

共同育種によるイチゴ種子繁殖型品種‘よつぼし’の開発

誌名	園芸学研究
ISSN	13472658
著者名	森,利樹 小堀,純奈 北村,八祥 井口,工 加藤,伊知郎 曾根,一純 石川,正美 前田,ふみ 深見,正信 磯部,祥子 佐藤,修正
発行元	園芸学会
巻/号	14巻4号
掲載ページ	p. 409-418
発行年月	2015年10月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



共同育種によるイチゴ種子繁殖型品種 ‘よつぼし’ の開発

森 利樹^{1*}・小堀純奈¹・北村八祥¹・井口 工²・加藤伊知郎^{2a}・曾根一純³・
石川正美⁴・前田ふみ⁴・深見正信⁴・磯部祥子⁵・佐藤修正^{5b}

¹三重県農業研究所 515-2316 三重県松阪市嬉野川北町

²香川県農業試験場 761-2306 香川県綾歌郡綾川町北

³国立研究開発法人農業・食品産業総合研究機構九州沖縄農業研究センター 839-8503 福岡県久留米市御井町

⁴千葉県農林総合研究センター 266-0006 千葉県千葉市緑区大膳野町

⁵公益財団法人かずさ DNA 研究所 292-0818 千葉県木更津市かずさ鎌足

Development of F₁-hybrid Strawberry of Seed Propagation Type Named ‘Yotsuboshi’ by Collaborative Breeding among Institutes

Toshiki Mori^{1*}, Junna Kohori¹, Hatsuyoshi Kitamura¹, Takumi Inokuchi², Ichiro Kato^{2a}, Kazuyoshi Sone³,
Masami Ishikawa⁴, Fumi Maeda⁴, Masanobu Fukami⁴, Sachiko Isobe⁵ and Shusei Sato^{5b}

¹Mie Prefecture Agricultural Research Institute, Ureshinokawakita, Matsusaka, Mie 515-2316

²Kagawa Prefecture Agricultural Experiment Station, Kita, Ayagawa, Kagawa 761-2306

³National Agriculture and Food Research Organization Kyusyu Agricultural Research Center, Miimachi, Kurume, Fukuoka 839-8503

⁴Chiba Prefectural Agriculture and Forestry Research Center, Daizencho, Midoriku, Chiba 266-0006

⁵Kazusa DNA Research Institute, Kazusa-Kamatari, Kisarazu, Chiba 292-0818

Abstract

A seed propagation type of strawberry cultivar, ‘Yotsuboshi’, was collectively developed by four institutes belonging to Mie Prefecture, Kagawa Prefecture, Chiba Prefecture, and the National Agriculture and Food Research Organization. It is an F₁-hybrid, whose maternal and paternal lines are a ‘Miebohon 1 gou’ and ‘A8S4-147’, respectively. ‘Yotsuboshi’ has several attractive traits, such as a clear red fruit color, excellent fruit shape, high yielding ability, and superior taste with a high content of soluble solids and moderate acidity. The behavior of flower initiation is quite unique: ‘Yotsuboshi’ exhibits earliness under natural conditions with a lower temperature and shorter day length, while flower initiation is also induced under long-day treatment. Genotype analysis with the published DNA markers for strawberry variety identification demonstrated that 23 of the 25 CPAS markers and 45 SSR markers were available to differentiate ‘Yotsuboshi’ from other varieties. We expect ‘Yotsuboshi’ to become widely cultivated across Japan.

Key Words : cultivar identification, DNA markers, earliness, flower initiation, long-day

キーワード : 長日, DNA マーカー, 品種識別, 花成, 早生性

緒 言

我が国のイチゴ栽培は、1960年代に、促成栽培技術の開発を契機として爆発的に拡大した。その後、長年に亘って栽培面積が減少しているにもかかわらず、生産量は近年やや低下傾向にあるものの16.5万tを維持し、日本農業に

おける重要作物の地位を占めている。この背景には新品種開発による単収向上が大きく貢献してきたといえる。

イチゴは、本来、栄養繁殖作物であり、ランナーによって容易に増殖できる。そのため育種も容易で、交配して得られる多様な個体の中から最も優れたものを選抜し、選抜した個体を栄養繁殖するだけで新品種にできる。これまでは、この容易な育種法が優れた品種を生み出す要因になってきた。しかし、この育種法では、優れた個体が出現するか否かは、偶然性が大きく作用することになり、そして、既存の優良品種に対し、それを上回る新品種はより低い確率でしか出現しないことになる。また、種苗生産においても、栄養繁殖では、ウィルスや病害虫の親子間の伝染も大きな問題になるうえ（丸尾ら、2007）、増殖率は年40倍程度と低い。

2015年2月19日 受付. 2015年5月19日 受理.

本研究は農林水産省 ‘新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業’ (課題番号21010) により実施した。本論文の一部は園芸学会平成26年度秋季大会で発表した。

* Corresponding author. E-mail: morit02@pref.mie.jp

^a 現在：香川県東讃農業改良普及センター

^b 現在：東北大学大学院生命科学研究所

種子繁殖型品種は、これらの課題を解決する新しいタイプの品種として期待される。育種的にみると、自殖固定系統を作出したうえでF₁品種として育成されるため、栄養繁殖の育種に比べ手間が掛かることが欠点になるものの、自殖固定系統を作出する際、予め明らかにした遺伝様式に基づいて目的遺伝子の集積を行うことで、計画的に育種を進めることができる利点を持つ。生産場面においても、栄養繁殖に比べ種子繁殖の増殖率は極めて高いという利点を持つ。栄養繁殖で問題になるウィルスや病害虫についても、現在知られている重要病害では親子間伝染のリスクが大きく低下するとみられる。また、促成栽培の場合、栄養繁殖では栽培の前年から親株を確保し保管する必要があるが、種子繁殖ではその必要がなく省力的な栽培体系を組むことができる。さらに、これらの特徴から種苗流通に適するメリットがあり、イチゴの種苗生産が新しい産業として成立し、イチゴの生産体系そのものに変革をもたらす可能性を持つ。

このように優れた特徴を持つ種子繁殖型品種であるが、経済栽培に用いられる品種で、これまでに開発されたものは極めて少ない。世界的にみると、オランダの民間企業が1996年に育成した‘カラン’が最初とされる(Bentvelsenら, 1997)。これに続き、我が国でも成川・石川(1997)や斉藤ら(1998)が取り組みを開始し、2008年になって、我が国初の種子繁殖型品種‘千葉F-1号’が開発された(石川ら, 2008)。

