

유전자변형 벼로부터 일어나는 화분비산의 시공간적 특성

안주희 · 조강현[†]

인하대학교

Temporal and Spatial Characteristics in the Pollen Flow of Living Modified Rice

Joo Hee An and Kang-Hyun Cho[†]

Inha University, 253 Younghyun-dong, Nam-gu Incheon 402-751, Korea

ABSTRACT Pollen flow is one of the essential components in the ecological risk assessment of transgenic crops, because pollen can act as a vehicle to disseminate transferred alien genes. Pollen flow pattern of a cultivated rice variety and Living modified (LM) rice was studied at diurnal and distance changes under field. We measured airborne pollen density at the distances of -1, 0.5, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 7, 9, 11 and 13 m from rice cultivation and recorded the direction and speed of wind using weather station in the conventional rice paddy field during the flowering period of rice. Diurnal changes in pollen density were observed as a peak between 10:00 to 13:00 hr. The density of airborne rice pollen geometrically decreased with the increase of distance from pollen sources. It is therefore necessary to carry out a detailed investigation of pollen flow of a particular species, where ecological risk assessment requires an accurate estimation of pollen flow including both distance and intensity of pollen dispersal. The rice pollen flow was significantly influenced by weather conditions, particularly by wind direction and speed. The precise determination of the local wind conditions at flowering time therefore appears to be of primary importance for setting up suitable isolation distance from transgenic rice in the field.

Keywords : gene flow, pollen, rice, *Oriza sativa*, risk assessment

세계 인구의 증가에 따라 식량증산을 위하여 육종학자들은 유전자재조합 기술을 이용하여 유전자 변형작물을 개발하였다. 세계 유전자변형작물의 2007년 재배면적 증가율은 최근 5년간 두 자리수를 유지했으며, 재배면적은 1억 1,430만ha에 이르렀다. 작물별로 보면 대두 5,860만 ha(51%), 옥수수 3,520만 ha(31%), 면화 1,500만 ha(13%), 캐놀라 550만 ha(5%)이며, 유전자변형재배 국가는 23개국이다(James, 2007). 국내에서는 상용화된 유전자변형작물은 없으며 일부 시범 재배하는 단계이다. 우리나라에서 유전자변형작물 관련연구는 벼, 콩, 과채류, 고추, 잔디, 화훼류, 당근, 감자, 배추 등을 대상으로 병해충저항성, 신기능물질생산, 환경스트레스저항성, 고생산성 등의 특징을 가진 작물이 주를 이루고 있다. 또한 연구개발뿐 아니라 유전자변형 작물의 안전성평가와 인식에 대한 연구도 함께 진행 중에 있다(바이오안전성백서, 2008).

유전자변형 작물의 잠재적 위해성으로 가장 대표적인 것은 재배종이나 야생 근연종으로 제초제나 해충 저항성 유전자가 이동하여 해충이나 잡초방제를 어렵게 만들거나, 비의도적인 유전자변형 작물 종자의 혼입을 야기할 수 있기 때문이다(Snow & Morán-Palma, 1997). 이러한 문제를 예방하기 위해서는 화분이 얼마나 멀리 갈 수 있는가는 의도하지 않은 유전자이동(gene flow)의 문제에 있어서 조사하는 것이 중요하나, 화분의 이동거리를 측정하는 것이나 예견하는 것은 어려운 문제이다. 화분비산은 거의 지수함수에 의하며, 일반적으로 거리가 증가함에 따라서 양이 감소하였으며, 방향에 따른 화분비산량은 현저한 차이가 발생한다(Song *et al.*, 2004). 이와 같은 논문으로는 유채와 같은 다른 작물의 화분에 관한 연구는 많으나 벼에 관한 연구는 전무한 편이다.

쌀(*Oryza sativa* L.)은 아시아에서 생산량의 90%를 사람이 소비하는 중요한 식량자원 중에 하나이다(Dafini &

[†]Corresponding author: (Phone) +82-32-874-7895
(E-mail) khcho@inha.ac.kr <Received April 13, 2009>

Firmage, 2000). 벼는 대표적인 풍매화에 속하며(Messeguer *et al.*, 2004), 수분은 개화와 동시에 이루어지며 1개 영화의 개영(開嶺)에서 폐영(閉嶺)까지는 1~2.5시간이기 때문에 실질적으로 자가수분(自家受粉)이 원칙이지만 타가수분도 이루어진다(이 *et al.*, 1994). 벼는 자가수분을 하며 화분의 생존시간이 길지 않아서 비산에 의한 교잡의 가능성이 적다. 이러한 이유로 벼의 화분비산에 관한 논문이 적으나, 벼는 야생종도 많고, 많은 종의 잡초와 같은 화분과 식물인 관계로 생태적인 위협이 되는 유전자이입에 의한 수퍼 잡초 등의 생태계 교란을 발생할 우려가 크다(Gray & Raybould, 1998). 풍매화는 기상조건에 특히 풍향에 따라 화분비산량의 차이가 심하다는 Paloma 등(2004)의 논문도 있다.

