気象条件が花粉飛散を介してトウモロコシの 交雑率に与える影響

川島茂人*・松尾和人*・芝池博幸*・井上 聡*
岡 三徳*・杜 明遠*・高橋裕一**・米村正一郎*

(* 農業環境技術研究所)
(** 山形県衛生研究所)

Effects of Meteorological Conditions on Hybrid Percentage of Wind-Pollinated Maize

Shigeto KAWASHIMA*, Kazuhito MATSUO*, Hiroyuki SHIBAIKE*, Satoshi INOUE*, Mitsunori OKA*,
Mingyuan DU*, Yuichi TAKAHASHI** and Seiichiro YONEMURA*

(* National Institute for Agro-Environmental Sciences, Tsukuba, 305-8604 Japan)
(** Yamagata Prefectural Institute of Public Health, Yamagata, 990-0031 Japan)

Abstract

Gene flow from transgenic crops to related species has recently come into focus in risk-assessment studies of the ecological consequences of growing transgenic crops. This problem is especially serious in maize, as it is a representative wind-pollinated plant. We observed the hybrid percentage of maize seed and meteorological conditions for two years by using the xenia phenomenon. We examined the differences in the numbers of airborne pollen, meteorological conditions and the hybrid percentages between the two years, and discussed the effect of meteorological conditions on the hybrid percentage in the recipient maize field. The hybrid percentage at a distance from the donor field could be changed by several times depending on the meteorological conditions of the year. The spatial distribution of the hybrid percentage in the recipient field shows uneven and rugged structure. In 2001, the dispersion of pollen ended in a comparatively short term, and the chance of hybridization was low. On the other hand, in 2002, the dispersion of pollen continued for a long term, and the donor pollen dispersed to a considerable distance in the recipient maize field. The chance of hybridization was high in general, and the observed hybrid percentages showed considerably high values under natural conditions.

Key words: Maize pollen, Hybrid percentage, Transgenic crops, Pollen dispersion, Wind effect, Xenia.

キーワード: トウモロコシ花粉, 交雑率, 遺伝子組換え体, 花粉拡散, 気象条件

1. はじめに

近年, 食の安全性が社会的に重要視されるようになり, 遺伝子組換え技術を用いて作られた作物の安全性や環境への影響が問題視されている。遺伝子組換え体植物が環境に与える影響の1つとして, 花粉の飛散による交雑が引き起こす遺伝子フローがある。これは, 人為的に組み換えられた遺伝子が, 近縁種や同種の非組換え体植

物の中に入り, 環境中に広がる問題である。とりわけ風媒花であるトウモロコシの場合には, 気象条件次第でかなり広範囲に遺伝子組換え体の花粉が拡散し, 周辺に生育している非組換え体トウモロコシに交雑を発生させる可能性がある。

これまで, 花粉による遺伝子のフロー (gene flow) を明らかにしようとする研究がいろいろと行われてきた (Vezvaei and Jackson, 1997; Kaufman *et al.*, 1998; Richards *et al.*, 1999; Sork *et al.*, 1999; Kwon *et al.*,

2003年10月29日 受付, 2004年4月5日 受理

2001; Viard *et al.*, 2001; Lavigne *et al.*, 2002)。特に、気象条件や、ドナー群落からの距離について検討した研究として、Wang *et al.* (1997) は、きび作物について圃場実験で花粉放出源からの距離と交雑率の関係を調べ、風速と風向は交雑率の大きさに大きく影響するが、距離に伴う交雑率の減衰率は変化しないことを示した。Rognli *et al.* (2000) は、牧草について酵素をトレーサーとして遺伝子のフローを調べた。その結果、ドナー群落から 75 m までは距離とともに遺伝子フローは急速に減衰するが、より遠方では距離による減衰は非常にゆるやかになることを明らかにした。Louette *et al.* (1997) は、メキシコにおける伝統的な農業体系の中で、トウモロコシ間の遺伝子フローがどのように起きているかを、交雑群落間の距離を指標に、長期的な観点から明らかにした。

