

Bacillus thuringiensis subsp. *israelensis*를 이용한 느타리 재배에서 버섯파리의 생물학적 방제

문병주* · 이수희 · 임은경 · 김태성¹ · 김현주 · 송주희 · 김익수²

동아대학교 생명자원과학부, ¹경상남도 농업기술원, ²농업과학기술원 잠사곤충부

Biological Control of the Mushroom Fly, *Lycoriella mali*, Using *Bacillus thuringiensis* subsp. *israelensis*

Byung-Ju Moon*, Su-Hee Lee, Eun-Kyung Lim, Tae-Sung Kim¹,
Hyun-Ju Kim, Ju-Hee Song and Iksoo Kim²

Faculty of Natural Resources and Life Science, Dong-A University, Busan 604-714, Korea

¹Kyeongsangnam-do Agricultural Research and Extension Services, Chinju 660-360, Korea

²Sericulture & Entomology, National Institute of Agricultural Science and Technology, Suwon 441-707, Korea

(Received October 29, 2001)

ABSTRACT: Biological control against mushroom fly, *Lycoriella mali*, was performed by using *Bacillus thuringiensis* subsp. *israelensis* Bti-D and Bti-U, isolated from dead mushroom fly in oyster mushroom houses. Control values of the bacterial strains Bti-D and Bti-U against *L. mali* in bottle culture of oyster mushroom were 74.4% and 64.2%, respectively, and the value in small tray culture were 75.8% and 56.8%, respectively. In the experiment to develop the mass, cheap media for Bti-D and Bti-U isolates, the Biji broth (bean curd residue, called Biji in Korean language) was selected as a culture medium for an inexpensive and mass cultivation by the measurement of optical density of the two bacteria grown in the different media tested. Insecticidal effect of the formulation contained different ingredients that were prepared by using the Bti-D strain cultured in the Biji broth was tested in tray and bottle culture of oyster mushroom. The WCS formulation that contained corn starch as bio-gel (86.4%) was more effective to control the mushroom fly than living cells (69.1%) in bottle culture of oyster mushroom. Moreover, insecticidal effect of the WCS formulation was improved when water of pH 8 was used for dilution of the formulation. Effect of the WCS formulation using water of pH 8 and chemicals, Zuron (dimilin) W.P. on the control of mushroom fly and the productivity of oyster mushroom was investigated in tray culture of oyster mushroom. The Zuron W.P. was more effective to control the mushroom fly than the WCS formulation. However, compared with no treatment, the productivity of the mushroom treated with the WCS formulation was improved than that of the mushroom with Zuron W.P.

KEYWORDS: *Bacillus thuringiensis* subsp. *israelensis*, Biological control, Biji, Formulation, *Lycoriella mali*

최근 버섯소비의 증가로 버섯 재배농가가 급증하고 있는데 가장 생산량이 많은 느타리버섯 재배시 병해충의 발생이 극심하여 생산에 큰 지장을 초래하고 있다. 특히 버섯파리류에 의한 피해가 가장 심각한 것으로 보고되고 있다(Hussey, 1959; Kim and Hwang, 1996; 한 등, 1989; Choi et al., 1997). 우리나라에서 버섯파리류에 의한 버섯 피해정도에 관한 통계자료는 없으나 미국의 경우, 미국내 버섯의 50% 이상을 재배하고 있는 펜실베이니아주에서 1978년도 *Lycoriella mali*에 의한 버섯 수량 손실은 약 17%로서 그 피해액은 2천 60만\$이라고 보고된 바 있다(Cantelo, 1979).

버섯파리의 방제를 위하여 화학적 방제를 사용하고 있는데 Cantelo(1979)는 diazinon, chlorpyrifos, methoprenol, Snetsinger 등(1978)은 morcap 등을 방제용 약제로 보고한 바 있으며, 국내에서도 dusban, pranicid, disyston 등을 느타리버섯 종균재식시 종균이나 퇴비에 혼합하거나, 표면살포하면 방제효과가 있다고 하였으며(김·김, 1981, 1982; 유 등, 1983; 전 등, 1990), 주론수화제와 테프루벤주론액상수화제가 버섯파리의 방제약제로서 품목고시 되어있다(농약공업협회, 1999). 그러나 화학살충제의 지속적인 사용으로 인한 잔류독성 및 저항성 발현 등 여러 가지 문제가 야기된다는 보고도 있다(김·김, 1981; 전 등, 1990; Cantwell and Cantelo, 1984).