これまで種子繁殖型品種の育成が遅れていた原因には、イチゴは容易に栄養繁殖できるため権利侵害の懸念があって民間企業の育種取り組みがほとんどなかったことや、育種の主体が地方の公的研究機関で、短期間に成果を求められることにあった。しかし、Kunihisaら(2005)によってイチゴの品種識別用DNAマーカーが開発され、それらの遺伝様式がメンデル遺伝に矛盾しないことが示された。これは、イチゴの種子繁殖型品種においても、品種識別用DNAマーカーにより権利侵害に対抗できることを示唆したものとなった。また、前述のとおり、栄養繁殖型品種の育種では、偶然性が大きく作用しており、開発が進むほど

既存品種を越える優れた品種の出現確率が低下することから、育種所要期間の点でも、種子繁殖型品種との差は小さくなってゆくと予想される。

これらの変化に対応し、韓国においても種子繁殖型品種の開発が報告されているが(IIら, 2012)、我が国のイチゴ育種は小規模多数の機関で取り込まれていることを特徴としており、各機関で自殖固定系統を育成し、それらを相互に交換し共同でF₁品種を開発することは、我が国イチゴ育種の大きな強みになると期待できる。すなわち、交配母本を相互に交換することによって、試すことができる交配組み合わせ数は級数的に増加し、遠縁の交配母本同士を結び付けることができる。

この理念のもとに、三重県農業研究所(以下、三重農研)、香川県農業試験場(以下、香川農試)、千葉県農林総合研究センター(以下、千葉農総研)と国立研究開発法人農業・食品産業総合研究機構九州沖縄農業研究センター(以下、九沖農研)の4機関が共同育種に取り組み、種子繁殖型品種‘よつぼし’を開発した。

材料および方法

1. 育成経過

2009年度に共同研究契約を締結し、第1表に示す各機関の自殖系統を、それぞれ他の3機関に提供した。提供を受けた系統は花粉親に用いることとし、三重農研では自ら有する子房親173系統に交配し1055のF₁系統を、香川農試では子房親7系統に交配し42のF₁系統を、千葉農総研では子房親6系統に交配し42のF₁系統を、九沖農研では子房親40系統に交配し178のF₁系統を作出した。

2010年度には、各機関で前年に育成したF₁系統を、それぞれ栽培し、各機関担当者が各々の基準に従って優れると評価した系統について、三重農研で7系統、香川農試、千葉農総研と九沖農研で各5系統を一次選抜した。また、それら選抜系統の採種を再度行った。

2011年度には、前年に各機関で一次選抜した系統の種子(植物形態学的に瘦果であるが、本論文では慣用的に、瘦果を種子、果皮を種皮と表す)を相互に提供し合い、合

第1表 共同育種において各機関が提供した自殖固定系統

機関	系統名	由来品種	世代 ²	主な特徴
三重農研	08009(三重1)	独自系統	S3	萎黄病・炭疽病複合抵抗性 極早生・炭疽病抵抗性
	08036(三重2)	‘かおり野’	S3	
香川農試	A8S4-147(香川1)	独自系統	S4	四季成り性 四季成り性強
	A8S4-60(香川2)	独自系統	S4	
千葉農総研	8-17S-12(千葉1)	独自系統	S3	うどんこ病抵抗性
	IS-5(千葉2)	‘いざよい’	S5	
九沖農研	久留米1	‘スイートチャーミー’	S3	四季成り性 四季成り性
	久留米2	‘スイートチャーミー’	S3	
	久留米3	‘夏芳’	S4	

²S3, S4 および S5 は、それぞれ、自殖第3代、第4代および第5代を示す

計22系統について、4機関の圃場で栽培した。栽培条件が異なる4機関の圃場を巡回し、食味の安定性を最重点に、果形や果色など果実品質と早生性や草姿などの特徴を共同で評価し、‘系統7’、‘系統15’と‘系統23’の3系統を二次選抜した。

2012年度は、前年度に共同で選抜した3系統を材料に、4機関の圃場に加え香川県と千葉県内の現地圃場で比較試験を実施し、総合的に優れた‘系統23’を共同で選抜した。

この系統を‘よつぼし’と命名し、共同出願契約などの事務処理を終えた後、2014年1月10日に品種登録出願を行った(出願番号第28844号)。

2. 品種識別 DNA マーカー

育成した‘よつぼし’10個体と、その両親品種にあたる‘三重母本1号’と‘A8S4-147’各1個体について、千葉農総研において‘DNA マーカー (CAPS 法) によるイチゴ品種識別マニュアル’ (野菜茶業研究所, 2007) に基づき各マーカーの遺伝子型を調べた。

また、Isobeら(2013)は、4474種のSSRマーカーによる連鎖地図を作成し、それらのうち45種を品種識別に適したマーカーとして選定したことを報告している。本研究では、その過程で得られた423種のSSRマーカーを供試し、‘よつぼし’16個体と、‘三重母本1号’と‘A8S4-147’各1個体のアリルパターンを調べた。多型解析は前報(Isobeら, 2013)と同様の手法で実施した。なお、この供試マーカーは、既存のイチゴ品種・系統24種の間で多型を示すものとして選ばれた。

3. 品種特性

1) 試験1: 発芽率の評価

2011年に、三重農研において‘よつぼし’と‘千葉F-1号’の種子を供試し発芽試験を行った。なお、‘千葉F-1号’の種子は予め硫酸処理が施されており、‘よつぼし’の種子は処理のないものを用いた。

6月8日と6月9日に、200穴セルトレイを用い各セル1粒で各品種100粒単位と30粒単位の2種、および、50穴セルトレイに各セル25粒で各品種2反復を播種した。ガラス温室内に配置して、播種7, 10, 14, 21, 28日後にそれぞれ発芽数を調べた。それぞれ発芽率を求めて4反復とし、Scheffeの方法により平均値の差の検定を行った。なお、セルトレイの違いによる有意差はなかった。

2) 試験2: 早生性、収量性と果実品質の評価

三重農研において、‘よつぼし’、‘千葉F-1号’と‘かおり野’を用い、ポット促成栽培において、出蕾日の分布から推定した花芽分化開始時期、収量および果実品質を比較した。

‘よつぼし’と‘千葉F-1号’は、2012年5月15日に200穴セルトレイに播種し、6月19日に9cmポリポットに移植した。7月18日に緩効性肥料(N:P₂O₅:K₂O=10:10:10, IBS1号)を各ポット2粒施肥し、7月30日から屋外に設置したベンチ上で管理した。以後、育苗中に施肥