以上のような研究をもとにして、Kawashima *et al.* (2002) は、短期的な遺伝子フローを明らかにするために、トウモロコシ種子粒色のキセニア現象を利用して、風で運ばれる花粉によって発生する 2 種類のトウモロコシ間の交雑率を実験的に調べ、交雑率が、ドナーとなるトウモロコシ群落からの距離によってどのように変化するかを明らかにした。その結果、交雑率はドナー群落からの距離に従って指数関数的に減少すること、距離に伴う交雑率の減少率は一定ではなく、ドナー群落に近い場所では大きく、ドナー群落から遠い場所では小さいこと等が明らかになった。

我々は、気象条件が交雑率に与える影響をより詳しく調べるために、2002 年において、2001 年と同様な実験計画のもと、より詳細な交雑実験を行い、気象観測値や交雑率を取得した。2002 年は 2001 年とかなり異なった気象条件となり、両年のデータを比較検討するには好適な観測値が得られた。本報告では、これらの観測値に基づき、両年における花粉飛散数、気象条件、および交雑率を比較検討するとともに、気象条件の違いが花粉飛散状態の変化を介して、交雑率の違いに与える影響について考察した。

2. 材料と方法

2.1 実験材料と栽培方法

実験は、つくば市観音台にある独立行政法人農業環境技術研究所の A-1 圃場において、2001 年と 2002 年に行った。実験圃場の概況を Fig. 1 に示す。2002 年の圃場規模は 2001 年よりも若干大きくした。実験植物として、花粉源（ドナー）には、黄色の種子を着粒するハニーバンタム（サカタのタネ）を用い、花粉の受粉側（レシピエント）には、白色粒となるシルバーハニーバンタム

Fig. 1. Layout of the experimental field and the arrangement of the measuring instruments. (a) In 2001, (b) in 2002. ● : Pollen observation points with Durham sampler. ★ : Meteorological observation point.

（サカタのタネ）を用いた。ハニーバンタムは、播種から開花までの平均日数が約 62 日であるのに対し、シルバーハニーバンタムは、播種から開花までの平均日数が約 65 日である。そこでドナー側の播種日を 3 回に分け、レシピエント側の播種日と同じ日、3 日後、6 日後に播種を行った。畝間は 70 cm、株間は 30 cm として、2 粒ずつ蒔き、後日間引きを行った。畝の数は 2001 年は 30 本、2002 年は 34 本とした。ドナーとなるトウモロコシ群落 3 区画（播種日別）と、レシピエントとなるトウモロコシ群落の合計 4 区画について、雄花と雌花の開花状態を目視で観察し記録した。

2.2 花粉の観測方法

2001 年は、レシピエント側のトウモロコシ群落内の中央ライン上 6 箇所（ドナー群落の北 1, 10, 20, 30, 40, 50 m）に、ダーラム（Durham）型花粉捕集器（西精機製）を設置した（Fig. 1 a）。2002 年は、トウモロコシ群落内の南北方向に 3 本のラインを設け、各ライン上 5 箇所（ドナー群落内、レシピエント群落内 1, 10, 30, 50 m）に、ダーラム（Durham）型花粉捕集器（西精機製）を設置した（Fig. 1 b）。各花粉捕集器では、2 つの高さにワセリンを塗布したスライドガラス（76 mm × 26 mm）を取り付けた。花粉捕集器を畝間の中央に設置し、

捕集器内部のスライドガラスの高さは、2001 年は地上 120 cm, 2002 年は地上 160 cm および地上 60 cm とし、その花粉計測数を空中花粉飛散数とした。花粉捕集器の円盤上面は雨などの影響を受けるが、ここの中央部にもスライドガラスを置き、この計測数を花粉落下数とした。解析には、2001 年は地上 120 cm の花粉飛散数を、2002 年は地上 60 cm と地上 160 cm の平均花粉飛散数を解析した。スライドガラスの交換は、毎朝午前 10 時頃に行った。回収したスライドガラス上の花粉は、Carberla 液で染色し、18 mm×18 mm のカバーガラスで覆った後、カバーガラス下のすべての花粉数を数えた。トウモロコシの花粉の平均粒径は約 100 μm と大きいので、顕微鏡の倍率は低めの 100~200 倍が適していた。計数値は 1 cm² 当たりの値に換算し解析した。

