病性品種の「アイベリー」に抵抗性品種の「宝交早生」を交配した系統「91014」の自殖から得られ、花粉親の系統「90051」は、抵抗性程度が中程度または罹病性の「とよのか」（片山ら 2008, 石川 1989, 池田 1987）の自殖から選抜された系統である。炭疽病抵抗性は罹病性品種を母本に用いても改良が可能である（森 2001）ため、「サンチーゴ」の炭疽病抵抗性は、「とよのか」の自殖系統から一部遺伝している可能と考えられるが、大部分はもう一方の交配親である系統「91007」から遺伝し、ヘテロ接合で存在すると推察した。

炭疽病抵抗性は主として量的遺伝子に支配され相加的遺伝効果が高いといわれており（森 1999）、ヘテロ性が高い抵抗性品種を罹病性品種に1回交配するのみでは後代において抵抗性を発揮するのに十分な量の遺伝子が集積できず、このことが「サンチーゴ」と罹病性品種を交配した後代実生集団で抵抗性株の出現率が低い要因と考えられた。これまで行ってきた「サンチーゴ」と罹病性品種を交配した後代実生集団の低い生存株率では選抜株数が極めて少なくなり、その中からさらに福岡県の育種目標に適合する早生、良食味で果実品質および収量のすべてが優れる新品種を選抜することは極めて困難であった。炭疽病抵抗性株を単交配で短期間かつ効率的に育成するためには、炭疽病抵抗性の遺伝率を向上させる必要があり、そのためには抵抗性遺伝子を自殖により固定した交配母本を育成することが有効と考えられた。なお、

*連絡責任者（野菜部：uchimura@farc.pref.fukuoka.jp）

1) 現 福岡県朝倉農林事務所

炭疽病抵抗性の自殖による固定は、森・北村 (2010) が自殖実生苗を用いた炭疽病抵抗性評価法を開発し、炭疽病抵抗性固定システムを利用した種子繁殖型の一代雑種品種育成を行っている (森ら 2009)。しかしながら、従来の栄養繁殖型の新たな抵抗性品種の育成において、炭疽病抵抗性を自殖により固定した交配親を育成し、罹病性品種に交配した後代実生集団における生存株率を検討した事例はない。本県では栄養繁殖型品種の育成を行っており、果実品質が優れる罹病性品種と既存の抵抗性品種との交配が依然として多く行われている。そのため、罹病性品種と交配した後代実生集団での抵抗性株の獲得効率を向上できる交配母本の育成は重要な課題である。

そこで本報告では、炭疽病抵抗性で果実品質が優れる品種「サンチーゴ」を供試して、自殖と後代実生集団へ炭疽病菌を噴霧接種した生存株で頂花房の開花が早い個体を選抜し次世代の自殖親とする世代更新を繰り返し、炭疽病に高度の抵抗性を有する自殖系統を育成した。これらの育成系統について後代検定を実施して炭疽病抵抗性の固定度を明らかにするとともに、炭疽病に罹病性である「福岡 S6 号」と「さがほのか」に交配した実生集団の生存株率を調査し、抵抗性品種の育成効率を向上させる知見を得たので報告する。

材料および方法

1 自殖と炭疽病菌接種選抜の繰り返しによる炭疽病抵抗性自殖系統 (S4) の育成

育成および選抜経過を第 1 図に示した。2006 年から 2007 年に炭疽病抵抗性品種「サンチーゴ」の自殖を 2 回行い S2 を採種した。この S2 実生集団を容量 75ml の 25 連結ポット (商品名キャネロンビーポット Y-25 (東海化成株式会社製)) で 407 個体育苗し、2008 年 8 月 27 と 9 月 19 日に炭疽病菌の分生胞子が 1×10^5 個/mL の懸濁液を苗全体が十分濡れるように噴霧接種した (森 1998, 片