우리나라의 주요 식량작물인 벼에는 많은 품종이 있을 뿐만 아니라 *O. rufipogon*, *O. nivara* 등을 포함한 많은 근연 야생종이 존재하여 화분에 의한 유전자가 전달될 가능성이 높다. 특히 잡초성벼의 경우에는 생존력이 강하고 서식지가 넓어서 이들에 의한 유전자변형벼의 도입된 유전자가 확산될 수 있기 때문에 이들에 대한 연구가 최근에 활발하다(Lu & Snow, 2005). 다른 작물과 마찬가지로 유전자변형 벼가 다른 벼에 대한 유전자이동(gene flow)과 야생종과의 교잡 문제, 화분이동은 유전자이동(transgenic) 작물의 생태적인 위협평가의 필수 항목 중에 하나이다. 잡초 벼로의 유전자 이동 빈도는 0.0011~0.046%, 야생벼로의 빈도는 1.21~2.19%로서 상당히 높다는 연구 결과(Chen *et al.*, 2004)가 보고되는가 하면, Bt/CpTI과 붙여서 이식한 다른 벼로의 도입유전자 이동빈도가 1% 이하로서 자연교잡율이 매우 낮다는 상반된 보고가 있다(Rong *et al.*, 2007).

재료 및 방법

실험재료

본 연구는 환경스트레스 저항성 TPSP벼(T4 세대)와 모본인 낙동벼(japonica 형)를 명지대학교 김주곤 교수팀으로부터 분양받아 사용하였다. TPSP벼는 trehalose-6-phosphate synthase와 trehalose-6-phosphate phosphatase의 bifunctional fusion 유전자(ABC transport promoter 사용)를 낙동벼에 삽입하여 개발되었다(Jang *et al.*, 2003).

기상측정

본 실험은 충청북도 청원군 오창면 소재 한국생명공학연구원 생물위해성평가센터의 야외격리포장을 이용하여 수행하였다. 실험포장의 중앙에는 온도, 풍속 및 풍향 센서를 장착한 Delta T-logger(WS-STDI)를 설치하였다. 개화기간 중

기온과 풍향은 1분 간격으로 측정하였고, 풍속은 10분간 누적 값을 측정하여 저장하였다. 풍향은 기상청에서 실시하는 평균풍향계산 방식에 따라서 1시간동안 평균을 계산하였다. 이는 단순 평균으로 산출하지 않고 vector를 X와 Y의 2방향으로 분리하여 각각 평균을 구한 다음 다시 vector를 합성하여 계산하였다. 풍향빈도는 전체 방향을 8개로 나누어서 전체 측정치의 빈도를 백분율(%)로 표시하였다.

화분비산 조사

2005년 8월 13일~30일까지 화분비산량을 조사하였다. 실험설계는 6×9 m 시험구에서 LM 재배구와 WILD(non-LM) 재배구를 배치하였다. 화분비산의 일증변화를 보기 위해서 오전 6시부터 오후 6시까지 1시간 간격으로 슬라이드글라스를 교체하였고, 거리별 화분의 변화를 조사하기 위해서 화분의 출처가 되는 벼 재배지로부터 안쪽으로는 1 m, 바깥쪽에 0, 0.5, 1, 2, 3, 4, 5, 7, 9, 11, 13 m의 12개 지점에 화분 채집기를 설치하였다(Fig. 1).

본 실험에서는 화분채집기 설치 방향은 127°(남동) 방향이었다. 표준화분채집기는 제작하여 사용하였다. Durham 중력화분채집기(gravity pollen collector)를 변형하여 직경 23 cm 스테인레스 원판 2개를 위·아래 15 cm 간격으로 수평이 되도록 설치하였다. 위의 수평판의 설치높이는 벼의 화서 높이로 하였다. 위와 아래 설치한 수평판의 중앙에 바세린을 얇게 바른 2×8 cm인 슬라이드글라스를 설치하였다. 채집한 슬라이드는 광학현미경으로 관찰하여 슬라이드 글라스당 10화상에서 화분을 계수하였다. 화분 채취는 각 작물에서 개화기 화분이 분산되기 이전에 야외에서 꽃을 분리, 채집하여 폴리에틸렌 백에 담아 실험실로 운반한 후 음건시켜서 화분을 방출하게 하여 채취하였다. 채취한 화분을 광학현미경으로 관찰하여 장경과 단경을 측정하였다. 개화

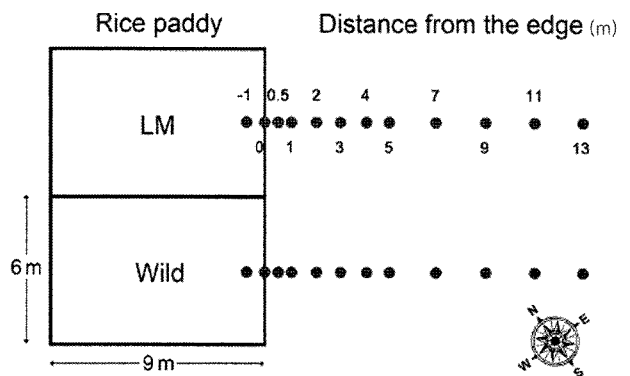


Fig. 1. Experimental design for the pollen sampling. The closed circle indicates the position of sampler.

기 측정은 개화기 직전부터 말기인 2005년 8월13일~29일 까지 17일간 조사하였으며, 각 포장에서 포기당 출수된 분얼수를 매일 계수하여 이 분지수에 의하여 개화율을 산출하였다.