2.3 気象の観測方法

ドナー群落とレシピエント群落の境界に近い地点において気象観測を行った (Fig. 1 の★)。観測用のポールを設置し、気温・湿度 (地上 1.5 m)、風速 (地上 2 m)、風向 (地上 2 m) を測定した。気温・湿度センサーは通風管の中に設置した白金抵抗温度計を使用した。風速・風向センサーは、牧野応用測器社の光電式 3 杯風速計と光電式矢羽風向計を使用した。測定されたデータは、英工精機社のデータロガー (SOLACIII) に記録した。降雨量は、調査圃場から北西に約 200 m 離れた所にある農業環境技術研究所気象観測露場での、転倒升式雨量計による観測値を用いた。気象観測結果は、日別値として整理し、解析した。また、より詳細に気象条件の影響を見るために、主な交雑が発生したと考えられる期間の気象観測結果は、特別値として整理し、解析した。

2.4 交雑率の測定方法

交雑の判定には、種子粒の黄色形質が完全優性として発現するキセニア現象を利用した (Bulant and Gallais, 1998)。交雑率は、黄色粒のハニーバンタムの花粉がシルバーハニーバンタムの雌穂に受粉することによって、その白色粒中に生じる黄色粒の数から推定した。交雑による粒色の判別が可能な 9 月上旬に、受粉側であるシルバーハニーバンタムの圃場内に格子状の測定点を設けて、その雌穂をサンプリングした。2001 年は、10 本の畝を等間隔に選び、各畝についてドナーとレシピエントの境界から 0.3, 1.2, 2.1 m, 以降 2.1 m ごとに生育する個体を選んだ。2002 年は、11 本の畝を等間隔に選び、各畝についてドナーとレシピエントの境界から 0.3 m から 11.1 m までは 0.9 m ごとに、以降 3 m ごとに生育する個体を選んだ。各個体では、最も上方に位置する成熟した雌穂を採取した。採取位置の個体が欠株していたり、害虫による雌穂の損傷が大きい場合は、隣接する左

右の個体から雌穂を採取した。採取した雌穂は、包皮を剥いた後、粒列数、一列粒数、および穂中の黄色粒数を数えた。交雑率の評価は、もともと白色粒のシルバーハニーバンタムの雌穂中に出現する黄色粒数の割合で算出した。

3. 結 果

3.1 開花状況の推移と花粉飛散数

両年の開花状況の観察から、以下のことが明らかになった。雄花の開花日は、ドナーの第 1 区 (レシピエントと同日播種区) とレシピエント群落で、ほぼ一致していた。ドナーの第 2 区 (播種 3 日遅れ) と第 3 区 (播種 6 日遅れ) の雄花の開花日は、第 1 区に比べて 3 日から 4 日遅くなった。雄花の開花期間を個体ごとに見ると、3~6 日間であった。雄花の開花状態の推移は、群落内で観測された花粉飛散数の経日変化と一致した。雌花の開花日を個体ごとに見ると、平均で雄花の開花日の 2 日後であった。雌花の開花期間は、雄花の開花期間と同じ、3~6 日間であった。

2001 年と 2002 年における、花粉飛散数の経日変化を Fig. 2 に示す。捕集された花粉が、ドナー由来の花粉か、レシピエント由来の花粉かは区別がつかない。そこで、本実験で観測された花粉飛散数は、トウモロコシ群落全体としての開花状況と花粉飛散数の変化を見るために用いた。各日の値は、全捕集地点の平均値 (2002 年はドナー群落内平均値とレシピエント群落内平均値) である。2001 年は、開花期後半で風速の弱い日が続き、気温もほとんどの日で低く推移した。そこで、開花後数日間の短期間に花粉の飛散が集中して観測され、交雑も主にこの期間に発生したと考えられる。花粉飛散数から見ると、8 月 3~6 日が主な交雑可能期間と推定される。

一方、2002 年は、開花最盛期を中心に風速の強い日が多く、気温もほとんどの日で高く推移した。そこで、この年は開花後 2 週間以上の長期間にわたって花粉の飛散が観測されることになったと考えられる。また、ドナー群落内平均の花粉飛散数と、レシピエント群落内平均の花粉飛散数は、ほぼ同様な経時変化を示した。そこで、両群落における開花状態の推移は、群落全体としては、ほぼ同じであったと考えられる。花粉飛散数から見ると、交雑期間は長く、8 月 7 日をピークとする 8 月 3~12 日の 10 日間が主な交雑可能期間と推定される。

