

복숭아심식나방(*Carposina sasakii*)의 수확 후 소독 처리로서 CATTs 기술의 적용 가능성

손예림 · 최경희¹ · 김 용² · 김용균*

안동대학교 생명자원과학과, ¹농촌진흥청 국립원예특작과학원 사과시험장, ²(주)디지탈솔루션

Applicability of CATTs as a Postharvest Phytosanitation Technology against the Peach Fruit Moth, *Carposina sasakii* Matsumura

Ye-rim Son, Kyung-hee Choi¹, Yong Kim² and Yong-gyun Kim*

Department of Bioresource Sciences, Andong National University, Andong 760-749, Korea

¹Applied Research Station, NHRI, RDA, Gunwi 716-812, Korea

²Digital-Solution, Inc., Uiwang 437-010, Korea

ABSTRACT: As an environment-friendly phytosanitary measure, CATTs (controlled atmosphere temperature treatment system) has been developed to kill several quarantine insect pests infesting subtropical agricultural commodities. This study tested any possibility to apply CATTs to apples to effectively eliminate the peach fruit moth, *Carposina sasakii*, which has been regarded as a quarantine insect from the imported countries. When the larvae of *C. sasakii* were directly exposed to 46°C (an installed lethal temperature of CATTs), they showed a median lethal time at 14.66 min. Addition of high carbon dioxide to the temperature treatment enhanced the thermal limit susceptibility of *C. sasakii* to 46°C. CATTs device was constructed to automatically control CO₂ concentration and temperature with real-time monitoring both in the chamber and in the fruit. The larvae internally infesting apples were tested using the CATTs device and showed 100% lethality after 60 min exposure to a treatment of 46°C under 15% CO₂ in the chamber. Relatively long exposure may be due to the deviation between the ramping temperature (0.35°C/min) of the chamber and the ramping temperature (0.12-0.23°C/min) inside apple fruit, where the tested larvae were located. This study suggests a possibility that CATTs can be applied as a quarantine measure to kill the larvae of *C. sasakii* locating inside the apples.

Key words: Apple, *Carposina sasakii*, CATTs, Quarantine, Phytosanitation

초 록: 아열대성 작물을 대상으로 피해를 주는 해충에 대해서 친환경 소독 기술로서 환경조절열처리(CATTs: controlled atmosphere temperature treatment system) 기술이 개발되었다. 본 연구는 국내 사과를 일부 외국으로 수출할 경우 검역대상으로 지목받고 있는 복숭아심식나방(*Carposina sasakii*)에 CATTs 기술을 적용할 수 있는지에 대한 가능성을 알아보기 위해 시도되었다. 노출된 복숭아심식나방은 46°C의 CATTs 치사 설정온도에서 반수치사노출시간이 14.66 분으로 나타났다. 여기에 높은 온도의 이산화탄소 노출은 46°C에 대한 복숭아심식나방의 감수성을 현격하게 높였다. 다음으로 수확 후 사과 내부에서 가해하는 복숭아심식나방을 대상으로 본 연구에서 제조된 CATTs 장치로 소독효과를 분석하였다. 본 연구용 CATTs 장비는 이산화탄소와 온도를 자동으로 조절하며 처리 기간 동안 기기 내부 및 과실 내부 온도를 실시간으로 모니터링 하도록 제작되었다. 이산화탄소가 15%를 유지하면서 기기의 내부온도가 46°C에 도달한 후 60분 경과하였을 때 100%의 소독효과를 나타냈다. 이러한 비교적 장기간 고온 노출은 기기 내부 온도 증가(0.35°C/min)에 비해 대상 곤충이 위치한 과실 내부(0.12-0.23°C/min)가 현격하게 느리게 처리 온도에 도달하여 이를 사이에 나타나는 온도 편차에 기인된 것으로 나타났다. 본 연구는 사과를 가해하는 복숭아심식나방에 대한 수확 후 소독 기술로서 CATTs의 응용 가능성을 제시한다.

검색어: 사과, 복숭아심식나방, 환경조절열처리, 검역, 식물소독

농산물의 국제 교역량이 늘어나면서 외래 해충의 유입이

우려되고 있다. 새로운 해충이 정착이 되면 농작물 피해가 속출하고 이에 따른 방제 비용의 증가가 수반되면서 경제적 피해를 가중시키게 한다. 미국의 경우 이러한 외래 해충에 의한 피해가 연간 170억불 이상에 이른다고 보고하였다

*Corresponding author: hosanna@andong.ac.kr
Received January 25 2010; revised March 5 2010;
accepted February 4 2010

(Pimentel *et al.*, 2002). 자연히 이러한 해충의 침입을 억제시 키려는 방역기술의 개발과 현장 적용이 요구되고 있다.