결과 및 고찰

풍향 및 풍속

기상조건에 따른 비의도적인 화분비산의 영향 정도를 알아보기 위해 풍향과 풍속을 측정하였다. 2005년 8월13일~30일까지의 조사기간 중 풍향은 남동풍과 남풍이 우세하였으며(Fig. 2), 특히 벼 개화 최성기인 8월 18일~25일에는 남서풍과 남동풍이 우세하였다. 개화기간 중 비가 오지 않은 맑은 날인 8월 21일과 23일 개화시간(10:00~14:00)대의 주풍은 남풍이었다.

풍속의 일변화를 보면 주기적인 풍속의 변화가 나타나고, 특히 하루 중 늦은 오전부터 급격히 증가하였다. 풍속이 강한 정오부근에 벼의 개화가 활발하여 화분 비산이 증가하였으며, 조사기간 중의 평균풍속은 1.2 m/s 이하였다(Fig. 3).

개화기간 중 비가 오지 않은 맑은 3일간의 개화시간(10:00~14:00)에 따른 평균풍속은 1.17~1.61 m/s로 대체로 2 m/s 이하로 변화의 폭이 작다(Table 1). 21일은 오전에는 1.17~1.30 m/s, 오후 1시에서 2시 사이에는 오전보다 강한 1.58 m/s이었다. 23일은 전체적으로 일정하나, 평균풍속은 21일의 1.32 m/s 보다 빠른 1.59 m/s를 기록하고 있다. Song 등(2004)은 풍매화의 화분비산은 풍향과 풍속에 중요한 영향을 받는다고 말하고 있으며, Timmons 등(1995)도 재배종벼는 풍향과 풍속의 강약에 강한 영향을 받는다고 한다. 또한 화분비산은 바람의 방향과 강약에 영향을 받아서 풍속이 10 m/s일 때 최대 110 m까지 갈 것이라고 보고하였다(Song *et al.*, 2004).

개화시간대의 시간에 따른 평균 풍향을 보면 21일은 남서풍(SW)에서 서풍(W)으로 불었다. 23일은 남동풍(SE)이 주풍이며, 오후 1시부터 2시 사이에는 북동풍(NE)이 불었다.

개화기 비교

LM벼와 WILD(낙동벼)벼의 개화속도는 Fig. 4와 같은 차이를 보였다. LM벼의 개화 시기는 8월 13일~24일이었으

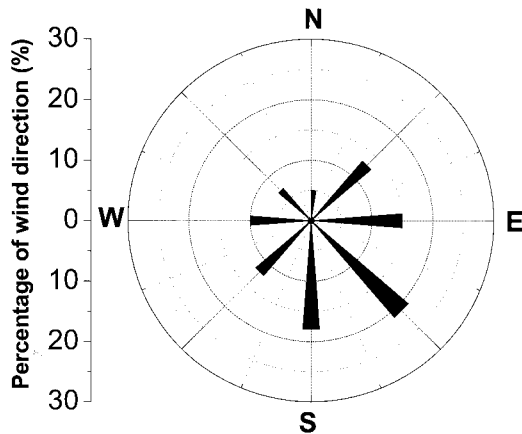


Fig. 2. Changes in wind direction at the rice field during the pollen sampling (13 to 29 August, 2005).

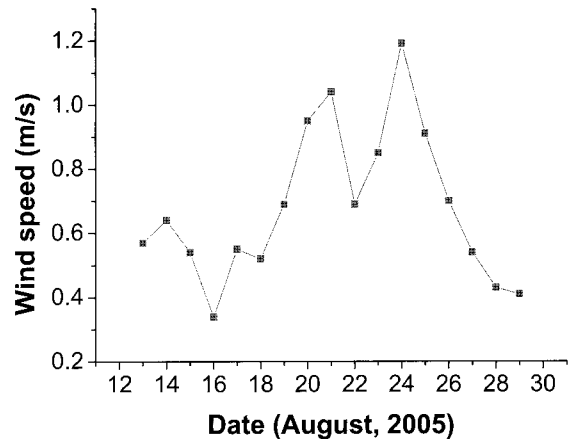


Fig. 3. Changes in daily mean wind speed at the rice field during the pollen sampling.

Table 1. Change in hourly mean wind direction and speed at the rice field on 21 and 23 August, 2005.

Time	21 Aug.		23 Aug.	
	Direction (°N)	Speed (m/s)	Direction (°N)	Speed (m/s)
10:00 ~ 11:00	246	1.23	159	1.51
11:00 ~ 12:00	245	1.17	160	1.57
12:00 ~ 13:00	251	1.30	161	1.51
13:00 ~ 14:00	276	1.58	26	1.61
Average	254	1.32	143	1.55

며, 낙동벼의 개화 시기는 8월 17일~29일까지이다. Sano (1989)는 일본의 고지와 목초지에서 조사한 벼의 개화기간은 각각 7월 24일~8월 9일과 7월 27일~8월 14일로 기술하였다. 두 장소에서 조사된 개화기간은 약 12일 정도이다. 두 작물의 개화가 일치하는 기간은 8일로 조사되었다(Fig. 4). 작물 사이의 개화기가 겹치는 시기의 정도는 교잡(cross-pollination)의 중요한 요소 중의 하나이다(Odd *et al.*, 2000). 전체의 절반이 개화하는 시기인 최성기는 LM벼가 8월19일, WILD벼는 8월23일로 4일의 차를 보이고 있다.

