

シネンシス系デルフィニウムにおける花粉媒介昆虫の クロマルハナバチと雄性不稔性を適用した採種の可能性

岡本充智

Possibility of seed production of *Delphinium grandiflorum* L. using insect pollinators,
black bumblebee (*Bombus ignitus*, family Apidae) and male sterility

OKAMOTO Mitsutoshi

要 旨

シネンシス系デルフィニウムの一代雑種品種の採種において、花粉媒介昆虫であるクロマルハナバチの放飼(虫媒法)と雄性不稔性の適用性を検討した。

クロマルハナバチの花色に対する嗜好性では、白色よりも青色や水色のような有色の花を選択し、直前の訪花と同じ色の花に移動する確率の高いことが明らかになった。

花粉の有無では可稔性花の間で高い確率で移動し、不稔性花の間での移動性は低いことが観察された。

採種結果は、種子の得られる成否が交配法の違いで両極端となり、虫媒法では平均種子数や千粒重のバラツキが大きく、平均発芽率も低い傾向であった。しかし、充実莢のみを比較すると人為的に交配した種子と同程度の数量と品質の種子が得られたことから、今回の手法による採取の可能性が示唆された。

キーワード：訪花行動、一代雑種、種子生産、交配

1. 緒言

デルフィニウムは青い花色を特徴とする切り花用品目であり、19世紀半ばから愛好家による品種改良が開始された。本花の特性として、エチレン感受性が高く切り花にすると激しく落花することから、当初は花壇用品目に限定して利用されていた。その後、チオ硫酸銀錯塩(STS)を利用した品質保持剤が開発され(Veen and Van de Geijn, 1978)、デルフィニウムにおいても落花防止による花持ちの向上が可能となったことから海外で切り花生産が始まった。我が国では、一般的にSTSが利用できるようになった1980年代後半から営利的なデルフィニウムの切り花生産が始まった。

デルフィニウムは商品性の高さを注目され、急速に生産が増加した。農林水産省の平成20年花き流通統計調査報告によると、全国ベースの卸売数量と卸売価格はそれぞれ約4,000万本、32億円となるなど、主要な切り花品目の一つとなっている。また、現在も種苗メーカーを中心に新品種の開発が積極的に行われており、その成果としては、純系品種や栄養繁殖の品種から、より花の品質や生産性を安定させやすい一代雑種へ、近年の主力品種が置き換わったことがあげられる。しかし、一代雑種品種は純系品種に比べ、種苗費が1.5倍程度と高くなる欠点が指摘されている。これは、デルフィニウムは雄ずい先熟型の他殖性植物であることから、一代雑種の採種を行うために必要な工程に、開花までの除雄と袋掛け作業、

更に開花後の雌ずいの成熟確認と交配など複数の追加作業が必須となる。これらの作業に多くの手間を要することが、結果的に生産コストを押し上げている。ところで、一代雑種品種の採種にあたり、種子親に雄性不稔系統を用いれば、雄ずいの除雄作業や袋掛けから解放され、加えて交配時に花粉媒介昆虫を利用すれば、採種にかかる作業を省け、生産コストを大きく低減することが可能となる。

しかしながら、花粉媒介昆虫のデルフィニウムの青い花色への嗜好性や本虫の花粉収集にメリットの小さい雄性不稔性を利用した種子生産の可能性や、どの程度の効率性が得られるのかは不明である。

そこで、デルフィニウムの育成中の雄性不稔系統を用いて、花粉媒介昆虫の放飼と雄性不稔性を利用した採種法の適用性を検討した。

2. 材料および方法

2.1 花粉の有無や花色による花粉媒介昆虫の訪花行動

供試材料はシネンシス系デルフィニウムで青色(日本園芸植物色標のコード番号:7605)、水色(7602)、白色(2901)の花色を持ち、それぞれ雄性不稔性のため花粉を持たない3系統と通常の花粉を持つ3系統の計6系統とした(図1)。各系統花は訪花行動の調査と別棟のハウスで栽培し、同じ開花程度の個体を供試した。開花程度は主枝の先端の蕾をピンチ

