

極早生タマネギの早期育種の可能性†

本間義之¹⁾・菊池佑弥¹⁾²⁾

¹⁾農林技術研究所本所, ²⁾現: 静岡県経済産業部農業ビジネス課

Feasibility Studies for Rapid Breeding of Very Early Onion

Yoshiyuki Homma¹⁾ and Yuuya Kikuchi^{1) 2)}

¹⁾Shizuoka Res. Inst. Agric. and For., ²⁾ Shizuoka Pref. Office, Agri-Business Section

Abstract

Feasibility studies were carried out for rapid breeding of very early onion, cultivated around south-west Hamamatsu. Eleven onion individuals with genetically stable male-sterile characteristics were obtained from seed farms. All of these male-sterile individuals were early cultivars suitable for March shipments, and no male-sterile individuals were found among very early cultivars suitable for January shipments. Top onions were obtained by cutting florets from the onion heads. Possibilities for breeding F₁ cultivars whose parents were both propagated vegetatively from top onions were discussed. Breeding term of very early onion might be greatly shorten, provided the selected very early onion seedlings could flower within one year, because ordinary onions are biennials. Possibilities for flowering onion seedlings within one year were shown. Policies for rapid breeding of very early onion were discussed.

キーワード: タマネギ, F₁育種, 極早生, 雄性不稔, 抽薹, 頭球

I 緒 言

浜松市南西部の海岸線に沿った砂地地帯に古くからのタマネギ産地がある。浜松市西区篠原町・馬郡町を中心とした産地では独自の品種を用いて、1月初旬から白玉の極早生タマネギを「サラダオニオン」の商標名で、黄玉を「新タマネギ」で生食用に出荷しており、1~2月は東京市場の生食用タマネギをほぼ独占している。

一般的には「馬郡甲高」として知られている極早生品種は高価格で取引されているものの、現代のタマネギには珍しく F₁品種化されておらず、生産者達が地域内で自家採種して品種を維持している。タマネギは基本的に他殖性で、自殖を繰り返して純度を上げると近交弱勢となり易いこともあって¹³⁾、ある程度雑駁なまま集団を維持

する必要がある。そのため、これまでの生産者による集団採種では収穫適期・球重・球径・形状などにばらつきが大きくて、一斉収穫や機械収穫が難しく、大規模化できないという問題を抱えている。

現地で栽培されているタマネギには白玉、黄玉、赤玉と3色あり、そのうち黄玉が出荷量の約8割を占めている。昭和40年代には他産地同様3月収穫のものを極早生と称していたが、生産者達が競って育種による前進化を図り、現在では1~2月収穫のものを極早生、3~4月収穫のものを早生として区別している。黄玉の極早生品種には「馬郡甲高」、「ジェットボール」、「ハヤブサ1号」、「ハヤブサ2号」などがあり、「馬郡甲高」の選抜系として「すみこまる」、「せんまる」が、「ジェットボール」の選抜系として「スーパージェット」がある。

†本研究の一部は、園芸学会平成28年度秋季大会(2016年9月、名城大学)において発表した。

同様に黄玉の早生品種としては‘早生 A’，‘浜西極早生’，‘浜西2号’などがある。

上記のような品種名はあるものの、いずれもばらつきが大きくて品種間の境が曖昧である。各生産者が個々に自家採種を繰り返していることから各品種の形質が生産者ごとに分化していて、実態としては別系統あるいは別品種と呼ぶほうが相応しい状況となっている。更に、同一生産者の同一品種でも形質が採取母株や採種年次によりばらつくこともあって、市販のF₁品種と同じような揃いと安定性が求められている。

市場性が高く、潜在的な需要が大きいこの極早生タマネギについて、生産者およびJAとびあ浜松から育種の要請があった。そこで要望の強い、産地の黄玉タマネギについて育種の可能性を予備的に調査したところ、雄性不稔株の確保、頭球による増殖の可能性、1年での開花可能性など、幾つかの重要な知見を得ることができた。これによりF₁品種育成を比較的短期間に実施できる可能性が認められたので以下に報告すると共に、極早生タマネギ育種の方向性について論じてみたい。

Ⅱ 材料及び方法

実験1 雄性不稔株の探索

2015年5月15日、18日に浜松市南区田尻町のタマネギ共同採種圃場（以下、田尻採種圃と略）において早生および極早生品種約1.4万株を対象として、JAとびあ浜松の営農指導員およびタマネギ生産者約10名と共同で雄性不稔株を探索した（表1）。肉眼で花粉の出ない（図1）株を探し、葯を触っても花粉が手に付かない株から未開葯の小花を採取した。採取した小花を研究所に持ち帰り、葯を切開してアセトカーミンで染色後、検鏡した。健全な花粉はラグビーボール状で中身が充実していてアセトカーミンにより赤く染まる（図2左）のに対し



図1 正常株と雄性不稔株の開花時の様子
左: 正常株 葯が黄色、花粉が出る
右: 雄性不稔株 葯が茶灰色、花粉が出ない

て、空虚で染色されないもの（図2右）を不稔花粉と判断した。

不稔株については球根（切下球）と共に、花球に形成された種子（雄性不稔株 x Open）を育種素材として回収して栽培し、開花個体について翌年（2016年）に、雄性不稔株等との交配後代（F₁）個体の花粉稔性を調査した。

実験2 頭球の形成条件の検討

2015年4月28日～5月上旬に、浜松市西区佐浜町のJAとびあ浜松の採種圃場（以下、JA佐浜圃場と略）で小花の除去処理を行った。品種は‘馬郡甲高’を用い、1株から5本以上抽臺している株を選定し、小花を切除する時期と除去時の小花柄の残し方を変えて、頭球の形成程度を調査した。小花の切除は4月27日、30日、5月4日、5月11日の4回に分けて、花球あたり1～2回実施した。また、切除時に小花柄を5mm未満の短めに残す処理と、5～10mm程度の長めに残す処理を行い（表3）、花莖長、花球径を調査した。小花切除後は紙袋を被せて頭球の落下を防いだ。栽培は現地（JAとびあ浜松）の慣行とした。6月下旬に花球を茎ごと収穫して7月中旬まで乾燥させた後に、花球上に形成された頭球数を分離して数えた。

