部分不活化花粉による二倍性種なしスイカ生産のための蕾受粉

杉山慶太*・阿久津雅子^a

独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構北海道農業研究センター 062-8555 札幌市豊平区羊ヶ丘

Bud Pollination for Production of Diploid Seedless Watermelon Using Partially Inactivated Pollen

Keita Sugiyama and Masako Akutsu

National Agricultural Research Center for Hokkaido Region, Hitsujigaoka, Toyohira-ku, Sapporo, Hokkaido 062-8555

Abstract

Diploid seedless watermelons are presently produced by pollination with partially inactivated (soft X-ray irradiated) pollen. Bud pollination on the day preceding flowering was tested as a means of reducing labor in seedless watermelon production. The fruit set rates by pollination in the afternoon, as well as those on the day of flowering, were higher than those in the morning. There was no difference in fruit weight, fruit shape, rind thickness, soluble solids (Brix), flesh color, rind hardness, and number of empty seeds between the fruits resulting from bud pollinations and the fruits produced by pollination on the flowering date. These results were almost similar to those of partially inactivated pollen preserved for about one year. Our previously established seedless watermelon production method involved making the soft X-ray irradiated pollen, covering the female flower with a bag before flowering, artificial pollination, and covering the female flower after pollination. With bud pollination, the work involved in covering the female flower before flowering could be omitted, and since preserved inactivated pollen could be used, the total working hours were reduced by about 63.5%.

Key Words : empty seed, laborsaving, parthenocarpy, soft X-ray irradiated pollen, stored pollen

キーワード : 保存花粉, 軟 X 線照射花粉, しいな, 省力化, 単為結果

緒 言

種なしスイカは三倍体を利用したもののがほとんどであり、二倍体スイカの花粉を三倍体スイカの雌花に受粉することによって果実が生産される (Kihara, 1951) . その後, Sugiyama・Morishita (2000) は、二倍体のスイカに軟 X 線を用いて照射された花粉 (以後、部分不活化花粉) を受粉することによって単為結果し、種なし果実が得られる現象を見いだした. この部分不活化花粉を利用した種なしスイカの作出方法は、一般的に栽培されている二倍体のスイカ品種を用いるため、産地で栽培されている品種を利用できる利点がある. しかし、部分不活化花粉を利用した種なしスイカ生産では、一般的なスイカ生産に比べて部分不活化花粉の作出や他家受粉の防止作業などが加わり、より多くの時間を要している.

これまで部分不活化花粉を利用した種なしスイカ生産のためには、生産者が開花前の雌花に袋掛けを行い (他家受

粉の防止)、開花雄花を早朝に収集し、軟 X 線を照射して花粉を部分不活化させた後に受粉を行い、再度袋掛けの作業を行う必要があった. また、雌花の結実能力から午前中に受粉作業を終えることが望ましいため、時間的な制約も大きいなど、開花当日に受粉できる数は限られており、種なしスイカの量産化が困難であった. そのため、現行の生産過程を改善して量産化するためには、他家受粉の防止作業の省力化および部分不活化花粉の作出の分業化が必要である. 部分不活化花粉の作出については、スイカ花粉の長期保存技術が開発されたことにより (Akutsu・Sugiyama, 2008)、専門業者による生産者への部分不活化花粉の提供が可能となり、生産者が受粉の作業に専念できる体制ができた.

残された解決すべき課題として、他家受粉の防止作業の省力化がある. 訪花昆虫によって部分不活化していない花粉が受粉されると、種子が形成されるため、雌花の開花前と受粉後の他家受粉の防止作業は必須である. 他家受粉はミツバチ、コハナバチ、ハナアブおよびアリなどの訪花昆虫により行われ、農薬の散布や寒冷紗・防虫ネットなどでも他家受粉の防止効果は認められるが、効果を高めるためには雌花の開花前と開花当日の受粉後の袋掛けなどの作業が必要となっている. スイカにおいて蕾受粉による果実の作出が可能となれば、開花前の袋掛けなどの作業が不要と

2009 年 4 月 30 日 受付. 2009 年 11 月 20 日 受理.