して取り除いた後、一次分枝が満開になった生育ステージに揃えた。

花粉媒介昆虫には、送粉昆虫として市販されている在来種クロマルハナバチ（アリストライフサイエンス社製）を用いた。

訪花行動の調査は、防虫網で隔離した 80m² のビニールハウス内に、直径 24cm のポットで栽培した 6 系統を 5 個体ずつ、計 30 個体を縦 5m × 横 4m 範囲の 1m 間隔のマス目ヘラダムに配置して行った。

調査は、1 回目クロマルハナバチを 2011 年 1 月 11 日に放飼開始し 2011 年 1 月 24 日から 26 日までの 3 日間、2 回目が 2011 年 2 月 25 日から放飼開始し 3 月 11 日から 13 日の 3 日間ずつ 2 回行った。なお、調査期間中の天候は、2 回とも曇りから晴れであった。それぞれの調査で供試材料の配置と巣箱は更新した。調査時刻は午前 10 時から午前 11 時とした。観察の精度を上げるため、クロマルハナバチの放飼数は 10 頭に制限し、本虫が訪花してから、巣箱等へ離脱するまで、同じ虫体の訪花行動を追っていき、訪花した花の順序と滞在時間を記録した。

2.2 花粉媒介昆虫による種子の生産性と品質

1 回目の訪花行動調査が終了した供試材料 6 系統 30 個体を網室に隔離して、種子が完熟するまで栽培した。種子の調査項目は一株当たりの小花数、小花当たりの莢数、莢当たりの種子数と種子の千粒重および種子の平均発芽率とした。また、対照として人為的に交配を行った個体と交配を行わない放任個体を同じ網室内で栽培し、比較した。

3. 結果

3.1 花粉の有無や花色による花粉媒介昆虫の訪花行動

表1 クロマルハナバチが最初に訪花したデルフィニウムの花色とその後訪花行動

花色		移動する確率
移動前	移動後	
青色	青色	0.243
青色	水色	0.178
青色	白色	0.022
水色	青色	0.178
水色	水色	0.327
水色	白色	0.015
白色	青色	0.015
白色	水色	0.018
白色	白色	0.004

²検定(1%)で有意差あり。自由度8

クロマルハナバチ訪花行動は、花色による偏りが見られた。先に訪花した花が青色や水色であれば、その後の訪花も同じ花色となる確率が高く、水色から水色の花に移動する確率は 0.327、青色から青色の花に移動する確率は 0.243 と高かった。これに対して、青色から水色もしくは水色から青色に移動する確率は 0.178 と若干低くなり、青色から白色または水色から白色へ移動する確率は更に低くなった(表1)。

また、白色から白色の花に移動する確率は 0.004 であるのに対し、水色から白色と白色から青色への移動の確率は 0.015 であった。

以上の訪花行動の偏りには²検定により 1% レベルで有意差が認められた。

花粉の有無では可稔性の花から可稔性の花へ移動する確率が 0.669 と最も高く、不稔性から不稔性へ移動する確率が 0.064 と最も低かった(表2)。

クロマルハナバチの訪花平均滞在時間は、花粉のある花が 44 秒、花粉のない花では 16 秒であった(表3)。なお、花色の違いによる平均滞在時間に差は見られなかった。

3.2 花粉媒介昆虫による種子の生産性と品質

人為的な交配作業による採種では 1 莢当たりの平均種子数が 15.8 粒から 19.3 粒、千粒重が 1.578g から 1.622g となるなど安定した数量と品質の種子を得ることができた。これに対し、全く交配作業を行わず放任した場合は、花粉のある個体でも 1 莢当たり 0.2 粒から 0.4 粒、千粒重が 1.258g から 1.539g の種子しか得られなかった(表4)。