は行わなかった。‘かおり野’は、ガラス温室内で6月上旬に発生したランナーを9cmポットに鉢受けし、8月3日に親株から切り離れた。8月8日から‘よつぼし’や‘千葉F-1号’と同じ屋外のベンチ上に置き、8月9日と23日に、それぞれ、前出の緩効性肥料を各ポット1粒施肥した。また、8月3日と9月10日に、それぞれ、液肥(N:P₂O₅:K₂O=10:5:8)を500倍に希釈し各ポット約100mL施用した。

これらの苗を、8月28日から1週間おきに9月18日まで4回に分け、‘よつぼし’と‘かおり野’は各7株2反復、‘千葉F-1号’は3株2反復で高設栽培装置に株間20cmで定植した。基肥は施用せず、定植翌日から毎日夜肥(養液土耕6号1500倍希釈, OATアグリオ(株))を施用し、三重県慣行促成栽培法に準じて管理した。株ごとに、最大葉の葉長、小葉長と小葉幅を10月11日に調査し、頂花房の出蕾日とその花数を調べた。収量調査は反復ごとに行った。

また、2, 3および4月に、それぞれ第3週に各2回、品種ごとに収穫した果実からランダムに14×20cmのチャック付きポリ袋1袋分の果実を選んで凍結保存した。5月10日に解凍して滲出液を取り分け、屈折糖度計((株)アタゴ製APAL-1)により糖度を、1N-NaOH滴定酸度のクエン酸換算値により酸度を、分光光度計(日本分光(株)製Ubest-30)による520nmの吸光度を赤色度として、それぞれ測定した。

さらに、‘よつぼし’について、毎週2回、収穫果の中からランダムに選んだ10個について、生果先端部の果汁を搾り前述の屈折糖度計により糖度を調べた。

3) 試験3: 長日性の評価

花芽分化前に定植し、本圃における長日処理が花成形成に及ぼす影響を試験した。

‘よつぼし’の種子を2014年5月20日に406穴セルトレイに種苗事業者(三好アグリテック(株))が播種し、育苗し、7月2日に三重農研に送付された苗を、7月16日に72穴セルトレイに移植し、ガラス温室内で育てた。8月15日と8月25日の2回に分け、現地試験生産者圃場の高設栽培装置に定植した。これら定植日別の2区を、それぞれ2区に分け、9月15日から10月5日まで、葉上の照度120~180lxの白熱灯による電照で24時間日長処理した区と自然日長区を設けた。育苗中の施肥は、6月16日から定植まで、週1回、液肥(OK-F-11000倍希釈, OATアグリオ(株))の頭上散布により行った。また、花芽分化前に定植した8月15日区と8月25日区の対照として、ポット育苗で花芽分化させた後、9月30日に定植した対照区を設けた。対照区では、上記の406穴セル苗を7月7日に9cmポットに移植して、7月17日、30日と8月11日に緩効性肥料(N:P₂O₅:K₂O=10:10:10, IBS1号)を各1粒施肥し、慣行ポット育苗法に準じて育苗したうえ、9月30日に上記の長日処理中の区と自然日長区に分けて定植した。本圃での施肥は、全区、10月5日まで無肥料で

管理し、以後は毎日、液肥（養液土耕6号1500倍希釈、OATアグリオ（株））を給液施用した。各区8株4反復について、長日処理の開始時点の生育指標として株ごとにクラウン径と最大葉長を9月15日に調査し、花成誘導の結果をみるため株ごとに頂花房の出蕾日を調べた。

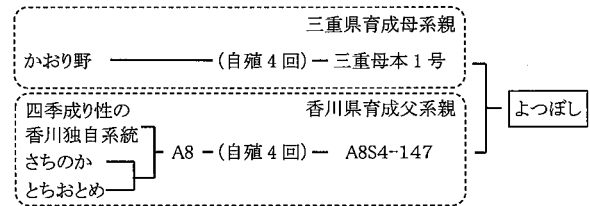
と‘とちおとめ’から得られた系統を香川県保有の四季成り性系統に交配して得られた系統‘A8’から、長日条件下で花成誘導される四季成り性の選抜と自殖を4回繰り返して得られた。

両親品種は、どちらも自殖を4回繰り返して得られた品

結果および考察

1. 系統図と品種識別 DNA マーカー

第1図に示すとおり、‘よつぼし’は、F₁品種であり、三重県育成の‘三重母本1号’（系統名0903757）を母系統とし、香川県育成の‘A8S4-147’を父系統とする。‘三重母本1号’は、‘かおり野’から炭疽病抵抗性選抜と自殖を4回繰り返して得られた。‘A8S4-147’は、‘さちのか’



第1図 ‘よつぼし’の系統図

第2表 ‘よつぼし’とその両親品種における品種識別 DNA マーカー（CAPS法）の遺伝子型

	DFR-Hin6 I ^r	APX-MluI	CHI-PvuII	F3H-NcoI (N)	F3H-Eam 1104I (N)	F3H2-HpaII (N)	F3H2-DdeI (N)	F3H3-AccI (N)	CTII-Hinfl	MSR-AluI	PGPA-AccI (N)	PGPA-RsaI (N)	PGPB-RsaI	APX2-DraI	APX3-DraI (N)	APX4-TaqI (N)	AUB-Hin6I (N)	OLP-DdeI	CTI2-MboI (N)	CTI2-Bsh 1236I (N)	CYT-BsaBI (N)	tRNA-BseGI	PYDA-HaeIII	PYDA-Cfr13I	PYDB-HaeIII (N)
よつぼし	X	AA	H	A	B	X	X	H	A	A	H	X	X	X	A	A	B	H	A	B	B	X	H	H	A
	X	AA	A	A	B	X	X	H	A	A	H	X	X	X	A	A	B	H	A	B	B	X	H	H	A
	X	AA	H	A	B	X	X	H	A	A	H	X	X	X	A	A	B	H	A	B	B	X	H	H	A
	X	AA	H	A	B	X	X	H	A	A	H	X	X	X	A	A	B	H	A	B	B	X	H	H	A
	X	AA	A	A	B	X	X	H	A	A	H	X	X	X	A	A	B	H	A	B	B	X	H	B	A
	X	AA	A	A	B	X	X	H	A	A	H	X	X	X	A	A	B	H	A	B	B	X	H	B	A
	X	AA	H	A	B	X	X	H	A	A	H	X	X	X	A	A	B	H	A	B	B	X	H	H	A
	X	AA	H	A	B	X	X	H	A	A	H	X	X	X	A	A	B	H	A	B	B	X	H	H	A
	X	AA	H	A	B	X	X	H	A	A	H	X	X	X	A	A	B	H	A	B	B	X	H	B	A
三重母本1号	X	AA	A	A	B	X	X	B	A	A	B	X	X	X	A	A	B	A	A	B	B	X	B	B	A
A8S4-147	X	AA	H	A	B	X	X	A	A	A	A	X	X	X	A	A	B	B	A	B	B	X	A	H	A

