

## 저장곰팡이 오염 현미에 대한 쌀바구미의 선호성

윤태중 · 윤은영 · 이승빈 · 박미경 · 류문일\*

고려대학교 생명환경과학대학 환경생태공학부

### Preference of the Rice Weevil (Coleoptera: Curculionidae) for the Storage Mold Contaminated Brown Rice

Tae Joong Yoon, Eun Young Yoon, Seung-Bin Lee, Mi-Kyung Park and Mun Il Ryoo\*

Laboratory of Population Ecology, College of Life and Environmental Sciences, Korea University, Sungbuk-Ku, Seoul 136-701, Republic of Korea

**ABSTRACT :** To study the interaction between rice weevil and storage molds, the preference of rice weevil to the four mold species (*Aspergillus candidus*, *A. niger*, *A. flavus* and *Penicillium* spp.) and the resulting reproduction of the rice weevil were observed. The rice weevil preferred rice grains contaminated with the molds to autoclaved ones regardless of the mold species tested. Among the four mold species, *A. candidus* and *Penicillium* sp. were highly preferred than the others. Reproduction of the rice weevil was higher on the grains contaminated with *A. candidus* and *Penicillium* sp., than on autoclaved ones, but was lower on the grains contaminated with *A. flavus*. The partial disagreement between preference and reproduction of the rice weevil might be a suggestion that both the weevil behavior adapting nutritional requirements and the process of the long intensive coadaptation of the rice weevil and storage molds requiring similar moisture niche are the major components of the population interaction between the weevil and molds.

**KEY WORDS :** *Sitophilus oryzae*, Storage molds, Preference, Reproduction

**초 록 :** 쌀바구미와 저장 곡물 곰팡이간의 상호작용 분석의 일환으로 곰팡이 종에 대한 쌀바구미의 분포 선호성을 조사하였다. 쌀바구미는 비교 대상 4종 곰팡이(*Aspergillus candidus*, *A. niger*, *A. flavus*와 *Penicillium* spp.)에 오염된 현미를 살균된 현미보다 선호하였으며, 선호도는 *A. candidus*와 *Penicillium* spp.에 대해서 가장 높았다. 차대 쌀바구미 우화수는 *A. candidus*와 *Penicillium* 오염미에서 가장 많았으며 *A. flavus* 오염미에서 가장 적었다. 쌀바구미의 곰팡이 오염미에 대한 선호와 쌀바구미 적합도간 불일치 현상은 쌀바구미의 분포 및 곡물 곰팡이 선호도가 알려진바 유사 니체에서의 장기적인 공진화 과정을 거쳐 이루어진 종간 상호작용의 조정과 아울러 영양적 특성 등 단기적 서식환경의 적절성의 두 가지 측면에서 설명될 수 있음을 암시하는 것으로 생각된다.

**검색어 :** 쌀바구미, 저장곰팡이, 선호성, 증식

저장곡물생태계를 구성하는 주요 생물군집은 *Aspergillus* spp.와 *Penicillium* spp. 등 저장곡물 곰팡이균과 화랑곡나방(*Plodia interpunctella* Huebner), 쌀바구미

(*Sitophilus oryzae* (L.)), 가루응애(*Acarus siro* L.) 등 절지동물들을 중심으로 하는 일차소비자와 이들에 기생하거나 이들을 포식하는 *Anisopteromalus calandrae*

