

# コマツナ交配母本‘YR江戸川’およびF<sub>1</sub>品種‘01試交12’の育成 ～キャベツ萎黄病抵抗性のコマツナへの導入～

野 口 貴

キーワード：*Brassica*, 萎黄病抵抗性, 形質導入, コマツナ, 種間雑種

## 緒 言

コマツナは東京都における主要農産物であり、平成14年の収穫量は10,900tで全国2位、出荷量は10,200tで全国1位となっている（農林水産省統計情報部, 2003a）。近年、消費者サイドからその栄養価が評価され需要が高まる一方、生産者サイドからは、重労働を必要としないことや高い所得率が評価され、全国的に作付面積が増加している（農林水産省統計情報部, 2003b）。

コマツナは、正月の雑煮や汁物の具として用いられてきたように、本来は秋から春の冷涼な時期に栽培される野菜であった。しかし、耐暑性品種の登場や施設栽培の普及に伴い、周年にわたって栽培されるようになった。こうした中、1987年には、*Fusarium oxysporum* f. sp. *conglutinans*による萎黄病が発生し、被害が急速に拡大した（阿部・堀江, 1988；阿部ら, 1989；阿部・堀江, 1995）。東京都農業試験場は、本病の防除対策を講ずるため、耐病性品種の検索や防除薬剤の適用拡大などの試験を進めるとともに、萎黄病菌株を種苗メーカーへ提供することにより、民間における耐病性品種の育成にも貢献してきた（阿部・堀江, 1995）。

こうした取り組みの一環として、キャベツ種(*Brassica oleracea*)の萎黄病抵抗性をコマツナ(*B. campestris*)へ導入する試験を1990年から開始した。*B. oleracea*から*B. campestris*への形質導入については、軟腐病(白腐病)抵抗性等の耐病性をハクサイへ導入した事例があり（清水ら, 1962；西ら, 1970）、細胞遺伝・育種学的な研究が行われている（生井, 1976；皿島・生井, 1979）。そこで、コマツナと萎黄病抵抗性キャベツとの種間雑種（合成ナップス）を作出し、これを橋渡し植物としてコマツナを戻し交雑することにより、萎黄病抵抗性コマツナの育成を図った。

一方、民間におけるコマツナ品種の開発は、昭和50年代からF<sub>1</sub>品種が主流となり、育種素材は、在来コマツナから*B. campestris*種全体に広がっている。それとともに、周年用品種から、季節に応じた専用品種が開発されるようになった。萎黄病が問題になる夏まき栽培では、葉色や軟弱徒長、在圃性などが重要な指標形質となっている。また、コマツナの施設栽培においては、害虫の防除効果を有する紫外線カットフィルムの利用が期待されているが、同資材の被覆により、生育が軟弱徒長する問題が発生している。そこで、萎黄病抵抗性コマツナの育成にあたっては、夏まき栽培や紫外線カットフィルムの利用に対応したF<sub>1</sub>品種の育成を最終目標にした。

本稿では、キャベツ種に由来する萎黄病抵抗性が導入されたコマツナ交配母本‘YR江戸川’および実用的F<sub>1</sub>品種‘01試交12’の育成経過とその特性について記述した。併せて、アブラナ科における異種植物間の形質導入について考察した。

## I. 種間雑種（合成ナップス）の育成

### 1. 材料および方法

キャベツでは、高温条件下でも安定した萎黄病抵抗性を示すtype A抵抗性が見いだされており、その遺伝様式は、単因子優性遺伝であることが明らかになっている（Walker, 1930；Blank, 1937）。そこで、type A抵抗性の確認されているキャベツ‘Jersey Queen’および‘Badger shipper’（飯嶋, 1971）を萎黄病抵抗性の素材として用いた（図1）。

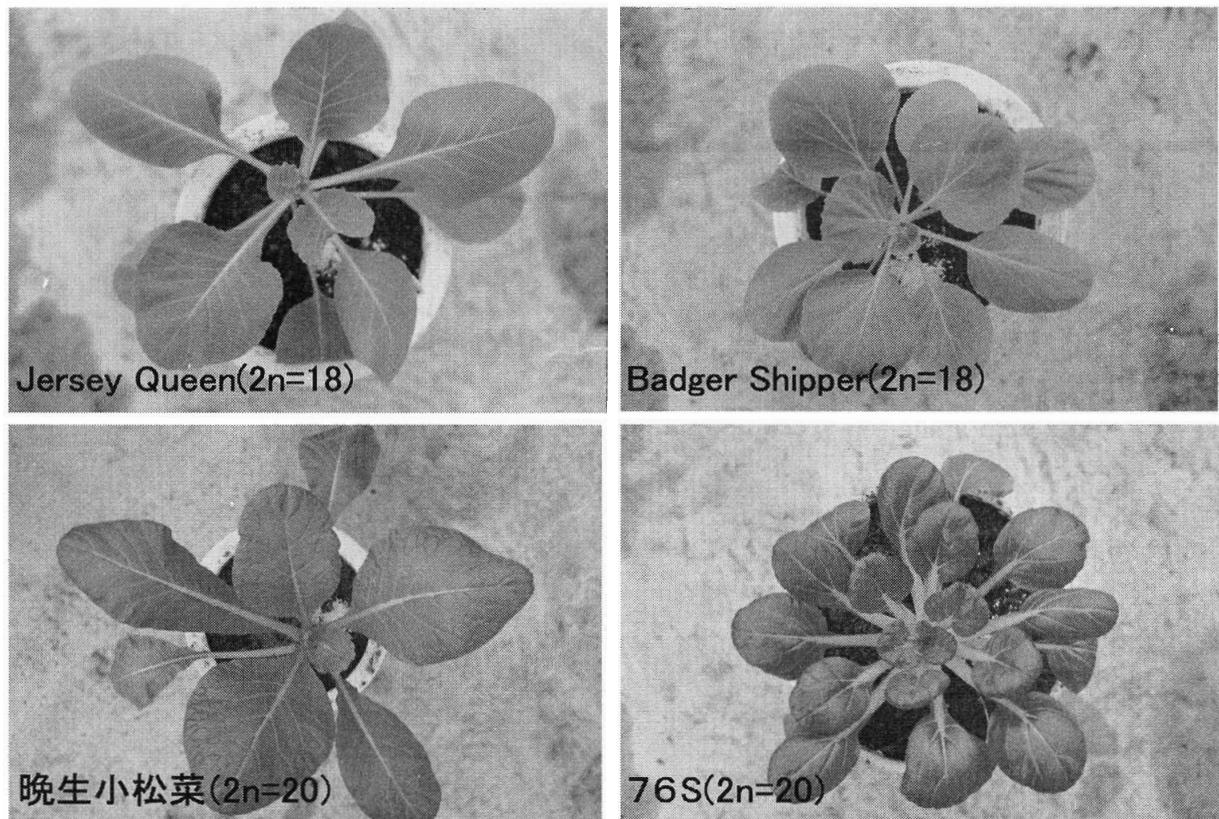


図1 雜間種作出および戻し交雑に用いた素材

この2品種は、キャベツ根こぶ病のレース判定に用いられている品種である(Williams, 1966)。一方、コマツナは、合成ナップス‘千宝菜1号’の育成に利用された‘晩生小松菜’(永野ら, 1988)のほか, ‘晩生大葉小松菜, 井草丸葉小松菜’を用いた。また、コマツナと同種(*B. campestris*)の根こぶ病抵抗性タアサイ‘76S’(1989年10月, 長野県野菜花き試験場から譲受)を併せて利用した。

1990年に、コマツナ等4品種とキャベツ2品種との間で正逆交雑した。交雫は、開花前日から2日前の蕾を用い、除雄後直ちに受粉し、ゼラチン製のハードカプセルを被せ、湿らせた脱脂綿で栓をする方法によった。コマツナおよびタアサイを母方(子房親)とする組み合わせでは、Inomata(1977), 猪俣(1986), 松澤(1978), 皿島・松澤(1986)の方法を参考にして、子房培養と胚培養を併用して雑種の育成を図った。すなわち、交雫後4~7日後の子房を、カゼイン加水分解物500mg/lを含むWhite(1963)の培地で培養し、40日後に、子房(莢)から幼胚を摘出し、同上のWhite培地, Murashige and Skoog(1962)の無機塩類を1/2濃度に改変した培地(1/2MS培地)およびGamborg et al.(1968)の塩

化カルシウム濃度を5倍に改変した培地(MB5培地)のいずれかに均等に振り分けて培養した。

キャベツを母方とする交雫では、交雫後14~28日後に、莢から胚珠を摘出し、Takeshitaら(1980), 皿島・松澤(1986)の方法に準じて、Whiteの培地で培養した。

発芽した植物体は、数回にわたって継代し、順化処理後に鉢上げした。なお、培養過程で二次胚や不定芽が発生した場合には、生育の旺盛な1個体を選抜して継代した。

作出された植物体の雑種性は、酸性フォスファターゼアイソザイムの分析、染色体観察、形態等の特性調査によって判定した。

アイソザイム分析は、次のように電気泳動法を用いて行った。新鮮な葉1gを、0.7ml/lのメルカプトエタノールと適量のポリビニルピロリドンを含む緩衝液(38mMトリス+2.5mMクエン酸+20%ショ糖)中で磨碎し、遠心処理により粗酵素液を抽出した。電気泳動は、11~12%のポリアクリルアミド分離用ゲルを用い、泳動用緩衝液として、5mMトリスと3.8mMグリシンを含む溶液(pH8.6)を用いた。染色液は、ファーストガーネットGBC塩を溶かし

た1M酢酸ナトリウム(0.2%α-ナフチル酢酸含有)を用い、泳動後のゲルを浸して染色した。

染色体観察は、根端細胞においては、2mMの8-ヒドロキシキノリンで処理した後にカルノア液で固定し、1N塩酸(60°C)で加水分解処理した。シップの試薬と酢酸カーミンで染色し、押しつぶし法により検鏡した。花粉母細胞においては、採取した蕾から薬のみを取り出してカルノア液で固定し、酢酸カーミンを滴下して押しつぶし法により検鏡した。

## 2. 結果および考察

*B.campestris*×*B.oleracea*における結莢率は、タアサイを用いた場合を除き、ほぼ70~80%となり、品種による差異は小さかった。幼胚の発芽数は、子房培養を交雑後6日目に行った場合、およびWhite培地を用いた場合に最も多かった(表1)。なお、MB5培地では、二次胚の発生がみられた。全組み合わせで、115個の胚が発芽したが、そのうち継代可能となったものが49個体、さらに順化が成功し、鉢上げできたものが21個体であった。

*B.oleracea*×*B.campestris*においては、268花の交雑を行ったが、交雫後の日数の経過に伴って次第に褐色化し、脱莢した。交雫後14~27日目の莢から胚珠を順次摘出して培養した結果、発芽胚は得られなかった。

21個の再生植物について、アイソザイム分析を行った結果、コマツナに特有なバンド(K3~K7)の全部または一部とキャベツのバンド(C1~C3)を併せ持っていたものが10個体見いだされた(図2)。さらに、染色体を観察したところ、そのうちの4個体は複半数体(2n=19)、他の2個体は培養の過程で染色体が倍加したとみられる複二倍体(2n=38)、残りの4個体は、染色体数の特定が困難であったが、2n=19前後の異数体と判断された(表2)。Whiteの胚培養培地を経て再生された11個体のうち10個体がコマツナ型の傾母植物であり、MB5培地に由来した6個体のうち3個体が異数体であった。また、コマツナ型傾母植物11個体は全て‘晩生小松菜’から生じた。このことから、母方の品種や胚培養培地の種類は、傾母植物や異数体の出現率に影響を及

