

品種・遺伝資源

開花期前の低温処理がダイズの自然交雑率に及ぼす影響

島村聡¹⁾・飯村敬二²⁾・高溝正²⁾・石本政男³⁾・羽鹿牧太¹⁾

(¹⁾ 作物研究所, ²⁾ 畜産草地研究所, ³⁾ 北海道農業研究センター)

要旨：一般にダイズは、自殖率が極めて高い作物であるが、開花期前に低温に遭遇すると、花粉の形成不良による不稔が原因となり他殖率が増大する可能性が指摘されている。そこで本研究では、開花期前の低温処理が自然交雑率（他殖率）に及ぼす影響を調査した。ダイズ品種「青丸くん」の種子の子葉色は緑色であるが、子葉色が黄色の品種と交雑すると、交雑種子（F₁）の子葉色は黄色になるので、これを交雑判定に利用した。開花期約1週間前の「青丸くん」を人工気象室に入れ、8～15℃で7日間低温処理を施した。処理個体および対照個体を圃場の花粉源となるダイズのそばに設置し、自然交雑率を調査した。その結果、対照区の交雑率は0～0.18%に対して低温区では0.1～0.62%で、開花期前の低温処理は交雑率を著しく増大させた。また、花粉を媒介するミツバチの巣箱設置の効果も調査したところ、交雑率はミツバチ設置区では0.21%で非設置区の0.07%よりも高かった。本研究により、開花期前の低温がダイズの交雑率を増大させる一因であることが確かめられた。

キーワード：開花期、花粉飛散、自然交雑、ダイズ、低温、不稔。

ダイズはほとんどが開花時にはすでに自家受粉しているために自殖率が極めて高い作物であり、2品種を畦間50～90 cm程度で隣接して栽培した場合、品種間の自然交雑率（他殖率）は海外では0.03～0.71%で、そのほとんどの事例は0.5%未満であり（Woodworth 1922, Garber and Odland 1926, Caviness 1966, Chiang and Kiang 1987, Abudら 2003, Rayら 2003）、国内においても0～0.19%である（菊池ら 1993, 京谷・小玉 2004, Yoshimuraら 2006）。ところが、平成18年度に北海道立農業試験場で行われた他品種との自然交雑に関する試験では（北海道庁 2007）、畦間60 cmで隣接した場合、その交雑率は中央農業試験場（長沼町）と北見農業試験場（訓子府町）ではそれぞれ0.025%と0.033%で、これまでの研究事例と同程度であったが、十勝農業試験場（芽室町）では1.013%と極めて高い値であった。一般に、ダイズは開花時にはすでに受粉している場合が多いが、十勝農業試験場では種子親の開花期前に最低気温が15℃を下回る日が続いたために、障害型冷害による花粉の形成不良により不稔が生じて自殖できずに開花して他品種と交雑する確率が高まったのではないかと推察されている（北海道庁 2008）。

近年、自殖性作物のイネにおいても穂ばらみ期に低温に遭遇すると雄性不稔化が生じて他品種との交雑率が上昇することが報告されている（佐藤・横谷 2008）。すなわち、穂ばらみ期に12℃で4日間の低温処理した種子親を人工気象室において花粉源から1 m離れた場合には交雑率は1.28%（対照区では0.19%）、圃場では距離1 mで5.55%（同0.02%）、5 mで2.69%（同0%）であり、低温によ

る雄性不稔の増加により交雑率が大幅に上昇することが実証されている。

一方、ダイズの他品種との自然交雑に関する研究を見ると、前述のように花粉源と種子親との距離の影響を調査したものは多いが、開花期前の低温障害との関係については行われていない。また、夏季の低温障害は北海道に限らず他の地域でも生じる可能性がある。そこで本研究では、ダイズにおける自然交雑防止策の確立に資するために、人為的に開花期前に低温処理した個体を花粉源に隣接させたときの自然交雑率に及ぼす影響について調査した。