2016年に新たに得られた頭球を、448穴（みのる産業製）のセルトレイで底面給水により8月に育苗した。頭球を、LL: 1g以上、L: 0.5～1g、M: 0.3～0.5g、S: 0.1～0.3g、SS: 0.1g未満として大きさ別に分け、大きさ別の成苗率を2ヵ月後に調査した。

実験3 個体同士のF₁による揃いの向上の可能性

雄性不稔株を維持している生産者H氏（浜松市西区篠原町）に提供を受け、維持していた不稔株を用いてH氏の圃場（以下、H氏圃場と略）で人為交配を行い、以下のような種子を得た。雄性不稔株 x 可稔株の個体同士のF₁（以下、「個体 x 個体」と記す）、雄性不稔株 x OpenのF₁（以下、「個体 x 混合花粉」と記す）、可稔株 x



図2 正常個体の花粉と雄性不稔株の花粉

左: 正常個体の花粉 ‘ハヤブサ1号’ アセトカーミンで良く染まる
右: 雄性不稔株の花粉 ‘浜西極早生’ 空虚で染色されない

Open の F₁ (同じく「個体 x 混合花粉」) および、慣行の集団採種による種子を用いた。これらについて生育とそのばらつきの違いを比較した。個体同士の交配種子は‘早生 A’の雄性不稔個体 MS15H に‘馬郡甲高’の 3 個体 (HA・HB・HC) の花粉を交配して袋掛けして確保した。また、個体 x Open の種子は、上記の 4 個体の花球を袋掛けせずに周囲の株の花粉と交配させることで確保した。また、慣行の実生との比較のために、H 氏圃場で同年に採種した‘早生 A’および‘馬郡甲高’の種子を用いた。交配作業は 2015 年 4 月最下旬～5 月上旬にかけて 5 回実施した。

得られた種子を 2015 年 8 月 28 日に播種し、温室内で育苗した後、10 月 5 日に浜松市西区篠原町の圃場 (以下、JA 篠原圃場と略) に定植した。栽培条件は現地慣行とし、砂土に透明マルチを用いた。栽培は JA とびあ浜松の職員が行った。

2016 年 2 月 1 日にタマネギを収穫し、球径および葉鞘径を調査して、ばらつきの程度を比較した。

実験 4 播種後 1 年以内での開花と世代促進の可能性

実験 1 および実験 3 で得られた 2015 年産種子および実験 2 で得られた頭球を育苗して、10 月中旬に無加温温室に定植して抽臺率を調査した。

実験 4-1 種子親別の抽臺率

材料には、実験 1 で発見した雄性不稔株を田尻採種圃で継続して栽培し、‘早生 A’の雄性不稔の 5 株および‘浜西極早生’の雄性不稔の 5 株に着生した種子を供試した。供試した系統は‘浜西極早生’の雄性不稔株 MS15G II～VI の 5 株を種子親とした交配実生、および‘早生 A’の雄性不稔株 MS15 II～IX の 5 株を種子親とした交配実生とした (表 5 参照)。2015 年 9 月 10 日に 448 穴のセルトレイに播種して温室内で育苗した後、10 月 16 日に無加温で側窓を開放した温室内に定植して、抽臺率を調査した。栽培個体数は交配により異なるが、9 交配で各 100 個体以上を供試、残る 1 交配も 51 個体を供試した。

実験 4-2 栽培地の違いによる抽臺率

材料には雄性不稔株を維持している生産者 H 氏の株を交配して得られた種子を使用した。雄性不稔株 MS15H を種子親として、同一株の別な花球にそれぞれ HA, HB, HC の 3 株の稔性株の花粉を交配して袋掛けして得られた種子、およびもうひとつの別な花球に混合花粉で得られた種子の (x Open) の計 4 種類の種子 (表 6 参照) を

使用した。

4 種類の種子を JA 篠原圃場では 2015 年 8 月 28 日播種、10 月 5 日定植 (露地、砂土、透明マルチ) で栽培した。栽培規模は 1 交配当たり 40 株とした。農林技術研究所 (磐田市富丘) では同年 9 月 10 日に播種し、10 月 16 日に無加温温室 (温室で側窓は開放、壤土、マルチなし) に定植して栽培した。栽培規模は 1 交配当たり 52 株とした。

実験 4-3 頭球苗の抽臺率

材料には実験 2 で得られた頭球、および田尻採種圃で自然形成していた頭球を育苗して用いた。得られた 12 個体由来の頭球を 2015 年 6 月末に回収し、8 月 18 日に 448 穴のセルトレイで育苗した。なお、頭球の数は個体ごとに 1～50 球までと異なり、また同一個体由来でも頭球の大きさは異なることから、大きさ別に育苗した。頭球の大きさは、大 : 0.3g 以上、中 : 0.1～0.3g、小 : 0.1g 未満とした。得られた頭球苗を実験 4-1 と同様に 2015 年 10 月 16 日に側窓を開放した無加温温室に定植して 4 月上旬までの抽臺率を調査した。

III 結 果

実験 1 雄性不稔株の探索

正常株と雄性不稔株の写真を図 1 に示した。正常株は開花時には黄緑色だった葯が開葯時には黄色になり、触ると黄色の花粉が手に付く。一方、雄性不稔株の葯は開花直後には薄緑色で、1～2 日後に茶灰色となり開葯しない。また、触れても花粉が手に付かないため、圃場でほぼ区別できた。

小花の形態にも特徴があり、正常株では小花の花弁は綺麗に展開するのに対し、雄性不稔株の多くは小花の花弁が十分開かず、半開きの中から葯が出てくることが多かった。雄性不稔株の花弁の開度は個体により幅があった。

上記のような雄性不稔株を現地のタマネギ採種圃場 (浜松市南区田尻町) で探索したところ、7 品種のうち‘早生 A’から 6 個体、‘浜西極早生’から 5 個体が見つけた (表 1)。この 2 品種はともに 3 月出荷が中心の早生品種であった。一方、1 月出荷が中心の極早生品種では‘馬郡甲高’で花器全体が奇形の株がひとつあって葯が正常に発達していなかった (図 3) ことから雄性不稔を期待したが、柱頭も弱々しく授粉しても種子は得られなかった。結局、調査した極早生の 4 品種‘馬郡甲高’ (‘すみこまる’、‘せんまる’等を含む)、『ハヤブ

