

곡류의 해충 구제를 위한 감마선의 이용

변명우 · 권중호 · 차보숙 · 정규희 · 조한옥

한국에너지연구소

Control of Insects on Stored Rice Grain by Gamma Irradiation

Myung-Woo Byun, Joong-Ho Kwon, Bo-Sook Cha

Kyu-Hoi Chung and Han-Ok Cho

Korea Advanced Energy Research Institute, Seoul, Korea

Abstract

The effect of gamma irradiation on controlling infestation of insects on rice grain were investigated. The egg and larva stages of rice weevil (*Sitophilus oryzae*) were more radiosensitive than the pupal and adult stages. The complete mortal dose of the first two stages was 0.05kGy, while it was 0.5kGy in the second two stages. In indian-meal moth (*Plodia interpunctella* Hubner), sterile doses of egg, larva, pupa and adult were 0.04 to 0.05, 0.05 to 0.06 and 0.2 to 0.25kGy, respectively. Therefore, the irradiation dose within 1.0kGy was considered to be effective for rice storage so far as reinfestation was prevented. Attractiveness of indian-meal moth toward the rice irradiated at 1.0 to 5.0kGy was non-significant in F-test.

서 론

저장 곡류의 주요 가해 해충은 *Sitophilus*, *Ephesia*, *Tribolium*, *Oryzaephilus*, *Sitotroga*, *Polarus*, *Rhizopertha* 등 7속 10여종으로 알려져 있으며, 특히 주식인 쌀은 저장중 화랑곡나방(*Plodia interpunctella* Hubner)과 쌀바구미(*Sitophilus oryzae*)에 의한 피해가 가장 크다.¹⁻⁴⁾ 저장중 이들 해충이 발생하면 저장미의 수분 함량을 높히며,⁵⁾ 특히 배설물의 오염으로 미생물의 번식을 촉진하게 되어⁶⁾ 품질의 저하와 곡류의 손실은 물론 미생물의 생육에 의해서 생성되는 여러 가지 독성 물질은 사람과 가축에 증독을 일으키는 피해를 줄 수 있다.⁷⁾ 현재 저장 곡류 해충의 구제는 CS₂, methyl bromide, ethylene dibromide, propylene oxide 등의 훈증제가 사용되고 있으나 성충 또는

유충의 살균 효과는 있지만 난에는 효과가 거의 없고 또 포장 내부 해충의 사멸이 어려우며, 인체나 가축에 해를 주는 약제 성분의 잔유와 생성 및 환경 공해 때문에 국제적으로 그 사용이 점차 금지되고 있는 실정이다.⁸⁾ 따라서 이의 대체 방법으로 방사선 조사 기술의 이용이 확대되고 있으며, 1987년 9월 현재 34개국에서 40여개 식품군에 대한 건전성이 허가되어 실용화 및 특수 목적에 이용되고 있다.⁹⁾ 생물체에 일정 선량의 방사선을 조사하면 세포 내의 DNA합성을 방해하여 세포 분열이 중단되고, 따라서 생체는 죽게 된다. 곤충은 종류에 따라서 0.2kGy~0.3kGy의 방사선 조사로서 사멸되는 것이 있고, 3kGy에서도 상당 기간 생존하는 종류가 있어 그 차이가 큰 편이지만 1kGy 전후의 선량으로 대부분의 해충이 사멸되어 낮은 조사 선량으로도 저장중 발생하는 해충의 구제에 적합한 수단이 될 것으로 보아 세계 여러 나라에서 이에 관한 연구가 활발히 수행되고 있다. 전리 방사선이 해충에 미치는 일반적인 경향은 처

1988년 1월 19일 수리

Corresponding Author: H.O. Cho

사, 수명 단축, 발육 정지, 불임 유발, 수정력 저하 등의 양상으로 나타나는데,¹⁰⁻¹²⁾ 이들 방사선 감수성은 해충의 종류, 성별, 변태기, 령기 등에 따라 다르며 일반적으로 유충은 성충보다 감수성이 높고 같은 변태의 것이라도 어린 것일수록 방사선에 민감한 것으로 알려지고 있다.¹³⁾ 따라서 본 연구는 방사선에 의한 곡류 저장의 기초 자료를 얻고저 쌀 저장 중에 발생하여 가장 큰 피해를 주는 쌀 바구미와 화랑곡나방을 대상으로 방사선 조사 치사 선량과 불임 선량을 규명하였으며, 건전성 시험의 한 방법으로 방사선 조사된 쌀에서의 화랑곡나방의 서식 상태를 조사하였기에 보고한다

재료 및 방법

시료의 처리

시료는 1986년도 경기도 남양주군에서 수확된 아까바리의 현미를 사용하였으며, 현미는 해충 사육에 적당한 습도 조절을 위해 포화염 용액의 desiccator 내에서 약 2주간 방치하여 수분 함량을 13% 정도로 조절하였다.