材料と方法

1. 作物研究所における低温処理試験

(1) 2007年の試験

ダイズ *Glycine max* (L.) Merr. 品種「青丸くん」を種子親として供試した。6月26日（試験1）および7月3日（試験2）に約9 Lの淡色黒ボク土を充填したプラスチックポット（10 L容）に「青丸くん」を5粒播種し、3 cmの覆土を行った。元肥としてポット当たり化成肥料20 g（N：P₂O₅：K₂O = 3：10：10）、ようりん15 gおよび苦土石灰7 gを施用した。初生葉展開後に1ポット2本立てとし、開花約1週間前まで野外で育成させた。そして試験1では8月2日に試験2では8月9日に人工気象室（14時間日長、光合成量子束密度800 μmol m⁻² s⁻¹以上）に移し、低温区として15℃程度（最高16.9℃、最低14.8℃、平均15.7℃）で、対照区として25℃程度（最高28.0℃、最低24.4℃、平均26.1℃）で各10ポット、2試験で計40ポットを1週

第1表 2007年における低温処理による交雑種子と交雑率への影響
(作物研究所)。

試験	播種日	試験区	全粒数	交雑種子数	交雑率(%)
試験1	6月26日	対照区	1910	0	0.00
		低温区	2180	4	0.18
試験2	7月3日	対照区	2496	0	0.00
		低温区	2894	18	0.62
合計		対照区	4406	0	0.00
		低温区	5074	22	0.43

間処理した。処理したポットについては、作物研究所観音台ダイズ試験圃場（茨城県つくば市）で開花程度が同程度の品種（試験1では「サチユタカ、開花期8月6日」、試験2では「フクユタカ、開花期8月16日」）のボーダーに畦間70cmで平行に隣接させて設置した。なお、周辺にはその他多数のダイズ品種が栽培されていた。「青丸くん」の開花期は試験1では対照区8月8日、低温区8月10日、試験2では対照区8月13日、低温区8月18日であった。また、ダイズの花粉媒介に関わる昆虫の一つにミツバチが考えられていることから（生井1985）、交雑確率を上げるために同時に圃場近辺にミツバチの巣箱を設置した。交雑処理開始2週間後にそれぞれのポットを周辺にダイズを栽培していない場所に移設して、成熟まで育成させた。

(2) 2008年の試験

2007年とほぼ同様の試験を行ったので、概略を述べる。7月2日にポットに播種し、低温区として8月1日に人工気象室に20ポットを移して15℃程度（最高15.9℃、最低14.2℃、平均15.0℃）で処理し、対照区は20ポットを引き続き野外で栽培した。低温処理1週間後に開花程度が同程度の「エンレイ、開花期8月7日」のボーダーに畦間70cmで平行に隣接させて設置し、交雑処理期間を3週間とした。「青丸くん」の開花期は対照区8月8日、低温区8月9日であった。また、ミツバチの巣箱設置区とその巣箱から300m以上隔離した非設置区を組み合わせた合計4区（1区10ポット）を設けた。なお交雑処理期間中の8月18日にトレボン乳剤1000倍液を散布した。

2. 畜産草地研究所における低温処理試験

2007年6月12日に園芸用培土を充填した1/5000aワグナーポットに「青丸くん」を6粒播種し、3cmの覆土を行った。初生葉展開後に1ポット2本立てとし、開花約1週間前まで野外で育成した。そして8月1日に自然光空調ガラス室（昼夜とも15℃程度）に移し、さらに8月3日には一部を人工気象室（昼夜とも8℃程度）に移した。対照区は引き続き屋外にて生育させた。処理したポットは8月8日に畜産草地研究所那須研究拠点隔離圃場（栃木県那須塩原市）で開花程度が同程度の品種（「すずゆたか」および「いちひめ」）栽培圃場内の畦間75cmの中間に5ヶ所配置した。「青丸くん」の開花期は8月15日前後であった。交雑確率

第1図 交雑種子と判定された「青丸くん」種子の外観。
左：自殖種子，右：自然交雑種子。

を上げるために同時に圃場近辺にミツバチの巣箱を設置した。交雑処理後も成熟まで当該圃場において育成させた。

3. 交雑種子の判定とDNAマーカーによる確認

「青丸くん」の種子の子葉は緑色を呈し、この形質は劣性の核遺伝子で支配されていることから、「青丸くん」を種子親として子葉が黄色の品種と交雑するとF₁種子の子葉は黄色になる。このため青丸くんは子葉および種皮の両方が緑のため外観が「濃い緑」で、交雑種子は子葉が黄色で種皮のみ緑のため外観は「黄緑」となる。この形質を交雑種子の判定に利用し、脱穀後にすべての種子について子葉の色を確認して、子葉が黄色の種子について調査した。「青丸くん」の片親である「タチユタカ」と「リュウホウ」の間で多型を示す135個の単純配列反復（SSR：Simple Sequence Repeats）マーカー（Hwangら2008）のうち、異なる連鎖群に座乗し、明瞭な多型を示すSSRマーカー（Creganら1999, Songら2004）を花粉親の確認に用いた。また、畜草研における実験では「青丸くん」と「すずゆたか」あるいは「いちひめ」との間で多型を示すSatt424を花粉親の確認に用いた。