表1 *Brassica campestris*×*B.oleracea*における子房培養開始時期および胚培養培地<sup>a)</sup>と発芽胚数

交雫組み合わせ <sup>b)</sup>	♂	♀	交雫数	結莢数 (結莢率%)	交雫後の子房 培養開始時期	胚培養における一莢あたり発芽胚数			
						White <sup>c)</sup>	1/2MS <sup>d)</sup>	MB5 <sup>e)</sup>	計 <sup>f)</sup>
井草 × BS			74	60 (81)	4	0	0	0	0
					5	0.75	0.6	0.2	0.5
					6	0	0	0	10
晩生 × BS			169	128 (76)	4	0	0	0	0
					5	0.33	0.25	0.67	0.4
					6	3	0	0.67	1.22
					7	0	0.33	0	0.14
大葉 × BS			36	25 (69)	5	0	0	0	0
					6	0	0	0	0
					7	0	0.33	0	0.2
76S × BS			102	42 (41)	4	0	0	0	0
					5	0	0.5	0	0.14
晩生 × JQ		JQ	44	34 (77)	6	0.8	0.33	0.44	0.54
大葉 × JQ		JQ	38	29 (76)	7	0.43	0.17	0.57	0.4
小計			463	318 (69)	4	0	0	0	0
					5	0.31	0.36	0.31	0.31
					6	2.83	0.5	0.58	0.58
					7	0.31	0.25	0.3	0.3
計						0.54	0.23	0.29	0.36

a) 子房培養と胚培養を併用。子房培養後、幼胚を摘出して培養。

b) 井草: 井草丸葉小松菜、晩生: 晩生小松菜、大葉: 晚生大葉小松菜、76S: タアサイ76S、BS: Badger Shipper、JQ: Jersey Queen。

c) White(1963)。

d) Murashige & Skoog(1962)の無機成分を1/2濃度に変更。

e) Gamborg *et al.*(1968)の無機成分を一部変更。

f) 胚培養によって得られた一莢あたり発芽胚の数。

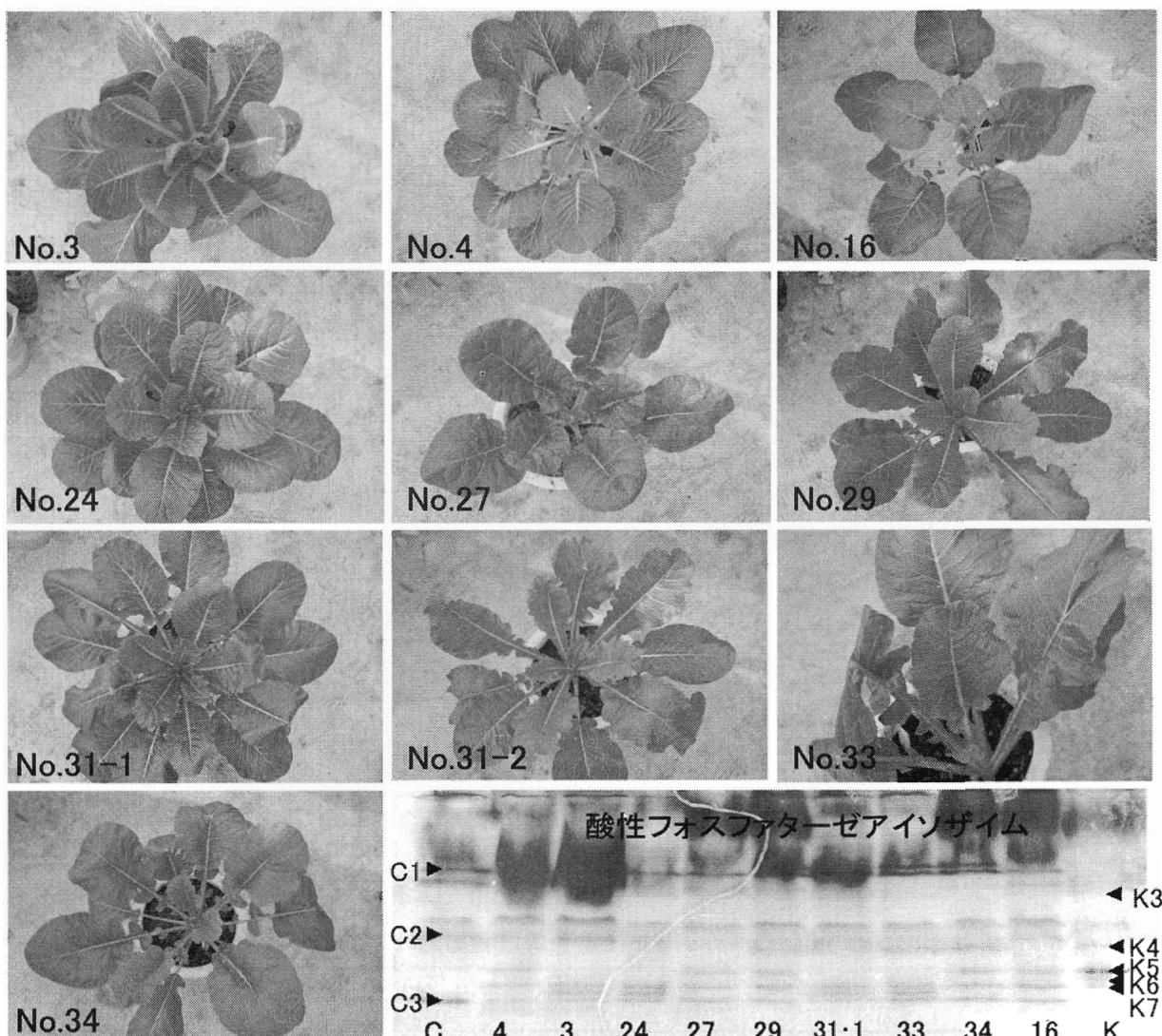


図2 子房培養・胚培養によって得られた種間雑種

酸性fosfataーゼアイソザイム:Cはキャベツ、Kはコマツナ。C1～C3はキャベツ特有バンド、K3～K7はコマツナ特有バンド

ぼすと考えられた。

雑種10個体は、キャベツ状の節間伸長がなく、コマツナ状のロゼットタイプの形態を示したが、葉形は多様で、倒卵形のもの(No.4, 24, 29)や葉柄に羽状の小葉を持つもの(No.27, 29, 31-1, 31-2, 33, 34), 長い葉柄と心臓形の葉身を持つもの(No.16)があった。また、中央部の未展開葉が半ば抱き合い半結球性を示すもの(No.3, 24), 広く開張しているもの(No.16), 固い葉を持つもの(No.3, 4), 柔らかい葉を持つもの(No.16, 27, 33)など、それぞれが異なる特徴を持っていた。なお、異数体の根は、分かつ性のある瘤状を呈しており、花茎を切断除去したところ、根系から多数の不定芽が再生した(図3)。

以上の種間雑種(合性ナップス)を、その後の戻し

交雑に用いた。

## II. 戻し交雑による萎黄病抵抗性コマツナ型復帰植物の育成

### 1. 材料および方法

戻し交雑第1代( $BC_1$ )の育成は、種間雑種に、「晩生小松菜、井草丸葉小松菜、晩生大葉小松菜、新黒水菜」ならびにタアサイ‘76S’を戻し交雑することによった(1991年)。*B.napus*と*B.campestris*の種間交雫では、前者を母方とする組み合わせが容易であることから(角田・日向, 1982), 本試験では、母方に種間雑種、父方にコマツナおよびタアサイとする組み合わせのみ行った。その後の戻し交雫(1992年)や検定交雫(1993年)では、萎黄病感

表2 再生体の作出条件と雑種性

再生体No.	再生体作出条件		ゲノム構成	雑種性
	交雑組み合わせ <sup>a)</sup>	胚培養培地		
F <sub>1</sub> -3	晚生 × BS	1/2MS	ac±α	異数体 ○
4	晚生 × BS	MB5	ac	複半数体 ○
9-1	晚生 × BS	White	aa	コマツナ ×
9-2	晚生 × BS	White	aa	コマツナ ×
9-3	晚生 × BS	White	aa	コマツナ ×
9-4	晚生 × BS	White	aa	コマツナ ×
10-1	晚生 × BS	White	aa	コマツナ ×
10-2	晚生 × BS	White	aa	コマツナ ×
10-3	晚生 × BS	White	aa	コマツナ ×
10-4	晚生 × BS	White	aa	コマツナ ×
16	大葉 × BS	1/2MS	aacc	複2倍体 ○
23-1	晚生 × JQ	White	aa	コマツナ ×
23-2	晚生 × JQ	White	aa	コマツナ ×
24	晚生 × JQ	MB5	ac	複半数体 ○
25	晚生 × JQ	MB5	aa	コマツナ ×
27	晚生 × JQ	1/2MS	aacc	複2倍体 ○
29	大葉 × JQ	White	ac	複半数体 ○
31-1	大葉 × JQ	MB5	ac+α	異数体 ○
31-2	大葉 × JQ	MB5	ac+α	異数体 ○
33	大葉 × JQ	MB5	ac±α	異数体 ○
34	大葉 × JQ	1/2MS	ac	複半数体 ○

a) 品種名は表1と同じ。

受性品種‘さおり小松菜’((株)トーホク, 以下‘さおり’と略称)を用いた。その他の交雑方法は、前述のとおりとした。

優良個体の選抜では、染色体観察やアイソザイム分析を適宜行いながら、萎黄病抵抗性を有し、コマツナの形態を強く示すものを選ぶようにした。

萎黄病検定は、採種した種子を育苗箱に播種し、野村ら(1976)の方法を一部変更して行った。すなわち、コマツナ萎黄病菌 *Fusarium oxysporum* f.sp. *conglutinans* FB-8-1 菌株(東京都農業試験場所属)を、ジャガイモ煎汁液体培地(ジャガイモ 200g, ショ糖 20g, 蒸留水 1,000ml)中で約7日間振とう

培養して増殖した。遠心処理により菌株を回収し、蒸留水を加えて  $1 \times 10^7$  個/ml の懸濁液とした。苗の子葉が展開した後に、育苗箱あたり懸濁液 1,000ml を灌注接種した。菌株接種は、試験によって、3~9回反復した。なお、検定場所は、ガラスハウスまたは人工気象室内とし、地温は、27~28°Cを目標とした。

## 2. 結果および考察

(1) 戻し交雑第1代(BC<sub>1</sub>)の萎黄病検定と抵抗性個体の選抜

戻し交雑による種子稔性は、複2倍体の F<sub>1</sub>-No.16,

図3 F<sub>1</sub>-No. 31-1の不定芽形成 写真右は同左を分割したもの図4 BC<sub>1</sub>植物(F1-No.27 × 76S)

27で高く、それぞれ80, 90%を超えた。一方、複半数体では10%以下となり、異数体では0%であった(表3)。ただし、異数体であっても、No.31-1などの不定芽から再生した栄養繁殖世代の中には、結実した個体があった。

戻し交雑によって得られたBC<sub>1</sub>約3,700個体を萎黄病検定に供した結果、540個体が抵抗性個体として選抜された(表3)。複二倍体のF<sub>1</sub>-No.16および27に由来するBC<sub>1</sub>は、ゲノム構成がaacであり、キャベツの1組のゲノムを保有していたが、耐性個体の割合は、それぞれ19%, 4~37%と低かった。これは、高地温(32°C, 表3)による宿主植物の抵抗力の低下(野村・石井, 1989a)が原因と考えられた。