*表中のマーカー名と遺伝子型記号は、‘DNAマーカー（CAPS法）によるイチゴ品種識別マニュアル’（野菜茶業研究所、2007）による

第3表 ‘よつぼし’とその両親品種における品種識別 SSR マーカーの遺伝子型

	FAES ² 0107	FAES 0124	FAES 0208	FAES 0382	FVES 0148	FVES 0297	FVES 0341	FVES 0513	FVES 0577	FVES 0694	FVES 0795	FVES 0827	FVES 0960	FVES 0975	FVES 1005
	286	283	249	261	222	261	299	302	193	283	222	170	287	216	242
よつぼし	+	-	-	-	-	-	+	-	+	-	-	+	-	-	-
三重母本1号	+	-	-	-	-	-	+	-	+	-	-	+	-	-	-
A8S4-147	-	-	-	-	-	-	+	-	+	-	-	+	-	-	-
	FVES 1031	FVES 1038	FVES 1079	FVES 1160	FVES 1230	FVES 1237	FVES 1286	FVES 1392	FVES 1422	FVES 1580	FVES 1642	FVES 1657	FVES 1711	FVES 1816	FVES 2178
	434	251	215	152	154	266	297	199	173	152	304	240	238	284	293
よつぼし	+	+	+	-	+	+	+	-	+	-	-	-	-	+	+
三重母本1号	+	+	+	-	-	+	+	-	+	-	-	-	-	+	+
A8S4-147	+	+	+	-	+	+	+	-	-	-	-	-	-	+	-
	FVES 2273	FVES 2289	FVES 2369	FVES 2443	FVES 2447	FVES 2479	FVES 2486	FVES 2550	FVES 2882	FVES 3100	FVES 3101	FVES 3274	FVES 3387	FVES 3756	FVES 3770
	245	248	264	175	259	208	272	190	241	208	249	338	297	217	264
よつぼし	-	+	+	-	+	+	+	+	+	-	+	-	+	+	+
三重母本1号	-	+	+	-	+	+	+	+	+	-	+	-	+	+	+
A8S4-147	-	+	+	-	+	+	+	+	+	-	+	-	+	+	+

*表中において、FVES+4桁の数字はマーカー名を、3桁の数字は増幅断片長を示す。また、‘+’は目的遺伝子断片があることを、‘-’はないことを示す

種で、育種素材の‘かおり野’と‘A8’の遺伝子がすべてヘテロ接合であったとしても、理論上、93.75%の遺伝子がホモ接合体になっていると推測できる。

他家受精作物の雑種強勢育種法では、自殖または近親交配による近親交配系統作出において、5～6代で実用的に安定状態に達するものとされる(松尾, 1978)。それに対し、‘よつぼし’の両親品種の自殖回数は4回と少ないことになる。しかし、イチゴの場合、両親品種を栄養系で維持することができ、突然変異が生じない限り、増殖を繰り返しても両親品種の形質は一定で、品種登録要件である‘安定性’が低下することはない。そのため、今後予定される品種登録審査において‘よつぼし’の‘均一性’に問題がなければ、イチゴの雑種強勢育種では、親品種の自殖は4回行えば十分であると考えられる。

第2表に‘よつぼし’と両親品種のCAPS マーカー遺伝子型を示した。父系親‘A8S4-147’においてCHI-Pvu IIとPYDA-Cfr131がヘテロタイプで、これら2種のマーカーでは‘よつぼし’において個体間の分離がみられた。これら2種を除く23種のCAPS マーカーは、両親品種で固定しており、‘よつぼし’の品種識別に用いることができる。

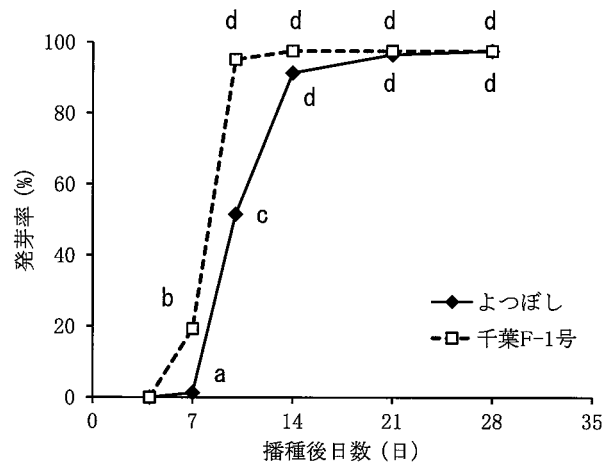
一方、SSR マーカーでは、供試した423種のうち5種のマーカーで分離がみられ、それらの内訳は、‘よつぼし’16個体が15:1に分離したマーカーが2種、9:7に分離したマーカーが2種、8:8に分離したマーカーが1種であった。分離がみられたマーカーは全供試マーカーの1.18%にすぎなかった。

前報(Isobeら, 2013)では45種の品種識別用SSR マーカーを選定したことを報告した。これら45種は、本試験供試マーカーの中から、‘よつぼし’において分離がなく、かつ、PCRの安定性が高く、国内市場流通品種121種における多型解析の再現性が良いものとして選定されたものである。‘よつぼし’におけるそれらのアルルパターンを第3表に示した。これら45種のマーカーは、‘よつぼし’を含む品種識別用DNA マーカーとして、既存のCAPS マーカーに加えて実用利用できる。

2. 品種特性

1) 発芽率

試験1において、‘千葉F-1号’では、播種7日後に19.3%の発芽がみられ、10日後には95%を超えた。一方、‘よつぼし’では、播種7日後の発芽率は1.2%、10日後で51.5%、14日後に91.3%となり、21日後になって95%を超えた(第2図)。硫酸処理によって種皮が除去された‘千葉F-1号’に対し、‘よつぼし’では硫酸処理を行っておらず、そのため、‘千葉F-1号’より‘よつぼし’の発芽揃いが遅くなったと考えられる。しかし、森ら(2010)が行ったイチゴ種子発芽率の品種間比較では、各品種自殖種子の播種21日後の発芽率は、平均54.5%、最低の品種で5.0%、最高は‘かおり野’と‘アイベリー’の95.0%であったことから、‘よつぼし’の発芽率は、イチゴ品種の中で