山ら 2008)。生存した 234 株から頂花房の開花が早い 120 個体を選抜して自殖し S3 を採種した。さらに前年と同様に育苗した S3 の実生集団 450 個体に 2009 年 8 月 22 日に炭疽病菌を噴霧接種し、生存した 450 株から頂花房の開花が早い 18 個体を選抜して自殖し S4 を採種した。前回と同様に育苗した S4 の実生集団 400 個体に炭疽病菌を噴霧接種した。ただし接種は 2010 年 8 月 4 日と 8 月 19 日の 2 回行い強い淘汰圧を加えた。この 2 回の炭疽病噴霧菌接種に対して高度に抵抗性を示した S4 実生集団の 325 個体から、頂花房の開花が早く、花の大きさ、数および花粉量からみて交配が容易であった 3 系統「サンチーゴ 10」、「サンチーゴ 22」および「サンチーゴ 58」を選抜した (第 1 図)。「サンチーゴ 22」についてはランナー苗 5 株を増殖し、2014 年 7 月 1 日に前述の方法で炭疽病抵抗性を評価した。

2 炭疽病抵抗性自殖系統 (S4) の後代検定による固定度評価

炭疽病抵抗性自殖系統「サンチーゴ 10」、「サンチーゴ 22」、「サンチーゴ 58」と「サンチーゴ」の自殖後代実生を供試して、2011 年と 2012 年に後代検定による炭疽病抵抗性の固定度を調査した。2011 年は、「サンチーゴ 10」と「サンチーゴ 22」の自殖後代実生集団を 75 個体、「サンチーゴ」の自殖後代実生集団を 125 個体 2~3 葉期の幼苗まで前述と同様の方法で育苗した。炭疽病菌は前述と同じ濃度と方法で 9 月 6 日に接種した。生存株数の調査は、片山ら (2008) は罹病性品種「さちのか」のランナー株が全株枯死した時点としている。しかし、この年は日平均気温が接種 1~12 日後までは発病適温であったのに対し、13~30 日後では 18.5~24.5℃に低下し、その後は 20℃以下の低温が続き、病徴の進展が緩慢で枯死に至る株が少なかった。そのため、生存株数の調査は罹病性品種「さちのか」の半数が枯死した 2 日後の接種

年	系統	処理	個体数	炭疽病菌接種後の生存株率		
				自殖実生集団	サンチーゴランナー苗	さちのかランナー苗
2006年	サンチーゴ親株	自殖				
2007年	S1	自殖	24			
2008年	S2	●炭疽病菌接種	407			
		炭疽菌接種後の生存株数	234	57%	100%	0%
		頂花房の開花が早い120株を自殖	120			
2009年	S3	●炭疽病菌接種	450			
		炭疽病菌接種後の生存株数	450	100%	100%	0%
		頂花房の開花が早い18株を自殖	18			
2010年	S4	●炭疽病菌接種 (2回接種)	400			
		炭疽病菌接種後の生存株数	325	81%	50%	0%
		頂花房の開花の早さと交配のしやすさで選抜	3			

「サンチーゴ10」, 「サンチーゴ22」, 「サンチーゴ58」

第 1 図 炭疽病抵抗性自殖系統の育成経過

1) 炭疽病菌接種後の生存株率は「さちのか」のランナー苗がすべて枯死した後の各世代全供試株中の生存株の割合

89 日後に行った。2012 年は、「サンチーゴ 22」, 「サンチーゴ 58」 および 「サンチーゴ」 の自殖後代実生集団を各 125 個体 3～5 葉期まで前述と同様に育苗し, それらに炭疽病菌を前年と同様の方法で 7 月 3 日に接種した。接種後から罹病性品種「さちのか」のランナー苗が全株枯死するまでの日平均気温は 28.5℃であった。生存株数の調査は, 罹病性品種「さちのか」のランナー苗が全株枯死した菌接種 49 日後に実施した。