화분의 형태

벼의 화분을 현미경으로 관찰한 결과 원형에 가까운 형태였다. LM벼의 화분 크기가 WILD벼보다 유의하게 작다 (Table 2). 이 결과로 보아 크기가 작고 무게가 가벼운 LM벼가 WILD벼의 화분보다 비산이 용이했을 것으로 사료된다. 개화기의 시간 경과에 따른 화분 비산량의 변화를 보면 대체로 LM벼가 WILD벼보다 비산량이 많은 것으로 나타난 것으로 보아 LM벼의 화분이 WILD벼보다 더 많이 비산되어 교잡될 확률이 높을 가능성이 있다는 것을 시사한다.

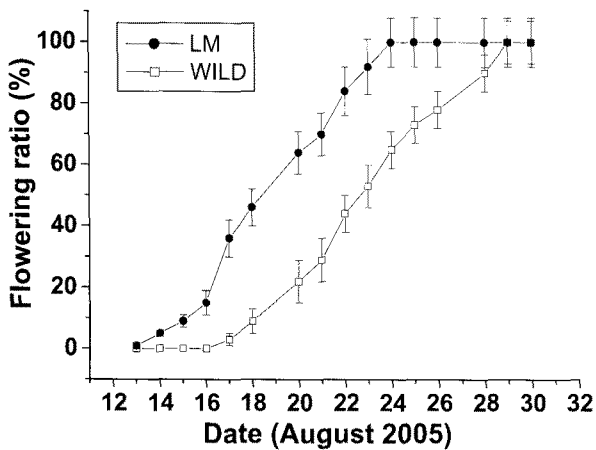


Fig. 4. Change of flowering ratio at the fields of LM and WILD rice.

Table 2. Diameters (μm) of pollen size of LM and WILD (Nakdong) of rices.

	Rice type	
	LM (ABC)	WILD (Nakdong)
Long diameter	62.1±7.1***	71.2±7.8
Short diameter	58.8±6.6***	67.3±7.9

***Significant difference at $p=0.001$.

화분비산의 개화 시기별 변화

조사기간 중 화분비산은 8월 13일부터 30일까지 17일정도 비산되었으며, 특히 8월 20일까지는 비가 많이 와서 비산량이 적었다. 화분 채집량은 채집기 위에 노출된 슬라이드 글래스(exposed)가 위가 덮인 슬라이드 글래스(covered)보다 훨씬 많았다(Fig. 5). 또한 개화기의 시간경과에 따른 화분 비산량의 변화를 보면 대체로 LM벼가 WILD벼인 낙동벼 보다 비산량이 많았다. 이등은 벼가 개화될 날 비가 오면 보통 개영하지 않는다고 한다. 조사시기 중 14일, 15일, 21일, 23일, 26일, 28일 그리고 29일인 17일중 7일을 제외하고는 흐리거나 비가 왔다.

비가 온 날이 많음에 따라 벼의 꽃에서 개영이 제대로 되지 않아 화분이 비산되지 않아서 화분비산의 정량 측정에 오차가 발생한 것으로 사료된다.

화분 비산의 일중변화

화분 비산의 일중 변화는 날씨가 맑았던 2005년 8월 21일과 23일 오전 6시부터 오후 6시까지 1시간 간격으로 재배구 밖에 설치된 화분 채집기에서 화분비산량을 측정하였다. 벼 화분이 활발히 비산되기 시작한 때는 오전 10시이다. 그리고 하루 중 화분비산량의 80% 이상 비산이 이루어지는 때는 오전 10시부터 오후 2시까지이다. 이 시기에 비가 개화하여 대부분의 화분이 방출되는 것으로 사료된다. Jackson 등(1999)의 재배종벼는 9시 30분에서 오후 2시 40분, 야생종 *Oriza rufipogon*은 10시 30분에서 오후 4시 30분에 개화한다고 기술하고 있다. 또한 Gealy(2003)에 의하면 벼는 일반적으로 8시 이전과 오후 4시 이후에 개화하지 않는다고 보고하였으며, 개화시간은 환경적인(온도, 습도 등) 조건에 영향을 받는다고 기술하고 있다(Messeguer *et al.*, 2001).

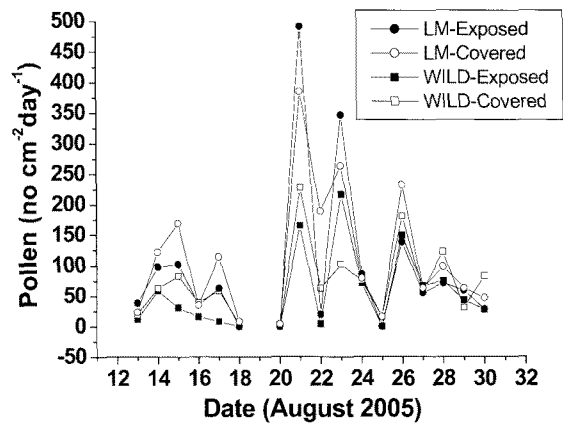


Fig. 5. Daily changes of pollen deposition from 13 to 30 August, 2005 (No data on 19 Aug. Due to rain).