虫媒による採種は、交配作業をした場合と同程度の種子が得られる莢と全く種子が得られない莢のように両極端な結果となり、全体では 1 莢当たり 0.1 粒から 2.5 粒、千粒重が 1.285g から 1.535g とバラツキが大きくなった。

表2 クロマルハナバチが最初に訪花したデルフィニウムの花粉稔性とその後訪花行動

花粉稔性		移動する確率
移動前	移動後	
可稔	可稔	0.669
可稔	不稔	0.151
不稔	可稔	0.116
不稔	不稔	0.064

²検定(1%)で有意差あり。自由度3

表3 花色と花粉稔性の違いによるクロマルハナバチの平均訪花時間(秒)

訪花している花の花粉稔性	訪花している花の色			
	青色	水色	白色	平均
可稔	48	40	44	44
不稔	26	13	9	16

表4 異なる交配法によるデルフィニウムの種子の生産性と品質

交配 ^{a)} 方法	花色	花粉稔性	1株当たり 平均種子数(粒)	1小花当たり 平均莢数(莢)	1莢当たり 平均粒数(粒)	千粒重(g)	充実率 ^{c)} (%)	充実1莢 ^{c)} 平均粒数(粒)	種子の 平均発芽率(%)
虫媒	青色	可稔	491±488.9	3.3±0.2	2.5±1.7	1.539±0.221	2.2	21.1±2.5	79.2±14.7
		不稔	277.8±349.6	3.1±0.1	1.1±1.7	1.376±0.167	1.5	22.5±3.2	75.7±15.1
	水色	可稔	570±243.5	4.7±0.7	2.7±0.4	1.336±0.085	2	20.1±2.4	86.5±13
		不稔	123.1±45.2	4.1±0.4	0.4±0.2	1.285±0.42	0.2	23.0±4.1	83.3±16.4
	白色	可稔	21.9±14.4	3.5±0.2	0.1±0.1	1.464±0.281	0	0	76.4±15.9
		不稔	19.5±15.4	3.7±0.3	0.1±0	1.648±0.537	0	0	81.8±17.3
交配 ^{b)}	青色	可稔	502.4±57.8	3.3±0.1	19.3±2.3	1.622±0.023	-	-	90.8±4.9
		不稔	431.2±17.9	3.4±0.1	16±0.5	1.602±0.015	-	-	93.3±2
	水色	可稔	560.8±48.4	3.2±0.1	19.4±1.9	1.604±0.014	-	-	90±4.2
		不稔	451.4±34.0	3.6±0.1	15.8±0.9	1.616±0.019	-	-	90.8±3.1
	白色	可稔	463.6±35.9	3.4±0.1	17.3±1.6	1.578±0.017	-	-	83.3±2.6
		不稔	489.8±17.1	3.6±0.2	17.1±0.4	1.588±0.017	-	-	87.5±5.9
放任	青色	可稔	11.8±5	3.5±0.2	0.4±0.2	1.314±0.192	0	0	83.1±7.9
		不稔	0±0	3.5±0.1	0±0	0±0	0	0	0±0
	水色	可稔	10.2±3.7	4.5±0.2	0.3±0.1	1.546±0.052	0	0	84.8±6.1
		不稔	0±0	3.7±0.1	0±0	0±0	0	0	0±0
	白色	可稔	5.2±2.6	3.6±0.2	0.2±0.1	1.258±0.253	0	0	87.3±12.7
		不稔	0±0	3.6±0.1	0±0	0±0	0	0	0±0

a) 交配方法, 虫媒: クロマルハナバチを訪問した隔離ハウス内で栽培, 交配: 袋がけを行って人為的に交配, 放任: クロマルハナバチを訪問しない隔離ハウス内で栽培
 b) 1株あたり1枝のみ交配
 c) 人為交配による1莢あたり平均粒数が17.5粒以上の莢を充実莢とした
 d) 供試株数は各区5株