3 炭疽病抵抗性自殖系統 (S4) を罹病性品種に交配した後代実生集団における抵抗性個体出現率

2011 年は, 「サンチーゴ 10」, 「サンチーゴ 22」 および 「サンチーゴ」 を罹病性品種の「福岡 S6 号」 および 「さがほのか」 に交配し, 後代実生集団 61～125 個体を 2～3 葉期まで前述と同様の方法で育苗した。2012 年は, 「サンチーゴ 22」, 「サンチーゴ 58」 および 「サンチーゴ」 を罹病性品種の「福岡 S6 号」と「さがほのか」に交配し, 後代実生集団各 125 個体を 3～5 葉期まで前述と同様の方法で育苗した。炭疽病菌の接種と生存株数の調査は, 前述の同年の方法で実施した。

4 炭疽病抵抗性自殖系統「サンチーゴ 22」(S4) の農業形質

「サンチーゴ 22」と「サンチーゴ」からランナー苗を増殖し, 各 8 株ずつ供試した。2013 年 9 月 19 日に畝幅 120cm, 株間 20cm で定植し, 普通促成栽培 (福岡県農林水産部経営技術支援課 2014) に準じて無電照, 無摘果で栽培した。生育は, 頂果房の開花日と 1 月 22 日の草高, 上位から 3 枚目の展開葉の葉柄長, 葉身長, 葉幅および頂果房の花数を調査した。果実形質は頂果房の頂果を収穫して, 一果重を測定後, 果皮色を分光色差計 CM-600d (ミノルタ社製), 糖度をブリックス計 RA-410 (京都電子工業株式会社製), 滴定酸度を果汁酸度計 CAM-500 (京都電子工業株式会社製) で測定した。

結果

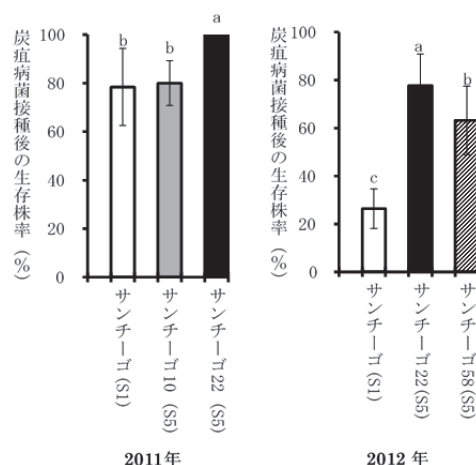
1 炭疽病抵抗性自殖系統の炭疽病抵抗性評価と後代検定による固定度評価

自殖による世代更新と炭疽病抵抗性に関する選抜を組み合わせた方法により「サンチーゴ 10」, 「サンチーゴ 22」 および 「サンチーゴ 58」 の 3 系統を育成した。「サンチーゴ 22」のランナー苗は, 抵抗性品種「サンチーゴ」 および 「かおり野」と同等の強い抵抗性を示した (第 1 表)。育成した 3 系統の炭疽病抵抗性の固定度を評価するために後代検定を行った。その結果, 2011 年は由来となる品種「サンチーゴ」を自殖した後代実生集団 (S1) の生存株率が 78%であったのに比べて, 「サンチーゴ 10」(S4) を自殖した後代実生集団 (S5) の生存株率は 80%と同程度, 一方「サンチーゴ 22」(S4) を自殖した後代実生集団 (S5) の生存株率は 100%で有意に高かった (第 2 図左)。2012 年は, 由来となる品種「サンチーゴ」を自殖にした後代実生集団 (S1) の生存株率が 26%であったの

第 1 表 育成した自殖系統と主要品種の炭疽病抵抗性比較

品種・系統	枯死株率 (%) ¹⁾	炭疽病抵抗性指数 ²⁾
サンチーゴ 22	0	10.0a
サンチーゴ	0	10.0a
かおり野	0	9.0ab
いちご中間母本農 2 号	40	7.2bc
とよのか	20	8.2ab
福岡 S6 号	80	6.0cd
さちのか	100	4.4d