\*Corresponding author. E-mail: ryoomi@korea.ac.kr

(Howard), *Xylocoris flavifus* (Reuter) 등 이차 소비자로 구성되어 있다(Subramanyam and Hagstrum, 1995). 곡물에 저장된 에너지를 공통적으로 소모하는 특성상 이들 일차소비자간의 직접적, 간접적인 상호작용의 발전과 진화는 필연적이며, 곰팡이군과 절지동물군간의 원시적 협동(proto-cooperation)은 잘 알려진 현상이다(Hyun and Ryoo, 1974; Sauer *et al.*, 1992; Sinha, 1995; Franzolin *et al.*, 1999; Sone and Ryoo, 2000). 쌀바구미 등 절지동물은 곡물과 함께 곰팡이를 섭취함으로써 비타민 등 필수 영양소를 얻으며, 동시에 체내외로 곰팡이를 전파하는 매개자가 된다. 또한 절지동물의 활동은 곰팡이의 활동과 함께 저장곡물의 수분함량을 증가시키고 곡물온도를 증가시킴으로써 곰팡이의 성장에 유리한 물리적 환경을 조성하여 곰팡이의 급속한 성장과 곡물의 변질 및 부패를 가속시킨다(Miller, 1995).

절지동물과 저장 곰팡이군간의 이러한 상호작용은 관련된 절지동물 종과 곰팡이 종의 최적 물리적 환경인자(상대습도, 곡물 함수량 등)에 따라 상이한 양상 또는 강도를 보인다(Hyun and Ryoo, 1974; Kim and Ryoo, 1982). 쌀바구미와 *A. candidus* 간의 밀접한 양(陽)의 상호작용에 비해 *A. niger* 또는 *A. flavus*와의 음의 상호작용은 곡물함수량 요구도의 유사도에 따른 장기간에 걸친 긴밀한 공진화 과정의 결과로 해석되기도 한다(Hyun and Ryoo, 1974).

쌀바구미(*Sitophilus oryzae* (L.))는 범세계적으로 분포하면서 저장곡물의 양적 손실만이 아니라 저장환경의 온도와 습도의 변화를 통한 품질의 저하를 초래함은 물론 곰팡이의 급속한 성장을 유도함으로써 곡물의 부패를 야기하고 곰팡이 독소(mycotoxin) 생성을 가능하게 함으로써 식품의 안전을 위협하는 중요한 해충이다(Tipples, 1995). 저장곡물에서의 쌀바구미 방제는 그 자체로서 의미를 가지지만 식품위생의 측면에서는 곰팡이에 의한 부패와 독소 생성을 예방하거나 억제한다는 점에서 의미가 더 클 수가 있다. 그러나 지금까지 저장곡물 해충에 대한 문제는 해충 개체군의 방제 전략에만 집중함으로써(Subramanyam and Hagstrum, 1995) 곰팡이와의 상호작용을 통한 해충개체군의 발전과 그에 대응한 개체군관리에 등한하였고 이로 인해 해충의 방제는 물론 식품위생적 측면에서의 저장곡물 관리의 전반적인 전략의 합리화를 이루지 못하고 있다.

본 연구는 쌀바구미와 저장곰팡이간의 친화성과 특

정 곰팡이에 오염된 저장곡물(현미)에서의 쌀바구미 우화양상을 비교함으로써 쌀바구미와 곡물곰팡이간 친화성의 정도와 이 관계가 쌀바구미 개체군의 발전에 미치는 영향을 알고자 수행된 것이다.

## 재료 및 방법

### 쌀바구미

쌀바구미는 1984년 이래 고려대학교 개체군생태학 실험실에서 현미를 사료로 실온(18-32°C)과 상대습도 70-80% 조건에서 유지하고 있는 계통이다.