第2図 ‘よつぼし’と‘千葉F-1号’における発芽率推移の比較(試験1)

‘千葉F-1号’は硫酸処理をした種子、‘よつぼし’はしない種子を用いた

図中のアルファベットは、異なる文字間に Scheffe の検定による5%水準の有意差があることを示す

最も高いランクにあると評価できる。また、‘よつぼし’の高い発芽率は、母系親品種の育種素材である‘かおり野’からもたらされた形質と考えられる。

2) 生育・草勢

試験2において10月11日時点の生育指標として葉長、小葉長と小葉幅を調査し、葉面積と相関があるとされる小葉長と小葉幅の積とともに第4表に示した。すべての項目で、定植日間、品種間と交互作用に1%水準の有意差が認められた。

葉長については、9月11日定植で‘千葉F-1号’、‘よつぼし’、‘かおり野’の順に大きく、他の定植日では‘よつぼし’は‘千葉F-1号’と同等で‘かおり野’より小さかった。小葉長×小葉幅については、8月28日定植と9月4日定植では‘よつぼし’、‘千葉F-1号’、‘かおり野’の順に大きく、9月11日と9月18日定植では‘よつぼし’は‘千葉F-1号’と同等で‘かおり野’より小さかった。

‘かおり野’は極めて旺盛な生育とされ、‘千葉F-1号’の草勢は強とされることから(石川ら, 2008)、『よつぼし』は‘かおり野’には及ばないものの、‘千葉F-1号’と同様に草勢の強い品種であると評価できる。

3) 早生性

一季成り性のイチゴは、低温、短日と低窒素条件で花成誘導される(本多, 1977)。そのため、ポット促成栽培では、低温・短日に向かう8月以降、窒素の吸収量を制限することによって花成誘導を促進している。この基本技術において、花成誘導が十分でないまま定植すると本圃で窒素吸収が盛んになり花芽分化開始が遅れることから、定期的の間隔を置いて定植し、花芽分化に連動する出蕾が遅れない定植日をもって花成誘導が十分な状態に達した日を推定する方法がある(森, 2004)。

この方法に従って、試験2の8月28日、9月4日、9月

第4表 定植日が異なる‘よつぼし’、‘かおり野’と‘千葉F-1号’における生育指標の比較(試験2)

定植日	品種	葉長 ^z (cm)	小葉長(A)(cm)	小葉幅(B)(cm)	(A)×(B)
8/28	よつぼし	29.6 a ^y	11.2 a	9.2 a	103.2 a
	かおり野	35.4 b	15.0 c	11.0 b	166.3 c
	千葉F-1号	29.0 a	13.4 b	9.5 a	127.9 b
9/4	よつぼし	29.3 a	11.3 a	9.4 a	106.8 a
	かおり野	35.4 b	15.4 c	11.4 b	176.6 c
	千葉F-1号	30.4 a	13.8 b	10.0 a	138.1 b
9/11	よつぼし	24.6 b	10.5 a	9.1 a	96.2 a
	かおり野	34.6 c	15.7 b	11.7 b	183.0 b
	千葉F-1号	21.8 a	10.8 a	8.7 a	94.0 a
9/18	よつぼし	18.8 a	9.2 a	8.4 a	77.3 a
	かおり野	30.1 b	14.2 c	10.7 b	151.6 b
	千葉F-1号	20.3 a	10.3 b	8.0 a	82.2 a
定植日		***	**	**	**
品種		**	**	**	**
定植日×品種		**	**	**	**

^z各項目は、10月11日に調査した

^y表中のアルファベットは、異なる文字間で、同一定植日の同一項目内で品種間に Scheffe の検定による5%水準の有意差があることを示す

^x** は、分散分析における各因子の水準間で1%水準の有意差があることを示す

第5表 定植日が異なる‘よつぼし’、‘かおり野’と‘千葉F-1号’における頂花房出蕾株率の推移(試験2)

定植日	品種名	月日別にみた頂花房の累積出蕾株率(%)										
		10/2	10/9	10/16	10/23	10/30	11/6	11/13	11/20	11/27	12/4	12/11
8/28	よつぼし ^z	0	0	0	0	14.3	64.3	78.6	100	100	100	100
	かおり野 ^y	0	0	0	0	78.6	92.9	100	100	100	100	100
	千葉F-1号	0	0	0	0	0	0	0	0	83	100	100
9/4	よつぼし	0	0	0	0	21.4	78.6	92.9	92.9	92.9	100	100
	かおり野	0	0	0	0	53.8	84.6	100	100	100	100	100
	千葉F-1号	0	0	0	0	0	0	0	33.3	66.7	100	100
9/11	よつぼし	0	50.0	64.3	64.3	85.7	100	100	100	100	100	100
	かおり野	0	28.6	71.4	71.4	78.6	100	100	100	100	100	100
	千葉F-1号	0	16.7	16.7	16.7	16.7	16.7	16.7	33.3	50.0	66.7	83.3
9/18	よつぼし	0	14.3	92.9	100	100	100	100	100	100	100	100
	かおり野	0	0	78.6	100	100	100	100	100	100	100	100
	千葉F-1号	0	0	0	0	0	0	0	0	33.3	50.0	83.3

^z‘よつぼし’と‘千葉F-1号’は、5月15日に播種し、6月19日に9cmポットに鉢上げした。7月18日に緩効性肥料を施肥した後、以後は施肥無しとした

^y‘かおり野’は、9cmポットにランナーを鉢受けし、8月3日に切除した。緩効性肥料を施肥後、窒素中断を行わず、9月10日まで液肥を施用した

11日と9月18日にそれぞれ定植した区の間で、頂花房の出蕾日の分布を比較した。その結果、第5表に示すとおり、定植時に十分に花成誘導されていた株は10月9～23日に蕾出し、花成誘導が十分でなかった株は10月30日以降に蕾出し、両者の境界は10月23～30日頃と推定された。そして、8月28日と9月4日定植では、3品種とも全株の出蕾日が遅く、9月11日定植では、‘かおり野’、‘よつぼし’、‘千葉F-1号’の順に、71.4、64.3、16.7%の株で出蕾日が早く、株間にバラツキがみられた。9月18日定植では、‘よつぼし’と‘かおり野’では全株の出蕾日が早く、‘千葉