しかしながら, 虫媒による採種では, 莢の充実度が明らかに異なっていた。そこで, 交配作業をした場合の1莢あたり全系統の平均種子粒数の17.5粒以上の種子を有する莢を充実莢にみなすと, 虫媒法による充実率は青色花の可稔系統で2.2%、水色花の可稔系統で2.0%、不稔系統では青色花で1.5%、水色花で0.2%が該当し, これらの1莢当たり種子数は20粒以上であった。これに対し, 白色花は可稔・不稔系統ともに充実莢は得られなかった。

4. 考察

Ishii (2006) は, 人工花序を用いた観察によりマルハナバチは花数の多い花序を訪れた後ほど直後に同じ色の花序を訪花する傾向を示すことを明らかにしている。今回の試験においても, クロマルハナバチは花色を識別し, 白色よりも青色や水色のような有色の花を好んで選択的に訪花するとともに, 訪花後には直前と同じ色の花に移動する習性が観察された。

また, Ishii (2006) は, マルハナバチの誘引形質である総蜜量を花序当たりで等量に制限して, 花数の多少を変えた場合に, 花数が多い花序を訪れる場合ほど直後に同じ色の花序を訪花する傾向を観察している。この結果は, 次に移動する花の確率は花粉の有無にかかわらず等しくなることを示唆するが, 今回の試験では可稔性の花から可稔性の花に移動する確率が高く, 供試材料の花粉の有無が訪花の偏りの発生原因になったものと推察した。この花粉の有無による訪花の偏りは, Kobayashi et.al (2010) のダイコンの細胞質雄性不稔系統を利用した F1 採種圃場のミツバチの観察によっても報告されている。同様にクロマルハナバチも花粉の有無についても識別し選択的に訪花していることが考えられる。

訪花時間については, クロマルハナバチが訪花行動をしているのは花粉の収集と採蜜するためであるが, この習性には花色は影響しないようであり, 訪花時間に差が見られなかつ

たものと推定される。

小林ら (2010) は花粉媒介昆虫の偏った訪花は系統間受粉の機会を減らし, 種子の収量低下を引き起こすことを示唆している。本試験においても花色や花粉の有無による偏りが見られた。この改善のためには, 隔離ハウス内に入れる花粉親と雄性不稔系統の適正本数, 花粉親と雄性不稔系統の開花期, 適正な放飼数に加え他の花粉媒介昆虫の利用を検討することにより, 訪花行動に偏りを小さくして安定的に種子生産ができる条件を明らかにする必要がある。

今回, 虫媒による充実率は2%程度であった。しかし, 充実莢は人為交配によって得られた莢との間に違いはなく, 本法による交配の可能性を見い出せたことから, 本虫の訪花行動の偏りを改善することで, 花粉媒介昆虫の放飼と雄性不稔性を適用した省力的な種子生産法が可能になるものと考えられる。

謝辞

本試験は 独立行政法人 科学技術振興機構の平成22年度研究成果最適展開支援事業 (A-STEP) 「探索タイプ (雄性不稔形質を利用したデルフィニウム種子の低コスト生産技術の確立)」の採択課題の一部として実施した。また, 本事業の課題申請にあたり, 全国農業協同組合連合会愛媛県本部の桐木悦史氏には企業の研究開発関係者としての御見解を頂いた。ここに記して御礼を申し上げる。

引用文献

- Ishii, H.S. (2006): Floral display size influences subsequent plant choice by bumble bees, *Functional Ecology*, **20**, 233-238.
 Kobayashi, K., Tsukamoto, S., Tanaka, A., Niikura, S., and Ohsawa, R. (2010): Selective flower visitation behavior by pollinators in a radish F1 seed production field, *Breeding Science* **60**, 203-211.
 小林喜和・田中 篤・新倉 聡・大澤 良 (2010): アブラナ科

野菜 F1 採種圃場で生じる花粉媒介昆虫の選択的訪花行動
と種子生産に及ぼす影響, 育種学研究, 12 (別 2), 136 .