結 果

1. 作物研究所における低温処理試験

(1) 2007年の試験

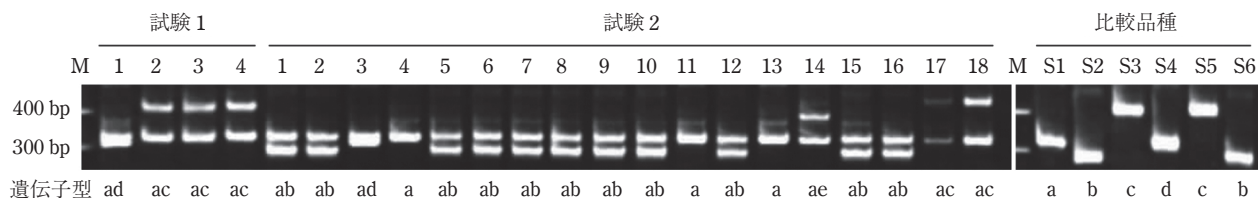
第1表に2回の試験で得られた全粒数、交雑種子数および交雑率を示した。対照区では種子の子葉はすべて緑色で、交雑種子と判定された種子は検出されなかった。一方、低温区では子葉が黄色の種子が見出され（第1図）、試験1では2180粒中4粒、試験2では2894粒中18粒が交雑種子であると推定された。交雑率は試験1で0.18%、試験2で0.62%、その合計では0.43%であった。これらの種子についてDNAマーカー解析で多型を調べたところ、実験1の4粒、実験2の18粒ともに「青丸くん」以外の遺伝子型が示され（第2表、第2図）、これらは交雑種子であることを確認した。

(2) 2008年の試験

低温区では交雑種子と判定された種子はミツバチ設置区で3707粒中9粒（交雑率0.24%）、非設置区で3125粒中3粒（同0.10%）に対して、対照区ではミツバチ設置区で3381粒中6粒（同0.18%）、非設置区で2717粒中1粒（同

第2表 SSR マーカーによる 2007 年に得られた交雑種子の確認と遺伝子型 (作物研究所).

試験	試験 1				試験 2																		比較品種と遺伝子型						
種子 No .	1	2	3	4	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18							
推定された 花粉親	不明	不明	不明	不明	不明	不明	不明	不明	不明	不明	不明	不明	不明	不明	不明	不明	不明	不明	不明	不明	不明	不明	不明	青丸くん	リュウホウ	エンレイ	タチナガハ	サチユタカ	フクユタカ
	Satt197	ab	ab	ab	ab	a	a	ab	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	ab	a	b	b	b	b	a
	Sat_322	ab	a	a	a	a	a	ab	ab	a	a	a	a	a	a	a	a	ab	ab	a	a	ad	ad	a	b	c	b	b	b
	Satt157	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	ac	a	a	ad	a	a	ac	ac	a	b	a	a	a	a
	Sat_064	a	a	a	a	a	ad	a	ac	ad	a	a	a	a	a	ac	a	ac	a	a	a	a	a	a	b	c	d	d	d
	Satt614	ad	ac	ac	ac	ab	ab	ae	a	ab	ab	ab	ab	ab	ab	a	ab	a	ae	ab	ab	ac	ac	a	b	c	d	c	b
	Satt055	ac	ad	ad	ad	ad	ad	ac	a	ad	ad	ad	ad	ad	ad	a	ad	a	a	ad	ad	a	a	a	b	a	c	d	d
	Satt530	a	ab	ab	ab	ab	ab	a	a	ab	ab	ab	ab	ab	ab	ab	ab	a	ac	ab	ab	ab	a	a	b	a	a	b	b
Satt477	ab	ab	ab	ab	ab	ab	ab	a	ab	ab	ab	ab	ab	ab	a	ab	a	a	ab	ab	ab	ab	a	b	b	b	b	b	



第2図 2007 年に作物研究所で得られた交雑種子の SSR マーカー Satt614 による PCR 増幅産物の電気泳動像.