本研究は生研センター異分野融合研究事業において行われ、一部は北海道園芸研究談話会で発表した.

* Corresponding author. E-mail: keita@affrc.go.jp

^a 現在: 独立行政法人国際農林水産業研究センター

なり、大きな省力化となる。ウリ類の蕾受粉については、キュウリやメロンでの報告があり（熊沢・南川，1937；鈴木，1979；八柳，1936），開花前日には結実能力が備わっていることが知られている。しかし，スイカでは開花当日の受粉と結実率との関係についての報告はあるが（下内，1932；杉山，2001），開花前の受粉と結実率との関係についての調査はほとんど行われていない。そこで，他家受粉の防止作業の省力化を目的として，開花前日の受粉による結実率と果実品質について調査を行った。また，保存した部分不活化花粉を利用し，開花前日に受粉を行う場合の作業時間について，現行の生産方式の作業時間との比較も行った。

材料および方法

1. 受粉時刻と着果率の関係

1) 開花雄花の当日の花粉を用いた受粉

2006年6月15日に直径12 cmのポットに‘富士光 TR’を播種し，7月10日に幅300 cmの1畝に株間60 cmで50株定植し，露地で栽培した。整枝方法として主枝を摘心後，側枝3本整枝とした。施肥は，1 a当たり成分量で窒素，リン酸，カリウムを各1.2 kg施用した。実験区として部分不活化花粉を雌花の開花前日の9，12，14および17時に受粉する区，対照区として開花当日の9時に受粉する区を設定した。また，部分不活化していない無処理の花粉を開花当日の9時に受粉する区も設けた。1側枝につき1雌花の受粉を基本として，1処理区10側枝以上の受粉となるようにランダムに受粉し，7日後に結実率を調査した。結実率は受粉数に対する結実数で示した。受粉は2006年7月25日～8月15日に行った。部分不活化花粉は開花当日の雄花に軟X線を600 Gy ($15 \text{ Gy} \cdot \text{min}^{-1}$) 照射して（OM-B205，オーミック）作出した。9時以降の受粉では照射処理直後にシリカゲルを入れたシャーレに雄花を封入して4°Cの冷蔵庫で保存して利用した。開花前日の受粉においては，受粉後に雌花に袋（縦12 cm×横6.7 cm）を掛けて他家受粉を防止した。開花当日の受粉では，開花前日と受粉後に袋を掛けた。なお，開花する前日の雌花は，蕾の花弁が膨らみ黄色となることで判断した。

2) 長期保存花粉を用いた受粉

2008年4月3日にワグネルポット（ $1 \cdot 2000 \text{ a}^{-1}$ ）に園芸用培土を入れて，雄花が多く花粉量の多い品種‘Green Seeded’を1ポット当たり3粒播種した。整枝方法として主枝を摘心して側枝を2本伸ばし，立体栽培とした。実験区として部分不活化花粉を雌花の開花前日の9，12，15および18時に受粉する区，対照区として開花当日の9時に受粉する区を設定した。1側枝につき1雌花の受粉を基本として，7日後に結実率を調査した。1処理区3株（1ポット）とし，4反復行った。受粉は2008年6月13日～7月8日に行った。部分不活化花粉は2007年7月に開花雄花の葯から花粉を分離してパラフィン紙に包み，軟X線を600 Gy ($15 \text{ Gy} \cdot \text{min}^{-1}$) 照射した。部分不活化された花粉を真空専

用袋に入れて，真空包装機（V-308G，東静電気）により脱気後に窒素ガスを封入して，-25°Cで保存した。開花前日の受粉では受粉後に袋掛けを行い，開花当日の受粉では開花前日と受粉後に袋を掛けた。栽培はガラス温室内で行い，25°C以上で天窓を開けるように調節した。