### 저장곰팡이

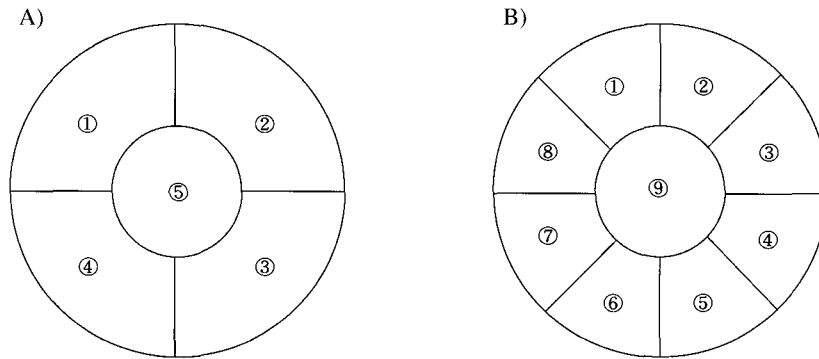
저장곡물 곰팡이는 본 실험실에 보관중인 현미에서 분리한 계통으로 본 실험에 사용된 종들은 *Aspergillus niger*, *A. flavus*, *A. candidus*와 *Penicillium spp.*이다. *Penicillium spp.*의 경우 종 동정이 어려워 속(genus) 수준에서 사용하였다. 곰팡이 종의 동정은 고려대 생명과학대 식품미생물 연구실의 도움을 받았다. 곰팡이는 28±0.5°C의 조건에서 7.5% MSA (malt extract 20 g, peptone 1 g, glucose 1 g, NaCl 75 g, agar 20 g, water 1,000 ml) 배지에서 배양하였다.

### 실험 방법

유리병(지름 7.5 cm, 높이 13.5 cm)에 현미 200 g을 넣고 고온습열살균(121°C, 1.2 기압, 20 분)한 후 현미의 함수량은 적량 증류수를 사용하여 16%로 조정하였다(AACC, 1983). 이는 대상 곰팡이 4 종들에게 공히 좋은 배양 조건을 부여하기 위함이었다. 각 유리병에 한 종의 배양된 곰팡이 조각(지름 0.7 cm의 disk) 5개를 접종하고 충분히 혼든 다음 28±1°C로 조정된 항온기내에서 20일간 배양하여 각 곰팡이가 충분히 배양된 현미를 실험에 사용하였다.

### 저장곡물곰팡이에 대한 쌀바구미의 선호성

지름 8.8 cm (높이 1.4 cm) 페트리 접시 중앙에 지름 3.5 cm (높이 1.2 cm)의 소형 페트리 접시를 고정하고 나머지 공간을 4개의 동일한 크기의 방으로 분할한 후(Fig. 1) 대비 위치(방 1과 3; 방 2와 4)에 비교 대상(오염)현미 2g씩을 투입하였다. 방 중앙(소형 페트리



**Fig. 1.** Scheme of the experimental arena. The rice weevils tested were introduced into the cell No. 5 for the test for dual choice (A) and cell No. 9 for the test of quadruple choice (B). The rice grains contaminated with different mold species to be compared were introduced in the two cells of contrasting position.

접시)에 우화후 1일 미만인 0.1% sodium hypochlorite 로 표면살균한(Hyun and Ryoo, 1974) 쌀바구미 20 마리를 투입하고 4일간 매일 각 방에 존재하는 쌀바구미의 성충수를 조사하였다. 실온(25-30°C)의 조건에서 포화식염수로 상대습도를 70-75%로 유지하는 데시케이터내에서 수행되었으며 비교대상은 살균현미: *A. niger*, *A. candidus*, *A. flavus*, *Penicillium* spp. 오염미였다. 쌀바구미와 곰팡이 종간의 친화성을 비교하기 위하여 친화성이 강하다고 알려진 *A. candidus*와 약하다고 알려진 *A. niger* (Hyun and Ryoo, 1974; Kim and Ryoo, 1982) 비교를 부가적으로 수행하였다. 각 비교 조합별 30반복으로 수행되었으며, 각 방의 현미는 소형유리병(지름 2 cm, 높이 4.5 cm)에 분리하여 28±1 °C에서 보관하면서 우화 성충 수를 조사하여 각 오염 현미에서의 쌀바구미의 산란과 발육을 비교하였다.