한편 *Bacillus thuringiensis*(이하 *B. t.*로 표시)를 이용

*Corresponding author <E-mail: bjmoon@mail.donga.ac.kr>

한 버섯파리의 생물학적 방제 연구가 시도되어 왔는데, *B. t.*는 각 균주에 따라 특정 곤충에 독성을 나타내는 내독소 단백질을 생산한다고 보고되었다(Höfte and Whiteley, 1989). 그 중 *B. t.* subsp. *israelensis*는 파리목 유충에 높은 독성을 갖고 있어서 집모기나 애모기 방제에 이용되며(Leodegario *et al.*, 1980; Pauda *et al.*, 1984; George and William, 1984), 모기 방제용 제품으로 Bactimos, Teknar, Vectobac, Aquabac, Mosquito Dunc 등이 시판되고 있다(Burges, 1998). 특히 Bactimos와 Teknar는 버섯파리의 생물학적 방제용 상품으로 처음 보고되었다(Cantwell and Cantelo, 1984). 국내에서는 Choi 등(1996)에 의하여 *B. t.* subsp. *israelensis* 등을 포함한 *B. t.* 13 아종을 이용하여 버섯파리에 대한 생물학적 방제를 시도하였으나 효과적인 결과를 도출하는데 실패한 바 있어 이에 대한 많은 연구가 절실한 실정이다. 이에 본 연구에서는 버섯파리의 생물학적 방제를 위해 앞서 문 등(2000)에 의해 버섯파리에 대한 살충효과가 확인된 Bti-D와 Bti-U 2균주를 이용하여 느타리버섯의 병재배 및 상자재배상에서 방제효과를 검정하였고, 길항균의 대량배양용 염가배지 개발, 이의 제제화 및 제제에 의한 방제효과를 검정하였다.

재료 및 방법

공시 해충 및 사육

버섯파리류 중 전국적으로 연중 지속적으로 발생하여 느타리버섯에 피해가 큰 *Lycoriella mali*를 공시하였으며(Choi *et al.*, 1996; Choi *et al.*, 1997), 이 버섯파리는 1997년 경남 산청군 생비량면 소재 느타리버섯 재배농가에서 성충을 포획하여 Choi 등(1997)의 방법에 따라 87×15 mm 페트리디쉬내에서 25±1°C, 70±10% 습도 조건으로 실내 누대 사육하였다. 원형느타리 1호 균사를 potato dextrose agar(PDA) 배지에 25°C, 15일간 배양한 것을 유충의 먹이로 매일 공급하였다.

공시 길항세균

문(2000) 등에 의한 실험에서 느타리버섯 재배지와 버섯파리의 병사충에서 분리하여 버섯파리에 강한 병원성을 나타낸 *B. t.* subsp. *israelensis* Bti-D와 Bti-U 2균주를 이하의 모든 실험에 공시하였다.

느타리버섯 병재배, 소형상자재배 및 상자재배

병재배에서는 버드나무 톱밥과 미강을 5:1(v:v)의 비율로 혼합한 뒤 물을 첨가하여 수분함량을 65~70%로 조정하고 850 ml의 polypropylene병에 200 g씩 넣고 수평으로 잘 다진 다음 원형막대기(직경 1 cm)로 충전된 배지의 중앙을 밑바닥까지 수직으로 구멍을 내고 면진하였다. 소형상자(22×16×6 cm) 재배에서는 팽연완겨,

폐면 및 비트펄프를 1:8:1(v:v:v)의 비율로 혼합한 뒤 물을 첨가하여 수분함량을 70%로 조정하고 비닐봉지에 넣어 55°C에서 3일간 발효하였으며, 이것을 소형 내열성 polypropylene상자(22×16×6 cm)에 400 g씩 충전하고 뚜껑을 닫았다. 농가에서 버섯재배에 전용으로 사용하는 상자재배에서는 잘 발효시켜 수분함량이 70%인 폐면을 37×38×10 cm(규격품)의 상자에 9 kg을 충전하고 잘 다진 후에 수직으로 바닥까지 직경 1.5 cm의 구멍을 9개 타공하고 뚜껑을 닫았다. 이상 3종류의 배지를 121°C, 15 Lb/inch²에 90분간 고압멸균하고 24시간 냉각한 후에 원형느타리 1호 종균을 접종하였는데 병재배에서는 PDA 배지에 15일간 배양한 종균 절편(15 mm)을 polypropylene병 당 7개씩 접종하였으며, 소형상자재배 및 상자재배에서는 접종용 종균을 각각 50 g, 250 g씩 표면접종하였으며, 이것을 온도 22±1°C, 상대습도 65~70%의 버섯재배실에서 18일간 배양하였다.