F-1号’では全株の出蕾日が遅かった。

この結果から、‘よつぼし’の花成誘導が十分な状態に達した日は9月11～18日の間であったと推測できる。

‘かおり野’は極早生性の品種で、窒素が切れると花芽分化が早くなり過ぎるため、育苗中に極端な窒素中断を行わない管理が適するとされる(小堀・森, 2013)。本試験でも、これに従い‘よつぼし’とは異なる施肥管理を行ったが、‘よつぼし’は、本試験の施肥管理条件で‘かおり野’とほぼ同じ花成誘導状況であったと推測することができ、相当な早生性を持つ品種であると評価できる。

第6表 定植日が異なる‘よつぼし’、‘かおり野’と‘千葉F-1号’における収量の比較(試験2)

定植日	品種	頂花房花数 (個/株)	月別収量 ² (g/株)							秀品果率 (%)	収穫果数 (個/株)	平均果重 (g)
			11月	12月	1月	2月	3月	4月	合計			
8/28	よつぼし	38.8 b ^y	0.0	0.0	151.8	280.5	178.6	50.4	661.4 a	83.8 a	33.6 b	19.7 a
	かおり野	53.2 c	18.4	35.8	416.9	364.1	141.8	65.5	1042.4 b	70.8 a	46.4 c	22.5 a
	千葉F-1号	14.2 a	0.0	0.0	14.2	140.1	190.5	80.0	424.7 a	82.7 a	20.2 a	21.0 a
9/4	よつぼし	34.4 b	0.0	3.8	145.7	271.1	130.6	45.3	596.4 b	87.1 b	29.5 b	20.2 a
	かおり野	35.8 b	0.0	11.3	230.0	298.1	226.6	58.4	824.4 b	75.5 b	36.7 b	22.1 ab
	千葉F-1号	16.3 a	0.0	0.0	89.3	175.6	112.3	8.3	385.4 a	70.0 a	15.0 a	25.4 b
9/11	よつぼし	23.2 a	41.5	71.4	106.6	218.8	177.8	75.6	691.7 b	91.2 a	33.9 b	20.4 a
	かおり野	30.1 a	45.6	208.1	208.1	287.5	186.3	187.7	1123.3 c	79.0 a	44.9 c	25.0 b
	千葉F-1号	17.2 a	0.0	23.3	15.5	122.8	133.7	84.2	379.4 a	82.7 a	14.8 a	25.6 b
9/18	よつぼし	21.5 a	10.2	120.3	125.5	173.4	204.4	140.0	773.8 b	90.5 a	42.1 b	18.4 a
	かおり野	23.1 a	26.1	241.7	265.6	273.9	183.8	156.7	1147.7 c	85.1 a	45.1 b	25.4 b
	千葉F-1号	13.2 a	0.0	0.0	0.0	120.0	221.2	114.4	455.6 a	88.8 a	19.3 a	23.5 b
定植日		***							NS	*	**	*
品種		**							**	**	**	**
定植日×品種		**							NS	NS	NS	NS

²5g以上で障害のない果実を可販果として月別収量、収穫果数と平均果重を求めた。果形を基に秀優良の3ランクに分け、可販果数に占める秀品果数の比率を秀品果率とした

^y表中のアルファベットは、異なる文字間で、同一定植日の同一項目内で品種間に Scheffe の検定による5%水準の有意差があることを示す

***, *とNSは、分散分析における各因子の水準間で、それぞれ、1%水準の有意差があること、5%水準の有意差があることおよび有意差がないことを示す

4) 収量性と果実品質

試験2における収量調査結果を第6表に示した。‘千葉F-1号’は、いずれの定植日でも花成誘導が十分でなかったため収穫開始時期が遅く、適切な栽培管理といえないことから、3品種の中で最も低い収量となった。‘よつぼし’と‘かおり野’において、定植日として最も適していた9月18日定植と比較すると、‘かおり野’では、11月と12月を加えた年内収量267.8g/株、4月までの総収量1147.7g/株であったのに対し、それに及ばないものの、‘よつぼし’は年内収量130.5g/株、総収量773.8g/株で、かなり高い収量が得られた。収穫果数は‘かおり野’45.1個/株に対し‘よつぼし’42.1個/株で大差なく、平均果重は‘かおり野’25.4gに対し‘よつぼし’18.4gと小さかった。

秀品果率については、定植日別にみた品種間の有意差は9月4日定植でのみ認められ‘千葉F-1号’が低い値になった。しかし、全定植日を通じた品種間の多重比較では、大果で果形が乱れ易い‘かおり野’に比べ‘よつぼし’と‘千葉F-1号’の値が高かった。

第7表には、試験2において測定した凍結果実解凍滲出液の糖度、酸度と赤色度を示した。糖度は、品種間、収穫月間ともに有意差がなかった。酸度は、2月と3月に比べ4月で高く、品種間では‘千葉F-1号’が最も高く、‘よつぼし’、‘かおり野’の順であった。果汁赤色度についても、遅い収穫月ほど高くなる傾向が認められ、品種間では‘よつぼし’が最も高く、‘千葉F-1号’、‘かおり野’の順であった。

第7表 ‘よつぼし’、‘かおり野’と‘千葉F-1号’における収穫月別の糖度、酸度と果汁赤色度の比較(試験2)

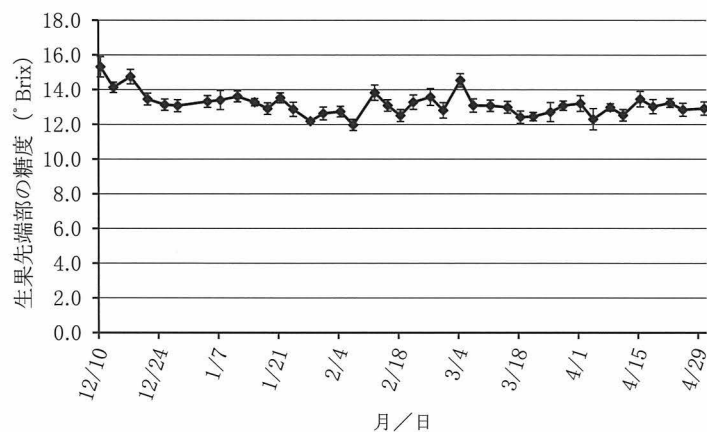
収穫月	品種	糖度 (°Brix)	酸度 (%)	果汁赤色度 (Abs)
2月	よつぼし	10.7 a ^z	0.540 b	1.000 b
	かおり野	11.6 a	0.413 a	0.317 a
	千葉F-1号	10.5 a	0.645 b	0.586 a
3月	よつぼし	11.0 a	0.560 b	1.018 b
	かおり野	11.9 a	0.413 a	0.395 a
	千葉F-1号	11.5 a	0.735 c	0.911 b
4月	よつぼし	10.8 a	0.800 b	1.422 c
	かおり野	11.4 a	0.578 a	0.498 a
	千葉F-1号	10.6 a	0.740 b	0.834 b
収穫月		NS ^y	**	**
品種		NS	**	**
収穫月×品種		NS	*	NS