지름 8.8 cm (높이 1.4 cm) 페트리 접시 중앙에 지름 3.5 cm (높이 1.2 cm)의 소형 페트리 접시를 고정하고 나머지 공간을 8개의 동일한 크기의 방으로 분할한 후 대비 위치(방 1과 5: 방 2와 6: 방 3과 7: 방 4와 8)에 비교 대상(오염)현미 1g씩을 투입하였다(Fig. 1). 비교조합은 살균현미, *A. niger* 오염미, *A. candidus* 오염미, *A. flavus* 오염미 또는 *Penicillium* spp. 오염미였다. 양자비교에서와 같이 동일하게 처리된 쌀바구미를 방 중앙에 20마리를 투입하고 4일간 매일 각 방에 존재하는 쌀바구미의 성충 수를 조사하였다.

**자료 분석**

쌀바구미의 각 곰팡이에 대한 선호도는 계수 성적으로 구성된 자료에 토대를 둔 것으로 확률분포를 상정

할 수 없었으므로 모수통계 분석 방법을 사용하지 않고 비모수방법인 Kruskal-Wallis 검정과 Wilcoxon 검정 방법(PROC NPAR1WAY)으로 분석하였다(Rosner, 2000; SAS Institute, 1990). 각 오염미에서의 성충 우화수는 대응 t-검정을 통하여 분석하였다.

**결 과**

각 방의 위치에 따라 나타날 수 있는 쌀바구미 위치 선호 여부를 조사하기 위하여 페트리 접시 4개의 방에 살균현미를 처리하여, 일별 성충의 방별 분포를 조사한 결과 조사 시기에 관계없이 방별 분포에 편성(偏倚性:bias)을 보이지 않았다(Kruskal-Wallis test:  $\chi^2$  근사치 범위 0.13-7.13; *d.f.* = 3;  $P > 0.05-0.95$ ).

양자간 비교들에서는 곰팡이 종류에 관계없이 곰팡이 오염현미에 쌀바구미의 성충이 유의하게 많이 분포하였다(Wilcoxon test: Z 근사치 범위 4.51-10.57;  $P < 0.001$ ). *A. candidus* 오염미와 *A. niger* 오염미간 비교에서는 처음 이틀간은 차이를 보였으나(Wilcoxon test: Z 근사치 범위 4.4-7.37;  $P < 0.001$ ) 사흘 후부터는 차이를 보이지 않았다(Wilcoxon test: Z 근사치 범위 0.33-1.65;  $P > 0.05$ ) (Fig. 2).

사자간(四者間: quadruple choice) 비교에서 쌀바구미 성충은 *A. candidus*와 *Penicillium* spp. 오염미에 대해서 유의하게 높은 선호성을 보였고 다음이 *A. niger* 오염미였으며 살균미에 대한 선호도는 유의하게 낮았다(Kruskal-Wallis test:  $\chi^2$  근사치 범위 46.76-84.35; *d.f.* = 3;  $P < 0.001$ ; *LSD* = 8.98). *A. flavus* 오염미에 대한 선호도는 *A. niger*보다는 낮았으나 살균미보다는 높았