以上の萎黄病検定を踏まえ、コマツナの形質を強く示した97個体を選抜した(図4)。

#### (2) 戻し交雑第2代(BC<sub>2</sub>)の萎黄病検定と抵抗性個体の選抜

生井(1976)によれば、異種ゲノム間の形質導入の可能性が大きいのは、複半数体F<sub>1</sub>を経過して次代で

二基三倍体となり、その次代以降に単ゲノム種型復帰個体になる場合であることから、本試験では、複半数体のF<sub>1</sub>-No.4, 24, 34に由来するBC<sub>1</sub>の利用が有望と考えられた。そこで、これらのBC<sub>1</sub>に‘さおり’を交雑したところ、種子がほとんど採れなかった。一方、F<sub>1</sub>-No.16および27に由来するBC<sub>1</sub>は花粉稔性があり、種子が採れるようであった。そこで、二基三倍体以降に異数体などを経て復帰個体となる場合にも形質導入の可能性があることを踏まえ(生井, 1976), F<sub>1</sub>-No.16, 27に由来するBC<sub>1</sub>から異数体のBC<sub>2</sub>を経て、BC<sub>3</sub>世代で萎黄病抵抗性を有するコマツナ型復帰植物の獲得を図った。

BC<sub>1</sub>の選抜個体(97個体)のうち、F<sub>1</sub>-No.16に由来する8個体(BC<sub>1</sub>-2系統)については、別の研究部署にその後の扱いを委ね、No.27に由来するBC<sub>1</sub>-4~7の4系統77個体を残した。このうち、花器の形態や抽だい時期がコマツナに近い4個体に‘さおり’を交雑し、得られたBC<sub>2</sub>世代を播種して萎黄病検定に供した(表4)。BC<sub>2</sub>種子の発芽率は、系統によって異なり、0~78.8%であった。検定の結果、

表3 戻し交雑第1代(BC<sub>1</sub>)系統の萎黄病検定<sup>a)</sup>

系統	交雫組み合わせ			被検定 個体数(A)	抵抗性 個体数(B)	B/A×100	選抜数
	♀(F <sub>1</sub> )	♂(B.campestris)	交雫種子稔性% <sup>b)</sup>				
BC <sub>1</sub> -1	No.4 (ac)	× 晩生	<10	47	20	43	5
	16 (aacc)	× 井草	>80	1500	283	19	8
	24 (ac)	× 晩生	<10	24	9	38	5
		晚生		400	48	12	20
		大葉		1000	39	4	20
	27 (aacc)	× 新黒 <sup>c)</sup>	>90	500	46	9	20
		76S		250	93	37	17
	29 (ac)	× 大葉	<10	17	1	6	1
	34 (ac)	× 大葉	<10	1	1	100	1
				3739	540		97

a) 1991年9月~12月、菌接種6回、地温は25~32°Cで推移。東京都農業試験場ガラスハウス内。

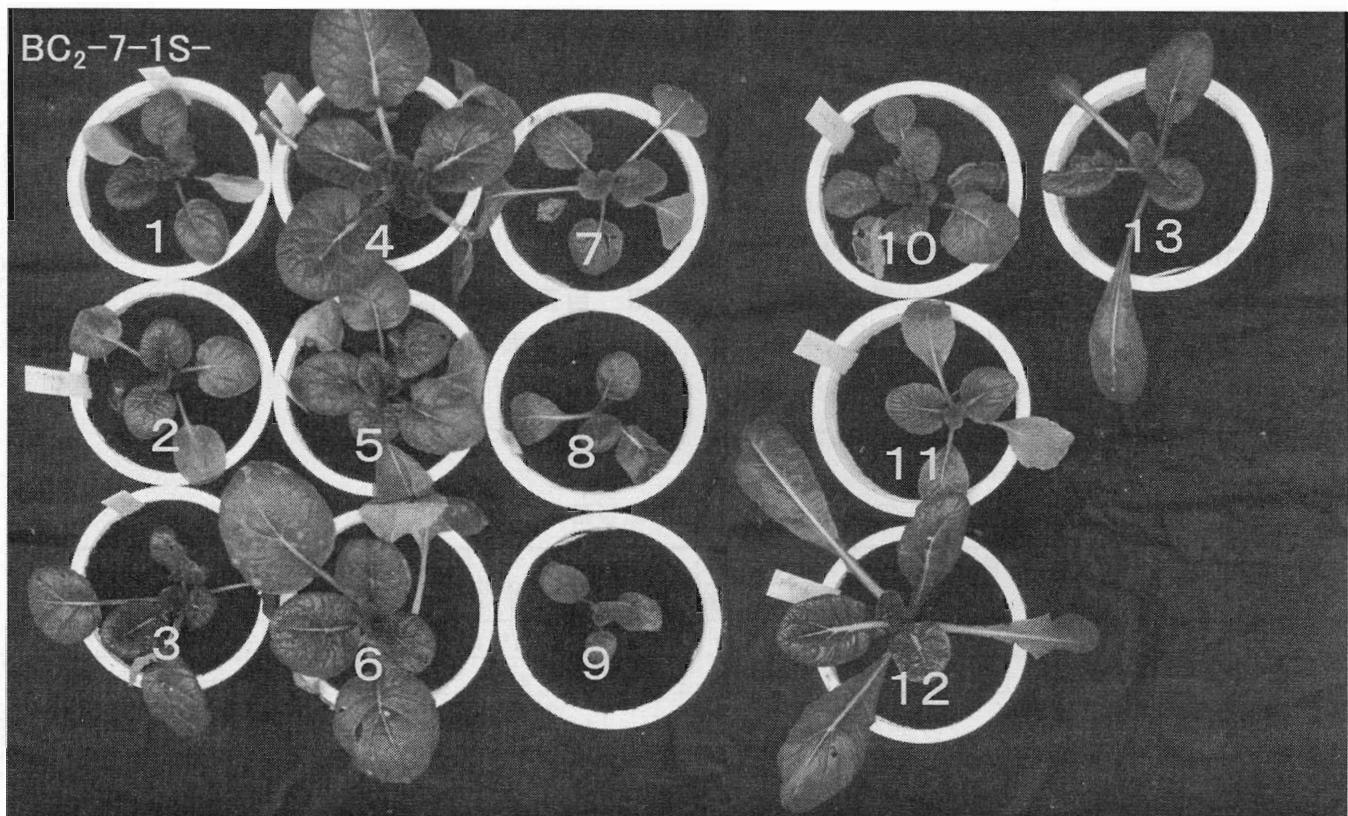
b) 種子稔性は、再生体(♀)にコマツナ等(♂)を交配した際の結実(莢)数/交雫数×100とした。ーは未調査。

c) 新黒: 新黒水菜

表4 戻し交雫第2代(BC<sub>2</sub>)系統の萎黄病検定<sup>a)</sup>

系統	戻し交雫組み合わせ		播種 粒数	発芽 (供試)数	萎黄病検定		
	♀	♂			抵抗性	土	罹病
BC <sub>2</sub> -4-1S	BC <sub>1</sub> -4-1 (F <sub>1</sub> 27×晩生) × さおり		35	4	2	0	2
-5-1S	-5-1 (F <sub>1</sub> 27×大葉) × さおり		37	0	—	—	—
-7-1S	-7-1 (F <sub>1</sub> 27×76S) × さおり		52	41	13	3	25
-7-2S	-7-2 (F <sub>1</sub> 27×76S) × さおり		23	7	5	0	2

a) 1992年9~10月、菌株FB-8-1を3回接種。気温は24~28°Cで推移。東京都農業試験場ガラスハウス内。

図5 戻し交雑第2代の選抜系統(BC<sub>2</sub>-7-1S系)表5 戻し交雑第3代(BC<sub>3</sub>)系統の萎黄病検定<sup>a)</sup>  
および選抜数

戻し交雫組み合わせ		採種・播種粒数	抵抗性	選抜数
♀	♂			
BC <sub>2</sub> -4-1S-1 ×	さおり	58	2	1
-2 ×	さおり	0	0	0
BC <sub>2</sub> -7-1S-1 ×	さおり	7	1	0
-2 ×	さおり	65	4	1
-3 ×	さおり	39	3	1
-4 ×	さおり	89	8	4
-5 ×	さおり	210	13	2
-6 ×	さおり	5	0	0
-7 ×	さおり	5	0	0
-8 ×	さおり	0	0	0
-9 ×	さおり	0	0	0
-10 ×	さおり	3	0	0
-11 ×	さおり	21	0	0
-12 ×	さおり	128	12	0
-13 ×	さおり	890	73	11
BC <sub>2</sub> -7-2S-1 ×	さおり	0	0	0
-2 ×	さおり	2	0	0
-3 ×	さおり	62	0	0
-4 ×	さおり	48	3	0
-5 ×	さおり	0	0	0
計		1632	119	20

a) 1993年7~12月、菌株FB-8-1を9回接種。気温は25~28℃で推移。東京都農業試験場ガラスハウス内。

BC<sub>2</sub>-4-1S系で2個体、7-1Sで13個体、7-2Sで5個体が抵抗性を示し、これら20個体を選抜した(図5)。これらのうち生育の旺盛なものは、2n=25~27の高次異数体であった。

### (3) 戻し交雫第3代(BC<sub>3</sub>)におけるコマツナ型復帰植物の選抜

選抜したBC<sub>2</sub>系20個体と‘さおり’との交雫による採種粒数と萎黄病検定の結果を表5に示した。交雫は、各組み合わせで200~500花について行ったが、採種量が0~数粒程度のものが多かった。採種した種子1,632粒はすべて播種し、萎黄病検定に供した。その結果、119個体(7.3%)が抵抗性を示し、その中から20個体を選抜した。選抜個体の染色体数(2n)は、20~24で、コマツナ型復帰植物(2n=20)は11個体確認された(表6)。花粉母細胞第一分裂中期(MI)の染色体は、コマツナ型復帰植物にあっても、三価などの多価対合や非同調的な染色体分離が観察された(図6)。また、アイソザイム分析では、*B.campestris*に存在しないバンドパターンを示すものがあった。このような現象は、異種ゲノムの遺伝的交換の結果として生じたものと考えられる。一方、染色体の多価対合や非同調分離は、

復帰型植物の遺伝的な不安定さを示唆しており、以後の選抜で考慮する必要があると考えられた。

#### (4) コマツナ型復帰植物の検定交雑

選抜した BC<sub>3</sub> は、感受性品種を戻し交雑しているので、キャベツ由来の萎黄病抵抗性遺伝子をヘテロの状態で保有し、自殖で、抵抗性：感受性=3:1、感受性品種との交雑で同1:1に分離すると考えられた。そこで、自殖または‘さおり’を交雑し、萎黄病検定に供した。萎黄病検定は人工気象室内で行い、菌株接種後の地温は、ほぼ28°Cに保たれた。検

定の結果、4系統で期待値によく適合した(表7)。一方、適合しなかった系統のうち、BC<sub>3</sub>-13は抵抗性個体の割合が多く、主働遺伝子以外の因子の存在が示唆されたが、素材として有望であると考え、これを抵抗性系統として選抜した。