2. 開花の前日受粉による種なしスイカの品質

1) 開花雄花の当日の花粉を用いた開花前日の受粉

2006年に1. 1)と同じ栽培法により，実験区として部分不活化花粉を雌花の開花前日の14，16および18時に受粉する区，対照区として開花当日の9時に受粉する区を設定した。1処理区8株をランダムに配置し，1株当たり1果実のみ残して摘果し，受粉後45日目に各区から結実した4～7果を収穫した。調査項目は，果重，果形，果皮の厚さ，果肉色，果肉硬度，Brixおよびしいなの程度とした。果形は果実の縦径と横径の割合に基づいて表した。果皮の厚さは果実赤道部の表皮から赤い果肉部に至るまでの長さを測定した。果肉色は色彩色差計を用いて果実縦断面の中央部の a^* 値を測定した。果肉硬度は果実硬度計（KM-1，藤原製作所）を用いて果実縦断面の3か所を測定した。Brixは果実中央部を糖度計（PR-101α，アタゴ）によって測定した。しいなの程度は果実縦断面の両面に含まれるしいなの数に基づいて評価した。

2) 長期保存花粉を用いた開花前日の受粉

2007年6月6日に‘富士光 TR’を播種し，6月29日にビニルハウス内の長さ22 m，幅3 mの2畝に株間50 cmで定植した。整枝方法として主枝を摘心後，側枝3本整枝とした。施肥は，1 a当たり成分量で窒素，リン酸，カリウムを各1.2 kg施用した。実験区として，2006年に窒素封入後-25°Cで約1年間保存した‘Green Seeded’の部分不活化花粉（600 Gyで照射）を雌花の開花前日の14，16および18時に受粉する区，対照区として開花当日9時に同保存花粉を受粉する区を設定した。1処理区当たり4株の2反復とした。1株当たり1果実のみ残して摘果し，受粉後45日目に収穫した。受粉は7月18～24日に行い，調査項目は2. 1)と同じとした。

3. 保存した部分不活化花粉の利用と開花前日の受粉による省力性

2007年6月22日に‘富士光 TR’を播種し，7月18日に長さ60 m，幅3 mの3畝に株間60 cmとして100株定植し，露地栽培した。1株3本整枝とし，8月8～22日に現行の種なしスイカの生産方式による作業と新たな種なしスイカの生産方式（第1図）による作業の時間を測定した。作業は5人の被験者により行われ（50代・1人，40代・2人，30代・1人および20代・1人），それぞれ異なる日に実施した。また，現行の生産方式による作業時間の測定と新たな生産方式による作業時間の測定についても異なる日に実施した。なお，軟X線の照射時間は40分（600 Gy）とした。

第1図 部分不活化花粉による種なしスイカの生産方式の比較

²生産者がすべての作業工程を行う³雄花の花弁除去と照射網への設置

結果および考察

1. 受粉時刻と着果率の関係

1) 開花雄花の当日の花粉を用いた受粉

開花前日の9および12時の受粉ではそれぞれ18.2%、21.4%の結実が認められたが、開花当日の9時に部分不活化花粉を受粉した結実率70.0%の2.5～3割程度であった(第2図)。14時以降の結実率は急激に上昇し、14および17時の受粉では結実率がそれぞれ75.0%、71.4%となり、開花当日に受粉した結実率と同程度となった。

2) 長期保存花粉を用いた受粉

約1年間保存した部分不活化花粉を用いた場合に、開花前日の9時における受粉では、18.8%の結実が認められたが、開花当日の3割程度であった(第3図)。午後の受粉では結実率が上昇し、12時では開花当日の5割程度、15時以降の受粉では開花当日の結実率とほぼ同程度となった。

杉山(2001)は雌花の開花当日の結実能力についての調査から、結実率は開花当日の午後から急激に低下し、16時頃の受粉では結実が極めて低いことを示した。スイカの開花当日での結実能力は詳しく調査されていたが、開花前の蕾受粉による結実についてはほとんど知られていなかった。本実験の結果から、開花前日の午前中には結実能力のあることが明らかとなり、部分不活化花粉を受粉した場合でも結実することが示された。また、実験年は異なるが、約1年間保存した花粉を用いた受粉においても開花雄花の当日の花粉を用いた受粉と同程度の結実率が認められ、保存による影響はみられなかった。雄花の多い品種‘Green Seeded’の保存花粉においても結実が認められたことから、実用的な利用の可能性も示された。