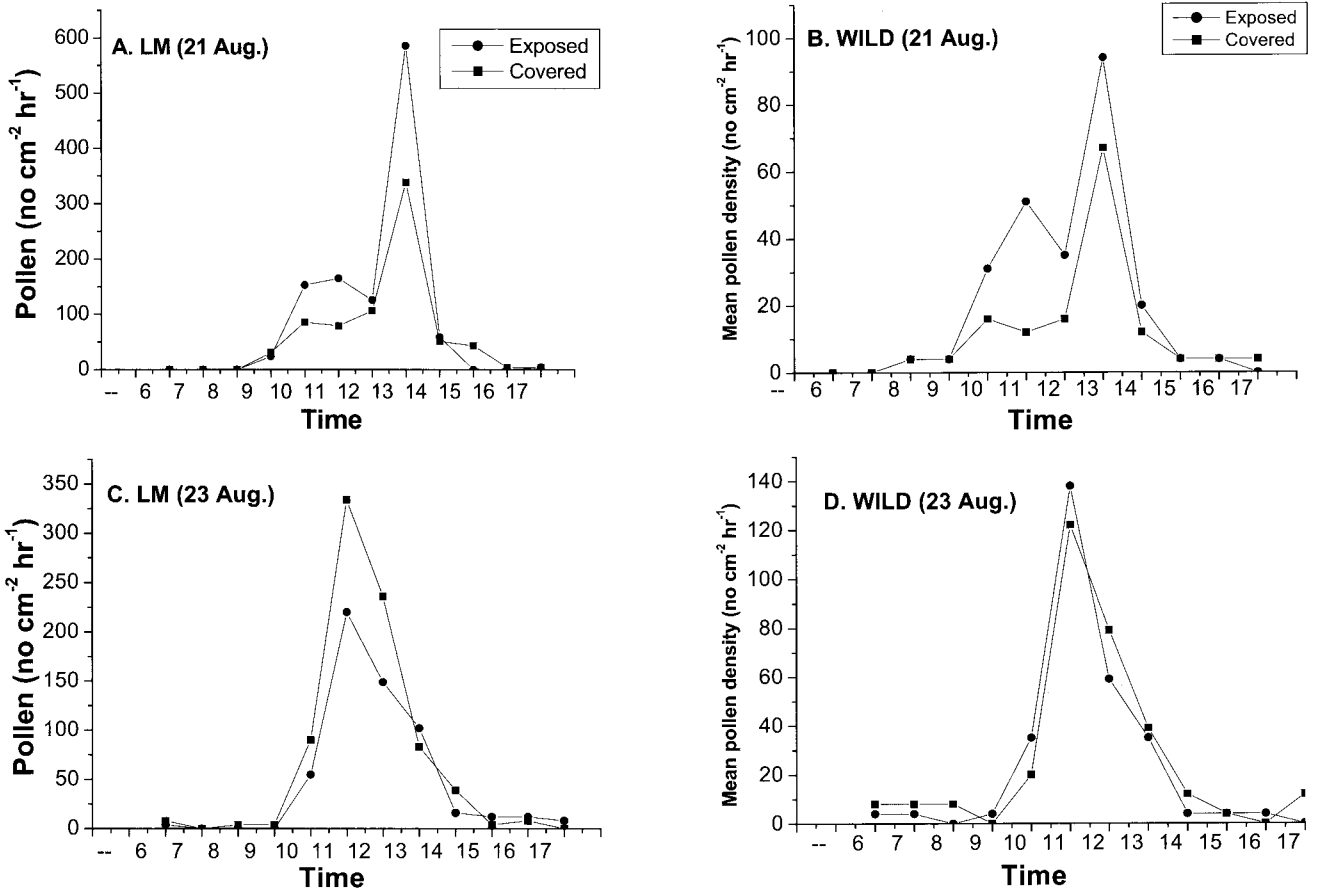


Fig. 6. Diurnal changes of pollen deposition on 21 and 23 August, 2005.

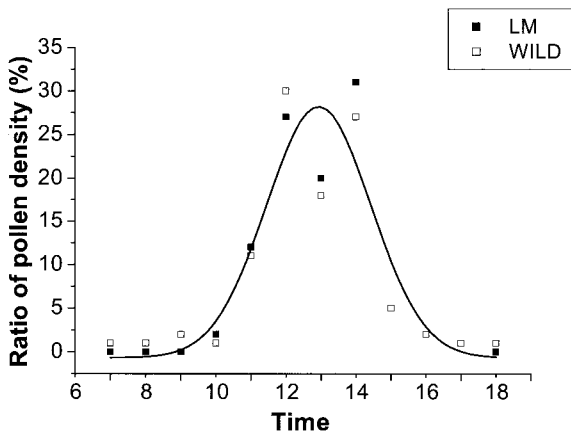


Fig. 7. Diurnal changes of pollen deposition that best fitted the data.

화분 비산의 일중변화에는 LM과 WILD벼 사이에 중요한 차이점이 보이지 않았다. 하루 중 최대로 화분이 비산된 시간은 21일은 오후 1시에서 2시 사이에 LM 50%, WILD 41%이다. 또한 23일은 11시에서 12시 사이에 LM 40%,

WILD 43%로 이 시간에 화분의 절반가량이 비산되었다. 화분이 주로 비산되는 시간은 10시에서 오후 1시로 21일은 LM 88%, WILD 82%가 비산되었으며, 23일은 LM 91%, WILD 87%가 비산되었다(Fig. 6). 이는 Timmons 등(1995)의 오전 11시에서 오후 1시에 벼의 화분비산량이 많다고 한 것과 거의 일치하는 결과이다. 이러한 결과는 풍향과 풍속에 의한 영향으로 21일은 평균 풍속이 1.29 m/s인데, 오후 1시에서 2시 사이엔 1.58 m/s로 다른 시간대에 비해 풍속이 빠른 것으로 인해 다른 날의 11시에서 12시 사이에 화분비산량이 많은 일반적인 사실과 다르게 나타난 것으로 사료된다(Table 2). 이는 Martin(2007)의 화분비산량은 풍속에 따라 증가한다는 것과 일치하는 결과이다.