3.2 気象条件の特徴

2001 年と 2002 年について、主たる開花期間を含む 7 月 31 日から 8 月 17 日までの気象観測結果について検討した。

Fig. 2. Number of airborne pollen grains with passage of day in 2001 (□) and 2002 (■). In 2002, the solid line represents the number in the donor field, and the dashed line shows the number in the recipient field. Each number is a mean of the observed numbers at all observation points.

3.2.1 降雨の影響

2001 年は、花粉飛散期間中で降雨が記録されたのは、8 月 2, 4, 11, 13 日であるが、いずれも降雨量は少なかった。また、主な開花期間中の 8 月 4 日の降雨は深夜に降っていた。2002 年は、花粉飛散期間中で降雨が記録されたのは、8 月 1 日と 15 日であるが、いずれも主な開花期間ではなく、15 日の降雨量も少なかった。以上より、両年とも、降雨は花粉飛散などにほとんど影響しなかったと考えられる。

3.2.2 気 温

Fig. 3 に 2001 年と 2002 年における日平均気温の経日変化を示す。2001 年は、6 月末に梅雨が明け、7 月初めから非常に暑い日が続く異常な年になった。そのあと 8 月にかけて例年より涼しい夏となった。開花期間中では、8 月 3 日と 4 日に比較的高温となったが、その後低温となり、花粉の飛散数は急速に減少した。2002 年は、7 月 20 日に梅雨が明け、その後太平洋高気圧に覆われて晴れて暑い日が続いた。開花期間中では、8 月 4 日までの気温変化は 2001 年と類似していたが、5 日以降高温となり、日平均気温が 28℃ 以上の日が 6 日間続いた。この 6 日間は花粉飛散数も多く、主な交雑が発生した期間と考えられる。

3.2.3 風 速

Fig. 4 に調査期間中の日平均風速（地上高さ 2m）の経日変化を示す。2001 年は、8 月 2, 5, 12 日にやや強めの風速が記録されたが、開花期間中は全体的に風速の弱い日が続いた。風速から見ると、8 月 5 日に交雑が発生しやすいと考えられる。2002 年は、開花初期の 8

月 3 日にやや強い風が吹いたものの、8 月 6 日までは風速の弱い日が続いた。その後、7 日から風速が強まり、8 日から 11 日まで風速の強い日が続いた。風速から見ると、8 月 7～11 日の期間に交雑が発生しやすいと考えられる。

3.2.4 日平均風向

Fig. 5 に調査期間中の日平均風向の経日変化を示す。2001 年は、調査期間を通じて、東と南の間の方向から風が吹く日が多く、例年から見ると東よりの風が卓越した。日平均風向から見て、ドナーの花粉が遠くのレシピエントまで飛散して交雑したのは、南風が吹いた 8 月 3 日であると考えられる。2002 年では、開花初期の 8 月 2 日から 3 日は、北東から東の風であったが、4 日から 6 日には南東の風となり、その後 7 日から 10 日までの 4 日間は、ほぼ真南の風となった。日平均風向から見て、交雑が起こりやすかったのは、南風が吹いた 8 月 7 日から 10 日までの 4 日間と考えられる。

3.2.5 毎時風向

風向は花粉の飛散状態に特に影響が大きいため、毎時風向の変化も検討する必要がある。Fig. 6 に主な花粉飛散期間の毎時風向の経時変化を示す。花粉飛散数の変化と考え合わせると、本実験の圃場配置において交雑が起こりやすかったのは、2001 年では 8 月 3 日の正午前後と、8 月 5 日の午後であった。2002 年は、8 月 7 日の午後から 10 日いっぱいまで、毎時風向から見て非常に安定した形で、実験圃場の配置に最適な南風が吹き、主な開花期とも重なっていた。また、8 月 4 日から 6 日にも、午前中に南よりの風が吹く時間があった。

Fig. 3. Changes in daily mean air temperature in 2001 (□) and 2002 (■).