### III. 自家受精による萎黄病抵抗性および実用形質の固定

#### 1. 材料および方法

表6 戻し交雑第3代(BC<sub>3</sub>)の萎黄病検定および形態による選抜個体の遺伝的特徴

BC <sub>3</sub> 個体	親	染色体数 (2n)	アイソザイムバンド <sup>a)</sup>					染色体対合 <sup>b)</sup>	花粉稔性 (%)	形質の特徴	再選抜
			C2	K6	K7	K8	C3				
BC <sub>3</sub> -1	BC <sub>2</sub> -4-1S-1 × さおり	24	—	++	++	++	—	1 <sub>III</sub> +9 <sub>II</sub> +3 <sub>I</sub> 等	46.0	葉色淡	
—2	BC <sub>2</sub> -7-1S-2 × さおり	21	—	+++	±	—	+	10 <sub>II</sub> +1 <sub>I</sub>	64.1		
—3	BC <sub>2</sub> -7-1S-3 × さおり	22	—	++	++	++	—	11 <sub>II</sub> +2 <sub>I</sub> 等	44.5	瘤状根・縮用	
—4		22	—	++	++	++	—	11 <sub>II</sub>	61.7		
—5		23	—	+++	±	—	—	10 <sub>II</sub> +3 <sub>I</sub> 等	16.3	瘤状根・葉色淡	
—6	BC <sub>2</sub> -7-1S-4 × さおり	20	—	+++	—	—	—	1 <sub>III</sub> +8 <sub>II</sub> +1 <sub>I</sub> 等	54.2	葉色濃	(○)
—7		24	—	++	±	++	++	10 <sub>II</sub> +4 <sub>I</sub> 等	35.3	瘤状根・葉色濃	
—8	BC <sub>2</sub> -7-1S-5 × さおり	21	—	++	++	++	—	10 <sub>II</sub> +1 <sub>I</sub> 等	90.6	瘤状根	
—9		22	—	++	++	++	—	10 <sub>II</sub> +2 <sub>I</sub>	98.4		
—10		20	—	+++	±	—	±	10 <sub>II</sub>	99.6	自殖後代発芽不良	(○)
—11		20	—	++	±	—	—	10 <sub>II</sub>	99.3		○
—12		20	—	++	++	++	—	10 <sub>II</sub>	99.8		○
—13		20	—	++	++	++	—	10 <sub>II</sub>	99.8		○
—14		20	—	++	+	—	—	10 <sub>II</sub>	98.9		○
—15	BC <sub>2</sub> -7-1S-12 × さおり	20	—	++	++	++	—	2 <sub>III</sub> +7 <sub>II</sub> 等	98.9		(○)
—16		20	—	++	++	++	±	10 <sub>II</sub>	99.3		○
—17		20	—	++	++	++	—	10 <sub>II</sub>	98.2	葉色濃	○
—18		21	—	++	++	++	—	10 <sub>II</sub> +1 <sub>I</sub>	98.7		
—19		20	—	++	++	++	—	10 <sub>II</sub>	98.9	晚抽性	(○)
—20		20	—	++	++	++	—	—	—	晚抽性・生育遅延	(○)

a) 酸性 fosfataーゼアイソザイムの電気泳動で、C2～3はキャベツ特有のバンド、K6～8はコマツナ特有のバンド(図2参照)。'new'は新規バンド。

b) 出現頻度の多い染色体配置を示す。—は未調査。

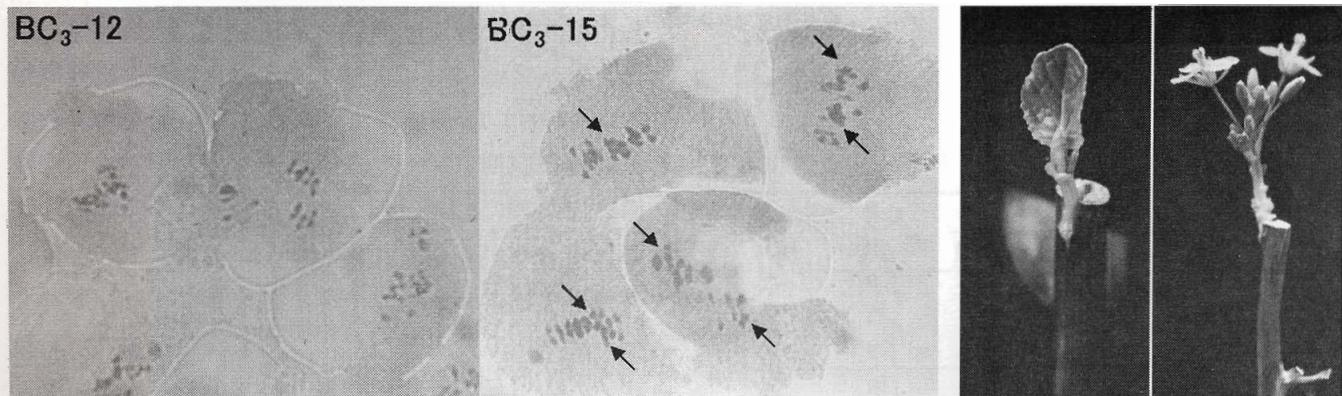


図6 コマツナ型復帰植物(BC<sub>3</sub>, 2n=20)の花粉母細胞成熟分裂(MI)  
写真左:二価染色体、写真右:多価染色体(矢印)

図7 抽だい株(花茎)への接木による  
穂木の開花促進

萎黄病抵抗性系統として選抜した BC<sub>3</sub>-13 について、1994年より自殖を行い、抵抗性や諸形質の遺伝的固定を進めた。交雑は、前述の方法に従い、自殖第1代(S<sub>1</sub>BC<sub>3</sub>)以降は、後代検定を中心にして選抜を進めた。

萎黄病検定は、菌株 FB957SF（東京都農業試験場所属）を用い、前述の方法で実施した。

栽培試験は、自殖第2代で1999年8月4日播種、自殖第3代で2000年9月4日播種とし、ガラスハウスまたはパイプハウスによる施設栽培とした。ハウスの被覆資材は農業用ポリオレフィン系フィルムでしたが、試験によっては、紫外線除去率の高い紫外線カットフィルム（紫外線強度で約7%の透過率）を用いた。栽植密度は、株間4cm、条間15cm、施肥は三要素成分量で各1.0kg/aとした。その他の栽培管理は慣行に準じた。

根こぶ病検定は、東京都内の根こぶ病発生圃場（露地）に、1999年10月12日、自殖第2代の種子を播種し、慣行的な栽培法によって実施した。

## 2. 結果および考察

### (1) 萎黄病抵抗性の遺伝的固定系統の選抜

抵抗性固定系統を選抜するため、自殖第2代(S<sub>2</sub>BC<sub>3</sub>)を用い、その自殖世代および‘さおり’との交雑によって得た世代を、1999年に播種して萎黄病検定に供した。

S<sub>2</sub>BC<sub>3</sub>の自殖後代における萎黄病検定の結果を表8に示した。検定では、市販の抵抗性品種‘なをみ小松菜、ひとみ小松菜’（（株）トーホク、以下それぞれ‘なをみ、ひとみ’と表記）の発病率が15%以上となる一方で、育成系統の発病率は総じて低かった。発病が無いか、あっても極めて程度の軽い系統は、S<sub>2</sub>BC<sub>3</sub>の後代における分離がなく、萎黄病抵抗性が遺伝的に固定したものと見なされた。

次に、‘さおり’との交雑後代の検定結果を表9に示した。平均地温が34°Cと高く推移したため、対照の‘なをみ’で発病率70%以上、発病度45、‘ひとみ’で発病率100%，発病度70以上となった。その中で、市販の抵抗性品種よりも発病の少ない系統

表7 BC<sub>3</sub>の萎黄病抵抗性についての検定交雑<sup>a)</sup>

交雫組み合わせ	被検定数	萎黄病検定 <sup>b)</sup>			$\chi^2$	P	評価 <sup>c)</sup>
		抵抗性	発病	期待値			
♀	♂						
BC <sub>3</sub> -10 × さおり	122	66	:	56	1:1	0.82	0.5 - 0.3 ○
BC <sub>3</sub> -11 × さおり	99	31	:	68	1:1	13.83	0.001 >
BC <sub>3</sub> -11 × BC <sub>3</sub> -11	95	68	:	27	3:1	0.59	0.5 - 0.3
BC <sub>3</sub> -12 × さおり	98	38	:	60	1:1	4.94	0.05 - 0.02
BC <sub>3</sub> -12 × BC <sub>3</sub> -12	100	72	:	28	3:1	0.48	0.5 - 0.3
BC <sub>3</sub> -13 × さおり	99	62	:	37	1:1	6.31	0.02 - 0.01 ●
BC <sub>3</sub> -13 × BC <sub>3</sub> -13	176	150	:	26	3:1	9.8	0.01 - 0.001
BC <sub>3</sub> -14 × さおり	100	60	:	40	1:1	4.0	0.05 - 0.02
BC <sub>3</sub> -14 × BC <sub>3</sub> -14	99	64	:	35	3:1	5.66	0.02 - 0.01
BC <sub>3</sub> -15 × さおり	100	55	:	45	1:1	1.0	0.5 - 0.3
BC <sub>3</sub> -15 × BC <sub>3</sub> -15	100	59	:	41	3:1	13.7	0.001 >
BC <sub>3</sub> -16 × さおり	100	49	:	51	1:1	0.02	0.9 - 0.8
さおり × BC <sub>3</sub> -16	28	15	:	13	1:1	0.14	0.8 - 0.7 ○
BC <sub>3</sub> -16 × BC <sub>3</sub> -16	28	19	:	9	3:1	2.29	0.2 - 0.1
BC <sub>3</sub> -17 × さおり	127	67	:	60	1:1	0.11	0.8 - 0.7 ○
BC <sub>3</sub> -17 × BC <sub>3</sub> -17	5	4	:	1	3:1	0.2	0.7 - 0.5
BC <sub>3</sub> -18 × さおり	30	10	:	20	1:1	3.3	0.1 - 0.05
BC <sub>3</sub> -18 × BC <sub>3</sub> -18	30	22	:	8	3:1	0.13	0.8 - 0.7
BC <sub>3</sub> -19 × さおり	34	16	:	18	1:1	0.12	0.8 - 0.7 ○
BC <sub>3</sub> -19 × BC <sub>3</sub> -19	14	9	:	5	3:1	2.57	0.2 - 0.1
対照(さおり)	99	0	:	99			

a) 1994年、東京都農業試験場人工気象室内で検定。

b) 萎黄病菌(FB-8-1)接種後の地温は、ほぼ28°Cで推移。萎黄病感受性品種‘さおり’が100%発病した時点での調査を実施。

c) ○:期待値に適合するもの。●:期待値に適合しないが抵抗性が強いもの

( $S_2BC_3$ -13-8-8, 10, 15, 18)は、片親として用いた場合にも実用的な抵抗性を発揮すると考えられた。

## (2) 生育特性

同上の自殖第2代の種子をガラスハウス内に播種(1999年8月4日)し、8月31日に生育・形態等の特性を検討した(表10)。育成系統の生育は緩やかで、草姿はやや開張性であった。葉色は濃い方であつたが、一部に軽微なクロロシスが認められ、光沢はやや少なかった。葉の凹凸や湾曲も認められた。一方、下胚軸や節間は徒長せず、株元が整っていた。一般に、萎黄病に強い市販品種は、根系が強くなる傾向であったが、育成系統の根は細く、細根が少ないので抜き取り易く、土の付着が少なかった。夏まき用品種に求められる条件をすべて満たす系統は見あたらなかつたが、品質に影響する主要な形質である胚軸・節間長、葉色、草姿を検討した結果、

$S_2BC_3$ -13-8-7, 17, 18が有望と判断された。

## (3) 根こぶ病検定

自殖第2代の根こぶ病発生状況を1999年12月15日に調査した。市販品種では、「河北」で発病が認められなかつたが、「夏楽天」ほか3品種は、発病株率5%以上、発病度5程度となつた(表11)。育成系統では、萎黄病抵抗性の優れる $S_2BC_3$ -13-8-10で発病が認められたのに対し、 $S_2BC_3$ -13-8-17, 18では認められなかつた。育成系統での発病の様子や $S_1BC_3$ -13-11×「夏楽天」が発病しなかつたことなどから、 $S_2BC_3$ -13-8-17, 18は、根こぶ病に対する一定の抵抗性をホモの状態で保有すると考えられた。なお、本根こぶ病のレース確認やその後の検定は行つていない。