길항세균(생균)에 의한 버섯파리의 방제효과 검정

느타리 버섯 병재배와 소형상자재배시, 살충효과가 확인된 공시 길항세균의 생균을 처리하고 그 방제효과를 검정하기 위하여, 앞에서 언급한 바와 같이 병배지와 소형상자 배지에 느타리버섯 종균을 접종하고 재배실에 보관 48시간 후에 종균의 균사가 각 배지의 표면에 착상하고 있을 때 선발된 길항세균 부유액을 균총표면에 살균한 면봉으로 골고루 도말접종 하였는데 병재배에서는 3 ml(10⁸ spores/ml)를, 소형상자 내에서는 8 ml(10⁸ spores/ml)을 사용하였으며, 세균접종 후 온도 22±1°C, 상대습도 65~70%의 버섯재배실에 보관하면서 48시간 후에 공시 버섯파리 3령충을 병 당 및 소형상자 당 100마리씩 접종하고 재배실에 배양하면서 유충접종 7~14일 후에 살아있는 성충수를 조사하여 다음과 같이 방제가로 환산하였는데 각 처리는 5반복으로 3회 실시하여 평균하였다.

$$\text{방제가} = \frac{\text{유충단독처리의 생 성충수} - \text{처리구의 생 성충수}}{\text{유충단독처리의 생 성충수}} \times 100$$

길항세균의 대량배양용 염가 배지개발

길항세균의 제제화를 목적으로 대량배양용 염가 배지를 개발하기 위하여 공시한 7종류의 액체배지를 제조하고 고압멸균한 후 배지 100 ml에 선발세균 부유액 1 ml(10⁸ spores/ml)을 접종하여 30°C, 200 rpm, 7일간 진탕 배양한 후 spectrophotometer로 600 nm에서 optical density(OD)를 측정하여 증식 정도를 비교하였다. 공시한 배지는 다음과 같다. 콩배지(soybean broth, 증류수 100 ml, 콩가루 1.0 g, glucose 0.8 g, yeast extract 0.2 g, pH 7.2), PDB 배지(potato dextrose broth, 포도당 2.0 g, 감자 20.0 g, 증류수 100 ml, pH 7.2), 비지배지(biji broth,

증류수 100 ml, 건조비지 80.0 g을 넣고 잘 혼합하여 가제로 여과, pH 7.2), NB 배지(nutrient broth, beef extract 0.3 g, peptone 0.5 g, pH 7.2), 밀기울 추출배지(wheat extract broth, 증류수 100 ml, 밀기울 50 g을 넣고 혼합한 다음 거지로 여과, pH 7.2), 밀기울 배지(wheat broth, 증류수 100 ml, 밀기울 1.0 g, glucose 0.8 g, yeast extract 0.2 g, pH 7.2), 감자전분 배지(potato starch broth, 증류수 100 ml, 감자전분 2.4 g, pH 7.2).

길항세균의 제제화

길항세균을 대량배양하기 위해 비지배지 5 l를 7 l용 발효기에 넣고 세균 부유액 500 ml(10^8 spores/ml)를 접종한 후, 30°C, pH 7.0, 300 rpm에서 3일간 배양하여 사용하였다. bio-gel로서 옥수수전분 400 g(WCS), 솔잎가루 280 g + 감자가루 120 g(WP), 콩가루 280 g + 미역가루 120 g (WBS), 콩가루 280 g + 양배추가루 120 g(WBC), 당근가루 400 g(WC) 등 5종을 공시하고 각 bio-gel 400 g에 glucose 2.0 g, peptone 2.0 g, $MgCl_2$ 0.04 g, $CaCO_3$ 2.0 g, $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ 0.12 g, $MnCl_2 \cdot 4H_2O$ 0.02 g, KH_2PO_4 0.1 g, vermiculite 40.0 g을 각각 첨가하였다. 여기에 비지배지에서 대량배양한 세균부유액 1 l(10^{11} spores/ml)를 첨가하여 잘 섞은 다음 철판에 얇게 깔고 50°C 건조기에서 48시간 건조한 후 믹서기로 분쇄하여 길항세균을 수화형 미생물 살충제로 제조하였다. 또한, 제제의 pH에 대한 영향을 알아보기 위하여 가장 효과적인 bio-gel로 만든 제제를 희석할 때 사용하는 물의 pH를 5~9까지 pH 1 단위로 보정하였다.

미생물 살충제의 방제효과 검증

공시한 5종의 bio-gel을 이용하여 만든 길항세균의 수화형 제제 WCS, WP, WBS, WBC 및 WC를 느타리 병재배에 처리하여 버섯파리의 방제효과를 검증하였는데 제제의 처리방법, 유충의 접종방법 및 재배실의 배양조건 등은 모두 앞서의 길항세균의 생균에 의한 방제효과 검증에서와 동일하게 하였으며, 다만 제제의 농도는 제제 1 g(2.4×10^8 spores/g)에 살균수(pH 8) 3 ml를 섞어 현탁하였으며, 생균처리에서는 세균부유액 3 ml(10^8 spores/ml)를 각각 종균 균총 표면에 살균한 면봉으로 골고루 도말접종 하였다. 유충접종은 길항균의 제제 또는 생균처리 48시간 후 병 당 100마리씩 3령충을 접종하고, 온도 $22 \pm 1^\circ C$, 상대습도 65~70%의 버섯재배실에 배양하면서 7~14일 후에 살아있는 성충수를 조사하여 방제가로 환산하였는데, 각 처리당 5반복으로 3회 실시하여 평균하였다.