방역기술은 크게 화학적 및 물리적 처리법으로 대별된다 (Paull and Armstrong, 1994; Sharp and Hallman, 1994). 화학적 처리법은 메틸브로마이드나 포스핀과 같이 농작물 심층부까지 침투하여 효과를 발휘하는 훈증 처리와 표면에 정착하는 해충을 제거하는 비누화물질 또는 화학농약 처리를 포함한다. 반면에 물리적 처리법은 온도(고온, 저온)처리, 환경조절 처리, 방사선 처리 및 이들의 혼합처리를 포함한다. 온도 처리는 해충의 온도에 대한 생존 한계 범위를 이용한 방제 기술이고, 환경조절처리는 높은 농도의 이산화탄소와 낮은 농도의 산소를 결부한 온도 처리를 의미한다 (Carpenter and Potter, 1994; Neven and Drake, 2000). 방사선 조사는 해충의 DNA의 화학결합을 붕괴시킴으로 소독효과를 발휘하게 한다. 기타 물리적 처리법으로 오존처리(Hollingsworth and Armstrong, 2005; Kells *et al.*, 2001), 마이크로파 처리(Ikediala *et al.*, 1999), 라디오주파 열처리(Nelson, 1996; Tang *et al.*, 2000; Wang *et al.*, 2002), 고압산소처리(Butz and Tauscher, 1995) 및 진공처리(Liu, 2003)를 포함하게 된다.

물리적 처리기술 가운데 환경조절열처리는 일명 CATTs (controlled atmosphere temperature treatment system)로 불리는 데, 높은 농도의 이산화탄소와 낮은 농도의 산소 환경 조건에서 특정 해충의 생존 한계에 해당하는 고온을 처리하면서 방역효과를 극대화하는 기술이다 (Neven and Mitcham, 1996). 다양한 과실 해충에 대해서 수학 후 소독 기술로 검증되었고 화학 소독 처리의 대체 방법으로 제기되고 있다 (Follett and Neven, 2006).

복승아심식나방(*Carposina sasakii*)은 사과와 배를 주로 과실 내부를 가해하는 일차 해충이다 (Park *et al.*, 1977). 한국과 일본을 중심으로 분포하며 국내에서는 연중 2세대 발생한다 (Lee *et al.*, 1984). 국내 사과를 대만이나 미국으로 수출하는 경우 복승아심식나방은 대상국의 주요 검역 대상 해충이다. 소독 방법으로는 메칠프로마이드 처리가 있으나, 이는 오존층 파괴물질로서 점차 사용이 금지될 전망이며, 약해 피해로 인해 수출용 과실에 사용하기는 부적합하므로 (NOP, 2007), 약해 발생 없으며 친환경적인 소독기법 개발이 요구되고 있다.

본 연구는 최근 사과, 배, 자두, 복숭아 등 과실류에 가해하는 나방류 및 파리류를 친환경 소독 기법으로 방제할 수 있는 CATTs를 복승아심식나방에 적용할 수 있는지를 알아보기 위해 수행되었다. 본 연구에서는 (1) CATTs에서

이용되는 고온인 46°C에 대한 복승아심식나방의 감수성과 (2) 높은 농도의 이산화탄소와 함께 처리될 때 이러한 고온 감수성이 증가하는지 그리고 (3) 제작된 CATTs 장치를 통해 사과 과실을 가해하고 있는 복승아심식나방에 대한 소독 효과를 분석함으로 이 기술의 적용 가능성을 분석하였다.

재료 및 방법

공시충 채집 및 사육

복승아심식나방은 경북지역 사과원에 발생하는 과실로부터 채집하였으며, 밀배아를 기본 영양원으로 개발된 코드 링나방 인공사료(Toba and Howell, 1991)를 이용하여 실내 사육하였으며 5령충을 생물검정에 이용하였다. 곤충 종에 따른 감수성 변이를 보기 위해 사용한 대조 곤충으로 배추좀나방(*Plutella xylostella*)은 배추잎을 먹이로 유충을 실내 사육하여 4령 유충을 생물검정에 이용하였다. 거짓쌀도둑거저리(*Tribolium castaneum*)는 밀가루에 yeast extract (5%)를 혼합한 먹이로 실내에서 사육하였으며 성충을 대상으로 생물검정에 이용되었다.