Fig. 4. Changes in daily mean wind speed in 2001 (□) and 2002 (■).

3.3 交 雑 率

Fig. 7に、ドナー群落からの距離に対する交雑率の変化を示す。2001年の測定値からわかる特徴は、交雑率はドナー群落からの距離に伴って指数関数的に減衰すること、この減衰率は、ドナー群落からの距離が15m位までと、より遠距離では変化すること、ドナー群落からの距離が最も近い場所(0.3m)における交雑率は、きわだって高い値を示したこと、交雑率の減衰率は、ドナー群落に近い場所で大きく、遠い場所で小さくなること等がわかった。

これに対して、2002年における特徴は、ドナー群落に最も近い場所での交雑率が特に高いことは2001年と同様であるが、2番目に近い測定列の交雑率も約13%と高い値を示した。また、ドナー群落からの距離が10m

以内の交雑率は、ほとんど2%以上の値を示した。さらに遠い50mまでの交雑率も、すべて0.1%以上で、ドナー群落からの距離に伴う減衰も、2001年に比べて明瞭ではあつきが少ない。同じ距離における2001年の交雑率に対する比は、ドナー群落に近い場所では1.5~2.5倍であり、さらに遠い場所(5m以上)では増大し、数倍程度の大きさとなった。

ドナー群落からの距離ごとに、両年の交雑率の差の検定を行った。比較のために距離をいくつかの区間に分け、区間ごとの交雑率平均値の差について、有意差の有無を調べた。その結果、有意水準5%で、ドナー群落からの距離が0~5mでは有意差なし、5~10mでは有意差あり、10~20mでは有意差あり、20~30mでは有意差あり、30~40mでは有意差あり、40~50mでは有意

Fig. 5. Changes in daily mean wind direction in 2001 (□) and 2002 (■).

Fig. 6. Hourly changes in the wind direction during the major period of pollen dispersion in 2001 (□) and 2002 (■).

差なしであることがわかった。

Fig. 8 に、レシピエント群落内における交雑率の空間的分布を示す。この図から、両年ともに、交雑が空間的に不均一に起きていることがわかる。2001 年は、ドナー群落に近い場所での交雑率は、ドナー群落からの距離に伴って 10 m 位までは規則的に減少している。主な交雑が起きたと推定される 8 月 3 日から 5 日の風向が真南よりも東よりであったことが、ドナー群落に近い場所での交雑率の空間分布に反映している。また、交雑率の高い小領域の分布は、ドナー群落からの距離が 10 m より遠くで顕著になる。小領域の数は 2002 年に比べて少なく、レベルも低い。これに対して 2002 年の交雑率は、平均的にはドナー群落からの距離に伴って減少しているも

の、交雑率の高い小領域がドナー群落近傍から遠方に至るまで全域に見られる。各領域のレベルも高く、レシピエント群落内全体にわたって交雑が起きていることがわかる。

4. 考 察

気象条件の違いが、花粉の飛散を通じて、どのようにトウモロコシの交雑率に影響を与えるかについて考察する。

4.1 気象条件の違いが交雑に与える影響

2001 年は開花後 2~3 日で気温が低くなり、その後数日間低温の日が続いた。植物の開花状態は、気温の絶対値だけでなく、気温変化の影響を受けるため、開花した

Fig. 7. Changes in hybrid percentage of wind-pollinated maize in recipient field with distance from donor field in 2001 (□) and 2002 (■).

後の気温の降下が、雄花の開花状態に影響し、花粉の飛散が比較的短期間で終了する結果になったと考えられる。また、開花期に先行する時期の平均気温が、7月中旬で2001年が2002年より0.8℃高く、7月下旬で2001年が2002年より0.1℃高かった。これら高めの気温が、2001年における雄花の開花時期を揃えた可能性がある。風速の弱い日が続いたことも、シーズンを通しての花粉飛散数が少なめになった理由と考えられる。この短い飛散期間の中で、実験圃場の配置において、ドナー群落からの花粉によってレシピエント群落内に交雑が起こりやすい条件の風向となった時は、あまり多くなかった。そこで、ドナーに近い場所のレシピエントは別として、全般的に交雑の起こりにくい条件の年であったと考えられる。

これに対して2002年は、開花中期の8月5日以降、気温の高い日が1週間近く続き、開花も継続し、花粉も長期間飛散する結果になったと考えられる。また、風速の面からも、8月8日から4日間強風の日が続き、シーズンを通しての花粉飛散数も多くなったと考えられる。

Fig. 8. Spatial distribution of hybrid percentage in the recipient field. (a) In 2001, (b) in 2002. The level of hybrid percentage is shown with contour lines and grey scale.