또한 WCS 제제와 화학살충제의 방제효과를 비교하기 위해 느타리 상자재배에 처리하여 버섯파리의 방제효과를 검증하였는데, 살충제인 주론(디밀린) 수화제를 대조약제로 사용하였다. WCS 제제의 농도는 제제 20 g (2.4×10^8 spores/g)에 살균수 60 ml를 섞어 현탁하고, 생

균처리 세균부유액의 농도는 45 ml(10^8 spores/ml)를 각각 종균 균총 표면에 골고루 접종하였다. 유충접종은 상자당 500마리의 3령충을 접종하고 온도 $22 \pm 1^\circ C$, 상대습도 65~70%의 버섯재배실에 배양하면서 7~14일 후에 방제효과를 검증하였으며, 25일간 계속 배양한 후, 온도 $15 \pm 2^\circ C$, 상대습도 90%로 배양조건을 조정하여 자실체 형성 및 버섯수량에 미치는 영향도 조사하였다.

결 과

길항세균(생균)에 의한 버섯파리의 방제효과

살충효과가 확인된 길항세균을 느타리버섯 병재배와 소형상자재배시에 처리하여 버섯파리에 대한 방제효과

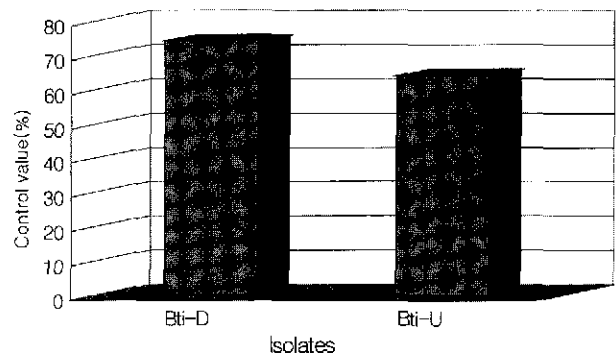


Fig. 1. Insecticidal effect of two strains of *Bacillus thuringiensis* subsp. *israelensis*, Bti-D and Bti-U on *Lycoriella mali* in the bottle culture of oyster mushroom.

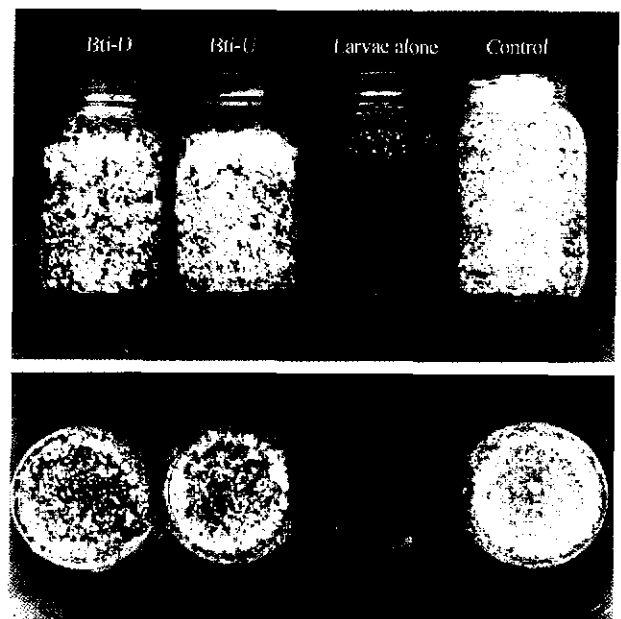


Fig. 2. Insecticidal effect of two strains of *Bacillus thuringiensis* subsp. *israelensis* strains, Bti-D and Bti-U on *Lycoriella mali* in the bottle culture of oyster mushroom (Top, side view; Bottom, bottom view).

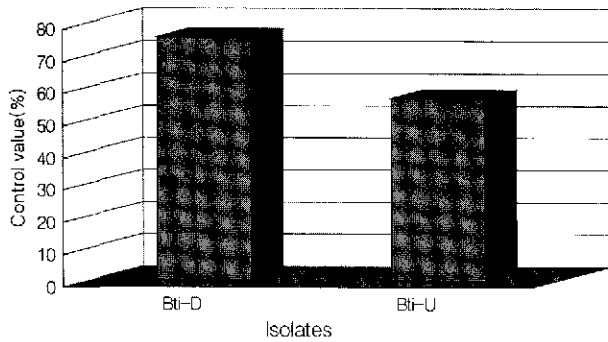


Fig. 3. Insecticidal effect of two strains of *Bacillus thuringiensis* subsp. *israelensis*, Bti-D and Bti-U on *Lycoriella mali* in the small tray culture of oyster mushroom.