공시 해충의 사육 및 방사선 조사

공시 해충의 사육은 상기 현미를 각 200g씩 투명한 초자병에 담아 미리 분리동정해 낸 해충의 成虫을 접종하고 망사로 병구를 봉하였다.

쌀 바구미는 成虫을 접종하고 5일간 產卵 시킨 후 成虫을 제거하고 구당 200개의 알에 반복 없이 0~0.05kGy 범위의 방사선을 조사하였고, 幼虫과 蛹은 쌀알을 깨지 않고 내부에 침입한 알의 나이를 알 수 없으므로 產卵日로부터 13~18일 된 것은 幼虫으로 0~0.2kGy까지, 그리고 21~25일 경과한 것은 蛹으로 0~1.0kGy 범위의 γ -선을 40Gy/hr의 선량을다 照射하였으며, 致死線量은 난, 유충, 용에서 변태되어 나온 생존 성충수를 조사하여 결정하였다. 不妊線量의 결정은 성충 200마리에 γ -선을 0~1.0kGy까지 조사한 다음 2일 만에 死虫수를 조사하였고, 살아남은 성충에서 산란된 알을 부화시켜 나온 성충수를 조사하였다.¹⁴⁾

화랑곡나방은 상기와 같이 성충을 접종시켜 산란케 한 다음 성충을 제거한 후 卵, 幼虫, 蛹의 공시충을 얻었고, 난에는 0~0.05kGy, 유충은 0~0.15kGy, 그리고 용은 0~0.6kGy까지 γ -선을 조사시켰다. 또한 방사선 조사된 현미의 화랑곡나방

의 서식 상태 조사는 현미에 방사선을 0, 1, 2, 3, 5 kGy 조사하고 300ml용 conical beaker에 담아 병구를 열어둔 채 70×50×30cm의 사육상 내에서 완전임의 배치한 다음 화랑곡나방 성충 30마리를 사육상내에 방사하였다. 2일후성충을 제거하고 beaker의 병구를 망사로 막아 사육하면서 난이 부화하여 유충기를 거쳐 발생하는 성충수를 조사하였으며, 조사 선량별 산란 선호성 여부의 유의차를 분산분석에 의해 F 검정하였다. 상기 모든 해충 사육은 상대 습도 약 60%와 25°C 온도의 항온기에서 수행되었다.

결과 및 고찰

쌀 바구미 및 화랑곡 나방의 방사선 감수성

모든 해충의 卵은 일반적으로 이온화 방사선에 대한 치사효과가 가장 민감한 생육 단계로 알려져 있다.¹⁵⁾

Table 1은 쌀 바구미 卵의 방사선 감수성을 나타낸 것으로서, 방사선에 대단히 약한 편으로, 0.03kGy 조사로서도 약 85% 정도의 치사효과를 보였으며, 0.05kGy의 조사로서 완전히 치사되었

Table 1. Survived adults of rice weevil (*Sitophilus oryzae*) from the eggs irradiated with γ -ray

Dosage (kGy)	No. of eggs irradiated	No. of survived adults	Percent of survival
0	200	185	92.5
0.03	200	29	14.5
0.05	200	0	0

Table 2. Survived adults of rice weevil (*Sitophilus oryzae*) from the larva irradiated with γ -ray

Dosage (kGy)	No. of larva irradiated	No. of survived adults	Percent of survival
0	200	188	94.0
0.03	200	95	47.5
0.05	200	11	5.5
0.07	200	5	2.5
0.10	200	3	1.5
0.20	200	0	0

으며 녹두 바구미의 卵치사 실험에서도 이와 비슷한 결과가 보고된 바 있다.¹⁴⁾ 卵의 방사선 감수성은 日齡에 따라 다르고 早期의 것일수록 방사선에 민감하다는 보고가 있는데¹⁵⁾ 본 연구는 미곡저장을 목적으로 한 것이기 때문에 완전치사효과를 얻어야 하므로 되도록 방사선에 감수성이 강한 쪽을 대상으로 해야하나 본 실험에서는 편의상 卵의 日齡을 구분하지 않고 어린 것에서 노숙한 것까지 혼합해서 취급하였다.