- 「さちのか」が全枯死した接種後 43 日目の時点
- 9 週目まで生存した株を指数 10, それ以前の枯死株は枯死までの週数を抵抗性指数とした。異なる英小文字間は 1% 水準で有意差あり (Tukey)



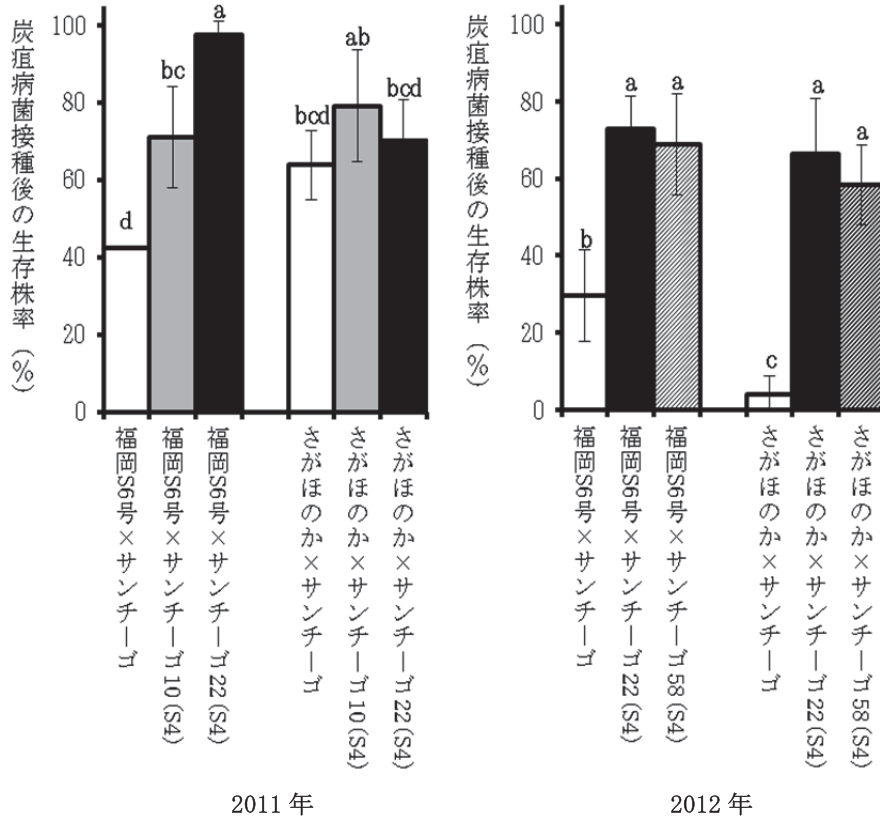
第 2 図 炭疽病抵抗性自殖系統 (S4) の自殖後代における炭疽病菌接種後の生存株率

- 炭疽菌分生胞子 1×10^5 個/mL の懸濁液を噴霧接種 2011 年は 9 月 6 日, 2012 年は 7 月 3 日実施
- 生存株数の調査は, 「さちのか」のランナー株が全枯死した時点とする片山ら (2008) の方法に準じた。ただし, 2011 年は接種 13 日後から気温が急激に低下し枯死に至った株が少なかったため, 半数枯死した 2 日後の接種 89 日後に実施した。2012 年は, 接種 49 日後に実施した
- 棒グラフのバーは標準偏差。異なる英小文字間は, 2011 年は 10% 水準, 2012 年は 5% 水準で有意差あり (Tukey)

比べ, 「サンチーゴ 22」(S4) を自殖した後代実生集団 (S5) の生存株率は 78%, 「サンチーゴ 58」(S4) を自殖した後代実生集団 (S5) の生存株率は 63%といずれも有意に高かった (第 2 図右)。これらの結果から, 「サンチーゴ」に比べて炭疽病抵抗性の固定度が, 「サンチーゴ 10」は同程度, 「サンチーゴ 22」と「サンチーゴ 58」は高いことが明らかになった。