比較品種 S1: 青丸くん, S2: リュウホウ, S3: エンレイ, S4: タチナガハ, S5: サチユタカ, S6: フクユタカ.

0.04%) で, 2007 年とは異なり対照区でも子葉が黄色の種子が見出された (第3表). 自然交雑率は低温区で対照区より高く, またミツバチ設置区で非設置区より高まる傾向があった. これらの種子については DNA マーカー解析でいずれも「青丸くん」以外の遺伝子型が示され, 花粉親が 16 粒で「エンレイ」, 3 粒で「リュウホウ」と推測された (第4表).

2. 畜産草地研究所における低温処理試験

第5表には 1 回の試験で得られた全粒数, 交雑種子数および交雑率を示した. 対照区および 15℃ 処理区では種子の子葉はすべて緑色で, 交雑種子と判定された種子は検出されなかった. 一方, 15℃ から 8℃ に移した区では子葉が黄色の種子が見出され, 2 粒が交雑種子であると推定された. 15℃ と 8℃ を合計した低温区全粒中の交雑率は 0.39% であった. これらの種子について DNA マーカー解析で多型を調べたところ, いずれも「青丸くん」の他に「いちひめ」または「すずゆたか」の遺伝子型も示され, これらは交雑種子であることを確認した.

考 察

平成 18 年に十勝農業試験場で実施された他品種との自然交雑試験で得られたダイズの交雑率 1.013% はこれまでの報告と比較して極めて高い値であり, この原因として開

第3表 2008 年における低温処理による交雑種子と交雑率への影響 (作物研究所).

試験区		全粒数	交雑種子数	交雑率 (%)
ミツバチ 設置区	対照区	3381	6	0.18
	低温区	3707	9	0.24
	小計	7088	15	0.21
非設置区	対照区	2717	1	0.04
	低温区	3125	3	0.10
	小計	5842	4	0.07
合計	対照区	6098	7	0.11
	低温区	6832	12	0.18
	総計	12930	19	0.15

花期直前の低温により不稔が生じて自殖しないまま開花して自然交雑率が高まったのではないかと考えられている (北海道庁 2007, 2008). これまでにダイズの開花期の低温と受精・結実に関する研究が行われているので, 低温障害と自然交雑率との関係についてみると, 後藤・山本 (1972) は開花前に 15 日間 15℃ で処理することで花粉の異常率は増加し, 人工培地での発芽率は対照区の 90% に対して約 20~30% まで低下すると報告しており, 花粉形成期の中でも小孢子初期が低温に対して感受性が高いと考えられている. さらに低温処理した雌しべの柱頭上付着花粉がまったく見られないか, 極端に少ないことが多く, 障害型冷害は

第4表 SSR マーカーによる 2008 年に得られた交雑種子の確認と遺伝子型 (作物研究所).

試験	ミツバチ設置区															非設置区				比較品種と 遺伝子型		
	対照区						低温区									対照区		低温区				
	種子 No.	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	1	2	3		
推定された 花粉親	エン レイ	エン レイ	エン レイ	エン レイ	エン レイ	エン レイ	エン レイ	エン レイ	リュ ウホウ	エン レイ	リュ ウホウ	エン レイ	エン レイ	エン レイ	リュ ウホウ	エン レイ	エン レイ	エン レイ	エン レイ	青丸 くん	リュ ウホウ	エン レイ
Sat_337H	ac	ac	ac	ac	ac	ac	ac	ac	ab	ac	ab	ac	ac	ac	ab	ac	ac	ac	ac	a	b	c
Sat_342H	ac	ac	ac	ac	ac	ac	ac	ac	ab	ac	ab	ac	ac	ac	ab	ac	ac	ac	ac	a	b	c
Satt216H	ac	ac	ac	ac	ac	ac	ac	ac	ab	ac	ab	ac	ac	ac	ab	ac		ac	ac	a	b	c
Satt270H	ac	ac	ac	ac	ac	ac	ac	ac	ab	ac	ab	ac	ac	ac	ab	ac	ac	ac	ac	a	b	c
Satt389H	ac	ac	ac	ac	ac	ac	ac	ac	ab	ac	ab	ac	ac	ac	ab	ac	ac	ac	ac	a	b	c
Satt409H	ac	ac	ac	ac	ac	ac	ac	ac	ab	ac	ab	ac	ac	ac	ab	ac	ac	ac	ac	a	b	c
Satt436H	ac	ac	ac	ac	ac	ac	ac	ac	ab	ac	ab	ac	ac	ac	ab	ac	ac	ac	ac	a	b	c
Satt519H	ac	ac	ac	ac	ac	ac	ac	ac	ab	ac	ab	ac	ac	ac	ab	ac	ac	ac	ac	a	b	c

第5表 低温処理による交雑種子と交雑率への影響 (畜産草地研究所).