2006および2008年の実験とも開花前日の午前中では結実能力が低いため、開花当日の受粉と同程度の結実率を得

第2図 部分不活化花粉の受粉時刻と結実率との関係(2006年)

²結実数/受粉数

第3図 長期保存した部分不活化花粉の受粉時刻と結実率との関係(2008年)

図中の縦棒は標準誤差を示す (n=4)

るためには、14 時以降の受粉が望ましいと考えられる。2006 年の露地栽培および 2008 年のガラス温室内での栽培では、それぞれ 7 月下旬～8 月上旬、6 月中旬～7 月上旬と気温の高い時期の受粉であり、雌花の発育や花粉管伸長に良好な条件であったと考えられる。花粉発芽率や花粉管の伸長は温度によって影響され（倉田，1971；末永，1990；杉山，2001）、雌花の発育も気温に影響されることから（倉田，1972）、促成栽培や早熟栽培などの受粉期が低温に遭遇しやすい作型での開花前日の受粉については、詳細な結実調査が必要と考えられる。

2. 開花の前日受粉による種なしスイカの品質

1) 開花雄花の当日の花粉を用いた開花前日の受粉

開花雄花の当日の部分不活化花粉を用いて開花前日の午後に受粉を行った果実は、いずれの受粉時刻でも果重、果形、果皮の厚さ、Brix、果肉色、果肉硬度およびしいなの程度とも開花当日に受粉した果実とほぼ同程度の品質の種なしの果実が得られた（第 1 表）。

2) 長期保存花粉を用いた開花前日の受粉

約 1 年間保存した部分不活化花粉を用いて開花前日の午後に受粉を行った果実は、いずれの受粉時刻でも対照区と同程度の果重であった（第 2 表）。また、果形、果皮の厚さ、

Brix、果肉色、果肉硬度およびしいなの程度とも受粉時刻にかかわらず、当日受粉とほぼ同程度の品質の種なしの果実が得られた。

これまで保存花粉を用いた受粉の果実品質への影響については、Akutsu・Sugiyama（2008）や Sugiyama ら（2002）が、長期間保存された部分活化花粉によって作出された果実の品質が対照区（開花雄花の当日の部分不活化花粉あるいは 1～2 日間保存した部分不活化花粉）の果実とほぼ同程度であったことを報告している。このことから、花粉の発芽力（発芽率、花粉管伸長）が低いなどの問題がなければ、保存花粉を用いた開花前日の受粉においても開花当日の受粉と同等の品質の果実が生産できると考えられる。

以上の結果から、開花前日に部分不活化花粉を受粉することにより、開花当日の受粉と同等の種なし果実が得られることが示された。今後、開花前日に受粉を行うことで、開花前の雌花への袋掛けなどの作業の省力化が期待される。また、受粉 3 時間以降の降雨であれば結実に大きな影響を与えないことから（門田・野崎，1965）、前日受粉は開花当日に降雨が予測される場合に、結実向上の技術としても役立つことが推察される。

第 1 表 部分不活化花粉を用いて開花前日の受粉により作出されたスイカ果実の品質（2006 年）

処理区 (受粉時刻)	調査果数	果重 (kg)	果形 (縦横比)	果皮の厚さ (mm)	糖度 (Brix)	果肉色 ^z (a* 値)	果肉硬度 ^y (N)	しいな の程度 ^x
開花前日 14 時	7	5.5	1.03	14.0	13.0	22.3	0.32	4.1
開花前日 16 時	7	6.2	1.02	14.3	12.6	19.7	0.31	3.9
開花前日 18 時	6	6.0	1.06	13.3	12.8	21.1	0.33	4.5
開花当日 9 時	4	6.0	1.05	12.4	12.6	27.0	0.31	4.3
有意性 ^w		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