2 炭疽病抵抗性自殖系統 (S4) を罹病性品種に交配した後代実生集団における抵抗性個体獲得率

2011 年の炭疽病菌接種による生存株率は, 罹病性品種「福岡 S6 号」に「サンチーゴ」を交配した後代実生集団が 43%であったのに対して, 「サンチーゴ 10」または「サンチーゴ 22」を交配した後代実生集団はそれぞれ 71%



第3図 炭疽病抵抗性自殖系統を罹病性品種に交配した後代実生集団における炭疽病菌接種後の生存株率

- 炭疽菌分生孢子 1×10^5 個/mL の懸濁液を噴霧接種。2011年は9月6日、2012年は7月3日実施
- 生存株数の調査は、「さちのか」のランナー株が全枯死した時点とする片山ら (2008) の方法に準じたただし、2011年は接種13日後から気温が急激に低下し枯死に至った株が少なかったため、半数枯死した2日後の接種89日後に実施した、2012年は、接種49日後に実施した
- 棒グラフのバーは標準偏差、異なる英小文字間は 5%水準で有意差あり (Tukey)

と98%で有意に高かった。もう一つの罹病性品種「さがほのか」に「サンチーゴ」を交配した後代実生集団が64%であったのに比べ、「サンチーゴ10」または「サンチーゴ22」を交配した後代実生集団はそれぞれ79%と70%で、有意差はないものの高い傾向が認められた(第3図左)。2012年の炭疽病菌接種による生存株率は、罹病性品種「福岡S6号」に「サンチーゴ」を交配した後代実生集団が30%であったのに対して、「サンチーゴ22」または「サンチーゴ58」を交配した後代実生集団はそれぞれ73%と69%で有意に高かった。また、もう一つの罹病性品種「さがほのか」に交配した後代実生集団においても、「サンチーゴ」を交配した場合が4%であったのに比べ、「サンチーゴ22」または「サンチーゴ58」を交配した場合はそれぞれ66%と58%で有意に高かった(第3図右)。

3 炭疽病抵抗性自殖系統「サンチーゴ22」(S4)の農業形質

炭疽病抵抗性自殖系統「サンチーゴ22」は、由来となる「サンチーゴ」に比較して、草高が低く、葉柄は短く、葉身長と葉幅が小さかった。果実形質は、果重が軽くな

り、糖度と酸度が低くなった。果皮色は $L^*a^*b^*$ 表色系で赤味を表す a^* のみが小さく、くすんだ赤色になった(第2表)。なお、「サンチーゴ10」および「サンチーゴ58」については観察のみであるが、草姿と果実形質ともに「サンチーゴ22」と同様の傾向を示した。

考 察

イチゴの既存品種はヘテロ性が高く、これらを直接交配親に用いた育種のみでは育種効率が悪く十分な成果が期待できない(望月2000, 森ら2000)。育種効率を上げるためには、イチゴの自殖には著しい自殖弱性が存在するものの、自殖によって劣悪因子を除去したり弱性が現れない形質の固定を図って、交配母本として利用する必要があることを森下(1994)は指摘している。

本研究では、炭疽病抵抗性品種「サンチーゴ」を用いて、自殖と炭疽病菌接種による生存株の選抜を繰り返した炭疽病抵抗性の自殖系統(S4)を育成した。これらの自殖系統は、後代検定による炭疽病抵抗性の固定が「サンチーゴ」に比べて同等以上に高く、罹病性品種「福岡S6号」および「さがほのか」に交配した後代実生集団の

第2表 炭疽病抵抗性自殖系統「サンチーゴ22」(S4)の農業形質

品種名	草高	葉柄長	葉身長	葉幅	頂果房の花数	開花日	一果重	果皮色(表)			Brix	滴定酸度
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(個)	月/日	(g)	L*	a*	b*		mg/mL
サンチーゴ	17.8	8.1	5.3	4.5	17.6	10/30	22.3	39.8	41.4	25.5	9.88	570
サンチーゴ22(S4)	9.1**	4.8**	3.8**	3.0**	21.6	10/27	14.4*	37.6	36.0*	22.6	8.57**	496*