試験区	低温処理温度	全粒数	交雑種子数	交雑率 (%)
対照区		284	0	0.00
	15℃ (7日間)	257	0	0.00
低温区	15℃ (2日間) + 8℃ (5日間)	256	2	0.78
	小計	513	2	0.39

花粉の問題に限らず、葯の裂開や葯からの花粉飛散など受粉に必要な能力の低下も大きいとしている。その一方で、雌しべについては人工授粉をすると 73.7% とかなり高い確率で結実し、受精能力は低温処理で低下することはないとしている。同様に黒崎・松川 (1995) は、開花始めから昼温 15℃、夜温 10℃ で処理すると、処理開始 5 日目から花粉の発芽率や柱頭に付着した花粉数が急激に低下することを観察している。また鳥山・豊川 (1957) によれば、開花前に 17℃ で 10 日間低温処理することで不受精歩合が増加して着莢数が減少するとしている。本研究では作物研究所および畜産草地研究所の 2 ヶ所で、人工気象室で開花期前に低温処理を行ったところ、低温区ではいずれの試験においても交雑種子が見つかり (第 1 表、第 3 表、第 5 表)、開花期前の低温が自然交雑率を増加させる一因であることが確かめられた。従って上述の報告のように、本研究においても開花期前の低温処理によって「青丸くん」の花粉受精能力に障害が生じ、閉花受粉できずに開花したことで、飛散した他品種の花粉と受精して交雑種子が生じたことが類推される。なお、低温処理した「青丸くん」の開花期が花粉親より数日遅延していたが、花粉親および種子親の開花期の差と交雑率とは相関性が認められなかったことから、「青丸くん」の開花期の遅延が交雑率の上昇には影響しなかったと判断された。

ダイズの花粉飛散については風媒の効果は小さく、虫媒の効果の大きいとされている (芝池・吉村 2005)。ダイズ圃場において訪花するハチ類の体に付着している植物の花

粉を調べると、ダイズのものが検出されている (Rust ら 1980)。また、花粉を食害するアザミウマがダイズとツルマメとの自然交雑を高める媒介昆虫になっている (注: 阿部純 2000. 野生ダイズの遺伝的多様性と自生地保全に関する生態遺伝学的調査. 平成 9~11 年度科学研究費補助金 (基盤 (B) (2)) 研究成果報告書)。一方、菊池ら (1993) は圃場周囲を寒冷紗で覆い、開花期に 2 回殺虫剤を散布した場合、自然交雑率が有意に低下すると報告している。本研究において 2008 年に作物研究所で行われた試験では、ミツバチの巣箱を設置した区では対照区、低温区で合わせ得られた交雑種子は 7088 粒中 15 粒で交雑率 0.21% に対して、非設置区では 5842 粒中 4 粒で 0.07% であったことから (第 3 表)、ミツバチが交雑に関わっていることが示唆された。以上から、ダイズの自然交雑を防ぐためにはこれまで行われている空間的な隔離だけでなく、ネットによる被覆や殺虫剤散布が花粉媒介昆虫の訪花を防ぐことも有効な対策と考えられる。

また、花粉形成期に低温処理したダイズでは、異常花粉率と受精率に負の相関があり、受精率には品種間差異があることが知られていることから (大西・白井 2007)、開花期がほぼ同時で低温下での花粉形成能が異なる品種が隣接して作付けされる場合には、本研究のように冷害時には耐冷性が弱い品種で自然交雑率が特に高まる可能性がある。そのため、低温条件下でも正常な花粉を形成し、柱頭に付着させる能力を向上させるための品種育成が重要である。