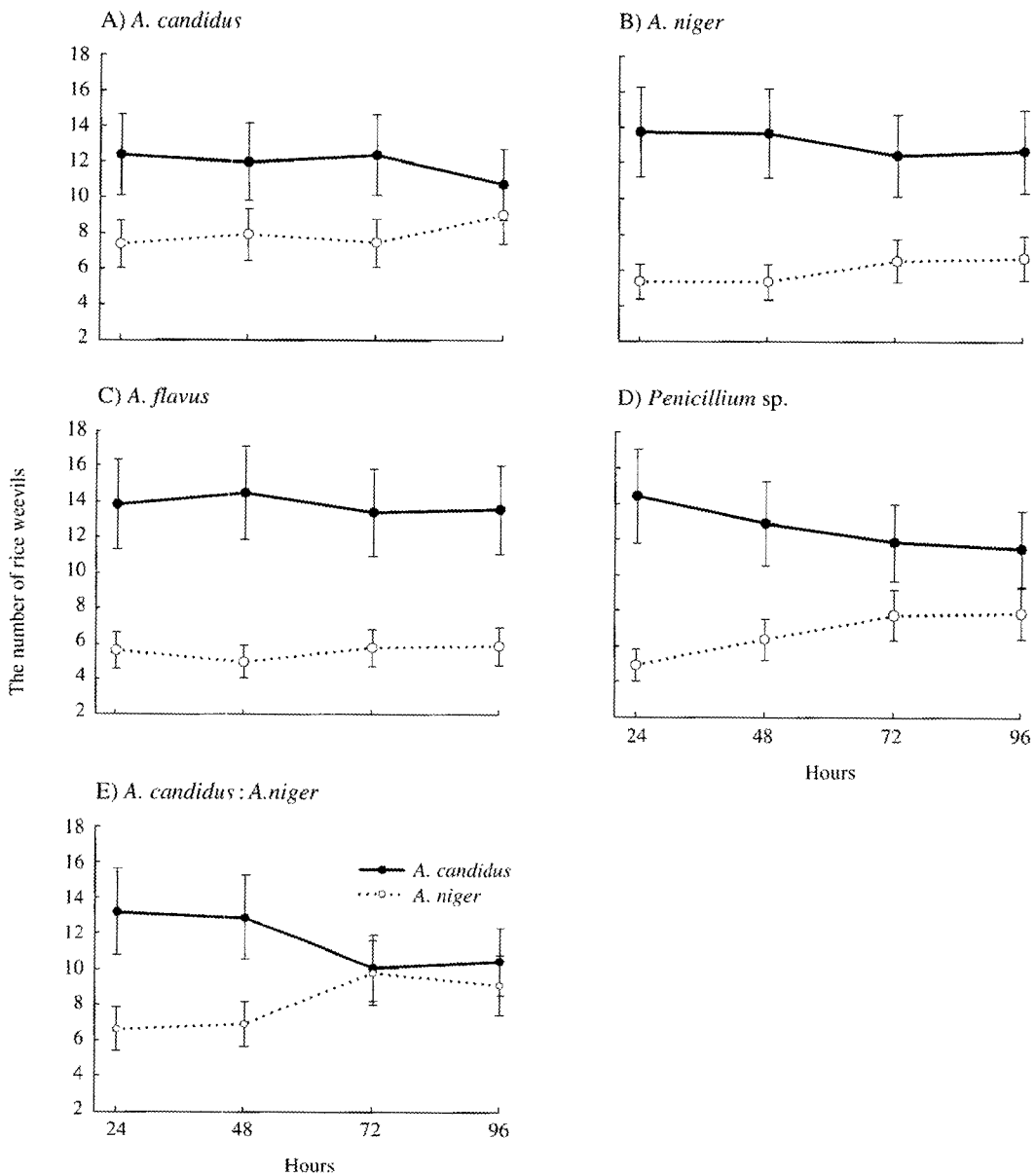


Fig. 2. The number of weevils found in cells containing the mold contaminated rice grains and disinfected rice grains (A, B, C, D), and that in the cells of *A. candidus* and *A. niger* contaminated grains (E) within the 96 hours. The vertical bars indicate the standard error of the mean.

다(Kruskal-Wallis test:  $\chi^2$  근사치 범위 52.63-83.00;  $df = 3$ ;  $P < 0.001$ ;  $LSD = 8.98$ ) (Fig. 3).

Fig. 4는 각 비교단위별 차대 쌀바구미의 성충수를 보인 것이다. *A. candidus*와 *Penicillium* 오염미에서 살균미에 비해 유의하게 많은 성충이 우화하여 이들간의 양의 상호작용이 이루어짐을 보여 주었다(paired t-test:  $t = 3.68-3.98$ ;  $df = 29$ ;  $P < 0.01$ ). *A. niger* 오염미에서의 우화수는 살균미에서와 차이를 보이지 않았다( $t = 1.09$ ;  $df = 29$ ;  $P > 0.05$ ). *A. flavus* 오염미에서는 오히

려 우화수가 유의하게 적어 부정적인 관계가 있음을 보여 주었다( $t = -3.39$ ;  $df = 29$ ;  $P < 0.01$ ). 그러나 *A. candidus* 오염미와 *A. niger* 오염미에서의 우화수는 유의한 차이가 없어 처리 조합에 따른 영향이 있음을 배제할 수 없었다( $t = 1.02$ ;  $df = 29$ ;  $P > 0.10$ ).