^z表中のアルファベットは、同一収穫月の品種間における Scheffe の検定による5%水準の有意差の有無を示す

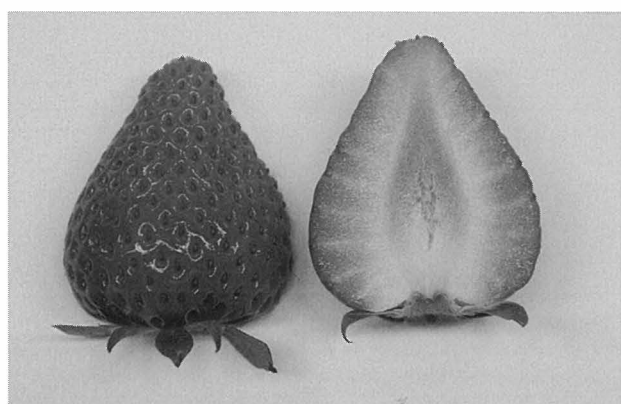
^y***, *とNSは、分散分析における各因子の水準間で、それぞれ、1%水準の有意差があること、5%水準の有意差があることおよび有意差がないことを示す

第3図には、試験2において、‘よつぼし’の生果の果実先端部を絞った果汁の糖度を毎週2回調査し、その経時変化として示した。収穫期間を通して12.0~15.3°と高い値で推移した。

‘よつぼし’の果実とその切断面を第4図に示した。円錐の整った果形で、光沢のある鮮やかな赤色の果皮で、果



第3図 ‘よつぼし’の生果先端部における果汁糖度の推移（試験2）
 図中のバーは、標準誤差を示す



第4図 ‘よつぼし’の果実と切断面

肉内部には白色をベースに赤みが拡がる。

以上を総合すると、‘よつぼし’は、‘かおり野’には及ばないもののかなり高い収量性があり、平均果重はやや小さいが、赤色系の形の良い果実で、安定して糖度が高く、酸味もある品種と評価することができる。

5) 長日性

第8表に、試験3における生育調査結果と出蕾株率の推移を示した。

9 cm ポット 苗による対照区では、自然日長区に比べ、

長日処理区で、6株の出蕾日が早く、1株で遅くなった。これら対照区の両日長区では定植前に花芽分化開始していたと推定されることから、出蕾の早い株が出現した原因は、電照の影響により花芽発達速度が向上したためと考えられる。

対して、8月15日定植と8月25日定植では、定植後に本圃で花芽分化したもので、どちらも長日処理区は自然日長区に比べ出蕾株率が高まる時期が明らかに早かった。これら長日処理区と自然日長区との差は、対照区のそれに比べて明らかに大きいことから、単に花芽発達速度の違いだけでなく、24時間日長処理による花成誘導効果であると認めることができ、‘よつぼし’は長日性を有するといえる。

8月15日定植と8月25日定植を比較すると、8月15日定植が8月25日定植に比べ明らかに早く出蕾が早かった。イチゴの実生は生育が進むほど花芽を分化し易くなることから（森・北村，2008），長日処理開始時（9月15日）のクラウン径の差が示すように、定植日の違いによる生育の差が影響したものと考えられる。すなわち、セルトレイに植えられている状態では根域が制限されるため、株がある程度大きくなると生育が緩慢になるが、本圃に定植することによって再び生育速度が向上する。早くから定植した8月

第8表 ‘よつぼし’の花芽分化前定植における電照による24時間日長処理が出蕾株率の推移に及ぼす影響（試験3）

育苗形態	定植日	日長	電照開始時生育		月日別にみた頂花房の累積出蕾株率 (%)						
			クラウン径 (mm)	最大葉長 (cm)	10/4	10/11	10/18	10/25	11/1	11/8	11/15
72穴セル	8/15	自然日長	7.62 b ²	16.1 b	0	0	12.5	75.0	78.1	81.3	100
		長日処理 ²	7.81 b	16.7 b	0	0	78.1	100	100	100	100
	8/25	自然日長	5.55 a	8.7 a	0	0	0	3.1	3.1	9.4	100
		長日処理	5.60 a	9.4 a	0	0	31.3	68.8	81.3	90.6	100
9 cm ポット (対照)	9/30	自然日長	—	—	0	100	100	100	100	100	100
		長日処理	—	—	18.8	96.9	100	100	100	100	100

²長日処理は、9月15日から10月5日まで、24時間日長になるよう電照を行った

³表中のアルファベットは、同一項目の異なる文字間に Scheffe の検定による5%水準の有意差があることを示す

15 日定植の方が 8 月 25 日定植の方より、大きな株に生育し、花芽を分化し易くなったことから、8 月 15 日定植の方が出蕾が早くなったものと考えられる。

6) 一季成り性と四季成り性ならびに早生性と長日性について

前述のとおり、‘よつぼし’は早生性と長日性を合わせ持ち、一般に、長日性を有することによって四季成り性とされる。それは、一季成り性は長日より短日で花成促進され、四季成り性は短日より長日で花成促進されることを特徴とするため、四季成り性品種では、低温域では日長によらず花成誘導され、中温域では量的長日性となり短日より長日で花成促進され、高温域では質的長日性となって限界日長以上の長日でないと花成誘導されなくなる。さらに高温になると花芽を分化しないか、分化しても発達が停止するとされる(本多, 1977; 西山, 2009; 濱野, 私信)。

また、四季成り性の遺伝研究において、四季成り性は単因子優性の形質とされ(門馬ら, 1990)、『よつぼし』の父系親品種‘A8S4-147’においても、四季成り性の単因子優性遺伝子が固定していると推定されている(加藤, 2008)。このことから、『よつぼし』が持つ長日性は父系親品種からもたらされていると考えられる。

一方、『よつぼし』の母系親品種は早生性を有し(未発表)、早生性は‘かおり野’からもたらされていると考えられる。‘かおり野’の場合、遮光で花成促進され短日性が認められるが、同時に、自然温度日長条件でも 8 月 30 日には花芽分化開始する極めて強い早生性が確認されている(小堀・森, 2013)。