일중 시간에 따른 분포는 가우시안(Gaussian)분포를 보인다(Fig. 7). 이에 대한 함수식은 아래와 같다.

$$P = 28.5017e^{-\frac{(x-11.938)^2}{4.5730}} \quad (R^2=0.86, p < 0.001)$$

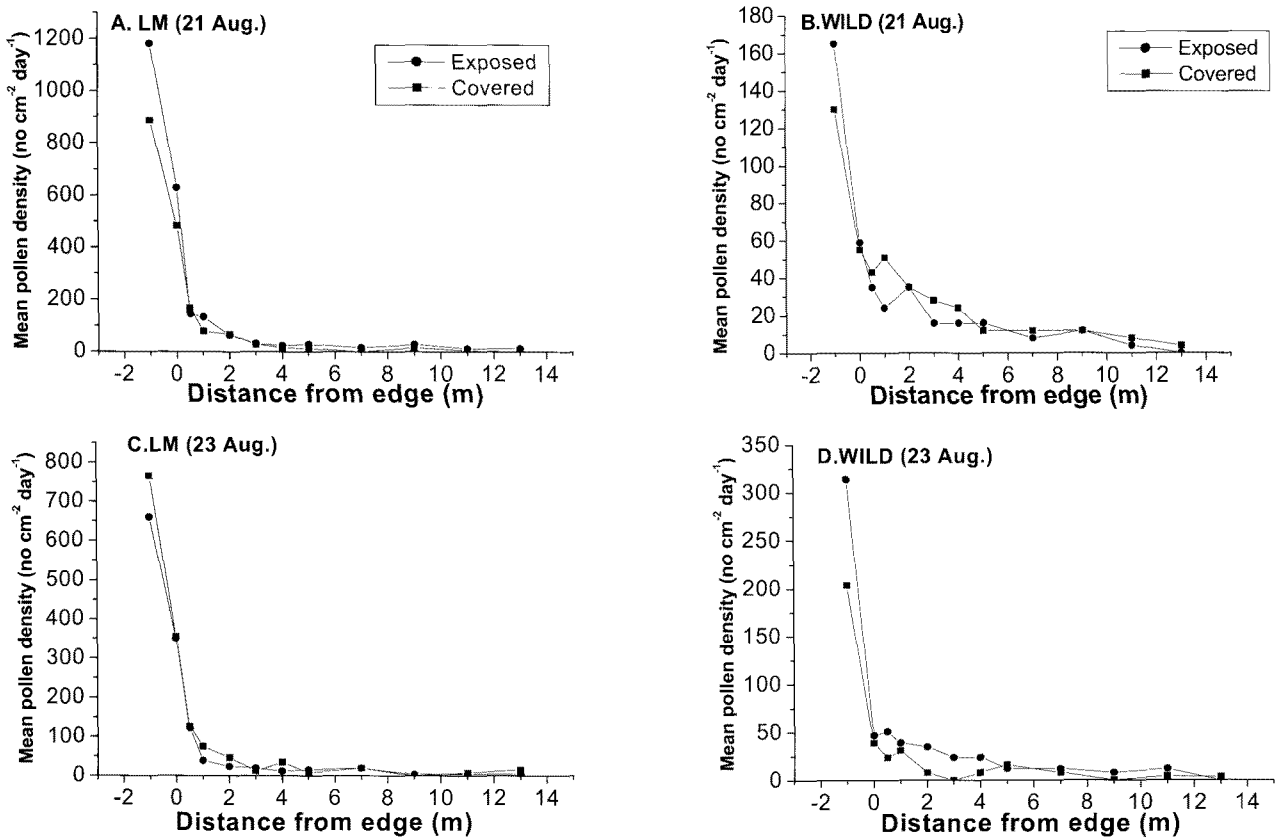


Fig. 8. Changes of pollen deposition along the distance from rice on 21 and 23 August, 2005.

거리에 따른 화분비산량의 변화

재배지로부터 화분비산량의 거리에 따른 변화는 날씨가 맑았던 2005년 8월 21일과 23일의 비산량을 조사하였는데 (Fig. 8), 그 결과 재배지 안쪽 1 m에서 화분비산량이 가장 많으며, 이는 재배경계지인 0 m 거리에서의 화분비산량의 두 배 정도가 많은 양이다. 0.5 m부터는 화분비산량의 차가 급격히 줄어들었으며 벼 포장으로부터 3 m 이내에서 화분의 대부분이 낙하하고 3 m 이상의 거리에서는 비산량이 매우 적었다. 벼의 화분비산이나 유전자 이동에 관한 연구는 재배종 보다는 야생종에 관한 연구가 많은데 Gealy 등(2003)은 *O. rufipogon*의 유전자이동 거리는 30 m가 되지 못한다고 했고, Song 등(2003)은 최대 발견 거리가 43.2 m로 보고하였다. 재배종 벼의 화분비산 최대거리는 24 m로 Song 등(2004)에 의해 보고되었다. 벼의 유전자이동 결과는 0.2 m에서 0.28%, 6.2 m에서 0.01% 미만의 자연교잡율을 보였으며 근연종인 잡초성벼와는 0.3%의 교잡율을 나타냈다 (Rong *et al.*, 2007).