表1 タマネギ採種組合田尻採種圃(浜松市南区)ほかで発見した雄性不稔個体数

品種・系統名 ¹⁾	雄性不稔 個体数	花粉稔性 検鏡	調査個体数 ²⁾	出現率	着果～ 種子稔性	備考
極早生品種						
馬郡甲高 (極早生甲高、すみこまる等 ¹⁾ を含む)	1	不稔	6,000	0.02%	着果せず ³⁾	M氏の圃場で発見、種子 が得られず廃棄した
ハヤブサ1号	0		2,100	0%		
スーパージェット	0		1,250	0%		
ジェットボール	0		1,770	0%		
極早生 小計	1		11,120	0.01%		
早生品種						
早生A(浜西1号 ⁴⁾ を含む)	6	不稔	1,690	0.36%	稔実種子	
浜西極早生	5	不稔	780	0.64%	稔実種子	
浜西2号	0		190	0%		
早生 小計	11		2,660	0.41%		
計	12		13,780	0.09%		

¹⁾ 品種・系統名は収穫時期の早い順に示した

極早生: 1～2月収穫用の品種

早生: 3～4月収穫用の品種

²⁾ 調査個体数は概数

³⁾ 不稔株は花器全体が奇形で、授粉したが稔実種子は得られなかった。

⁴⁾ 採種者により呼称が異なるが、実質的に同じ品種

表2 雄性不稔株固体との交配後代(F₁)個体の花粉稔性

	種子親♀	花粉親♂	可稔	不稔	計	不稔の率
浜西極早生の 不稔株のF ₁	MS15G II ¹⁾²⁾	x Open	0	1	1	100%
	MS15G III	x Open	1	2	3	67%
	MS15G V	x Open	1	0	1	0%
	MS浜西極早生のF ₁ 計		2	3	5	60%
早生Aの 不稔株のF ₁	MS15A II	x Open	1	0	1	0%
	MS15A V	x 極早生甲高A	1	0	1	0%
	MS15A VI	x 極早生甲高B	2	0	2	0%
	MS早生AのF ₁ 計		4	0	4	0%
H氏育成系統	MS15H	x HA	3	3	6	50%
	MS15H	x HB	2	2	4	50%
	MS15H	x HC	0	5	5	100%
	MS15H	x Open	0	3	3	100%
	MS15HのF ₁ 計		5	13	18	72%
	HA	x Open	2	0	2	0%
	HB	x Open	2	0	2	0%
	HC	x Open	2	0	2	0%
	極早生系のF ₁ 計		6	0	6	0%
2015年確保の 雄性不稔株	MS15G III		0	3	3	100%
	MS15G IV		0	2	2	100%
	MS15G V		0	3	3	100%
	MS15A V		0	8	8	100%
	MS15A VI		0	2	2	100%
	2015確保不稔株 計		0	18	18	100%

¹⁾ MSが個体名につく株は雄性不稔株

²⁾ Gは浜西極早生, Aは早生A, HはH氏育成系統を示す, ローマ数字は個体の通し番号



図3 ‘馬郡甲高’の正常花と発達不全花
左2花:正常花
右2花:花卉と葯が発達不全、雌蕊も貧弱

サ1号’, ‘スーパージェット’, ‘ジェットボール’では交配に利用できる雄性不稔株は見つけることができなかった。

これらの花粉をアセトカーミンで染色して検鏡したところ、正常花粉はいずれもラグビーボール状で中身が充実していて赤く染まった(図3左)。一方、不稔花粉は花粉の形はあるものの、空虚で染色されなかった(図3右)。

検鏡後に可稔と判断されたものの多くは、当日午前中に授粉させたために不稔株調査時には花粉が手に付かなかったもので、後日改めて確認すると花粉が手に付いた。1例だけ不稔の花球と可稔の花球が同一個体で認められた。この花球では分球した球根が盛り上がり空中に浮いていて一部の花粉が不稔となっていたが、再度検鏡したところ充実した花粉と空虚な花粉が混在していた。同じ株の別の花球では全て充実した花粉が得られたため、可稔と判断した。この株を除き、可稔/不稔の判断は圃場での観察結果と検鏡結果が一致した。

調査した約1万4千株のうち3月出荷の早生品種2660株からは11個体の雄性不稔個体が見つかり、その出現率は0.4%であった。一方、1月出荷が可能な極早生品種1万1千株からは育種に利用できる雄性不稔株を見つけることができなかった。

2015年に得られた雄性不稔株のうち、夏越しできた5個体18株(表2の2015確保不稔株)の花球を2016年5月に確認したところ、18株全てが雄性不稔であった。また、不稔個体の後代のうち開花した‘浜西極早生’(MS15G II, III)のF₁, およびMS15HのF₁からは可稔の株と雄性不稔の株の両方が得られた。

実験2 頭球の形成条件の検討

頭球の形成事例を図5に示した。花球の小花切除処理により、5個体のいずれからも頭球が形成された(表3)。頭球形成花球率は50~100%で、花球当たりの頭球数は0~72個、個体別の頭球形成数も13~157個と幅があった。処理時期、処理方法、処理時の花球径、花球の高さについて、一定の傾向は認められなかった。

観察では、小花切除処理時に小さな蕾が残っていた花球からは比較的多くの頭球が形成されていた(図4右)。頭球を確保するために花球を分解したところ、基部が膨らんだ小花柄が多数見つけられた(図5右)。

2016年に新たに得られた頭球を大きさ別に分けて、8月にセルトレイで底面吸水により育苗したところ、0.1g以上の頭球は70%以上が健全苗となった(表4)。



図4 小花切除処理直後の花球の様子

左:頭球が形成されなかった花球(5/11、1回処理)
右:形成された花球(右:4/27、5/11の2回処理)