Table 2 유충에 대한 방사선 감수성을 나타낸 것으로서 0.03kGy 조사로서 약 50%, 5kGy 조사는 95%정도 사멸하였으며, 0.2kGy 선량에서 100% 치사 되었다. 쌀 바구미의 유충은 卵 보다 약 4배 정도 방사선 감수성이 낮음을 보여주고 있다. 蛹期에 방사선을 조사하면 Table 3와 같이, 0.5 kGy까지도 생존개체가 발견되었으며, 특히 Table 4와 같이 성충의 경우에는 0.5kGy 조사로도 55%의 생존율을 보였고 1.0kGy를 조사해야 완전치사

Table 3. Survived adults of rice weevil (*Sitophilus oryzae*) from the pupa irradiated with γ -ray

Dosage (kGy)	No. of pupa irradiated	No. of survived adults	Percent of survival
0	200	108	90.0
0.03	200	105	52.5
0.05	200	98	49.0
0.07	200	108	54.0
0.10	200	75	37.5
0.20	200	70	35.0
0.50	200	14	7.0

Table 4. Adult's mortality and number of progeny delivered from irradiated adult of rice weevil (*Sitophilus oryzae*)

Dosage (kGy)	No. of adults irradiated	No. of mortal adults	Percent of mortality	No. of progeny/pair
0	200	5	2.5	380
0.03	200	8	4.0	291
0.05	200	10	5.0	180
0.07	200	10	5.0	74
0.10	200	20	10.0	0
0.20	200	40	20.0	0
0.50	200	90	45.0	0
1.00	200	200	100	0

하여 쌀 바구미 성충을 사멸시키는데는 다소 높은 방사선 선량이 요구되었다.

그러나 성충을 대상으로 하더라도 후대가 생존하지 못하는 불임상태 즉, 조사된 성충이 보유하고 있는 抱卵은 아주 초기의 卵상태이므로 0.07kGy 이내의 선량으로 부화를 방지할 수 있기 때문에 큰 문제는 안되리라 본다. 일반적인 바구미류의 불임선량의 0.01~0.05kGy로 種이나 寄主體에 따라 방사선 감수성의 차이가 심한 것으로 보고되고 있는데,^{9,16)} 쌀 바구미는 방사선에 민감한 것으로 판단된다.

화랑곡 나방의 불임선량은 난에서 0.04~0.05 kGy, 유충은 0.05~0.06kGy, 그리고 蛹에서는 이보다 훨씬 높은 0.2~0.25kGy로 나타났는데, 이는 화랑곡 나방의 4~5 日齡의 불임선량이 0.35~0.5kGy였다는 Brower¹²⁾의 보고 보다 상당히 낮은 편이었다.

이와같은 차이는 화랑곡 나방의 사육시 제공한 재료가 본 실험에서는 쌀에 사육하였으나 Brower는 인공사료를 사용한데 기인하는 것으로 생각된다. 따라서 본 실험에서의 저장중 쌀을 가해하는 쌀바구미 및 화랑곡 나방의 방제를 위한 적정선량 즉, 0.30~0.50kGy는 Amuh¹⁰⁾가 보고한 바구미류나 나방류의 복합방제를 위한 적정선량인 0.50kGy와 유사하였다.

照射현미에서의 화랑곡 나방 서식 상태

照射食品의 안전성을 조사하는 데는 주로 동물실험에 의존하고 있는데, 이들 동물실험은 사육관리의 과다비용과 번식율이 낮은 등 어려운 점이 많은 반면, 곤충은 저렴, 신속하게 많은 량을 번식시킬 수 있으며, 또한 독성물질에 대한 반응이 민감한 것이 많아 조사식품의 안전성을 검토하는데 편리한 방법이 될 가능성이 높다. 곤충의 해독체계(detoxication system)는 일반 유추동물과 동일하다는 보고가 있으며,^{17,18)} *Tenebrio molitor*의 곤충에 의한 dialkylNitrosamine 등의 독성반응에 대한 연구보고도 있고,¹⁹⁾ 기타 곤충을 이용한 조사식품이나 곡류의 안전성을 조사한 연구가 점차 증가하고 있다.

저장곡물에서 해충의 발생은 대단히 민감한 것으로 알려져 있기 때문에 본 실험은 1.0~5.0kGy 조사된 현미에 화랑곡 나방 성충을 접종하여 자유로이 기호에 맞게 침입하도록 해줌으로써 방사선량에 따른 이 해충의 산란 선호성을 비교코저 조

Table 5. Analysis of variance for attractiveness of *Plodia interpunctella* Hubner to the irradiated stroed grains

Factors	df	SS	MS	F
Total	17	692.00	40.70	
Dose of γ -ray	5	142.00	28.40	0.57 NS*
Replication	2	58.33	29.16	0.59 NS
Error	10	491.67	49.17	

*NS : Non-significance.