Fig. 9는 LM과 Wild를 합한 전체화분비산량을 나타내는 것으로서, 1 m까지 6%로 급격히 감소하고, 그 이후는 천천

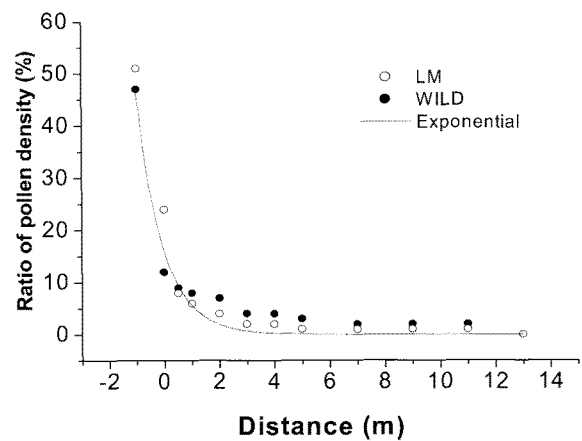


Fig. 9. Changes of pollen deposition along the distance from rice that best fitted the data.

히 감소하는 전형적인 지수함수를 보이고 있다(Fig. 9). 이에 맞는 꽃가루 확산 비산에 대한 다음과 같은 기존의 모형을 검토하였다. 첫 번째로 Gregory가 1945년 균류병이 공기중에 퍼지는 포자의 비산을 대상으로 제안한 방정식으로 발생지(source)로부터 거리(D)에 따라 포자비산량(P)을 아

래의 식으로 정리하였다(Giddings *et al.*, 1997a).

$$\text{Gregory(1945): } P = \frac{ae^{-bD}}{D}$$

Bateman은 바람과 turbulence의 여러 조건을 변수로 아래의 식을 제안하였다.

$$\text{Bateman(1947): } P = \frac{ae^{-bD^c}}{D^c}$$

본 연구에서 조사된 거리에 따른 그래프의 함수식은 위의 식에는 적당하지 아니하여 Bateman이 바람에 따른 유전자 이동에 적합한 확산 모형으로 제안한 $P = ae^{-bD}$ 에 의해 다음과 같은 함수식을 얻었다(Giddings *et al.*, 1997b).

$$P = 16.04e^{-0.95D} \quad (R^2=0.947, p < 0.001)$$

이는 Odd(2000)의 *Festuca pratensis* Huds.의 거리에 따른 화분비산은 지수함수를 보인다는 결과와도 일치한다.

적 요

본 연구에서 실행한 LM 벼의 화분비산 연구는 non-LM 벼와 잡초성 벼의 의도치 않은 교잡은 경작지의 생태계에 문제를 야기할 가능성이 커지고 있다. 본 연구는 이를 예방하기 위한 벼의 이격거리 설정을 위하여 수행하였다.

1. 벼의 개화기간의 개화시간(10:00~14:00)의 주풍은 남풍이었으며, 시간대별 풍속은 0.94~1.77 m/s이었다.
2. 개화기는 LM벼와 Wild벼가 일치하는 기간은 8일이었으며, LM벼와 Wild벼의 최성기는 4일의 차이가 있다.
3. LM벼의 화분이 non-LM벼보다 유의하게 작게 조사되었다.
4. 화분채집량은 위가 노출된 슬라이드 글라스가 위가 덮인 슬라이드 글라스 보다 많았으며 LM벼가 Wild벼보다 비산량이 많았다.
5. 벼 화분의 비산은 오전 10시부터 오후 2시까지 대부분 이루어졌다.
6. 거리에 따른 화분비산량은 1 m까지는 급격히 감소하였으며 2 m이상에서는 서서히 감소하는 전형적인 지수함수를 나타냈으며, 3 m이상에서는 거의 발견되지 않았다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부 시행 생명공학안전성평가기술개발

사업 연구결과의 일부이며 연구비 지원에 감사드립니다. 여름 내내 조사에 힘써주신 서울대 박사과정 이효혜미선생님과 김홍산님께도 감사드립니다.