ところで本研究で得られた結果について、作物研究所で

得られた交雑率は2007年の試験1で0.18%に対して試験2では3倍以上の0.62%であった(第1表)。また、対照区において2007年の試験では交雑種子は見られなかったのに対し、2008年では7粒見られた(第3表)。一方、畜産草地研究所では作物研究所と同程度の15℃の低温処理条件では交雑種子は検出されなかったが、15℃(2日間)+8℃(5日間)の低温処理を行うことで交雑種子が2粒見出された(第5表)。このように試験によって多少の違いが生じたのは、交雑処理期間の天候や試験を実施した地域におけるミツバチ以外の昆虫相の違いなどが影響しているのかもしれない。また低温により不稔となったすべてのダイズの花に花粉媒介昆虫が飛来するとも限らないので、受精せずに落花したものもあったと考えられる。

以上より、ダイズ開花期前の低温処理により自然交雑率が増加することが明らかとなった。これらは低温による花粉の未成熟や雄しべの受精能力が低下した結果、閉花受粉できずに開花して虫媒により自然交雑したと推測された。近年、各地域において「青丸くん」のような色豆や種子リポキシゲナーゼを欠いた「エルスター」や「すずさやか」など劣性遺伝子を利用したダイズ品種が栽培されているが、自然交雑によりそれらの特性が失われた交雑種子の混入は品質低下や種子生産体制で問題になる。また、組換えダイズと非組換えダイズとの自然交雑によって生産・流通上の混乱を招かないようにできる限り区分管理に配慮する必要があるため、圃場での組換えダイズの試験・栽培には低温障害の発生にかかわらず、一般圃場では殺虫剤で、小規模な実験圃場ではそれに加えて防虫網などで対策し、虫媒による自然交雑率の増加を極力抑える必要があろう。また作物研究所の交雑試験場所の近隣には多数のダイズ品種が栽培されており、種子親と最も近いところで隔離距離は1.4mであった。このため第2表、第4表のようにDNAマーカーにより隣接した花粉親ではない遺伝子型も検出されたと考えられ、花粉媒介昆虫は広範囲にわたって訪花している可能性がある。