## (4) 自殖による純系の育成

以上の萎黄病検定、生育特性、根こぶ病検定の結果を総合すると、 $S_2BC_3$ -13-8-18が有望と考えられ

表8 自殖第2代( $S_2BC_3$ )の遺伝的固定係数の選抜<sup>a)</sup>  
( $S_2BC_3$ の自殖後代における抵抗性の分離)

系統・品種	交雑組み合わせ	発病株率		発病度	遺伝的固定
		%	%		
$S_2BC_3$ -13-8-(♀)					
1	自殖	44.4	22.2	35.4	×
2	自殖	7.8	3.8	6.4	
3	自殖	3.7	0.0	2.5	○
4	自殖	17.9	3.6	13.1	×
6	自殖	11.1	3.7	8.6	×
7	自殖	6.9	0.0	3.4	○
8	自殖	0.0	0.0	0.0	◎
9	自殖	3.4	3.4	3.4	○
10	自殖	0.0	0.0	0.0	◎
11	自殖	13.8	13.8	13.8	×
12	自殖	38.5	11.5	25.6	×
13	自殖	10.7	3.6	8.3	×
14	自殖	3.4	3.4	3.4	○
15	自殖	3.7	3.7	3.7	○
17	自殖	0.0	0.0	0.0	◎
18	自殖	6.7	0.0	3.3	○
(対照品種)					
さおり		100.0	78.5	91.6	
わかみ		85.0	5.0	56.7	
よかつた菜		78.9	42.1	64.9	
浜美2号		73.7	15.8	47.4	
極楽天		30.0	10.0	20.0	
なをみ(YR)		23.5	0.0	15.7	
ひとみ(YR)		15.0	5.0	11.7	

a) 1999年6月菌株(FB957SF)接種、7月21日調査。発病度=Σ{〔階級値×該当数〕/(3×調査数)}×100。階級値0(無発病)～3(激しい萎凋・枯死)。菌株接種後の地温は25～32℃。(東京都農業試験場江戸川分場ガラスハウス内)

たが、萎黄病抵抗性が特に優れる S<sub>2</sub>BC<sub>3</sub>-13-8-10 も併せて選抜した。

2000年9月に、S<sub>2</sub>BC<sub>3</sub>-13-8-18 の次代、S<sub>3</sub>BC<sub>3</sub>-46 を供試し、紫外線カットフィルム被覆下での生育特性を検討した（表12）。なお、対照品種はすべて F<sub>1</sub> 品種である。その結果、S<sub>3</sub>BC<sub>3</sub>-46 は、夏まきや紫外線透過率の低い栽培条件で問題となる下胚軸・節間の徒長、葉身/葉長比の低下（葉柄の徒長）、葉色低下はいずれも小さく、S<sub>2</sub>BC<sub>3</sub>-13-8-18 の特性が引き継がれていると考えられた。また、形態の分離も少なく、固定化の進んだことが明らかになった。

#### IV. 組み合わせ能力検定による‘YR江戸川’の選抜と F<sub>1</sub> 品種‘01試交12’の育成

##### 1. 材料および方法

組み合わせ能力の高い S<sub>4</sub>BC<sub>3</sub> 系統の選抜を図るために、2001年の春に、S<sub>2</sub>BC<sub>3</sub>-13-8-10, 18 に由来する S<sub>4</sub>BC<sub>3</sub> 世代 25 系統と市販品種の自殖後代から選

拔した HT-S<sub>4</sub> 系 3 系統との間で、52 組み合わせの交雑を行った。なお、HT-S<sub>4</sub> 系統の育成は次の方法によった。すなわち、1999年5月に、市販品種‘ひとみ’の自殖を行い、以後、幼苗期に葉色および胚軸・節間長を検討して S<sub>1</sub> 系統を選抜し、その選抜実生を、低温処理により事前に抽だいさせておいた別株に接木することによって開花を早め世代を進めた（図7）。これと並行して、後代検定により草姿や葉面の平滑さについて検討した。これらを反復することで、2001年1月までに自殖第4代を選抜育成した。HT-S<sub>4</sub> 系統については、S<sub>4</sub>BC<sub>3</sub> との交雫に際しても、接ぎ木による開花促進法を用いた。

組み合わせ能力検定は、2001年6月15日播種（ハウス栽培）、7月12日および7月17日調査とした。栽培管理は慣行法に従った。さらに、組み合わせ検定によって有望と考えられた試交品種を、同年9月14日、紫外線カットフィルムを被覆したハウス内に播種し、10月11日に生育特性を調査した。

表9 自殖第2(S<sub>2</sub>BC<sub>3</sub>) × ‘さおり小松菜’の後代における萎黄病検定<sup>a)</sup>

系統・品種	交雫組み合 わせ		発病株率	激発株率	発病度	評価
S <sub>2</sub> BC <sub>3</sub> -13-8-	(♀)	(♂)	%	%		
1	×	さおり	100	89.5	89.5	
2	×	さおり	95.8	75.0	81.1	
3	×	さおり	95.2	71.4	80.4	
4	×	さおり	100	75.0	81.3	
6	×	さおり	90.4	57.1	71.4	
7	×	さおり	95.8	58.3	75.0	
8	×	さおり	76.7	33.3	50.8	○
9	×	さおり	89.7	41.4	65.9	
10	×	さおり	65.5	13.8	36.6	◎
11	×	さおり	100	52.4	74.4	
12	×	さおり	96.4	75.0	81.7	
13	×	さおり	90.0	56.7	67.5	
14	×	さおり	92.9	42.9	61.6	
15	×	さおり	84.2	36.8	57.9	○
17	×	さおり	96.7	63.3	75.8	
18	×	さおり	82.8	31.0	56.9	○

(対照品種・交雫)				
さおり		100	97.9	93.4
浜美2号		100	86.7	89.6
なをみ(YR)		72.4	26.7	45.0
ひとみ(YR)		100	65.5	76.7
ひとみ	×	ひとみ	96.4	53.6
ひとみ	×	さおり	100	86.2
				86.6

a) 1999年7月菌株(FB957SF)接種、8月25日調査。発病度 =  $\Sigma$  ((階級値 × 該当数) / (4 × 調査数)) × 100。階級値0(無発病)～4(枯死)。

菌株接種後の地温は27～37°C。(東京都農業試験場江戸川分場ガラスハウス内)

表10 自殖第2代( $S_2BC_3$ -13-8)系統における生育特性<sup>a)</sup>

系統	草丈 (cm)	株重 (g)	胚軸+節間長 (cm)	根重 (g)	葉数 (枚)	葉身率 (%)	葉形	葉色 <sup>b)</sup> ヤヤ長	葉の光沢 <sup>c)</sup> 5	葉面凹凸 <sup>d)</sup> 2	葉の湾曲 <sup>e)</sup> 3	草姿 <sup>f)</sup>	評価
$S_2BC_3$ -13-8-1	22.8	12.6	3.1	0.18	6.9	48	ヤヤ長	5	2	3	4	2	
-2	26.0	16.7	2.7	0.18	7.4	50	丸	4	2	2	4	2	
-3	23.4	15.8	2.5	0.19	7.7	55	ヤヤ長	4	2	3	4	3	
-4	24.2	14.8	2.7	0.15	8.0	52	ヤヤ長	4	2	2.5	3	2	
-6	23.6	13.9	2.4	0.16	7.9	51	丸	3	2	4	4	1	
-7	24.5	18.3	1.5	0.24	7.4	54	ヤヤ長	4	3	4	3	2	○
-8	24.1	16.8	2.1	0.19	8.3	53	丸	2	2	3.5	4	1.5	
-9	25.4	15.4	2.4	0.18	7.4	50	ヤヤ長	3	2	3	3	2	
-10	22.4	12.4	2.2	0.14	7.6	46	ヤヤ長	2	2	3	2	2	2
-11	23.8	14.2	2.4	0.14	7.1	52	丸	4	2	2	4	2	
-12	22.6	14.7	2.7	0.21	7.6	51	丸	4	2	1	4	1	
-13	23.6	12.7	2.6	0.18	6.6	53	丸	4	4	2	3	1	
-14	23.1	13.6	2.4	0.18	7.8	50	ヤヤ長	3	2	3.5	3	2	
-15	24.0	16.4	2.4	0.18	8.5	52	丸	2	2	3	4.5	1	
-17	23.1	15.1	2.6	0.16	7.8	50	ヤヤ長	4	3	3.5	2	3	○
-18	23.6	14.2	1.9	0.16	7.8	50	ヤヤ長	4	2	3.5	3	2.5	○
(対照品種)													
さおり	26.1	16.5	3.7	0.18	7.3	43	丸	3	3	3.5	4	2	
あゆみ	27.9	21.1	4.8	0.26	7.4	47	丸	3	4	3.5	3	3	
ひとみ	23.3	13.0	3.8	0.23	7.5	44	ヤヤ長	5	4	5	3	5	
夏楽天	26.8	14.1	3.3	0.26	6.5	50	ヤヤ長	2	3	4	3	5	
浜美2号	25.6	17.8	3.3	0.24	7.5	49	丸	4	2	4	4	3	

a) 1999年8月4日播種、8月31日調査。東京都農業試験場江戸川分場パイプハウス内。

b) 葉色濃(5)～淡(1), c) 光沢有(5)～無(1), d) 凹凸無(5)～有(1), e) 湾曲無(5)～有(1), f) 立性(5)～開張性(1)

表11 選抜系統  $S_2BC_3$  の根こぶ病検定<sup>a)</sup>

系統・品種	調査 株数	階級値 <sup>b)</sup>				発病率 (%)	発病度 <sup>c)</sup>
		0	1	2	3		
		(該当数)		(%)			
$S_2BC_3$ -13-8-10	35	34	1	0	0	2.9	1.0
-17	35	35	0	0	0	0.0	0.0
-18	35	35	0	0	0	0.0	0.0
夏楽天	35	33	0	0	2	5.7	5.7
さおり	35	33	0	1	1	5.7	4.8
なをみ	35	33	0	1	1	5.7	4.8
わかみ	35	32	0	2	1	8.6	6.7
CR河北	35	35	0	0	0	0.0	0.0
$S_1BC_3$ -13-11×夏楽天	35	35	0	0	0	0.0	0.0

a) 1999年10月12日播種、12月15日調査。東京都内根こぶ病発生圃場。

b) 階級値0(根瘤無)～1(根瘤小)～2(根瘤中)～3(根瘤大)。

c) 発病度=Σ{(階級値×該当数)/(3×調査数)}×100。

表12 紫外線カットフィルム被覆下<sup>a)</sup>のハウス栽培におけるS<sub>3</sub>BC<sub>3</sub>46の生育<sup>b)</sup>