를 검정하였는데 병재배시에는 Bti-D와 Bti-U의 방제가 각각 74.4%, 64.2%였다(Fig. 1). 또한 이 경우 느타리버섯 균사의 밀도를 비교한 결과, Bti-D 또는 Bti-U와 유충처리구에서는 균사가 매우 치밀하게 자랐으나, 길항세균과 유충의 무처리구에서는 균사가 영성하게 자라(Fig. 2), Bti-D와 Bti-U 처리가 느타리버섯 균사생육에는 어떤 억제영향도 미치지 않았다.

또한, 동일한 방법으로 느타리버섯 소형상자재배시에 길항세균과 유충을 접종한 결과, Bti-D의 방제가는 75.8%로써 병재배시의 방제가와 유사하였으나, Bti-U의 방제가는 56.8%로써 낮았다(Fig. 3).

길항세균의 대량배양용 염가 배지 개발

선발세균의 제제화를 목적으로 대량배양용 염가배지를 개발하기 위하여 배지별로 7종류의 배지에 공시 세균을 배양하여 optimal density를 측정된 결과, *B. t.*

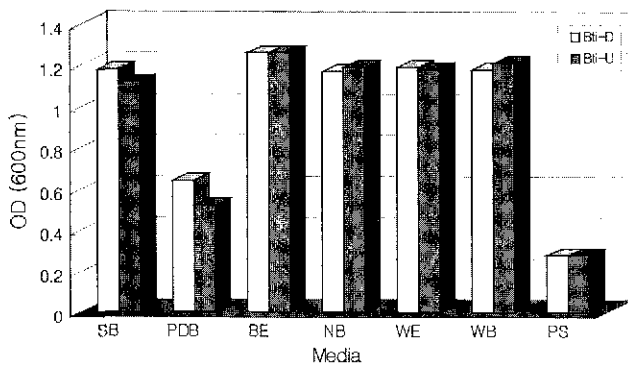


Fig. 4. Comparison of optical density (OD) between two strains, Bti-D and Bti-U of *Bacillus thuringiensis* subsp. *israelensis* in different media. The OD of the two strains was recorded at 7 days after shaking incubation (200 rpm) at 30°C. Open square represents Bti-D strain, and solid one, Bti-U of *Bacillus thuringiensis* subsp. *israelensis*. SB, soybean broth; PDB, potato dextrose broth; BE, biji (bean curd residue, called biji in Korean language) broth, NB, nutrient broth; WE, wheat extract broth; WB, wheat broth; and PS, potato starch broth.

subsp. *israelensis* Bti-D와 Bti-U 2균주 모두 PDB 배지 (PDB로 표시)와 감자전분배지(PS)에서는 OD가 낮았으나 콩배지(SB), 비지배지(BE), NB 배지(NB), 밀기울추출배지(WE), 밀기울배지(WB)에서는 OD가 높았는데 그 중에서도 비지배지에서 가장 높았다(Fig. 4).

미생물 살충제에 의한 방제효과

상기의 느타리버섯 병재배 및 소형상자재배시 선발세균 2균주 중 버섯파리에 대한 방제가 더 높은 것으로 확인된 *B. t. israelensis* Bti-D 균주의 미생물 살충제를 bio-gel의 소재를 달리하여 5종류의 수화형 제제로 만들어 느타리버섯 병재배시에 처리하여 버섯파리에 대한 방제효과를 검정한 결과, 생균처리에 비하여 bio-gel로서 옥수수전분을 이용하여 만든 WCS 제제에서 86.4%의 방제가를 보여 공시한 5종류 수화형 미생물 살충제 중에서 가장 높았으며, 생균처리(LSU)의 69.1% 보다 효과적이었다(Fig. 5).

이 WCS 제제의 방제효과를 제고하기 위해 제제를 살포할 때 희석에 사용하는 물의 pH를 달리하여 동일한 방법으로 제제의 방제효과를 검정한 결과, pH 8로 보정된 물을 사용할 경우 93.2%의 방제가를 보여 제제의 pH가 버섯파리의 방제가 제고에 큰 요인이었다(Fig. 6).