図5 花球上に形成された頭球と形成途中の頭球

左:頭球はドングリ様の形状 表面はタマネギと同じ模様
右:小花柄の基部が膨らんでいる 小花が残っていても形成する

表3 タマネギ‘馬郡甲高’の頭球形成に及ぼす小花切除処理方法の影響

要因	処理 花球数	頭球形成 花球数	頭球形成 花球率	最多頭球数 /花球	平均頭球数 /花球	平均頭球数 /形成花球	
小花切除時期	4/27	6	3	50.0%	23	7.5	15.0
月/日	4/27, 30	1	1	100.0%	5	5.0	5.0
	4/27, 5/11	4	3	75.0%	58	28.5	38.0
	5/4	5	4	80.0%	72	21.0	26.3
	5/4, 11	7	7	100.0%	50	19.0	19.0
	5/11	9	6	66.7%	35	8.8	13.2
処理時の花球径	≥80	6	5	83.3%	35	11.5	13.8
mm	80> ≥70	3	3	100.0%	37	16.0	16.0
	70> ≥60	9	7	77.8%	72	17.2	22.1
	60> ≥50	4	4	100.0%	50	21.8	21.8
	50> ≥40	2	2	100.0%	58	40.5	40.5
	40>	8	3	37.5%	20	5.1	13.7
残した小花梗長	長 5~10mm	15	13	86.7%	50	15.1	17.5
	短 5mm>	17	11	64.7%	72	14.9	23.1
花球(葱坊主)の高さ	≥120	4	4	100.0%	35	21.5	21.5
cm	120> ≥110	8	6	75.0%	58	15.0	20.0
	110> ≥100	8	5	62.5%	37	13.1	21.0
	100> ≥90	2	2	100.0%	9	6.0	6.0
	90> ≥80	7	7	100.0%	72	22.6	22.6
	80>	3	0	0.0%	0	0.0	-
株	A	8	6	75.0%	37	13.6	18.2
	B	6	3	50.0%	58	15.0	30.0
	C	6	6	100.0%	35	18.7	18.7
	D	5	5	100.0%	72	31.4	31.4
	E	7	4	57.1%	7	1.9	3.3
全体		32	24	75.0%	72	15.0	20.0

要因別を集計して示した

表4 極早生タマネギ頭球の成苗率

品種	頭球数 ¹⁾						成苗率 ²⁾ %					
	LL	L	M	S	SS	計	LL	L	M	S	SS	計
馬郡甲高	107	147	153	393	451	1,251	83	78	92	69	33	61
ジェットボール	8	48	55	110	147	368	50	58	64	58	31	48
ハヤブサⅠ号	3	16	10	88	145	262	67	94	90	83	31	55
ハヤブサⅡ号	9	27	32	110	135	313	89	93	91	87	41	68
アーリーレッド			3	14	48	65			67	71	13	28
総計	127	238	253	715	926	2,259	81	77	85	72	33	58

¹⁾ 育苗時の頭球の重さ LL: 1g以上 S: 0.1~0.3g
L: 0.5~1g SS: 0.1g未満
M: 0.3~0.5g

²⁾ 2016年8月10日に育苗開始、2ヵ月後の健全苗の率

実験3 個体同士のF₁による揃いの向上の可能性

個体同士のF₁実生(個体x個体)の球径と葉鞘径を個体x混合花粉および慣行の集団採種と比較したが、球径および葉鞘径共に、個体同士のF₁と個体x混合花粉の平均値に有意な差は無かった。交配により球径や葉鞘径の平均値が異なるので、均一性を比較するために図6と図7には反復内平均に対する比として頻度分布を示した。

個体x個体および個体x混合花粉の球径の標準偏差は慣行の集団採種よりもやや小さくなり、グラフは慣行に比べるとややピークが高くなった。同様に、個体x個体の葉鞘径の標準偏差は個体x混合花粉および慣行の集団採種よりも小さくなり、均一性がわずかに向上した。ただし、標準偏差の違いは小さく、個体同士の交配による均一性の向上効果は小さかった。