品種・系統	草丈 (cm)	株重 (g)	下胚軸 長 <sup>c)</sup> (cm)	節間長 <sup>d)</sup> (cm)	葉数 (枚)	葉身/葉 長(%)	葉幅/葉 身(%)	葉色 <sup>e)</sup>
彩 夏	20.9	10.8	1.5	0.8	5.6	50.2	79.2	43.4
さおり	23.3	14.2	2.1	0.8	6.1	50.0	79.5	39.9
夏楽天	23.8	11.3	2.4	1.0	5.2	56.3	68.5	36.0
小 鉄	23.4	18.8	2.2	1.2	6.9	53.4	75.0	50.4
なっちゃん	21.8	14.5	1.1	0.6	5.9	53.6	75.0	46.5
なをみ	24.5	12.6	2.0	1.0	5.4	50.8	79.3	38.0
浜ちゃん	23.3	20.3	1.7	0.9	6.9	54.9	78.0	50.1
浜美2号	25.0	14.8	1.1	1.1	5.8	51.0	77.2	42.6
ひとみ	23.4	12.0	1.7	1.4	6.1	50.0	67.0	44.7
よかつた菜	25.5	21.2	1.9	0.7	6.9	49.8	79.0	40.2
わかみ	26.1	23.1	1.0	1.2	7.1	50.8	78.7	40.6
S <sub>3</sub> BC <sub>3</sub> 46	20.5	12.0	0.9	0.6	6.3	57.7	69.0	45.2

a) 紫外線透過率約7%

b) 2000年9月4日播種、調査日：彩夏・さおり・夏楽天(9/26)、小鉄・なっちゃん・なをみ・CM-1(9/28)、浜美2号・ひとみ・よかつた菜・わかみ・S3BC346(9/29)

c) 茎の子葉の着位から根(細根)の着位までの長さ

d) 茎の子葉の着位から最上位の節位までの長さ

e) ミノルタ葉緑素計SPAD-502による測定値。

表13 コマツナ育成系統の組み合わせ能力検定<sup>a)</sup>

系統・品種	組み合わせ	草丈 (cm)	株重 (cm)	下胚軸 長(cm) <sup>b)</sup>	節間長 (cm) <sup>c)</sup>	葉数 (枚)	葉身/葉 長(%)	葉幅/葉 身(%)	葉色 <sup>d)</sup>	根重 (g)
<b>7月12日調査</b>										
01試交8	EC23-1×HT4-11	22.3	17.6	1.5	0.6	8.8	0.45	0.73	51.8	0.32
01試交9	EC23-1×HT4-12	21.9	20.1	1.5	0.6	8.7	0.53	0.74	54.7	0.47
01試交10	EC23-1×HT5-11	22.4	18.0	1.9	0.6	7.9	0.50	0.72	56.0	0.39
01試交11	EC25-1×HT4-11	20.9	15.3	1.4	0.5	8.4	0.48	0.73	54.7	0.29
01試交12	EC25-1×HT4-12	20.5	12.8	1.3	0.6	7.7	0.51	0.71	54.5	0.31
01試交13	EC25-1×HT5-11	21.8	15.6	1.3	0.7	7.9	0.51	0.63	53.6	0.38
01試交14	EC26-5×HT4-11	18.5	14.4	2.0	0.6	8.5	0.52	0.71	58.7	0.29
01試交15	EC26-5×HT4-12	21.0	16.1	1.9	0.8	8.4	0.50	0.69	59.0	0.30
01試交16	EC26-5×HT5-11	24.4	19.3	2.0	1.1	8.5	0.48	0.63	55.2	0.30
夏楽天		24.3	16.2	2.2	0.9	6.8	0.54	0.59	50.4	0.27
ひとみ		21.2	13.5	2.0	1.0	7.4	0.50	0.64	55.6	0.26
彩夏		22.2	19.5	2.2	1.0	8.3	0.49	0.72	56.9	0.29
よかつた菜		19.1	12.7	1.9	0.5	6.7	0.47	0.80	58.6	0.34
<b>7月17日調査</b>										
01試交11	EC25-1×HT4-11	24.2	24.2	0.9	0.7	9.3	0.50	0.65	58.2	0.58
01試交12	EC25-1×HT4-12	23.6	22.1	1.0	0.7	9.3	0.49	0.64	55.6	0.70
01試交13	EC25-1×HT5-11	25.2	27.6	0.9	0.7	9.4	0.51	0.56	54.3	0.75
01試交14	EC26-5×HT4-11	20.1	25.4	1.6	0.6	9.8	0.56	0.68	57.3	0.67
01試交15	EC26-5×HT4-12	23.3	28.7	2.0	0.8	10.8	0.52	0.65	59.1	0.68
01試交16	EC26-5×HT5-11	25.8	27.1	2.0	1.3	10.1	0.49	0.63	53.2	0.50
ひとみ		25.1	20.8	1.3	1.3	8.4	0.47	0.62	56.8	0.40
彩夏		25.1	24.4	2.9	1.3	9.2	0.47	0.66	59.3	0.32

a) 2001年6月15日播種、東京都農業試験場江戸川分場パイプハウス内。

b)～d) 表12と同じ。

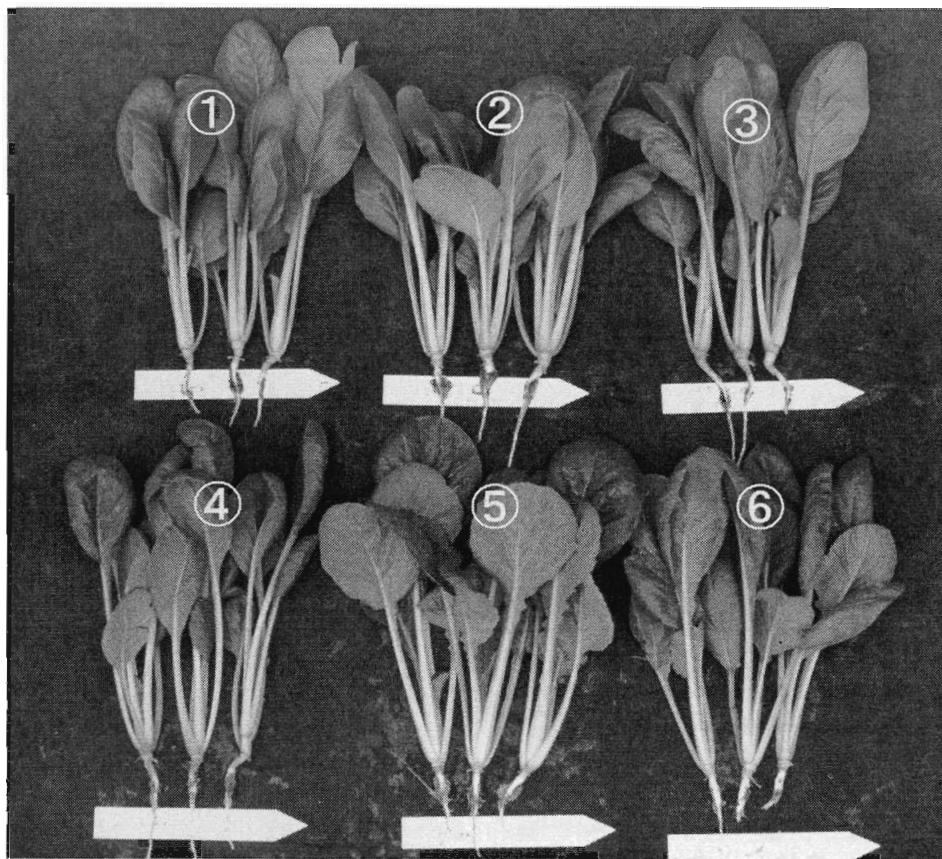


図8 育成品種及び主要品種の草姿 (ハウス栽培, 2001年6月15日播種, 7月17日撮影)

①浜ちゃん, ②01試交12, ③彩夏, ④ひとみ, ⑤なっちゃん, ⑥浜美2号

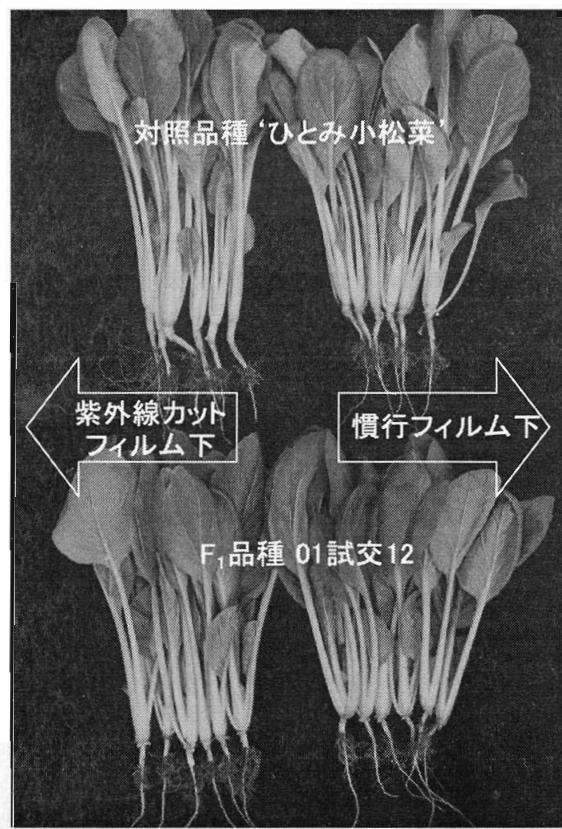


図9 01試交12および対象品種の紫外線カットフィルム下での生育  
(2001年9月14播種, 10月11日撮影)

## 2. 結果および考察

### (1)組み合わせ能力検定と試交品種の特性

52の交雑組み合わせのうち,  $S_2BC_3-13-8-10$  の後代系統を交雑したものは、草姿や葉の形状からみて、明らかに夏まきに向かないと判断されたため、調査は、 $S_2BC_3-13-8-18$  に由来する3系統(EC23-1, 25-1, 26-5)とHT-S<sub>4</sub>系3系統(HT-S<sub>4</sub> 4-11, 4-12, 5-11)との交雑組み合わせについて行った(表13)。

このうち、EC23-1を用いた組み合わせでは、葉数が多く株張りが良好であったが、葉幅が広く、細根が多いなどの欠点があった。EC26-5によるものでは、葉色が濃くなる長所があるものの、下胚軸や節間が長くなる欠点が認められた。そのため、 $S_4BC_3$ の3系統の中では、問題点の少ないEC25-1が有望と考えられた。一方、HT-S<sub>4</sub>系を検討したところ、5-11では下胚軸や節間が長くなった。さらにHT4-11と4-12とを比較すると、前者では、株張りが良好になる反面、葉がやや開き気味となる欠点があるため、HT4-12が有望と判断された。EC25-1と

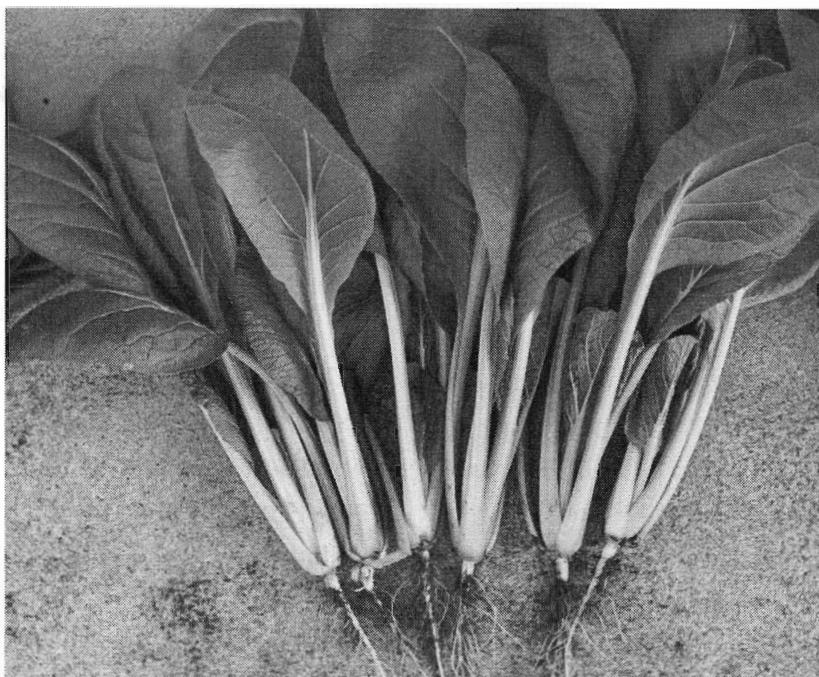


図10 コマツナ交配母本‘YR江戸川’(EC25-1)