Veen,H. and Van de Geijn,S,C. (1978): Mobility and ionic form of
silver as related to longevity of cut carnations ,Planta ,140 ,93-96 .

Abstract

I investigated the applicability of seed production of *Delphinium grandiflorum* L. using insect pollinators, black bumblebee (*Bombus ignitus*, family Apidae) and male sterility. The black bumblebees selectively visited to blue and light blue flowers such as colored than white flower. In addition, they were likely to go to the same color flowers just before visiting. In the pollen fertility, the black bumblebees have moved with a high probability of fertility among flower. In contrast, mobility among the flowers in the male sterility showed a low probability. Results in the seed production by using black bumblebees and male sterility, the seed production in success became extreme, and thousand grain weight and the average seed number showed greatly varies. And the average germination rate was lower compared with artificial crossing method. However, comparing only the mature pod, the seed number and quality individuals with the same degree of artificial crossing flowers were observed.

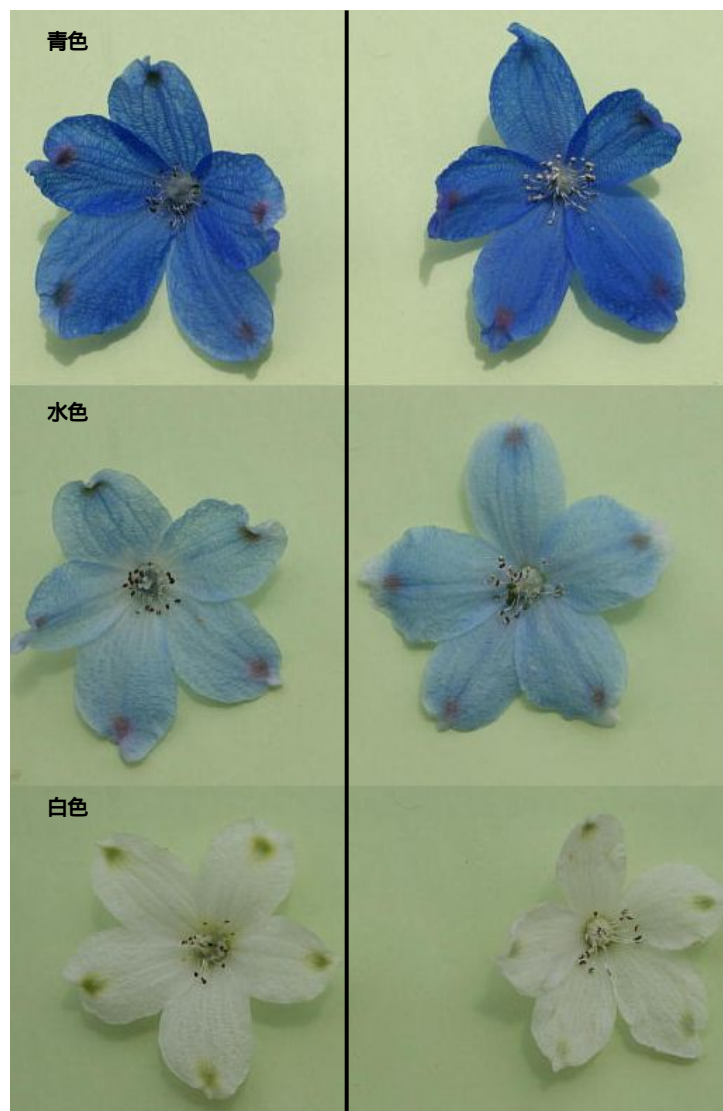


図1 供試した系統の小花

花色(日本園芸植物色表コード)は,青色(7605),水色(7602),白色(2901).
雄性不稔系統(各色左列)と可稔系統(各色右列).