사선량별로 서식 성충수를 조사하여 분산분석을 실시한 결과 Table 5와 같은 결과를 얻었다. 방사선을 1.0kGy에서 5.0kGy까지 조사한 현미간의 화랑곡 나방의 발생수는 유의적인 차이가 인정되지 않았다. 이는 방사선 조사된 현미에 변화가 없었던 탓인지, 아니면 화랑곡 나방의 산란선호성 혹은 식이선호성에 차이가 없었던 것인지는 명확하지 않으나, 다만 FAO/IAEA/WHO에서 10kGy까지 조사된 어떤 식품도 영양적, 독성학적, 미생물적으로 안전하다는 보고⁹⁾와 상응하는 결과라고 생각된다. Loaharanu⁴⁰⁾는 0.2kGy 조사된 강남콩에 *Zabrotes subfasciatus*를 사육한 결과 생존율과 性比의 변화가 없었음을 보고한 바 있고, 조사식품에서 초파리의 치사율에 일정한 경향이 없었다는 보고도 있어 아직은 곤충을 이용한 안전성 검정에 더 많은 연구가 수행되어야 할 것으로 생각된다.

초 록

쌀 저장중 발생하여 가장 큰 피해를 주는 쌀바구미와 화랑곡 나방에 대한 방사선조사 구제 실험 결과, 쌀바구미의 경우 난과 유충은 0.05kGy 정도의 치사선량이 요구되었으나 蛹과 성충은 방사선 감수성이 낮아 0.5kGy 정도였다. 화랑곡 나방의 경우 불임선량은 난에서 0.04~0.05kGy, 유충은 0.05~0.06kGy, 蛹은 0.2~0.25kGy였다. 따라서 쌀의 저장을 위한 방사선 조사는 주요 가해 해충인 쌀바구미와 화랑곡 나방을 대상으로 할 때 해충의 재오염만 방지한다면 1.0kGy 이하의 조사로서 쌀의 장기저장이 가능할 것으로 판단된다. 또한 1.0~5.0kGy 조사된 현미에서의 화랑곡 나방의 서식선호성 실험에서는 방사선 조사선량에 따른 유의적 차이가 인정되지 않았다.

참고문헌

1. Stored-Grain Pests: U.S. Department of Agriculture, Farmers' Bulletin No. 1260 (1960)
2. Nelson, S.O. and Kantack, H.H.: J. Economic Entomology, 59 : 588(1966)
3. Tilton, E.W. and Brower, J.H.: J. Economic Entomology, 59 : 1363(1966)
4. Kato, S.: Bull. Nat. Inst. Agr. Sei. Ser. C., No. 13 : 171(1961)
5. 김창환, 노용태 : 고대논문집(자연), 12 : 7 (1970)
6. 현재선, 류문일 : 한국식물보호학회지, 13 : 71 (1974)
7. 이제호, 박성오 : 한국농화학회지, 25 : 189 (1982)
8. Wetzel, K., Huebner, G. and Baer, M.: International Symposium of Food Irradiation Processing, Washington, D.C., U.S.A., 4~8 March 1985 : IAEA-SM-271/16(1985)
9. Food Irradiation Newsletter: IAEA, Vienna, Sept. (1987)
10. Amuh, I.K.A.: Food Preservation by Irradiation Vol. 1, p.197, IAEA, Vienna(1978)
11. Ahmed, M.Y. Y.: J. Economic Entomology, 69 : 349(1976)
12. Brower, J.H.: J. Economic Entomology, 69 : 277(1976)
13. Ionizing Energy Treatment of Foods (National Symposium): Sydney, ISBN 0 85856 053 4, 5~6 Oct. (1983)
14. 한국원자력연구소 : 1979년도 연구보고서, KAERI/399/RR-132/80 (1980)
15. Hilchey, J.D.: Radiation Preservation of Food, US & C, PB 151493, p.25(1957)
16. Cornwell, P.B.: The Entomology of Radiation Disinfestation of Grain, Pergaman Press Oxford (1966)
17. Nakatsugawa, T.: J. Economic Entomology, 58 : 500(1965)
18. Conney, A.H.: Science, 178 : 576(1972)
19. Watson, W.A.F.: Mutation Res., 3 : 455(1966)
20. Loaharanu, S.: Food Preservation by Irradiation Vol. II, IAEA, Vienna, p.113(1978)