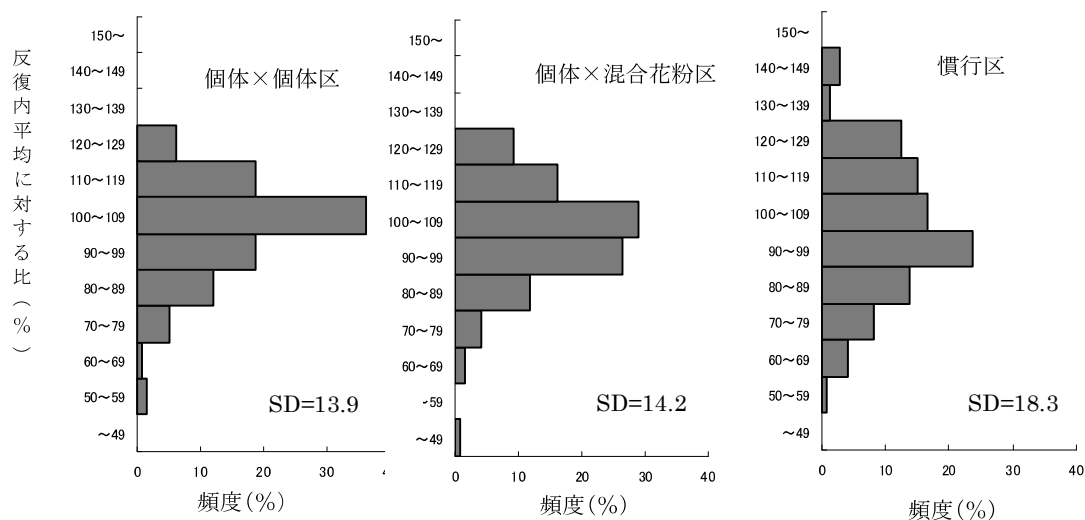


図6 各交配における球径の頻度分布

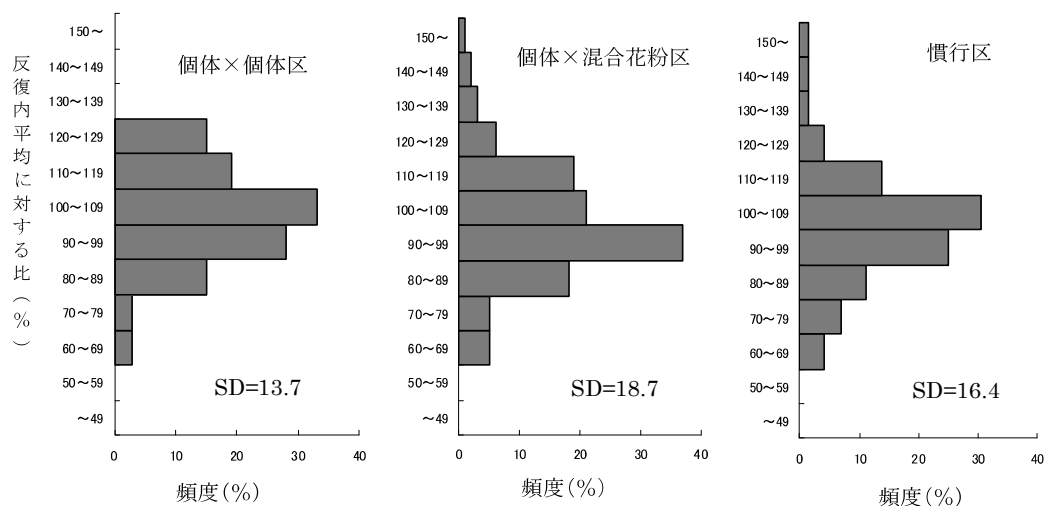


図7 各交配における葉鞘径の頻度分布

実験4 播種後1年以内での開花と世代促進の可能性

実験4-1 種子親別の抽臺率

苗を10月中旬に側窓を開放した無加温温室に定植した場合には‘浜西極早生’の雄性不稔株の実生1年目の抽臺率は4.1~14.8%と交配により幅があった(表5)。5交配の平均は7.5%であった。同様に‘早生A’の抽臺率は2.9~12.9%で、5交配の平均は10.2%であった。両品種とも種子親により抽臺率にばらつきがみられた。

実験4-2 栽培条件の違いによる抽臺率

現地生産者から分譲された雄性不稔株であるMS15Hを種子親とした実生1年目の抽臺率をJA篠原圃場(露地、

表5 種子親別の抽臺株率

品種	種子親	花粉親	供試	抽臺	倒伏・未抽臺	抽臺株率 %
浜西極早生	MS15G II	x Open	142	10	132	7.0
	MS15G III	x Open	170	7	163	4.1
	MS15G IV	x Open	149	22	127	14.8
	MS15G V	x Open	170	12	158	7.1
	MS15G VI	x Open	135	6	129	4.4
平均						7.5
早生A	MS15A II	x Open	135	16	119	11.9
	MS15A V	x Open	51	6	45	11.8
	MS15A VI	x Open	236	27	209	11.4
	MS15A VII	x Open	132	17	115	12.9
	MS15A IX	x Open	170	5	165	2.9
平均						10.2

2015年9月10日播種、無加温温室に10月16日定植、マルチ無し

表6 現地と研究所内で栽培したMS15H系実生の抽臺率

栽培地	種子親	花粉親	倒伏 ¹⁾	抽臺	未抽臺	小計	抽臺株率	球径 ²⁾ mm		
								1月中旬	2月上旬	3月中旬
JA篠原圃場 ³⁾	MS15H	x HA	42	0	-	42	0%	74.5		
	MS15H	x HB	40	0	-	40	0%	68.1		
	MS15H	x HC	40	0	-	40	0%	71.4		
	MS15H	x Open	40	0	-	40	0%	74.3		
農林技術研究所 ⁴⁾	MS15H	x HA	0	12	39	51	23.5%	19.8	62.8	
	MS15H	x HB	0	4	41	45	8.9%	23.7	70.6	
	MS15H	x HC	0	24	28	52	46.2%	23.6	72.7	
	MS15H	x Open	0	17	31	48	35.4%	22.8	74.0	

¹⁾ 倒伏:3月中旬の茎葉の倒伏率

²⁾ 球径調査
1月中旬 2017年1月18~21日
2月上旬 2017年2月1~3日
3月下旬 2017年3月22~28日

³⁾ JA篠原圃場(浜松市西区篠原町):8月28日播種、10月5日定植、砂土の露地圃場、透明マルチ

⁴⁾ 農林技術研究所(磐田市富丘):9月10日播種、10月16日定植、壤土の無加温温室、マルチ無し

表7 タマネギ頭球の個体別の葉鞘径と抽臺率¹⁾

品種	個体ID	12月の葉鞘径 ²⁾		抽臺	未抽臺	小計	抽臺率	
		平均 mm	>7mm					
馬郡甲高	15甲A	5.1	0	0	7	7	0%	
馬郡甲高	15甲B	8.2	3	2	2	4	50%	
馬郡甲高	15甲H	5.0	0	0	8	8	0%	
馬郡甲高	2015A	5.9	8	10	21	31	32%	
馬郡甲高	2015B	6.3	3	0	9	9	0%	
馬郡甲高	2015D	4.1	4	2	48	50	4%	
馬郡甲高	2015E	5.9	1	0	3	3	0%	
すみこまる	15S-F	7.3	4	4	4	8	50%	
すみこまる	15S-G	10.3	8	8	0	8	100%	
ハヤブサI号	15F-C	4.1	0	0	6	6	0%	
ハヤブサI号	15F-J	7.6	1	1	0	1	100%	
早生A	15A-D	9.8	5	3	3	6	50%	
育苗頭球 計				37	30	111	141	21%

¹⁾ 2016年8月20日育苗開始、無加温温室に10月20日定植、マルチ無し

²⁾ 12月中旬(12/18調査)の平均と、7mm以上の株数

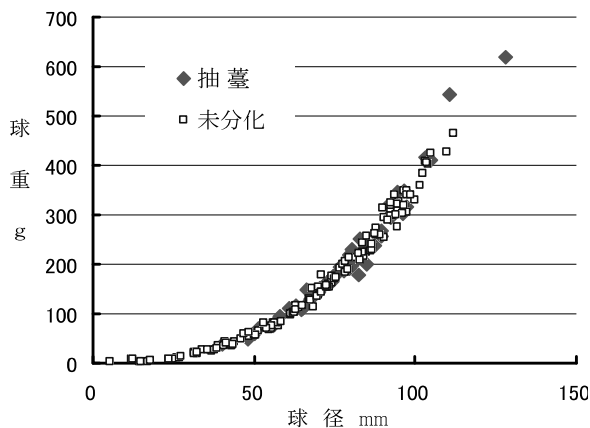


図8 早生タマネギの球重と抽臺の関係

MS15Hを種子親とする4交配の実生個体
10月16日定植、3月下旬分解調査
n=195、抽臺は58個体

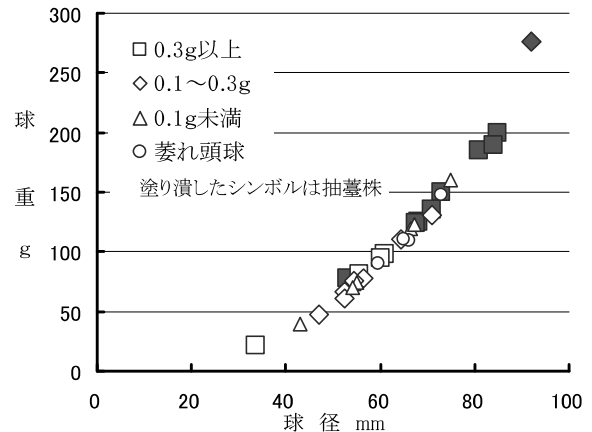


図9 育苗したタマネギ頭球の収穫時の大きさと抽臺の関係

‘馬郡甲高’2015A株の育苗頭球、8月20日育苗開始、
10月20日定植、3月10日収穫~分解調査

n=31 抽臺は10株

砂土、透明マルチ栽培）と農林技術研究所（側窓を開放した無加温温室、壤土、マルチなし）で比較した。球の肥大は JA 篠原圃場が早く、2 月上旬には平均球径が 70mm を超えて収穫適期となった（表 6）。一方、所内の無加温温室で平均球径が 70mm を超えたのは 3 月中旬であった。