### 고 찰

일반적으로 곤충류의 공진화의 결과로 식이선택소

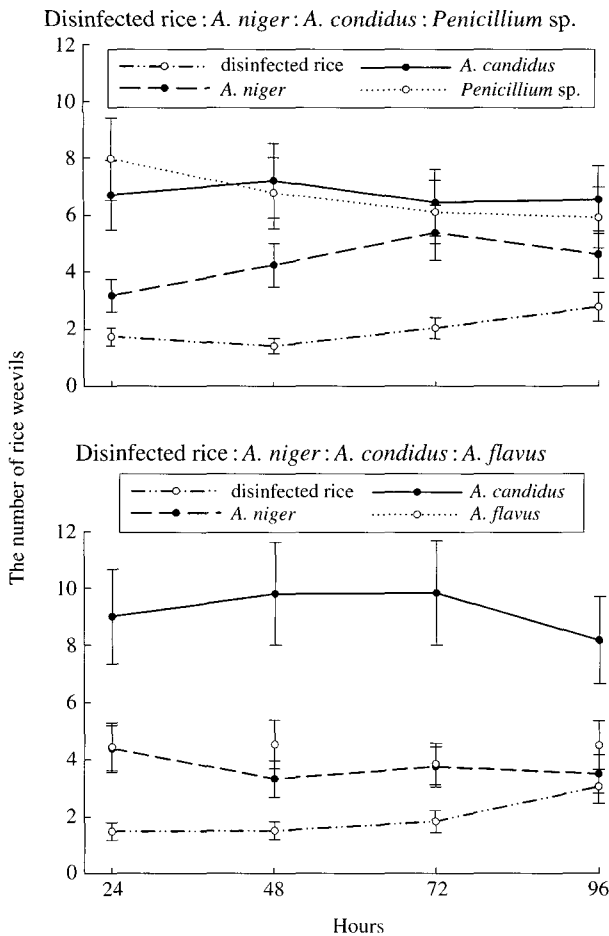


Fig. 3. The number of weevils found in the cells containing the rice grains contaminated the four storage mold species within the 96 hours. The vertical bars indicate the standard error of the mean.

과 산란선호성은 적합도와 밀접한 관계가 있다고 보고되고 있으며(Ryoo and Lee, 2002), 쌀바구미와 곰팡이와의 상호작용도 이 맥락에서 해석되고 있다(Hyun and Ryoo, 1974). 쌀바구미의 생육에 적합한 곡물의 함수량은 14-15%이며(Hyun and Ryoo, 1974) 이는 동시에 *A. candidus* 또는 *A. glaucus* 등 곰팡이 종의 생육에 적합한 조건으로(Kim et al., 1985; Sauer et al., 1992) *A. candidus*와 쌀바구미간의 밀접한 양의 상호작용(Hyun and Ryoo, 1974; Yoon, 2000)은 유사한 함수량 니체에서의 강한 공진화 과정이 필연적인 것으로 생각되기 때문이다(Hyun and Ryoo, 1974). 유사 니체를 점유하는 쌀바구미와 곰팡이종간의 이러한 관계는 응애의 일종인 *Tyrophagus putrescentiae* Schrank가 *A. flavus*의 전반(傳搬)과 개체군 성장은 물론 아플라톡신(aflatoxin)의 생성을 촉진한다는 보고(Franzolin et al., 1999)에서도 발견된다. 옥수수 함수량 15.4-