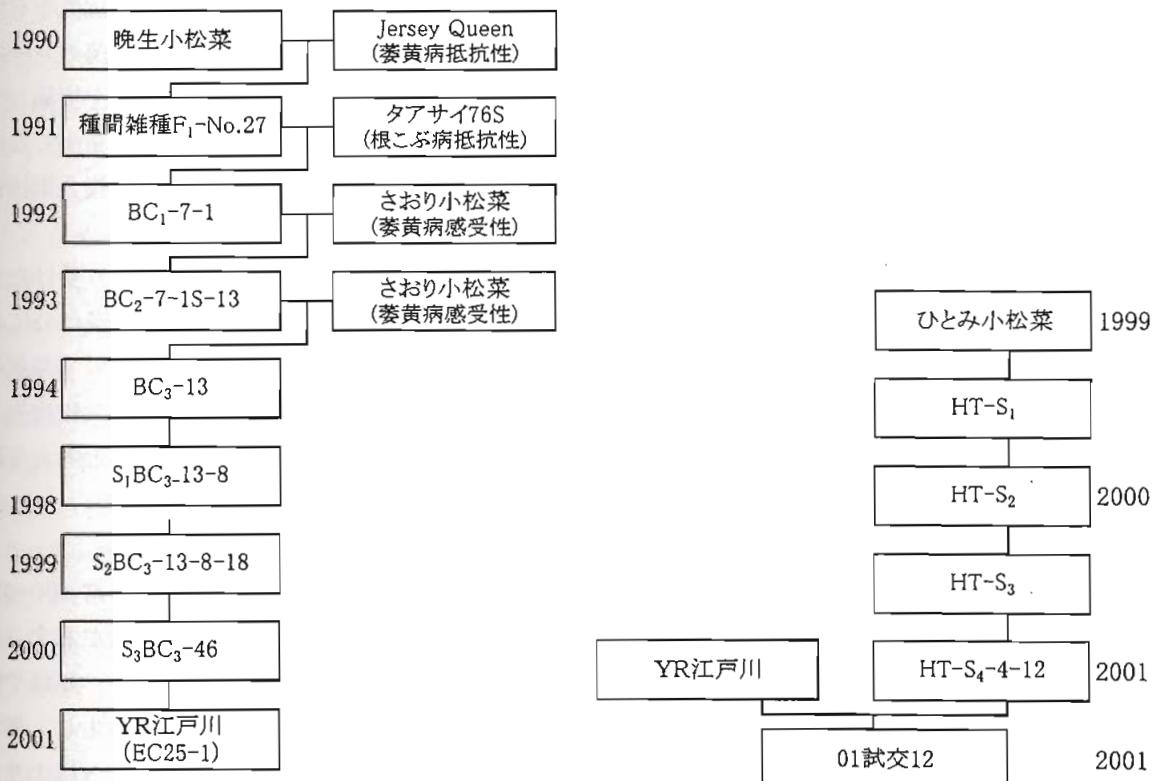


図11 ‘YR江戸川’の育成系統図

図12 F<sub>1</sub>品種‘01試交12’の育成系統図

表14 '01試交02'の紫外線カットフィルム被覆下での生育<sup>b)</sup>

系統・品種	草丈 (cm)	株重 (g)	下胚軸長 <sup>b)</sup> (cm)	節間長 <sup>c)</sup> (cm)	葉数 (枚)	葉身/葉長 (%)	葉幅/葉身 (%)	葉色 <sup>d)</sup>	根重 (g)
<b>紫外線カットフィルム被覆下</b>									
01試交12	22.6	12.3	1.4	0.6	5.7	0.51	0.68	38.5	0.25
ひとみ(対照)	24.8	10.3	1.9	1.7	5.0	0.44	0.66	39.6	0.23
<b>対照フィルム被覆下</b>									
01試交12	22.2	14.3	0.8	0.6	6.2	0.51	0.73	39.6	0.21
ひとみ(対照)	22.5	10.9	1.5	1.1	5.7	0.46	0.70	40.1	0.17

a) 2001年9月14日播種、10月11日調査。東京都農業試験場江戸川分場パイプハウス内。

b)～d) 表12と同じ。

HT4-12 の交雑による 01 試交 12 の草姿を図 8 に示した。

次に、01 試交 12 を用い、紫外線カットフィルム被覆下における生育特性を検討した(表 14、図 9)。下胚軸や節間は、対照品種に較べて徒長しにくく、株張りや株重が良好であった。また、葉色はやや淡く、根量が幾分多かったが、これらの特性は実用上問題のない程度と考えられた。このことから、01 試交 12 は、夏まきや紫外線カットフィルム利用のハウス栽培に適すると考えられた。

#### (2) 交配母本 'YR 江戸川' および F<sub>1</sub> 品種 '01 試交 12' の品種登録

以上の結果を踏まえ、萎黄病抵抗性で交配母本としての能力が実証された EC25-1 を選抜した。さらに、ミツバチやハナアブが訪花する条件下で自家受精しないことを確認し、EC25-1 を 'YR 江戸川' と命名して、2003 年 5 月に農林水産省へ品種登録申請した(図 10, 11)。一方、01 試交 12 についても一定の実用性が確認されたため、同年 7 月に品種登録を出願した(図 12)。

## V. 総合考察

### 1. 'YR 江戸川' の萎黄病抵抗性

コマツナでは、民間種苗メーカーによる萎黄病抵抗性品種や耐性品種が開発されている。これらは、自殖後代で萎黄病発病率が低くなることから(表 9)，量的な遺伝子が関与しているものと推察される。これに対し、'YR 江戸川' の抵抗性は、ほぼ、単一の優性遺伝子によって支配されていると考えられ、抵抗性の程度も高度であることから、新素材としての活用が期待される。一方、コマツナと同じ

*B.campestris* に属するハクサイで、単一の優性遺伝子による抵抗性が報告されているが(野村・石井、1989b)，キャベツ type A 抵抗性との関係について、今後、解明が望まれる。

なお、長年にわたって安定した抵抗性を発揮してきたキャベツ type A 抵抗性を侵す新レースが、アメリカで報告されている(Ramirez-Villupadua, 1985)。我が国では、新レースによる被害の報告は無いが、今後の動向に注意を要する。

### 2. 'YR 江戸川' の根こぶ病抵抗性

'YR 江戸川' は、その育成過程で実施した根こぶ病検定の結果から、同病に対する抵抗性を有することが認められた。しかし、根こぶ病菌のレース判定を行っていないこと、その後の検定を実施していないこと、夏まき栽培では根こぶ病が発生しないことなどの理由により、「YR 江戸川」を複合抵抗性品種としては標記しなかった。

なお、長野県野菜花き試験場から譲り受けたタアサイ '76S' については、その育成経過は公にされていないが、タアサイ '長・野交 14 号'(芹沢ら、1994) と同様に、欧州カブ 'Gelria R' に由来する根こぶ病抵抗性が導入されているものと考えられる。

### 3. 'YR 江戸川' の形態的特性

東京都では、根付きの結束出荷(通常 400~500g/束)が行われており、荷姿は商品性を左右する重要な項目になっている。夏まき栽培では、胚軸や節間の徒長による株元の曲がり・不揃いが生じ、葉色は淡くなり易い。また、生育が早まるこことにより、収穫適期を逃す場合がある。「YR 江戸川」は、胚軸や節間が徒長しにくく、葉色が濃く、生育が緩やかな

どの夏まきに適した特長を有している。さらに、本品種は、細根が少ないために、荷姿が優れるとともに、根部の土落ちの良さが長所である。

一方、欠点は、栽培条件によって、葉の湾曲や縮れがみられることや、現在の主要品種と比較して草姿が開張気味になることである。湾曲した葉や開張した葉は、抜き取りの際に互いに絡み合い、収穫・結束作業をしづらくするためである。

以上のことから、本品種を交配親として利用する場合には、徒長のしにくさや細根量が少ないとなどの優れた特性を維持しながら、草姿や葉の形状が改善されるような母本の組み合わせに配慮することが必要である。

#### 4. ‘YR 江戸川’の交雑不和合性

合成ナップスでは、*B. oleracea* 種の外部形質ばかりではなく、不和合性も引き継がれること（皿島・生井、1979）や、自殖稔性の低いこと（岩佐・徳増、1979）が報告されているが、本研究で作出した複二倍体 (F<sub>1</sub>-No.16, 27) は、戻し交雑や自殖で十分に種子が得られている。

一方、BC<sub>3</sub> (2n=20) 世代以後の自殖においては、系統により程度の差はあったが、蕾受粉や兄弟株間の交雫によっても採種が容易でなかった。事実、BC<sub>3</sub> から S<sub>2</sub>BC<sub>3</sub> 世代を育成するまでに 4 年を要した。ところが、2001～2002 年に、‘01 試交 12’の採種を目的として、マルハナバチを放ったところ、‘YR 江戸川’の自殖種子が 20% 程度と、高い割合で混入した。これは、限定訪花性や雌蕊を噛むなどの習性を持つマルハナバチによって、柱頭一花粉間の不和合性機構を低下させる柱頭切除および強制受精に類似した現象が発生したためと考えられた。このことから、自家不和合性を打破する種々の方法（日向・西尾、1979）を併用することで、自殖種子の採種性を高められる可能性がある。

なお、‘YR 江戸川’は純系化を図っているが、採種の際には、兄弟株間における不和合性の確認が不可欠である。

#### 5. ‘01 試交 12’の特性

交配母本の特性を把握するためには、組み合わせ能力検定は不可欠である。‘01 試交 12’は、そうし

た組み合わせ能力検定の過程で作出された試交品種であるが、紫外線カットフィルム被覆下の夏まきのハウス栽培において、軟弱徒長しにくく、品質が優れると判断されたため、実用化に向けた検討を開始した。ただし、今後、「YR 江戸川」を民間の種苗メーカーに育種素材として委ねることで、より優れた F<sub>1</sub> 品種の開発が期待されることから、本品種は、それまでの中継ぎ的な役割を想定している。

なお、‘01 試交 12’の萎黄病抵抗性については、市販抵抗性品種の発病率が 100% となった条件下でも発病が認められず、高度な抵抗性を発揮することが確認されている（竹内、2002, 未発表）。「ひとみ」の自殖世代で萎黄病抵抗性が高まるように（表 9），自殖第 4 代の HT4-12 は‘ひとみ’の抵抗性因子が集積していると考えられることから、その交雫種である‘01 試交 12’は、複合的な萎黄病抵抗性素材としての用途も期待できる。

#### 6. 複二倍体 F<sub>1</sub> を用いた形質導入ならびに単ゲノム種復帰植物の遺伝的安定性

異種ゲノム間における形質導入は、異種染色体同士の対合とそれによる転座によって行われる。こうした異親対合は、雑種のゲノム構成と密接な関係があり、生井（1976）は、複半数体（rc および ac ゲノム）やその後代で異親対合の生じやすいこと、一方、金子ら（1987）は、複二倍体（rrcc ゲノム）で異親対合の生じにくいことを示している。このことから、形質導入を図る場合には、複半数体 F<sub>1</sub> 植物の利用が妥当とされている。本研究では、複半数体 F<sub>1</sub> を出発点とした場合、BC<sub>1</sub> は得られたものの、その後代 BC<sub>2</sub> (F<sub>3</sub> に相当) は得られなかつた。そこで、複二倍体 F<sub>1</sub> を出発点として、二基三倍体 BC<sub>1</sub>、異数体 BC<sub>2</sub> を経由することで、BC<sub>3</sub> 世代で萎黄病抵抗性を有するコマツナ型復帰植物を得た。その獲得効率が高いか低いかは判断できないが、複二倍体 F<sub>1</sub> に始まる場合も、その後の異数体を経過するなかで異親対合が生ずるため、形質導入法として実用性があると考えられる。