JA 篠原圃場のタマネギは 3 月中旬までに全個体が倒伏し、抽臺株は得られなかった。一方、所内の無加温温室で栽培した個体は実生 1 年目で 8.9～46.2%が抽臺した。定植日が異なるものの、球の肥大が 1 ヶ月以上違い、一方は全てが倒伏するなど、2 箇所の生育の差は明らかであった。

所内のタマネギを 2016 年 3 月下旬に分解調査したところ、実生ではタマネギの球重と抽臺の関係に一定の傾向は認められず（図 8）、100g 未満でも抽臺する株がある一方で、400g を超えても抽臺しない株もあった。

実験 4-3 頭球苗の抽臺率

頭球を育苗して 2015 年 10 月中旬に定植したところ、全体の 21%が抽臺した（表 7）。同一個体の頭球を大きさ別に比較したところ、‘馬郡甲高’ 2015A では 0.3g 以上の大きな頭球の苗は球の肥大が比較的早く、3 月 10 日の収穫時に球径 65mm 以上になった個体は全て抽臺した（図 9）。ただし、育苗開始時に 0.3g 以上の大きめの球でも、球肥大が遅くて抽臺しなかった株もあった。育苗開始時に小さかった個体や球の肥大が遅い個体では抽臺する個体が少なかった。

IV. 考 察

実験 1 雄性不稔株の探索

タマネギは他殖性作物だが、低率ながら自殖する可能性があることから、確実に雑種を確保するためには除雄を行う必要がある。しかしながら、1つの花球に 1000～1500 の小花が順次咲いてきて、小花には 6 本の葯が着生することから、除雄作業は実用的な育種では不可能である。そのため雄性不稔株を利用した育種が行われており^{8, 9)}、タマネギ育種のためには雄性不稔株が必須である。浜松の極早生タマネギは世界的に見ても最も早生で⁹⁾、他地域の品種から雄性不稔性の因子を持ってくることは種々の形質を大きく変えてしまうリスクがあり好ましくないため、雄性不稔個体を現地品種の中から見つける必要がある。

今回、調査した約 1.4 万株のうち 1 月収穫の極早生品種約 1.1 万株の中からは雄性不稔株を見つけることができなかったが、3 月収穫の早生品種では 2,660 株から雄性不稔株を 11 個体発見し、その後代の種子も確保できた。早生品種と極早生品種は普通に交配できることから、早生の雄性不稔株に極早生を連続戻し交配することで極早生の雄性不稔系統が得られる。これにより、育種を実施するための最低限の条件は満たすことができた。更に、生産者が独自に維持・育成している雄性不稔個体（MS15H）も分譲して頂けたことから、複数の遺伝的背景の異なる雄性不稔株が利用可能となった。

雄性不稔性はごく稀に生育不良が原因で発生することがあり、今回の調査でも 1 例だけ不稔の花球と可稔の花球が同一個体で認められた。不稔花球の球根は、多数分球したことにより盛り上がり地面から離れて浮いていたことから、一種の生理障害によって充実花粉と空虚な花粉が混在したものと判断した。

環境条件による雄性不稔のリスクを排除するために、雄性不稔を確認した個体のうち 2016 年に再度開花した個体を確認したところ、5 個体 18 株に発生した花球は全て雄性不稔であった。これにより、2015 年に確保した雄性不稔株は環境条件が原因ではなく、遺伝的に雄性不稔であると確認できた（表 2）。

タマネギの雄性不稔は一般的には S 型（不稔型）の細胞質と核にあるべき稔性回復遺伝子の不在が重なった際に発生することが示されている^{3, 4, 11, 12)}。得られた雄性不稔株では、F₁ 世代でも雄性不稔株が確認された。一般的な S 型細胞質による雄性不稔の場合には維持系統が無い限り F₁ 世代では不稔株は発生しないことから、遺伝的な様式が一般的な F₁ タマネギとは異なっている可能性がある。日本および韓国の早生系タマネギでは N 型（正常型）、S 型（不稔型）に加えて T 型（不稔型）の細胞質も確認されており⁷⁾、浜松市の早生品種における細胞質と核の遺伝子型を早期に確認し、遺伝様式を確定しておく必要がある。

実験 2 頭球の形成条件の検討

一般的なタマネギの育種では 1 世代進めるのに 2 年かかることから、品種育成には長い期間が必要になる。短期間で品種育成を行うためには、栄養繁殖を利用することも選択肢の一つとなる。F₁ の片親を栄養繁殖できれば、実生よりも均一性を向上させられると期待できることから、栄養繁殖方法を検討した。

タマネギの花球はしばしば^{ひかご}珠芽を着生することがあり、

小花を蕾のうちに除去して頭球（小球，子球，トップオニオン，トップセット，headonion，bulbulet，bulbil など呼称は一定していない）を人為的に発生させられることが報告されている^{4,6,10}。極早生タマネギについても頭球を安定的に利用できれば，F₁品種の片親を栄養繁殖で増殖することが期待できる。頭球の形成条件と増殖率を調査したところ，未開花の小花を4月下旬～5月上旬に切除することで，使用した5個体全てで頭球が確保できた。増殖率は種子ほど高くないものの，1個体5花球から最大で157個の頭球が得られた例もあった。この頭球はS以上（0.1g以上）の球ならば育苗すれば高率に苗となる（表4）ことから，交配親を確保・増殖する方法として貴重である。実生集団をF₁品種の片親とする場合は，この実生集団が毎年遺伝的に少しずつ変化して，F₁の形質が毎年少しずつ変化するリスクがある。一方，頭球が利用できれば遺伝的に同一な親個体を毎年利用できるため，F₁の遺伝的形質を安定させることができる。ただし，F₁の片親に用いるためには，親の遺伝的純度を上げておく必要がある。