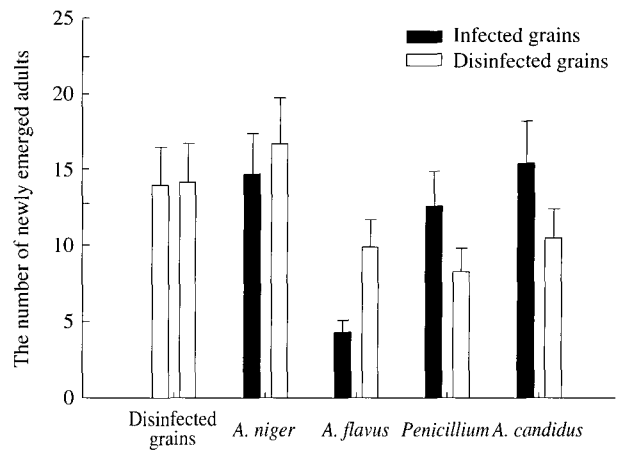


Fig. 4. The number of the rice weevils emerged in the rice grains contaminated with the four different storage mold species compared with that in the disinfected grains.

16.9% 조건에서 수행된 점과 이것이 *T. putrescentiae*와 *A. flavus*의 생육에 적합한 니체였음을 감안하면 *T. putrescentiae*와 *A. flavus*간에 쌀바구미와 *A. candidus*와 유사한 상호작용이 일어났고 그 결과 나타난 양의 상호작용으로 보이기 때문이다.

그러므로 *A. candidus*에 대한 쌀바구미의 서식/섭식 선호성은 예기된 현상이다. 그러나 쌀바구미의 생육을 저해하는 *A. flavus* 오염미(Hyun and Ryoo, 1974)에 대한 유의한 선호성은 예상 밖의 결과로 선호성과 적합도간의 양의 상호작용이 일반적인 현상(Ryoo and Lee, 2002)인 것과 배치되는 결과이며, 곰팡이 오염미에 대한 쌀바구미의 일반적인 선호성의 발현에 상호작용에 의한 상호 적합도의 발전 외에 다른 인자가 관여되어 있음을 암시하는 결과로 생각된다. 쌀바구미보다 높은 곡물 함수량인 17% 내외에서 최적의 성장을 보이며(Sauer et al., 1992) 따라서 쌀바구미와 상호작용의 강도가 낮은 *Penicillium* spp. (Yoon, 2000)에 대한 선호도와 쌀바구미의 적합도간 양의 상호작용 역시 이러한 상호작용 과정이 있음을 뒷받침하는 것으로 해석된다.

쌀바구미의 곰팡이 오염미에 대한 일반적인 선호성은 이런 점에서 공진화적인 측면에서의 적합도의 향상과 아울러 이와는 관계없이 곰팡이로 오염된 곡립에서 얻어지는 비타민 등 영양원에 적응하는 행동의 결과일 가능성이 높다. 이 과정에서 오염미에서 생성되는 고취(古臭) 등 화학적 특성(Kim, 1973)이 유인원으로 작용할 수 있을 것으로 생각되나 확인된 바는 없다.

쌀바구미의 일반적인 곰팡이 오염도에 대한 선호성에도 불구하고 차대 증식에 차이가 있으며 오히려 감소할 수 있다는 본 연구의 결과는 쌀바구미를 비롯한 절지동물과 곡물곰팡이간의 상호작용과 이들 개체군의 발전이 관련 중에 따라 차이를 보인다는 사실과 저장곡물에 침입한 절지동물의 종에 따라 우점 곰팡이 종이 상이할 수 있음을 암시하는 것이다. 윤(2000)은 *Anisopteromalus calandrae* Howard를 이용한 쌀바구미 개체군 밀도 역제가 저장곡물 곰팡이상의 변화를 유도함을 밝힌 바 있는데 본 실험 결과는 그 이유를 부분적으로 뒷받침하는 것이다.