느타리버섯 상자재배에서 Bti-D의 미생물 살충제 WCS 제제와 화학살충제 주론수화제에 의한 버섯파리 방제효과와 버섯생산성에 미치는 영향을 동시에 검정하였는데, 그 결과, Bti-D의 제제에서 74.3%의 방제가를 보여 주론수화제의 92.2% 보다 낮았다. 그러나, 한 주기에서의 버섯생산성 비교에서 WCS 제제를 처리할 경우 상자당

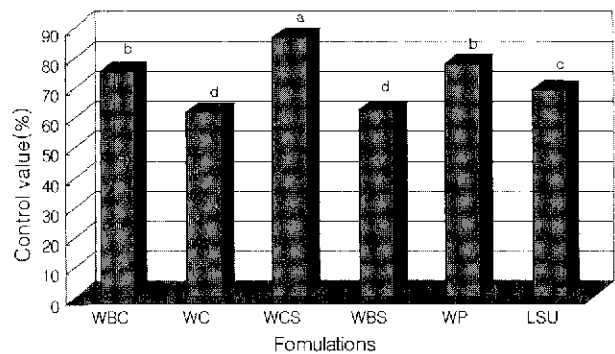


Fig. 5. Insecticidal effect of different formulations for *Bacillus thuringiensis* subsp. *israelensis* Bti-D on *Lycoriella mali* in bottle culture of oyster mushroom. WP, wettable powder made of pine leaf powder plus potato powder. WCS, corn starch; WBC, beans powder plus cabbage powder; WBS, beans powder plus sea mustard powder; and WC, carrot powder as a bio-gel, respectively, and mass culture of Bti-D isolate on the Biji broth. LSU, living cells-suspension of Bti-D isolate. Different letter on each bar indicates statistical significance according to Duncan's multiple range test (P = 0.05).

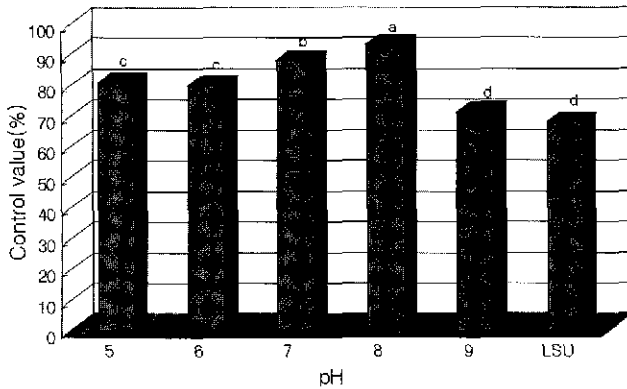


Fig. 6. Insecticidal effect of pH of water for dilution of WCS formulation on *Lycoriella mali* in the bottle culture of oyster mushroom. WCS was formulated in the form of wettable powder made of corn starch as a bio-gel and mass culture of Bti-D isolate on the biji broth. LSU, indicates living cells-suspension of Bti-D isolate. Different letter on each bar indicates statistical significance according to Duncan's multiple range test ($P = 0.05$).

Table 1. Effect of WCS formulation of *Bacillus thuringiensis* subsp. *israelensis* Bti-D and Zuron W.P. on the control of *Lycoriella mali* and productivity of oyster mushroom in tray culture

Treatments	Control value (%)	Productivity		
		No. of bunch	No. of fruit bodies	yield (g/tray)
WCS formulation ^a	74.3	7.0	8.0	130.9
Zuron (Dimilin) W.P.	92.2	3.8	3.3	49.0
Larvae alone	0	3.2	4.6	75.6
Control	-	4.6	5.6	101.1

^aWCS was formulated in the form of wettable powder made of corn starch as a bio-gel and the strain was massively cultured by shaking incubation for 7 days at 30°C in biji broth.

다발수 및 한다발 개체수 모두 무처리 보다 높았으며, 자실체 양은 상자 당 평균 130.9 g으로 무처리 101.1 g 보다 29.8 g 증가되었으나 주룬수화제 처리에서는 무처리에 비해 52.1 g 감소되었다(Table 1).

고 찰

효과적인 미생물 살충제를 개발하기 위해서는 살충력이 높은 미생물을 선발하는 것 외에도 선발 미생물의 대량배양용 염가배지 개발이 중요한 요인 중의 하나인데, 본 연구에서 개발된 대량배양배지에 사용된 비지는 두부의 부산물로서 산업폐기물로 처분되고 있기 때문에 값이 염가일 뿐만 아니라 구입이 용이하며 다른 영양물질을 전혀 첨가하지 않아도 Bti-D와 Bti-U 등 공시균주의 생장이 양호하였는데 이는 비지에 함유된 풍부한 영양분 때문인 것으로 보인다. Ohno 등(1995, 1996)도

*Bacillus subtilis*의 대량배양에 비지의 우수성을 보고하였으며, 비지는 물 81.1%, 단백질 4.8%, 지방 3.6%, 전분과 당 6.4%, 섬유 3.3%, 회분 0.8%로 구성되었다고 보고해 세균의 성장을 촉진시킬 수 있는 풍부한 영양분을 포함한다고 할 수 있다. 또한 비지배양액 전량이 바로 미생물 살충제 제조에 이용되어 부산물 생성 등의 문제가 없으며, 다만 풍부한 영양과 높은 물 함량 때문에 타 미생물에 의한 부패의 단점만 탈수 등의 방법으로 보완된다면 Bt 발효의 최적배지로 유망시된다.