今回のデータでは頭球形成の最適条件は明らかにできなかった。Matsubara and Hirata¹⁰は条件が良ければ1花球あたり100個以上形成されるとしているが，今回の結果では平均15球/花球しか得られていない。今後，育成品種の採種方法の一環として栄養繁殖を組み込むためには，安定的で増殖率の高い方法を開発する必要がある。頭球形成に必要な条件を明らかにして，品種ごとに栄養繁殖による増殖率を向上させる必要がある。

実験3 個体同士のF₁による揃いの向上の可能性

F₁の両親を共に栄養繁殖で増殖することができれば，毎年同じ種子を安定的に供給できる。個体同士のF₁であれば集団採種した固定種よりも遺伝的に均一な集団が得られると期待できる。ここでは，個体同士のF₁を利用することによる揃いの向上の可能性を検討した。

個体同士のF₁では，慣行の集団採種よりは均一性がわずかに向上したものの，その向上程度は小さかった（図7，図8）。これは，親に使用した個体の遺伝的純度があまり高くなかったことが原因と考えられる。実際の品種育成に用いるためには，F₁親の純度が必要なので，交配後近交系で4世代程度進めて，遺伝的な純度を向上させる必要がある。また，タマネギでは小花培養により半数体を経て，自然倍加の個体を得る方法も開発されており^{2,11}，極早生タマネギでも小花培養を試みることも検討する必要がある。

実験4 播種後1年以内での開花と世代促進の可能性

タマネギは宿根性の植物で，播種後最初に花が咲くまでに約2年を要する。そのため，育種の間では一般的には2年生植物として扱われている。すなわち，9月播種，10月定植の苗を肥大させて球を翌春に掘り上げ，2年目の10月に定植した球を冬季に低温遭遇させると，花芽分化して春に抽臺し，初夏に開花する。交配種子が得られるのは播種から数えて22ヵ月後である。純度を向上させるのに一般的な4世代進めるために8年掛かるのが普通のタマネギである。

ところが，早生品種ではしばしば1年目の春に不時抽臺することが知られている¹¹。タマネギは緑色植物春化型で，株が十分大きくなった後に低温に遭遇すると花芽を分化させる¹¹。早生品種よりも更に生長の速い極早生品種ならば，条件を整えれば低温遭遇時までに十分株を大きくすることが可能で，安定的に抽臺させられる可能性がある。実生から1年以内の開花させられれば，4世代進めるのに4年で済むことから，育種年限の大幅な短縮が可能になる。そこで，播種後1年での開花可能性を検討した。

実生1年目での抽臺率は，苗を10月中旬に側窓を開放した無加温温室に定植した場合には‘浜西極早生’の不稔株のF₁で7.5%，同じく‘早生A’のF₁で10%，同じく現地生産者から分譲された雄性不稔株であるMS15HのF₁では28.5%が抽臺した。いずれの品種でも抽臺率は種子親個体により変動したことから，抽臺率には遺伝が関与していることが示唆された。すなわち，育種によって抽臺しやすい性質に改良することが可能であると考えられた。

一方，MS15HのF₁をJA篠原圃場で慣行により栽培した場合には2月中旬までに球形成～肥大が完了し，3月中旬までには全個体が倒伏して，抽臺株は得られなかった（第6表）。同ロットの種子を11日遅れで，側窓を開放した無加温温室で栽培した場合には球の肥大が遅くなって，約3割が抽臺した。栽培方法によっても抽臺率が変わることが明らかになった。

実生では生育中の葉鞘の太さや，収穫時の球の大きさと抽臺の関係は明らかではなかった（図8）。一方，頭球苗では収穫時に球が大きな個体は抽臺しており（図9），12月中旬の葉鞘径が7mm以上の個体の多くは抽臺した（表7）ことから，低温遭遇するまでに株が大きくなっていけば抽臺しやすくなることが示唆された。実生と頭球苗で反応が異なる理由については現時点では不明だが，

苗の大きさを揃え、作型を変えるなどして実験精度を上げて、抽臺のメカニズムを明らかにしてゆく必要がある。

加藤⁵⁾によると早生品種において年内の生育が進みすぎた場合には不時抽臺が増えるとされており、実生 1 年目でも作型を検討すれば抽臺率を向上させられる可能性があると思われる。なお、MS15H を種子親とした F₁ の様に、極早生品種をマルチで促成栽培した場合は、早期に球肥大が完成したもののその後抽臺せずに倒伏して休眠したことから、生育を進めながらも、休眠に入らないような作型を開発する必要があると思われる。

タマネギ育種では開花に 2 年掛けるのが常識で、1 年で開花させて世代促進する方法はこれまで例が無い（山崎、私信）とされている。ところが、1 月に収穫可能な極早生タマネギでは、上記のように 1 年以内での抽臺～開花～交配は十分可能性がある。作型開発に加えて抽臺しやすい系統を選抜することで、安定的に高い抽臺率を確保できれば育種の効率化につながる。環境と遺伝の両面を改良して実生 1 年での抽臺率を向上させることができれば、タマネギ育種では画期的な技術に発展すると思われる。

なお、2 月中旬に収穫適期となった球を分解調査したところ、花芽分化している個体はごくわずかで、球内で抽臺が始まっても臺は長さ 1cm 程度で組織も柔らかかった（データ略）。一般的には臺は食感に影響を与えるため好ましくないが、臺がこの大きさであれば食味・食感には影響しないため、1～2 月に出荷し、直後に生食する極早生タマネギでは、3 月以降の抽臺は考慮する必要は無いと考えられる。

極早生タマネギ育種の方向性と今後の課題

本報告では極早生タマネギの育種を開始するにあたり、必要な条件と解明すべき点を幾つか明らかにした。雄性不稔株が早生品種ながら現地採種圃で複数個体見つけられたことから、早生の雄性不稔個体に極早生品種を数回連続戻し交配することで雄性不稔の極早生個体を得ることができる。極早生品種と早生品種の収穫時期は連続的で重なりもあることから、この過程で極早生性に加えて形態等を基準に選抜すれば、極早生タマネギの育成が可能になる。また、頭球により比較的簡易に栄養繁殖できることが明らかになったことから、個体同士の F₁ 品種を育成する可能性も示され、これによる育種年限の短縮も期待できる。ただし、個体同士の F₁ 品種を育成するためには両親の遺伝子型をそれぞれ純系に近づける必要があり、揃いの良い親を探すことに加え、交配～選抜を行って揃いの良い個体を F₁ の親として育成する必要がある。