처리온도(46°C) 노출시간별 살충력 조사

각 1.5 ml 튜브에 실험하고자 하는 곤충(복승아심식나방 5령충, 배추좀나방 4령충, 거짓쌀도둑거저리 성충)을 한 마리씩 넣었다. 복승아심식나방 5령충은 각 시간 대 별로 10마리(12분과 18분 만 5마리 씩 3반복)씩 실험하였고, 배추좀나방과 거짓쌀도둑거저리 성충은 10마리씩 3반복 실시하였다. 각 곤충을 46°C 항온수조에서 처리 시간대 별로 나눠서 처리하였고, 처리 후 곤충사육 페트리디쉬(직경 50 mm × 두께 15 mm)에 먹이와 함께 넣어 24시간 후에 생존 여부를 확인하였다. 치사된 곤충은 먹이를 먹지 않고 있거나 움직임이 없는 개체로 판단하였다.

이산화탄소 노출에 따른 열처리 제고 효과

각 1.5 ml 튜브에 복승아심식나방 한 마리 개체를 넣고 처리하였으며, 처리구마다 10마리씩 3반복 실시하였다. 열처리는 46°C의 항온수조에서 14분 처리하였고, 이산화탄소 처리는 밀폐된 상자(30 cm × 15 cm × 10 cm) 안에서 이산화탄소를 5분간 투입하고 10분간 상온에서 방치하였다. 이후 살충력을 확인하기 위해 곤충 사육 페트리디쉬에 한 마리씩 옮기고 인공사료를 먹이로 제공하였다. 이후 24시간이 경과하면서 생존수를 조사하였다.

연구용 CATTs 처리 기기 제작

온도와 이산화탄소 농도가 컴퓨터 프로그램(LabVIEW, National Instruments, Austin, Texas, USA)으로 제어되는 연구용 CATTs 기기(189.7 ℥ 용량)가 구축되었다. 본체는 CO₂ 인큐베이터(Water-Jacketed Incubator, Forma Scientific, Canada, USA)를 개조하였고 CO₂, N₂, Air의 3 종류 가스가 파일럿식 two-way 고압용 솔레노이드 밸브 가스 조절기(VPW214, 두진밸브, 서울)로 본체에 연결되었다. 온도는 25°C에서 46°C까지 상승시키는 데 1시간이 소요되도록 설정되었다. 온도의 순환을 돋기 위해 기기 상부와 하부에 팬(1.07 m³/min, HAKKO - 493, HAKKO, Osaka, Japan)을 부착하였다. 이산화탄소는 15%의 농도를 유지하도록 센서와 자동 제어장치를 구축하였다.

CATTs 처리 방법

매 처리 전 질소를 20분 동안 투입하여 CATTs 기기 내 산소 농도를 낮추었다. 이후 질소를 투입하면서 이산화탄

소 밸브를 열고 자동으로 농도가 15%에 이르도록 설정하였다. 실내 온도(25°C)에서 목표 온도(46°C)까지 1시간 동안 온도를 증가시켰다. 이후 이산화탄소 15%와 목표 온도 46°C에 다다르면 20분, 40분, 45분, 50분과 60분간의 서로 다른 노출 시간으로 처리하였다. 처리 시간별 사용된 사과의 무게는 15 kg이며, 여기에 가해하고 있는 복승아심식나방의 수는 각 처리시간별로 30마리 이상이었다.

결 과

처리온도 46°C에서 노출시간별 살충력 조사

사과, 복승아를 가해하는 시기 가운데 가장 환경 조건에 내성을 보일 것으로 여겨지는 노숙 유충에 대해서 CATTs에서 권장하는 46°C의 열처리 조건에서 노출 시간별 사망률 조사하였고, 이를 유사 나비목 해충 또는 저장 딱정벌레 해충과 비교 분석하였다(Fig. 1). 처리한 결과 복승아심식나방의 경우는 10-30분 사이에서 반수치사노출시간이 있는