본 연구에서 제조한 Bti-D의 수화형 WCS 제제를 느타리버섯 병재배시에 처리할 경우 버섯파리의 방제가는 Bti-D의 생균처리 보다 높았으며, 이 WCS 제제를 살포하기 위하여 pH 8로 보정된 물을 사용할 경우에는 방제가가 현저하게 상승하였는데 목화씨 분말이나 기름, 옥수수 분말이나 기름, 콩 분말 등이 습식축진제로 작용한다는 보고로 보아(Burges, 1998) WCS 제제 중의 옥수수 분말이 버섯파리의 습식을 촉진한 결과인 것으로 보이며, pH 8에서 제제의 방제가가 상승된 것은 타 pH에 비하여 pH가 8인 물을 사용하여 희석한 제제를 습식한 내독소단백질의 용해와 활성의 촉진 때문인 것으로 생각되었다(Tanada and Kaya, 1993). 한편 느타리버섯 상자재배에서 WCS 제제의 방제가는 병재배에서 보다 약간 낮았으나 자실체의 수량에서는 무처리 보다 증가되어 Bti-D나 Bti-U의 생균을 처리하더라도 버섯의 생육에 영향을 미치지 않고 오히려 자실체 수량을 증가시키는 경향을 보이므로 WCS의 처리로 방제효과와 수확량 증수에 기여할 것으로 추측된다. 또한 주룬(디밀린) 수화제 처리에서 92.2%로 방제가가 가장 높았으나 오히려 버섯수량은 현저히 감소되어 주룬수화제 처리에 의한 기형버섯의 발생, 발생시기의 지연, 표면균사의 사멸 등 약해가 없다는 전 등(1990)의 보고와는 상반되었는데 버섯수량의 감소는 표면균사의 사멸 때문인 것으로 관찰되었으나, 동일 약량(4 g/m²)으로 표면살포 하였음에도 이러한 상반된 결과가 나타나는 것에 대해 원인을 해석하기가 곤란하였으나 버섯파리방제에 주룬수화제를 사용하는 것에는 세심한 주의가 있어야 할 것으로 생각되었다.

외국에서 개발된 *B. t. israelensis*의 Bt 제제(미생물 살충제)로는 Bactimos, Teknar, Vec-tobac, Aquabac, Mosquito Dunc 등의 제품이 주로 모기 방제용으로 시판되고 있으며, Teknar, Bactimos는 버섯파리에도 높은 살충력을 나타낸다고 하였다(Cantwell and Cantelo, 1984). 그러나 국내 거의 모든 농약 제조회사들은 Bt 원제를 전량 외국에서 수입하고 있으며 그나마 버섯파리용으로는 수입도 되지 않고 있는 실정에 있다. 더구나 버섯파리용 Bt 제제화에 있어서는 버섯재배실의 실내환경이라는 특수성 때문에 강우 등에 의한 Bt 독소 손실을 막기 위한 제제의 부착성, 자외선의 차단성을 높이기

나 잎표면의 화학적 조성에 관련된 부가제 첨가는 고려할 필요가 없어서 Bt제제의 공정과정을 줄일 수 있는 장점이 있다. 이에 본 연구의 *B. t. israelensis*의 미생물 살충제 개발은 친화적 저독성 생물농약으로서 가능성이 있어 보이나 추후 이 제제의 독성시험이 수행되어야 할 것이다.

적 요

국내 느타리버섯 재배지의 버섯파리 사충으로부터 분리하여 버섯파리 유충에 높은 독성을 나타낸 *Bacillus thuringiensis* subsp. *israelensis* Bti-D와 Bti-U 균주를 이용하여 느타리 버섯파리에 대한 생물학적 방제효과를 검증한 결과, 느타리버섯 병재배시는 Bti-D와 Bti-U의 방제가가 각각 74.4%와 64.2%이었으며, 소형상자재배시는 75.8%와 56.8%였다. Bti-D와 Bti-U의 제제화를 위한 대량배양용 염가매지를 개발하기 위하여 배지종류별 세균증식량을 OD를 측정하여 비교한 결과, 2균주 모두 비지매지에서 가장 높았다. 두 균주 중 방제효과가 더 높은 Bti-D 균주를 비지매지에서 대량배양하여 몇 종류의 수화형 미생물 살충제를 만들고 느타리버섯 병재배와 상자재배에서 방제효과를 검증한 결과, 병재배에서 bio-gel로서 옥수수전분을 이용하여 만든 WCS 제제의 방제가가 86.4%로 가장 높았으며, 생균처리의 69.1%보다도 효과적이었다. 또한, 이 WCS 제제를 살포하기 위하여 희석할 때 pH 8로 보정된 물을 사용할 경우에는 방제가가 93.2%로 제고되었다. 상자재배에서는 pH 8로 보정된 물을 사용한 WCS 제제와 화학살충제인 주룬수화제의 방제효과와 버섯수량에 미치는 영향을 동시에 비교하였는데, WCS 제제 처리시 방제가는 74.3%로서 주룬수화제 처리시 92.2% 보다 낮았다. 그러나 버섯수량 비교에서는 WCS 제제를 처리할 경우 무처리나 주룬수화제 처리에 비해 수량이 증가되었다.