이러한 절지동물과 곰팡이간의 종간 상호작용의 차이는 곡물곰팡이 군집의 발전에 차이를 보이고 우점 곰팡이가 균독소를 생성하는 종일 경우 식품을 균독소에 오염시킬 수 있음을 보이는 것이며, 절지동물이 수확된 곡물의 저장, 가공, 소비과정에서 식품의 안전과 밀접한 관련이 있음을 보여 주는 것이다. 앞으로 이 양자간의 상호작용에 대한 보다 깊은 연구는 식품의 안전을 확보하기 위한 중요한 과제일 수 있을 것이다.

## 사 사

곰팡이 종 동정에 도움을 주신 고려대학교 생명과학대 고 김영배 교수에게 감사드립니다.

## Literature Cited

- American Association of Cereal Chemists. 1983. Moisture-air oven method. pp. 44~15A. In AACC (8th ed.), St. Paul.
- Franzolin, M.R., W. Gambale, R.G. Cuerto and B. Correa. 1999. Interaction between toxigenic *Aspergillus flavus* Link and mites (*Tyrophagus putrescentiae* Schrank) on maize grains: effects of fungal growth and aflatoxin production. J. Stored Prod. Res. 35: 215~224.
- Hyun, J.S. and M.I. Ryoo. 1974. Effects of *Aspergillus* spp. on the development of rice weevil. Korean J. Plant Prot. 13: 71~75.
- Kim, Y.B. 1973. Types of deterioration of storage rice in Korea and identification of the causative microorganisms (II). 25pp. MS Thesis, Seoul National University, Seoul.
- Kim, Y.B. and M.I. Ryoo. 1982. Activities of molds and insects during rice storage : Part II. Activities of rice weevil (*Sitophilus oryzae* L.) and *Aspergillus* species. J. Kor. Agr. Chem. Soc. 25: 257~260
- Kim, Y.B., W.-N. Han and T.-J. Yoo. 1985. Effects of rice weevil and mold on quality of stored rice. Korean J. Food Sci. Technol. 17: 399~402.
- Miller, J.D. 1995. Fungi and mycotoxins in grain: Implications for stored product research. J. Stored Prod. Res. 31: 1~16.
- Rosner B. 2000. Fundamentals of biostatistic. 5th ed., 792pp. Duxbury, Pacific Grove California.
- Ryoo, M.I. and J.-H. Lee. 2002. Population ecology. 298 pp. Seoul National Univ. Press, Seoul.
- SAS institute. 1990. SAS user's guide. SAS institute, Cary, NC.
- Sauer, D.B., R.A. Meronuk and C.M. Christensen. 1992. Microflora. pp. 313~317. In Storage of cereal grains and their products, eds. by D.B. Sauer ed. AACC, St. Paul.
- Sinha, R.N. 1995. The stored-grain ecosystem. pp. 1~32. In Stored-grain ecosystems, eds. by D.S. Jayas, N.D.G. White and W.E. Muir. Marcel Dekker, Inc., Basel.
- Sone, J. and M.I. Ryoo. 2000. Stored product insect pests in stored dried food. Natur. Resources Res. 8: 193~212.
- Subramanyam, B. and D.W. Hagstrum(eds.). 1995. Integrated management of insects in stored products. 426pp. Marcel Dekker, New York.
- Tipples, K.H. 1995. Quality and nutritional changes in stored grain. pp. 325~351. In Stored-grain ecosystems, eds. by D.S. Jayas, N.D.G. White and W.E. Muir. 757pp. Marcel Dekker, Inc., Basel.J
- Yoon, E.Y. 2000. Influences of *Anisopteromalus calandrae* (Hymenoptera: Pteromalidae) on the interaction between rice weevil and storage molds. 39pp. MS Thesis, Korea University, Seoul.

(Received for publication 24 October 2003;  
accepted 5 December 2003)