さらに、実験圃場の配置において、交雑が起こりやすい真南の風が、8月7日の午後から10日まで変動も少なく吹いた。そこで、2002年は、レシピエント群落内はかなり遠方までドナー花粉が飛散し、広範囲に交雑の起こりやすい年であったと考えられる。2002年の実験では、気象条件が交雑に適した状態における、かなり高い交雑率が得られたものと考えられる。しかしながら、我が国では、トウモロコシの開花期に台風が来ることもあり、より高い交雑率も考えられる。今後、より強風条件での交雑率が得られるように実験を行う必要がある。

4.2 乱流が交雑に与える影響

交雑率は、受精生理や交雑発生に関わる様々な要因が影響して決まると考えられる。その中で、基本的な要因となるのは、外部から飛来してくるドナーの花粉数と、近くから落ちてくるレシピエントの花粉数の比であると考えられる。この比で、分母となるレシピエントの花粉数はレシピエント群落の開花量に比例し、分子となるドナーの花粉数は、ドナー群落の開花量と風による輸送拡散に依存する。両群落が十分開花している条件下では、風による輸送拡散が、比に大きく影響することになる。

両年間の交雑率の比は、Fig. 7からも明らかなように、ドナー群落からの距離によって異なり、特にドナー群落に近い場所では、5倍よりも小さい値となった。また、ドナー群落からの距離が5m以内では、両年間の交雑率に有意な差が見られなかった。これらは、ドナー群落に近いレシピエントでは、風向が交雑率に及ぼす影響が不明瞭になるためと考えられる。その理由は、空間スケールが数メートル程度の渦による拡散の作用であると考察される。自然風では、毎時の平均風向等とは別に、気流中に必ず乱れ(乱流)がある。例えば、風向がドナー群落からレシピエント群落に向かっていない場合でも、乱流によって、ドナー群落の花粉が近接するレシピエント群落内に拡散し、交雑が可能となる。これが両年間の交雑率の比が、ドナー群落に近い場所より小さくなった理由の1つと考えられる。

4.3 開花状態が交雑に与える影響

トウモロコシは雌雄異花のため、雄花と雌花で開花期が2日ほどずれる。個体ごとに見ると雄花も雌花も開花期間は3~6日間なので、ドナーの雄花開花期がレシピエントの雌花開花期に一致するかないかで、交雑率の値に大きく影響する可能性がある。しかし実際には、花粉飛散数の経日変化を見ればわかるとおり、雄花の開花期間には個体ごとのばらつきがあり、群落全体としては、1~2週間の幅がある。このことは、ドナーの雄花開花期とレシピエントの雌花開花期のずれが交雑率に与える影響を小さくすると考えられる。一方、開花状態が交

雑に与える影響の1つとして、1日の中での開花状態の推移が問題となる。観察結果からすると、雄花も雌花も、日の出後の気温上昇とともに開花が進行し、昼過ぎまでに雄花は大半の花粉を放出するという特徴がある。そこで交雑は、午前中の比較的早い時間帯に起こると考えるのが適当である。これらの問題については、今後さらに詳しい測定と観察を行う予定である。

植物の交雑は、気象条件と花粉飛散数だけでなく、生物としての生理的機能が関係する複雑な現象であるため、交雑率を気象条件だけで単純に説明することはできない。自然界における交雑率を予測するための研究は、遺伝子組換え作物の環境影響を客観的に評価するために、今後ますます重要なものとなる。今後に残された課題として、様々な分野の専門家が協力しつつ総合的な研究を行う必要がある。