감사의 말씀

이 논문은 1997년도 농림부에서 시행한 농림특정연구과제의 연구결과입니다.

참고문헌

김태산, 김광포. 1981. 버섯파리 방제약제 선발시험. 시험연구보고서(농업기술연구소 생물부), 660-671.
 ———, ———. 1982. 느타리버섯의 버섯파리 방제약제 선발시험. 시험연구보고서(농업기술연구소 생물부), 792-794.
 농약공업협회. 1999. 농약사용지침서. 767 pp.

문병주, 손흥대. 2000. 버섯 주요해충의 발생생태 및 생물학적 방제연구. 시험연구보고서(농촌진흥청), 53-87.
 유창현, 한기학, 전창성. 1983. 느타리 버섯파리 방제약제 선발시험. 시험연구보고서(농업기술연구소 생물부), 558-560.
 전창성, 유창현, 차동렬. 1990. 디밀린수화제 처리에 따른 느타리 버섯파리 방제 효과에 관한 연구. 농진청, 농시논문집 32(2): 58-63.
 한용식, 신관철, 기광포. 1989. 버섯파리류 *Mycophila* sp. 유충에 의한 양송이 자실체 오염 방제에 관한 시험. 농시논문집 19: 21-25.
 Burges, H. D. 1998. Formulation of microbial biopesticides. Kluwer Academic Publishers. Norwell, USA. 412 pp.
 Cantelo, W. W. 1979. *Lycoriella mali*: Control in mushroom compost by incorporation of insecticides into compost. *J. Econ. Entomol.* 72: 703-705.
 Cantwell, G. E. and Cantelo, W. W. 1984. Effectiveness of *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis* in controlling a Sciarid fly, *Lycoriella mali*, in mushroom compost. *J. Econ. Entomol.* 77: 473-475.
 Choi, K. H., Park, H. C., Park, H. W., Jin, B. R., Kang, S. K. and Sohn, H. D. 1996. A study on the Biological control of sciarid fly (*Lycoriella* sp.) using *Bacillus thuringiensis*. *Korean J. Life Science* 6(4): 293-298.
 ———, ———, Kang, P. D., Kang, S. K. and Sohn, H. D. 1997. Development characteristics and life cycle of Sciarid fly (*Lycoriella* sp.) in indoor rearing. *Korea J. Appl. Entomol.* 36(1): 77-82.
 George, E. A. and William, W. C. 1984. Effectiveness of *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis* in controlling a sciarid fly, *Lycoriella mali*, in mushroom compost. *J. Econ. Entomol.* 77: 473-475.
 Höfte, H. and Whiteley, H. R. 1989. Insecticidal crystal proteins of *Bacillus thuringiensis*. *Microbiol. Rev.* 53: 242-255.
 Hussey, N. W. 1959. Biology of mushroom phorids. *Mushroom Science* IV: 260-270.
 Kim, K. P. and Hwang, C. Y. 1996. An investigation of insect pest on the mushroom (*Lentinus edode*, *Pleurotus osteratus*) in south region of Korea. *Korean J. Appl. Entomol.* 35(1): 45-51.
 Leodegario, E. P., Michio, O. and Aizawa, K. 1980. The isolates of *Bacillus thuringiensis* serotype 10 with highly pre ferential toxicity to mosquito larvae. *J. Invertebr. Pathol.* 36: 180-186.
 Ohno, A., Ano, T. and Shoda, M. 1995. Production of a lipopeptide antibiotic, surfactin, by recombinant *Bacillus subtilis* in solid state fermentation. *Biotechnology and Bioengineering* 47: 209-214.
 ———, ——— and ———. 1996. Use of soybean curd residue, okara, for the solid state substrate in the production of a lipopeptide antibiotic, iturin A, by *Bacillus subtilis* NB22. *Process Biochemistry* 31(8): 801-806.
 Padua, L. E., Ohba, M. and Aizawa, K. 1984. Isolation of a *Bacillus thuringiensis* strain (serotype 8a:8b) highly and selectively toxin against mosquito larvae. *J. Invertebr. Pathol.* 44: 12-17.
 Snetsinger, R. 1978. Morcap 10% granular insecticide for larval Sciarid fly control. *Mushroom News* 26(4): 12-14.
 Tanada, Y. and Kaya, H. K. 1993. Insect pathology. Academic Press. Inc. 666 pp.