^z 色彩色差計による a* 値

^y 硬度計（円錐形のプランジャー）による果肉部 3 か所の貫入抵抗値の平均値

^x 果実縦断面の両面の評価：1（不良；縦径 6 mm 以上のしいなを 8 個以上含む）、2（やや不良；縦径 6 mm 以上のしいなを 6～7 個含む）、3（中；縦径 6 mm 以上のしいなを 4～5 個含む）、4（やや良；縦径 6 mm 以上のしいなを 1～3 個含む）、5（良；縦径 6 mm 以上のしいな無し）

^w 分散分析により NS は 5% 水準で有意差なし

第 2 表 長期保存の部分不活化花粉を用いて開花前日の受粉により作出されたスイカ果実の品質（2007 年）

処理区 (受粉時刻)	調査果数	果重 (kg)	果形 (縦横比)	果皮の厚さ (mm)	糖度 (Brix)	果肉色 ^z (a* 値)	果肉硬度 ^y (N)	しいな の程度 ^x
開花前日 14 時	8	7.2	1.10	15.0	12.6	17.3	0.29	3.9
開花前日 16 時	8	6.7	1.09	15.2	12.1	17.3	0.28	3.5
開花前日 18 時	8	7.1	1.06	15.2	12.4	18.2	0.27	4.0
開花当日 9 時	6	7.4	1.07	16.0	12.6	19.0	0.31	3.8
有意性 ^w		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

^z 色彩色差計による a* 値

^y 硬度計（円錐形のプランジャー）による果肉部 3 か所の貫入抵抗値の平均値

^x 果実縦断面の両面の評価：1（不良；縦径 6 mm 以上のしいなを 8 個以上含む）、2（やや不良；縦径 6 mm 以上のしいなを 6～7 個含む）、3（中；縦径 6 mm 以上のしいなを 4～5 個含む）、4（やや良；縦径 6 mm 以上のしいなを 1～3 個含む）、5（良；縦径 6 mm 以上のしいな無し）

^w 分散分析により NS は 5% 水準で有意差なし

第3表 保存部分不活化花粉を用いた開花前日の受粉による新たな種なしスイカ生産方式の省力性 (2007年)

生産方式	作業時間（分） ^z						合計
	部分不活化花粉の作成			受粉・他家受粉の防止作業			
	雄花採集	照射準備	軟 X 線照射	開花前日の袋掛け	開花当日の受粉・袋掛け	開花前日の受粉・袋掛け	
現行の生産方式 ^y （合計に対する割合％）	4.8 ± 0.3 ^w （2.8）	21.9 ± 2.8 （12.8）	40 （23.5）	59.3 ± 12.0 （34.8）	44.5 ± 6.0 （26.1）	—	170.5 ± 20.7 （100）
新たな生産方式 ^x （現行の生産方式に対する割合％）	—	—	—	—	—	62.3 ± 11.3	62.3 ± 11.3 （36.5）

^z雌花 100 花当たりの作業を 1 人で行う時間に換算^{x, y}第 1 図参照^w平均値 ± 標準誤差 (n = 5)

3. 保存した部分不活化花粉の利用と開花前日の受粉による省力性

作業時間には被験者の個人差が大きかったが、保存した部分不活化花粉を用いて開花前日の受粉と受粉後の袋掛けを行う新たな生産方式は、現行の種なしスイカ生産方式の作業時間と比較して、全体の作業時間が約 36.5% に短縮 (約 63.5% 削減) されることが示された (第 3 表)。

保存した部分不活化花粉を利用することで、受粉当日の雄花の採集 (約 4.8 分)、照射準備 (約 21.9 分) および軟 X 線の照射 (40 分) の時間が不要となる。この作業は全体の約 39.1% (約 66.7 分) を占めることから、部分不活化花粉を作出する作業と受粉作業を分けることは大きな労力の削減になると考えられる。現在、保存した部分不活化花粉は専門業者などから入手できるようになったことから、生産者が部分不活化花粉を作出する必要はなくなり、受粉作業のみに専念できるようになった。