5. 摘 要

遺伝子組換え体作物が生態系に与える環境影響を評価する研究に関連して、遺伝子組換え体作物から近縁種への遺伝子のフローが問題となっている。これは、とりわけ風媒花であるトウモロコシの場合には深刻な問題である。そこで我々は、トウモロコシ種子の持つキセニア現象を利用して、2カ年にわたって野外で交雑実験を行い、同時に気象条件を観測した。本報告では、これらの観測値に基づき、両年における花粉飛散数や気象条件の違い、および交雑率の違い等を比較検討した。その結果、ドナー群落からの距離に対する交雑率の変化から、同じ距離でも気象条件によって交雑率は数倍変化することが示された。また、交雑率の分布から、交雑は空間的に不均一に起きていることが明らかになった。さらに、気象条件の影響で2001年は花粉の飛散が比較的短期間で終了したこと、全般的に交雑の起こりにくい条件の年であったことがわかった。これに対して2002年は花粉の飛散が長期間継続したこと、レシピエント群落内はかなり遠方までドナー花粉が飛散し、広範囲に交雑の起こりやすい年であったことがわかった。

謝 辞

本研究を進めるに当たり、農業環境技術研究所の松井正春博士と塩見敏樹博士には多くの面で大変にお世話になった。また、同研究所大気研究ユニットの歌川育子女史には、研究の支えとなる多くの仕事でお世話になった。この場をかりて、各位に対し、厚くお礼を申し上げます。

References

- Bulant, C. and Gallais, A., 1998: Xenia effects in maize with normal endosperm: I. Importance and stability. *Crop Sci.*, **38**, 1517–1525.
- Kaufman, S.R., Smouse, P.E. and Alvarez-Buylla, E.R., 1998: Pollen-mediated gene flow and differential male reproductive success in a tropical pioneer tree, *Cecropia obtusifolia* Bertol. (Moraceae): a paternity analysis. *Heredity*, **81**, 164–173.
- Kawashima, S., Matsuo, K., Du, M., Oka, M., Daido, H., Takahashi, Y., Kobayashi, T., Inoue, S. and Yonemura, S., 2002: Relationship between percentage of wind-pollinated maize hybrids and distance from donor pollen source. *Jpn. J. Palynol.*, **48**, 1–12.
- Kwon, Y.W., Kim, D.S. and Yim, K.-O., 2001: Herbicide-resistant genetically modified crop: assessment and management of gene flow. *Weed Biol. Manag.*, **1**, 96–107.
- Lavigne, C., Klein, E.K. and Couvet, D., 2002: Using seed purity data to estimate an average pollen mediated gene flow from crops to wild relatives. *Theor. Appl. Genet.*, **104**, 139–145.
- Louette, D., Charrier, A. and Berthand, J., 1997: In situ conservation of maize in Mexico: Genetic diversity and maize seed management in a traditional community. *Econ. Bot.*, **51**, 20–38.
- Richards, C.M., Church, S. and McCauley, D.E., 1999: The influence of population size and isolation on gene flow by pollen in *Silene alba*. *Evolution*, **53**, 63–73.
- Rognli, O.A., Nilsson, N.-O. and Nurminiemi, M., 2000: Effects of distance and pollen competition on gene flow in the wind-pollinated grass *Festuca pratensis* Huds. *Heredity*, **85**, 550–560.
- Sork, V.L., Nason, J., Campbell, D.R. and Fernandez, J.F., 1999: Landscape approaches to historical and contemporary gene flow in plants. *Trends Ecol. Evol.*, **14**, 219–224.
- Vezvaei, A. and Jackson, J.F., 1997: Gene flow by pollen in an almond orchard as determined by isozyme analysis of individual kernels and honey bee pollen loads. *Acta Hortic.*, **437**, 75–81.
- Viard, F., El-Kassaby, Y.A. and Ritland, K., 2001: Diversity and genetic structure in populations of *Pseudotsuga menziesii* (Pinaceae) at chloroplast microsatellite loci. *Genome*, **44**, 336–344.
- Wang, T.Y., Chen, H.B. and Darmency, H., 1997: Pollen-mediated gene flow in an autogamous crop: Foxtail millet (*Setaria italica*). *Plant Breed.*, **116**, 579–583.