更に、育種の効率化のためには実生から 1 年以内に開花～交配させられることが重要である。一般的なタマネギ品種では実生から開花まで 2 年掛かるのに対し、浜松の品種を用いた今回の結果では、40%前後のやや低率ながら、1 年目の実生でも抽臺させられることが明らかになった。作型の検討などによって抽臺率の向上が進めば、毎年交配して世代を進められると期待できる。この方法が確立できれば、育種のスピードが通常の倍になることから、タマネギ育種では革命的な技術となる可能性がある。

現時点で想定できる F₁ 品種の早期育成方法として、「毎年交配により極早生の雄性不稔個体を育成して種子親とし、可稔の極早生個体を花粉親として、両者の F₁ 組み合わせを検定し、選抜された F₁ 世代の両親をそれぞれ頭球で増殖する」という方法が考えられる。頭球で増殖した個体は遺伝的に同一なので F₁ 世代は均一で、頭球は毎年増殖可能なので永続性もあることから、F₁ 世代が優秀ならそのまま品種になりうる。上記を達成するためには、雄性不稔の種子親と花粉親共に遺伝的な純度の高い個体を得ることと、両個体の栄養繁殖が容易であることが条件となる。以上のように、毎年開花と栄養繁殖の可能性が示されたことから、F₁ 品種の早期育成が期待できると考えている。

ただし、極早生タマネギについては、上記の他にも肥大のメカニズム、分球の原因、休眠のメカニズム、雄性不稔の遺伝性など育種を進める上で解明しなければならない生理・生態関連の課題が数多く残されている。また、採種体系の構築も必要となることから、これらを解明しながら育種を進めてゆきたいと考えている。

V 摘 要

タマネギの育種を開始するにあたり、必要な条件と解明すべき点を検討した。雄性不稔株が現地採種圃で 10 個体以上見つけられたが、不稔株はいずれも 3 月収穫向けの早生品種で、1 月出荷向けの極早生品種からは見つけられなかった。極早生タマネギを育成するためには、早生の雄性不稔株に極早生品種を連続戻し交配するなどして、極早生の雄性不稔株を育成する必要がある。

頭球を人為的に形成させることで、比較的簡易に栄養繁殖できることが明らかになったことから、個体同士の F₁ 品種の育成について可能性が示された。ただし、個体同士の F₁ のためには両親の遺伝子型をそれぞれ純系に近づける必要があり、揃いの良い親を探すことに加え、交配～選抜により揃いの良い個体を育成する必要がある。

一般的にはタマネギは交配までに2年を要するが、浜松の品種では、実生から1年以内に開花～交配させられる可能性が示された。

以上のことから、毎年交配により極早生の雄性不稔個体を育成し、揃いの良い優良個体を栄養繁殖することで、極早生タマネギのF₁品種が早期に育成できると期待される。

謝 辞

本研究を開始するにあたり、東北農業研究センターの山崎篤氏にはタマネギの生理生態について適切なご助言を頂いた、北海道農業研究センターの室崇人氏にはタマネギ育種のポイントについての的確なご助言を頂いた。また、浜松市西区の鈴木洋司氏には貴重な雄性不稔株を分譲頂いた上、浜松の極早生タマネギの特殊な生態について幾つものご助言を頂いた。更に、大久保恵氏をはじめとするJAとびあ浜松の農協職員の皆さん、タマネギ部会の生産者の皆さんには各種調査にご協力頂いた。ここに深く感謝の意を表します。

引用文献

- 1) 青葉高(1964) : タマネギの球形形成および休眠に関する研究. 山形大学紀要(農学) 4, 265~363
- 2) Dore,C. and Marie,F. (1993) : Production of gynogenetic onion (*Allium cepa* L.) after crossing with irradiated pollen. *Plant Breeding* 111, 142~147.
- 3) 板橋悦子, 川辺隆大, 藤本龍 (2012) : 植物の細胞質雄性不稔と核遺伝子による稔性の制御について. *新大農研報* 64, 135~142.
- 4) 勝又廣太郎(1985) : タマネギの雄性不稔と F₁ 育種, 細胞質雄性不稔と育種技術, 山口彦之監修, シーエムシー出版, 171~184.
- 5) 加藤徹 (1979) : 生育のステージと生理生態VI 花芽分化と抽台の生理, 農業技術体系野菜編 8-②, 基 55~60.
- 6) 加藤徹 (1979) : 生育のステージと生理生態VII 開花結実の生理, 農業技術体系野菜編 8-②, 基 61~68.
- 7) Kim,S., E-T.Lee, C-W.Kim and M-K.Yoon(2009) : Distribution of three cytoplasm types in Onion (*Allium cepa*L.) cultivars bred in Korea and Japan. *Kor.J.Hort.Sci.Technol.*, 27,275~279
- 8) 小島昭夫 (2013) : 第9章 タマネギとネギ, 品種改良の日本史, 鶴飼保雄、大澤良編, 悠書館, 254~269.
- 9) 小島昭夫 (2010) : 第16章 ネギとタマネギ, 品種改良の世界史 作物編, 鶴飼保雄、大澤良編, 悠書館, 395~405.
- 10) Matsubara,S. and H.Hihara(1978) : Onion bulblet regeneration on receptacles in vivo and in vitro. *J.amer.Soc.Hort.Sci.*, 46, 479~486.
- 11) Murovec,J. amd B.Bohanec (2012) : Haploids and doubled haploids in plant breeding. *Plant Breeding*, 131, 87~106.
- 12) Sato,Y.(1998) : PCR amplication of CMS-specific mitochondrial nucleotide sequences to identify cytoplasmic genotypes of onion (*Allium cepa* L.). *Theor.Appl.Genet.*, 96, 367~370.
- 13) 品田裕二, 宮浦邦晃 (1982) : タマネギの近交弱勢とヘテローシスに関する研究 第1報 形質発現に及ぼす自殖の影響. 育種・作物学会北海道談話会報, 22, 3