‘かおり野’のような極早生性品種では、花芽分化する温度域に四季成り性品種と大差ないとみられ、そうなる、一季成り性と四季成り性の違いは短日性と長日性の違いだけではないか、そして、一季成り性と四季成り性は短日性と長日性と表すべきではないかという疑問が生じる。今後、この種の研究が進むと期待され、『よつぼし』は、その重要な研究材料になると予想される。本報では、その結果が出ないうちに混乱が生じることのないよう現象のみを記すこととして、『四季成り性』という用語を用いず、『よつぼし』は早生性と長日性を合わせ持つ品種と表す。また、父系親由来系統については、従前の表記を尊重し、前述のとおり、四季成り性品種とした。

3. 今後の展望

‘よつぼし’は、我が国における 2 番目のイチゴ種子繁殖型品種として、共同育種により誕生した。食味が良く、果実品質に優れ、かなり高い収量性を持つため、広く国内に普及することが期待できる。今後、農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業(課題番号 25077C)により、栽培技術を確立し、種苗供給体制を整えたいうえで、国内での種苗販売を開始する予定である。

また、本品種で取り組んだ共同育種は、今後のイチゴ品種開発の先例になることが期待される。我が国のイチゴ育

種は小規模多数の機関で取り組むことを特徴としており、それらが各々で自殖固定系統を作出し、相互に交換し、協力して F₁ 品種を生み出す。このような取り組みは、我が国のイチゴ産業にとって大きな強みになることであろう。

さらに、『よつぼし』は、種子繁殖で、早生性と長日性を合わせ持つ特徴がある。そのため、種子から育て生育ステージを合わせる生理生態的研究、罹病や農業使用前歴の影響を受けない病理的研究、あるいは、花成特性に関する研究において、研究素材として活用されることも期待される。

摘 要

三重県、香川県、千葉県と国立研究開発法人農業・食品産業総合研究機構の共同育種により種子繁殖型品種‘よつぼし’を開発した。‘よつぼし’は、『三重母本 1 号』を母系親、『A8S4-147』を父系親とする F₁ 品種で、鮮やかな赤色の形の良い果実で、高い収量性があり、安定して糖度が高く、酸味もあって、食味に優れる。また、早生性と長日性を併せ持つ特異な花成特性を示す。この品種の品種識別では、既報のマーカーのうち、23 種の CAPS マーカーと 45 種の SSR マーカーを用いることができる。今後、広く国内への普及が期待できる。

謝 辞 新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業(課題番号 21010)の外部アドバイザーとしてご指導いただいた東京都農林総合研究センター望月龍也氏、四季成り性の花成についてご教示いただいた東北農業研究センター濱野 恵氏、ならびに、研究事業の推進と品種登録出願に係わった関係者と事務職員の方々に感謝します。

引用文献

- Bentvelsen, G. C. M., E. Bouw and J. E. V. Zanten. 1997. Breeding strawberries (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) from seed. *Acta Hort.* 439: 149-153.
- 独立行政法人農業・食品産業総合研究機構野菜茶業研究所 野菜ゲノム研究チーム. 2007. DNA マーカー (CAPS 法) によるイチゴ品種識別マニュアル. <www.hinsyu.maff.go.jp/pvr/dna_manual/san01.pdf>.
- 本多藤雄. 1977. 生理・生態からみたイチゴの栽培技術. p. 115-161. 誠文堂新光社. 東京.
- Il, R. R., G. W. Jong, J. J. Ho, Y. J. Heung and H. L. Choon. 2012. Characteristics of F₁ hybrids and inbred lines in octoploid strawberry (*Fragaria* × *ananassa* Duchesne). *Plant Breeding* 131: 550-554.
- 石川正美・前田ふみ・丸尾 達. 2008. 千葉 F-1 号. 品種登録 20844.
- Isobe, N. S., H. Hirakawa, S. Sato, F. Maeda, M. Ishikawa, T. Mori, Y. Yamamoto, K. Shirasawa, M. Kimura, M. Fukami, F. Hashizume, T. Tsuji, S. Sasamoto, M. Kato, K. Nanri, H. Tsuruoka, C. Minami, C. Takahashi, T. Wada, A. Ono, K. Kawashima, N. Nakazaki, Y. Kishida, M. Kohara, S.

- Nakayama, M. Yamada, T. Fujishiro, A. Watanabe and S. Tabata. 2013. Construction of an integrated high density simple sequence repeat linkage map in cultivated strawberry (*Fragaria × ananassa*) and its applicability. *DNA Research* 20: 79–92.
- 加藤伊知郎. 2008. 四季成り性イチゴの自殖系統による交雑実生苗の花芽分化に及ぼす日長処理の影響. *園学研*. 7 (別1): 176.
- 小堀純奈・森 利樹. 2013. イチゴ ‘かおり野’ の極早生性を活用した花成誘導技術の開発. 第1報. 日長処理が出蕾日に及ぼす影響. *園学研*. 12 (別1): 357.
- Kunihisa, M., N. Fukino and T. Matsumoto. 2005. CAPS markers improved by cluster-specific amplification for identification of octoploid strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.) cultivars, and their disomic inheritance. *Theor. Appl. Genet.* 110: 1410–1418.
- 丸尾 達・伊藤善一・石川正美・上曾山大・大豆生田全毅・小椋勇樹. 2007. 種子繁殖型イチゴ栽培システムの実用化について. *食と緑の科学*. 61: 73–78.
- 松尾孝嶺. 1978. 育種学. p. 197–206. 養賢堂. 東京.
- 門馬信二・興津伸二・高田勝也. 1990. イチゴの四季成り性の遺伝. *野茶試研報 C*. 1: 21–29.
- 森 利樹. 2004. イチゴの炭疽病抵抗性と果実品質に関する遺伝特性と育種法. 神戸大学大学院農学研究科学位論文.
- 森 利樹・北村八祥. 2008. イチゴ育種の世代促進における花成誘導処理に適した実生発育ステージ. *園学研*. 7 (別1): 115.
- 森 利樹・北村八祥・小堀純奈. 2010. イチゴ種子の発芽に関する品種間差. *園学研*. 9 (別2): 149.
- 成川 昇・石川正美. 1997. 実生栽培用イチゴ品種の育成. *園学雑*. 66 (別2): 464–465.
- 西山 学. 2009. イチゴ四季成り性品種における生理生態的特性 (3). *農及園*. 84: 949–954.
- 斉藤弥生子・番 喜宏・菅原眞治. 1998. イチゴ種子繁殖系 F₁ 品種の育成に関する研究—F₁ 組合せ検定—. *園学雑*. 67 (別2): 327.