現行の受粉・他家受粉防止の作業 (開花前日の袋掛け、開花当日の受粉・袋掛け) において、開花当日の訪花昆虫による受粉を防ぐための開花前日の袋掛けは、全体の約 34.8% (約 59.3 分) の労力を要している。この受粉前の袋掛け作業は、前述したように開花前日の蕾受粉によって不要となる。しかし、開花前日の受粉・袋掛けの時間 (約 62.3 分) が、開花当日の受粉・袋掛けの時間 (約 44.5 分) と比較すると長時間であったことは、開花前日の雌花を探す時間と受粉のために蕾の花弁を開く時間を要したためと考えられる。開花前日の受粉後の袋掛けも不要になるとさらに省力化されるが、開花前日の受粉後に、翌朝であっても部分不活化していない花粉が付着すると稔実種子ができることが観察されており (杉山ら, 2007)、袋掛けなどの訪花昆虫の防除は必須と考えられる。袋掛け作業の効率化に向けては、接ぎ木用クリップの利用などの取り組みも試みられているが、より簡便に訪花昆虫を防ぐ器具の開発が望まれる。

摘 要

スイカの部分不活化花粉を用いた開花前日の午前中の受粉においては結実率が低かったが、午後からの結実率は急

激に上昇し、開花当日の受粉と同程度となった。開花前日の午後に部分不活化花粉を受粉して作出した種なし果実は、いずれの受粉時刻でも開花当日に受粉した種なし果実と同程度の果重であり、果形、果皮の厚さ、果肉色、Brix、果肉硬度およびしいなの程度とも対照区とほぼ同程度の品質の種なしの果実が得られた。これらの結果は、約 1 年間保存した部分不活化花粉を用いた場合も同じであった。現行の種なしスイカ生産方式 (部分不活化花粉の作出、開花前日の袋掛け、開花当日の受粉、受粉後の袋掛け) における開花前日の袋掛け作業は、開花前日の蕾受粉によって不要となった。また、保存した部分不活化花粉を専門業者などから入手して開花前日の受粉を行う新たな生産方式は、現行の種なしスイカ生産方式と比較して作業時間が約 63.5% 削減されることが示された。

引用文献

- Akutsu, M. and K. Sugiyama. 2008. Establishment of a long-term storage method for soft X-ray irradiated pollen. *Euphytica* 164: 303–308.
- 門田寅太郎・野崎 了. 1965. 降雨とスイカの受精障害との関係. *農及園*. 40: 1123–1124.
- Kihara, H. 1951. Triploid watermelon. *Proc. Am. Soc. Hort. Sci.* 58: 217–230.
- 熊沢三郎・南川勝次. 1937. 茄・蕃茄・南瓜の蕾授粉と自然交雑. *園芸の研究*. 33: 118–130.
- 倉田久男. 1971. 花粉の力. p. 28–31. スイカ栽培新書. 養賢堂. 東京.
- 倉田久男. 1972. スイカの早出し栽培の問題点. *農及園*. 47: 599–604.
- 下内 稔. 1932. スイカの結実に関する研究. *園芸の研究*. 29: 92–104.
- 末永善久. 1990. 早出しスイカの栽培技術と熊本県での産地の課題. *施設園芸*. 32: 36–38.
- 杉山慶太. 2001. スイカの多雌花性および耐裂果性の育種に関する研究. *野菜茶試研報*. 16: 265–310.
- 杉山慶太・阿久津雅子・室 崇人. 2007. 不活化花粉利用

- による種なしスイカ作出のための昆虫防御技術. 北園談. 40: 84–85.
- Sugiyama, K. and M. Morishita. 2000. Production of seedless watermelon using soft X-ray irradiated pollen. Sci. Hortic. 84: 255–264.
- Sugiyama, M., Y. Sakata, E. Kitadani, M. Morishita and K. Sugiyama. 2002. Pollen storage for production of seedless watermelon (*Citrullus lanatus*) using soft-X-irradiated pollen. Acta. Hortic. 588: 269–271.
- 鈴木英治郎. 1979. IV 受粉と受精. p. 基 68–71. 農業技術大系. 野菜編4. メロン類・スイカ. 農文協. 東京.
- 八柳三郎. 1936. 胡瓜の花の老幼と結実力. 農及園. 11: 140.