異親対合は、コマツナ型復帰植物となった世代でも、一部で観察された。このことは、異種ゲノム間の遺伝的交換がなされたことを裏付けている反面、単ゲノム種となった以後も染色体の転座による遺伝

的変異の生ずる可能性を示唆している。こうした変異は、たとえ生じたとしてもいずれ淘汰されるであろうが、その際に、導入された形質が消失することがないよう、原種を維持していくことが必要である。今のところ、「YR江戸川」に変異は見られないが、今後の利用場面においては十分留意する必要がある。

## 摘要

1. コマツナおよび萎黄病 type A 抵抗性を有するキャベツを用い、子房・胚培養法による種間雑種を1990年に作出了。これらの種間雑種は、必ずしも複半数体ではなく、複二倍体または異数体植物も認められた。1991年以降、複二倍体の雑種に対して根こぶ抵抗性のタアサイを1回交雑し、さらにコマツナを2回交雑して、萎黄病抵抗性をもつコマツナ型復帰植物を、1993年に選抜した。さらに、自殖を4回繰り返し、萎黄病抵抗性が遺伝的に固定した「EC25-1」を、2001年に選抜した。
2. 「EC25-1」はキャベツ由来の萎黄病抵抗性のほかに、根こぶ病抵抗性も保有している。形態では、葉の縮れや湾曲などの欠点があるが、夏期栽培で軟弱徒長しにくく、細根が少ないなどの特長を持っている。また、組み合わせ能力検定の結果から、母本として利用できることが明らかになった。
3. 組み合わせ能力検定の過程で育成された「01試交12」は、親系統「EC25-1」の萎黄病抵抗性や徒長のし難さなどの長所を受け継ぐ一方、欠点である葉の縮れや湾曲は少なく、形態は改善された。また、同品種は、紫外線カット被覆下のハウス栽培において、軟弱徒長等の品質の劣化がない。さらに、キャベツ由来の萎黄病抵抗性のほかに、市販コマツナ品種が保有する萎黄病抵抗性を併せ持つと考えられた。
4. 2003年に、「EC25-1」を「YR江戸川」と命名し、農林水産省へ品種登録申請した。一方、「01試交12」も同年に品種登録を申請した。
5. アブラナ科異種ゲノム間で形質導入を図る場合には、異親対合の生じにくい複二倍体ではなく、複半数体  $F_1$  植物を素材として利用することが妥当とされている。しかし、「YR江戸川」の育

成で示されたように、複二倍体  $F_1$  植物を用いる方法も、その後の異数体を経過する過程で異親対合が生じることから、形質導入法として有効と考えられる。

## 謝辞

本試験を実施するにあたり、萎黄病菌株の提供や検定の面で、多大なるご協力をいただいた東京都農業試験場竹内 純氏、研究開始当初より種々のご助言をいただいた同元場長飯嶋 勉博士、栽培試験でご協力いただいた同岩本千絵氏、吉村聰志氏、野呂孝史氏、吉田和子氏ならびに職員各位、根こぶ病検定でご協力いただいた元東京都病害虫防除所長荒巻一雄氏、育成品種の評価や実用化に向けてご尽力いただいている東京都農林水産部小林俊明氏、東京都農業改良普及センター職員各位ならびに関係者各位、貴重な種子をご提供いただいた長野県野菜花き試験場の諸氏に心からお礼申し上げる。

## 引用文献

- 阿部善三郎・堀江博道 (1988) コマツナ萎黄病(新称)について(講要). 日植病報 54: 352.
- 阿部善三郎・小沢 聖・桜井文隆・和泉吉隆 (1989) コマツナ萎黄病に対するコマツナ等各品種の抵抗性. 関東東山病虫研報 36: 5-67.
- 阿部善三郎・堀江博道 (1995) コマツナ萎黄病に関する研究. 東京農試研報 26: 23-49.
- Blank, L. M. (1937) *Fusarium resistance in Wisconsin All Seasons cabbage*. Jour. Agr. Res. 55: 497-510.
- Gamborg, O. L., R. A. Miller and K. Ojima (1968) Nutrient requirements of suspension cultures of soybean root cells. Exp. Cell Res. 50: 151-158.
- 日向康吉・西尾 剛 (1979) 自家不和合性、その機構と制御. 育種学最近の進歩 20: 72-78. 啓学出版. 東京.
- 飯嶋 勉 (1971) カンラン萎黄病の防除に関する試験. 東京農試研報 5: 7-36.
- Inomata, N. (1977) Production of interspecific hybrids between *Brassica campestris* and *Brassica oleracea* by culture *in vitro* of

- excised ovaries. I. Effects of yeast extract and casein hydrolysate on the development of excised ovaries. Japan J. Breed. 27: 295-304.
- 猪俣伸道(1986) ブラシカ (*Brassica*) 属の子房培養. 植物組織培養 3(2): 55-62.
- 岩佐正一・徳増 智(1979) アブラナ属および近縁属植物のゲノム分化と種属間雑種の細胞学的安定性. 育種学最近の進歩 20: 46-54. 啓学出版. 東京.
- 金子幸雄・松澤康男・皿島正雄(1987) カンラン類1染色体添加型ダイコンの育成. 育雑 37: 438-452.
- 松澤康男(1978) アブラナ属の種間交雑に関する研究. I. *Brassica campestris* 群 × *B. oleracea* 群における雑種胚の発育におよぼす温度の影響と子房培養による交雑成功率の向上. 育雑 28: 186-196.
- Murashige, T. and F. Skoog (1962) A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. Physiol. Plant. 15: 473-497.
- 永野浩司・時田 勉・深水孝明・川野隆明・森本博幸(1988) アブラナ科合成ナップス千宝菜1号の育成及び特性. 育雑 38(別)2: 306-307.
- 生井兵治(1976) アブラナ類の種・属間交雑による形質導入に関する細胞遺伝・育種学的研究. 東教大農紀要 22: 101-171.
- 西 貞夫・戸田幹彦・梅田昭一・豊田 努(1970) アブラナ科(Cruciferae)そ菜の種間及び属間交雑に関する研究. II カンラン類とハクサイの種間交雫後代に関する試験. 園試報 A9: 101-128.
- 農林水産省統計情報部(2003a) 平成14年産野菜の作付面積、収穫量及び出荷量(果菜類、果実的野菜、葉茎菜類). p41.
- 農林水産省統計情報部(2003b) 第77次農林水産省統計表(平成12年～13年) 農林統計協会. p184.
- 野村和成・石井賢治(1989a) アブラナ科野菜を侵すフザリウム病菌, *Fusarium oxysporum* f. sp. *conglutinans* ならびに f. sp. *raphani* の宿主範囲に対する環境条件の影響. 日大農獣医研報 46: 49-56.
- 野村和成・石井賢治(1989b) ハクサイの *Fusarium oxysporum* f. sp. *conglutinans* に対する抵抗性の遺伝様式. 日大農獣医研報 46: 57-62.
- 野村良邦・加藤喜重郎・竹内昭士郎(1976) キャベツ萎黄病抵抗性の早期検定法に関する研究. 農事試研報 24: 141-182.
- Ramirez-Villupadua, J., R. M. Endo, P. Bosland and P. H. Williams (1985) A new race of *Fusarium oxysporum* f. sp. *conglutinans* that attacks cabbage with type A resistance. Plant Dis. 69: 612-613.
- 皿島正雄・生井兵治(1979) 種・属間交雫における育種. 育種学最近の進歩 20: 63-71. 啓学出版. 東京.
- 皿島正雄・松澤康男(1986) ハクサイとカンランとの正逆交雫による雑種植物の育成. 宇大農学報 13: 1-9.
- 芹沢啓明・塚田元尚・柳沢京子・小口伴二(1994) タアサイ‘長・野交14号’の育成経過と特性. 長野野菜花き試報 8: 9-14.
- 清水 茂・金澤幸三・小林高博(1962) ハクサイの白腐病抵抗性育種に関する研究. (第3報) 種間交雫による白腐病抵抗性品種「平塚1号」の育成. 園試報 A1: 157-173.
- Takeshita, M., M. Kato and S. Tokumasu (1980) Application of ovule culture of the production of intergeneric or interspecific hybrids in *Brassica* and *Raphanus*. Japan J. Genetics 55: 373-387.
- 角田重三郎・日向康吉(1982) 植物遺伝学実験法(常脇恒一郎編). 共立出版. 東京. pp.357-368.
- Walker, J. C. (1930) Inheritance of *Fusarium* resistance in cabbage. Jour. Agr. Res. 40: 721-745.
- White, P. R. (1963) The cultivation of animal and plant cells. Ronald Press. New York. pp.228.
- Williams, P. H. (1966) A system for the determination of races of *Plasmodiophora brassicae* that infect cabbage and rutabaga. Phytopathol. 56: 624-626.

### Summary

Takashi Noguchi (2004) : The breeding of Komatsuna parent 'YR-Edogawa' and F<sub>1</sub> hybrid '01-Shikoh No.12' – Introduction of the cabbage *Fusarium*- resistance to the Komatsuna – Bull.Tokyo Metro.Agric.Exp.Sta. 32 : 1-20. (Received November 17, 2003 ; Accepted December 5, 2003)

Key words : *Brassica*, *Fusarium* resistance, interspecific hybrid, Komatsuna, transduction

1. The interspecific hybrids between Komatsuna (*Brassica campestris*) and cabbage (*B. oleracea*) that possessed type-A resistance to *Fusarium* were obtained by the ovary-embryo culture method, in 1990. Not only amphihaploid but amphidiploid or heteroploid plants were found out in the interspecific hybrids. In 1991 and afterwards, back crossing of the clubroot-resistant Ta-tsai (*B. campestris*) was carried out one time to the amphidiploid hybrid, and that of the Komatsuna was also carried out further twice, and Komatsuna-like reverisional plant retaining the *Fusarium* resistance was selected in 1993. Then, self-fertilization of the reverisional plant was repeated and 'EC25-1' that fixed the resistance was selected, in 2001.

2. 'EC 25-1' had not only the strong *Fusarium*-resistance but also clubroot-resistance of a certain level. As for morphological characteristics, although 'EC 25-1' had faults, such as a curl and a curve of the leaf, it had strong points of not carrying out spindly growth in summer cultivation and of not growing a rootlets. In order to examine the capability as a parent of 'EC 25-1', the combination ability test was performed. Consequently, it became clear that it could use as a parent.

3. F<sub>1</sub> hybrid '01-Shikoh No.12' which was bred in process of the combination ability test inherited the strong points of 'EC 25-1', and slightly inherited the faults. The quality of '01-Shikoh No.12' was not spoiled by cultivation in the ultraviolet-less greenhouse that brings about not only the insect-pest-control effect but spindly growth. Furthermore, this hybrid was considered to possess the *Fusarium*-tolerance that originated from a commercial Komatsuna variety, besides the resistance of the cabbage source.

3. 'EC 25-1' which was named 'YR-Edogawa', and '01-Shikoh No.12' were applied for registration of variety to the Ministry of Agriculture, Forestry, and Fisheries, in 2003.

4. The following thing became clear concerning the transduction between different genomes in *Cruciferae*. Generally, since it is hard to produce an allosynapsis in the amphidiploid plant, to use an amphihaploid as a source of transduction is recommended. However, as was shown by breeding of the 'YR Edogawa', the system of making the amphidiploid F<sub>1</sub> plant a starting material is effective as a transduction method, because an allosynapsis and translocation arises in the subsequent heteroploid generation.