인용문헌

- 바이오안전성백서. 2008. 한국생명공학연구원 바이오안전성정보센터, 대전. pp. 202-216.
- 손종구, 김기일, 조성관. 2005. 유전자변형작물(국제무역마찰 및 다국적기업전략에 대한 대응방안). BA 409. 한국과학기술정보연구원.
- 2000-2004 국내 각 연구기관의 보고서 및 연구논문집 조사 결과. 2005. 농업생명공학연구원.
- 이은용 등 1994. 수도작. 향문사. pp. 82-84.
- Amand, P. C., D. Z. Skinner, and R. N. Praden. 2000. Risk of alfalfa transgene dissemination and scale-dependent effects. *Theoretical and Applied Genetics* 101 : 107-114.
- Bao-Rong, L. and A. S. Allison. 2005. Gene flow from genetically modified rice and its environmental consequences. *BioScience*. 55(8) : 669-678.
- Dafini, A. and D. Firmage. 2000. Pollen viability and longevity: practical, ecological and evolutionary implications. *Plant systematics and Evolution*. 222 : 113-132.
- Gealy, D. R., D. H. Mitten, and J. N. Rutger. 2003. Gene flow between red rice (*Oriza sativa*) and herbicide-resistant rice (*Oriza sativa*) : Implications for weed management weed. *Weed Technology* 17 : 627-645.
- Giddings, G. D., N. R. Sackville Hamilton, and M. D. Hayward. 1997a. The release of genetically modified grasses. Part 1: pollen dispersal to traps in *Lolium perenne*. *Theoretical and Applied Genetics* 94 : 1000-1006.
- Giddings, G. D., N. R. Sackville Hamilton, and M. D. Hayward. 1997b. The release of genetically modified grasses. Part 2: the influence of wind direction on pollen dispersal. *Theoretical and Applied Genetics* 94 : 1007-1014.
- Gray, A. J. and A. F. Raybould. 1998. Crop genetics: Reducing transgene escape routes. *Nature* 392 : 653-654.
- Jang, I. C., S. J. Oh, J. S. Seo, W. B. Choi, S. I. Song, C. H. Kim, Y. S. Kim, H. S. Seo, Y. D. Choi, B. H. Nahm, and J. K. Kim. 2003. Expression of a Bifunctional Fusion of the *Escherichia coli* Genes for Trehalose-6-Phosphate Synthase and Trehalose-6-Phosphate Phosphatase in Transgenic Rice Plants Increases Trehalose Accumulation and Abiotic Stress Tolerance without Stunting Growth. *Plant Physiology*. 131 : 516-524.
- James, C. 2007. Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2007. ISAAA Brief No. 37. ISAAA: Ithaca, NY.
- Jackson, S. T. and M. E. Lyford. 1999. Pollen dispersal models in quarternary plant ecology: assumptions, parameters and prescriptions. *The Botanical Review* 65(1) : 39-75.

- Rong, Jun, Bao-Rong Lu, Zhiping song, Jun Su, Allison A. Snow, Xinsheng Zhang, Shuguang Sun, Rui Chen, and Feng Wang. 2007. Dramatic reduction of crop-to-crop gene flow within a short distance from transgenic rice fields. *New Phytologist* 173 : 346-353.
- Chen, Li Juan, Dong sun Lee, Zhiping Song, Hak Soo Suh, and Bao-Rong Lu. 2004. Gene flow from cultivated rice (*Oryza sativa*) to its weedy and wild relatives. *Annals of Botany* 93 : 67-73.
- Martin, H. and E. C. James. 2007. The effect of wind direction on cross-pollination in wind-pollinated GM crops. *Ecological Applications*. 17(4) : 1234-1243.
- Messeguer, J., C. Fogher, E. Guiderdoni, V. Marfà, M. M. Català, G. Baldi, and E. Melé. 2001. Field assessments of gene flow from transgenic to cultivated rice (*Oryza sativa* L.) using a herbicide resistance gene as tracer marker. *Theoretical and Applied Genetics* 103 : 1151-1159.
- Messeguer, J., V. Marfà, M. M. Català, E. Guiderdoni, and E. Melé. 2004. A field study of pollen-mediated gene flow from Mediterranean GM rice to conventional rice and the rice weed. *Molecular Breeding* 13 : 103-112.
- Odd, Arne Rognli, Nils-Otto Nilsson, and Minna Nurminiemi. 2000. Effects of distance and pollen competition on gene flow in the wind-pollinated grass *Festuca pratensis* Huds. *Heredity* 85: 550-560.
- Paloma, Carriñanos, Carmen Galan, Purifkaciòn Alcázar, and Eugenio Domínguez. 2004. Airborne pollen records response to climatic conditions in arid areas of the Iberian Peninsula. *Environmental and Experimental Botany* 52: 11-22.
- Philip, J. D., C. Belinda, and M. G. Eliana. Fontes. 2002. Potential for the environmental impact of transgenic crops. *Nature biotechnology* 20 : 567-574.
- Snow, A. A. and P. M. Morán-Palma. 1997. Commercialization of transgenic plants: potential ecological risks. *BioScience*. 47 : 86-96.
- Stewart, C. N., M. D. Halfhill, and S. I. Warwick. 2003. Transgene introgression from genetically modified crops to their wild relatives. *Nature Reviews Genetics* 4 : 806-817.
- Timmons, A. M., E. T. O'Brien, Y. M. Charters, S. J. Dubbels, and M. J. Wilkinson. 1995. Assessing the risks of wind pollination from field of genetically modified *Brassica napus* ssp. *oleifera*. *Euphytica* 85 : 417-423.
- Walklate, P. J., J. C. R. Hunt, H. L. Higson, and J. B. Sweet. 2004. A model of pollen-mediated gene flow for oilseed rape. *Proceedings of the Royal Society of London, Series B-Biological Sciences* 271 : 441-447.
- Y. Sano. 1989. The direction of pollen flow between two co-occurring rice species, *Oryza sativa* and *O. glaberrima*. *Heredity* 63 : 353-357.
- Song, Z., B. R. Lu, Y. G. Zhu, and J. K. Chen. 2003. Gene flow from cultivated rice to the wild species *Oryza rufipogon* under experimental field conditions. *New Phytologist* 157 : 657-665.
- Song, Z., B. R. Lu, and J. Chen. 2004. Pollen flow of cultivated rice measured under experimental conditions. *Biodiversity and conservation* 13 : 579-590.