1) 生育は1月22日に上位から3番目の展開葉を調査, 開花および果実の品質は, 頂果房の頂果を調査
2) **は1%水準で有意差有り, *は5%水準で有意差有り (t検定)

生存株率が, 「サンチーゴ」を交配した場合に比べて向上することを明らかにした。なお, 炭疽病抵抗性は温度や調査時期(片山ら2008, 森1998, 飯村ら2012)によって大きく変化するが, 本研究で育成した自殖系統を罹病性品種に交配した後代実生集団の生存株率は, 炭疽病菌接種後の日平均気温が13日目から低温になった2011年と高温であった2012年において, いずれの年も「サンチーゴ」を交配親とした後代実生集団に比べて同等以上に高かった。

一方で, 本研究で育成した自殖系統は, 炭疽病抵抗性と早生性の評価のみで選抜して世代更新を行ったため, 草高, 葉柄長, 葉身長, 葉幅, 果重, 果皮色, 糖度および酸度が「サンチーゴ」に比べて有意に劣った。果皮色, 糖度および酸度は, 遺伝子の効果が加算的に作用する相対的効果が高い形質であるため(森下1994), 交配親はこれらの形質が優れていることが望ましい。今後, これらの果実形質の改良が課題となる。

引用文献

福岡県農林水産部経営技術支援課(2014)主要野菜の栽培技術指針(第10版). 17-22.
飯村一成・田崎公久・中澤佳子・天谷正行(2012)QTL解析によるイチゴ炭疽病抵抗性遺伝子領域の検索. 育種学研究15:90-97.
池田弘(1987)イチゴ炭そ病の品種間差異及び薬剤防除. 九病虫研会報33:73-75.
石川成寿(2005)イチゴ炭疽病の病原菌, 生態ならびに環境に配慮した防除技術開発. 栃木農試研報54:1-187.
片山貴雄・末信真二・三井寿一・浜地勇次(2008)噴霧接種法を用いたイチゴ炭疽病抵抗性の評価方法. 福岡農総試研報27:39-43.

望月龍也(2000)わが国におけるイチゴ育種研究の成果と展望. 育種学研究2:155-163.
森利樹(1998)実生幼苗を利用したイチゴ炭そ病抵抗性の選抜に及ぼす管理温度の影響. 園学雑67:934-938.
森利樹(1999)イチゴにおける炭そ病抵抗性の遺伝. 園学雑. 68:252.
森利樹・戸谷孝・藤原孝之(2000)炭そ病抵抗性イチゴ新品種「サンチーゴ」の育成. 三重農技センター研報27:27-36.
森利樹・北村八祥(2008)かおり野. 品種登録出願22218.
森利樹・山本有子・北村八祥(2009)病害抵抗性種子繁殖型イチゴ品種の一代雑種育種法. 特許公開2009-183224.
森利樹・北村八祥(2010)イチゴ自殖実生を用いた後代検定による炭疽病抵抗性評価法の開発. 園学研9:137-141.
森下昌三(1994)イチゴの品質・収量に関する育種学的研究. 野菜茶試験報A8:1-53.
岡山健夫(1989)奈良県におけるイチゴ炭そ病の発生実態と薬剤防除について. 奈良農試研報20:79-86.
沖村誠・野口裕司・望月龍也・曾根一純・北谷恵美(2004)炭疽病抵抗性の「いちご中間母本農2号」の育成とその特性. 園学研3:257-260.
沖村誠・曾根一純・北谷恵美・木村貴志・望月龍也(2011)おおきみ. 品種登録出願22831.
沖村誠・曾根一純・野口裕司・望月龍也・北谷恵美(2008)カレンベリー. 品種登録出願22564.
山本勉・福西務(1970)イチゴ炭そ病について. 日植病報36:165-166.