引用文献

- Abud, S., P.I.M. de Souza, C.T. Moreira, S.R.M. Andrade, A.V. Ulbrich, G.R. Vianna, E.L. Rech and F.J.L. Aragão. 2003. Dispersão de pólen em soja transgênica na região do Cerrado. *Pesq. Agropec. Bras.* 38 : 1229–1235.
- Caviness, E.C. 1966. Estimates of natural cross pollination in Jackson soybeans in Arkansas. *Crop Sci.* 6 : 211–212.
- Chiang, Y.C. and Y.T. Kiang 1987. Geometric position of genotypes, honeybee foraging patterns and outcrossing in soybean. *Bot. Bul. Acad. Sin.* 28 : 1–11.
- Cregan, P.B., T. Jarvik, A.L. Bush, R.C. Shoemaker, K.G. Lark, A.L. Kahler, N. Kaya, T.T. VanToai, D.G. Lohnes, J. Chung and J.E. Specht 1999. An integrated genetic linkage map of the soybean Genome. *Crop Sci.* 39 : 1464–1490.
- 後藤和男・山本正 1972. 豆類の冷害に関する研究 第3報 大豆の開花前低温が花粉の発芽および受精に及ぼす影響. *北海道農試彙報* 100 : 14–19.
- Garber, R.J. and T.E. Odland 1926. Natural crossing in soybeans. *J. Amer. Soc. Agron.* 18 : 967–970.
- 北海道庁 2007. 他家受粉による交雑に関する調査(ダイズ). 平成18年度遺伝子組換え作物交雑等防止検討調査事業成績書. <http://www.pref.hokkaido.lg.jp/NR/rdonlyres/14503EA9-D64F-484D-B486-2D7015ECFCBF/0/gmbb13gmkouzatusoudaizu.pdf> (2009/9/9 閲覧).
- 北海道庁 2008. 他家受粉による交雑に関する調査(ダイズ). 平成19年度遺伝子組換え作物交雑等防止検討調査事業成績書. http://www.pref.hokkaido.lg.jp/NR/rdonlyres/474F3C2D-9551-4D35-A536-0F8442E98147/0/gmbb190203_daizu.pdf (2009/9/9 閲覧).
- Hwang, T.Y., Y. Nakamoto, I. Kono, H. Enoki, H. Funatsuki, K. Kitamura and M. Ishimoto 2008. Genetic diversity of cultivated and wild soybeans including Japanese elite cultivars determined by length polymorphisms of SSR markers. *Breed. Sci.* 58 : 315–323.
- 生井兵治. 1985. 花粉媒介昆虫の利用. 山口彦之監修, 細胞質雄性不稔. シーエムシー, 東京. 54–65.
- 菊池彰夫・村田吉平・田淵公清・酒井真次 1993. 大豆の子葉色緑の遺伝様式と自然交雑率. *育種* 43(別2) : 112.
- 黒崎英樹・松川勲 1995. 大豆の障害型冷害に関する研究 第2報 開花前後の低温が花粉及び受粉に与える影響. *育種・作物学会北海道談話会会報* 36 : 110–111.
- 京谷薫・小玉郁子 2004. リポキシゲナーゼ完全欠失大豆「すずさやか」の交雑防止法. *東北農業研究* 57 : 79–80.
- 大西志全・白井滋久 2007. 大豆の花粉形成期における低温感受性とその評価法. <http://nics.naro.affrc.go.jp/seika/h18/d18009.html> (2009/10/30 閲覧).
- Ray, J.D., T.C. Kilen, C.A. Abel and R.L. Paris 2003. Soybean natural cross-pollination rates under field conditions. *Environ. Biosafety Res.* 2 : 133–138.
- Rust, R.W., C.E. Mason and E.H. Erickson 1980. Wild bees on soybeans, *Glycine max*. *Environ. Entomol.* 9 : 230–232.
- 佐藤裕・横谷砂貴子 2008. 穂ばらみ期の低温による雄性不稔化がイネの交雑率に及ぼす影響. *育種学研究* 10 : 127–134.
- 芝池博幸・吉村泰幸 2005. 遺伝子組換え作物の生態系への影響－自殖性作物の花粉飛散と交雑：イネとダイズ－. *農及園* 80 : 140–149.
- Song, Q.J., L.F. Marek, R.C. Shoemaker, K.G. Lark, V.C. Concibido, X. Delannay, J.E. Specht and P.B. Cregan 2004. A new integrated genetic linkage map of the soybean. *Theor. Appl. Genet.* 109 : 122–128.
- 鳥山国土・豊川良一 1957. 大豆の低温障害に関する研究. *日作紀* 25 : 197–198.
- Woodworth, C.M. 1922. The extent of natural crosspollination in soybeans. *J. Amer. Soc. Agron.* 14 : 278–283.
- Yoshimura, Y., K. Matsuo and K. Yasuda 2006. Gene flow from GM glyphosate-tolerant to conventional soybeans under field conditions in Japan. *Environ. Biosafety Res.* 5 : 169–173.

Effects of Low Temperature before Flowering Stage on Natural Out-Crossing Rates in Soybean : Satoshi SHIMAMURA¹⁾, Keiji IIMURA²⁾, Tadashi TAKAMIZO²⁾, Masao ISHIMOTO³⁾ and Makita HAJIKA¹⁾ (¹⁾*Natl. Inst. Crop Sci. Tsukuba 305-8518, Japan;* ²⁾*Natl. Inst. Livest. Grassl. Sci.;* ³⁾*Natl. Agr. Res. Cent. for Hokkaido Region*)

Abstract : Generally soybean is a crop with a very high autogamy rate, but the allogamy rate may increase when the low temperature before the flowering stage induces abnormal pollen formation. In this study, we examined the effects of a low temperature before the flowering stage on the natural out-crossing rate. The cotyledons of soybean cv. Aomarukun are green, but those of the F₁ obtained by crossing with cultivars with yellow cotyledons are yellow. Therefore, this was used for judgment of crossing. The plants of Aomarukun were grown in a growth chamber at 8-15°C for 7 days before the flowering stage, and then they were placed adjacent to the pollen parent under field conditions and the out-crossing rate was investigated. As a result, the out-crossing rate was 0-0.18% in the control plants and 0.1-0.62% in the low temperature-treated plants, indicating that the low temperature before the flowering stage enhances the rate considerably. In addition, the effect of the setting of beehives of honey bee, which is one of the pollinators, was examined. The crossing rate was higher in the plot with beehives(0.21%) than in the plot without beehives(0.07%). Thus, it was confirmed that a low temperature before the flowering stage is a factor increasing the natural out-crossing rate.

Key words : Flowering stage, Low temperature, Natural out-crossing, Pollen dispersal, Soybean, Sterility.