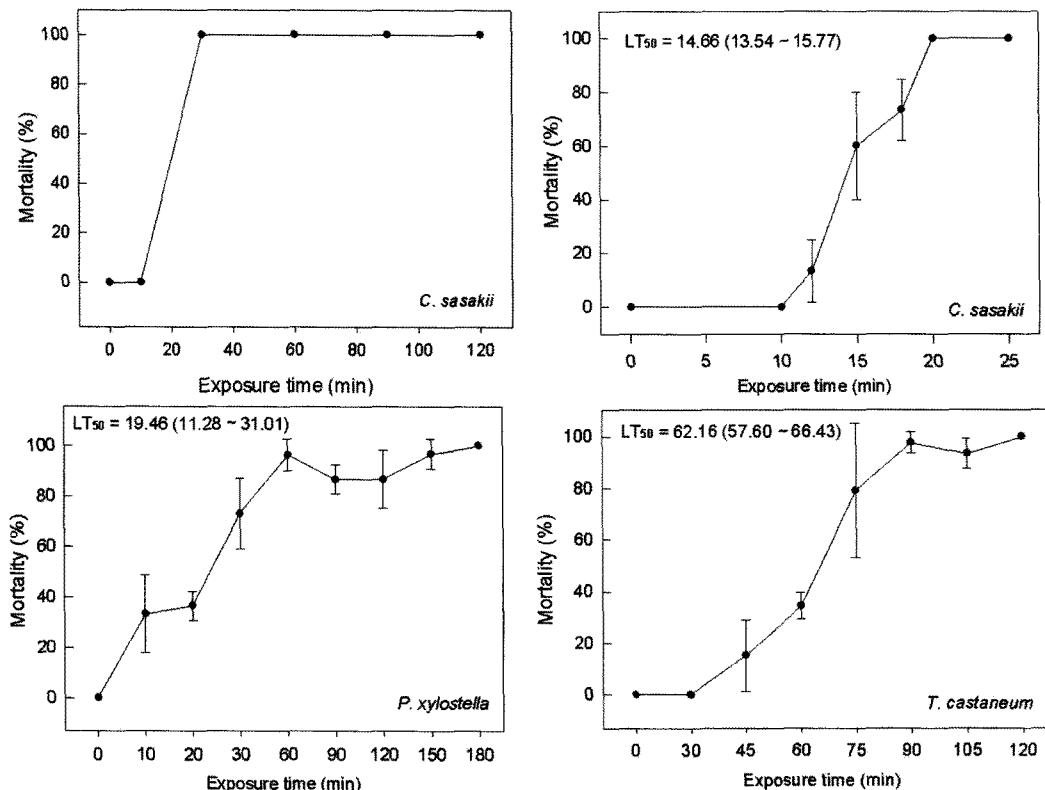


Fig. 1. Susceptibility of the fifth instar larvae of *Carposina sasakii* to a heat treatment at 46°C, which is compared to those of the third instar *Plutella xylostella* and adult stage *Tribolium castaneum*. After heat treatment during different exposure times, the test insects were kept at 25°C with diet *ad libitum*. Mortality was determined at 24 h after the heat treatment. Each exposure time treatment was replicated three times with each 10 individuals. The error bars indicate standard deviations. Probit analyses gave median lethal time (LT_{50}) in minute.

것으로 보여, 다시 이를 세분하여 분석한 결과 반수치사노출 시간이 14.66분으로 나타났다. 또한 99%를 치사시키는 노출 시간은 프로빗 검정 결과 22.87분(95% 신뢰구간: 20.00 ~ 30.47분)으로 산출되었다. 이러한 경향은 다른 나비목 해충인 배추좀나방 3령충과 유사한 감수성을 보인 것으로 나타났으나, 저곡 해충인 거짓쌀도둑거저리에 비해서는 현격하게 낮은 감수성을 보이는 것으로 판명되었다.

이산화탄소 노출에 따른 열처리 제고 효과

CATTS의 핵심원리는 열처리 효과를 극대화하기 위해 열처리 후 일어나는 곤충의 회복 증세를 높은 농도의 이산화탄소 처리에 따라 무력화시키는 데 있다. 이를 증명하기 위해 46°C에서 짧은 기간 동안 노출시키고, 높은 농도의 이산화탄소 조건에 해충을 노출시켰다(Fig. 2). 처리 24시간 경과 후에 열처리 단독은 35%의 복숭아심식나방 사망율을 기록한 반면, 열처리와 이산화탄소를 동시에 처리한 복숭아심식나방은 95%의 사망율을 보였다.

복숭아심식나방에 대한 CATTS 처리 기술 개발

제작된 연구용 CATTS를 바탕으로 처리기 chamber의 내부 온도가 46°C에 이른 후 노출 시간에 따른 사과 내부를 가해하는 복숭아심식나방의 방제 효과를 분석하였다(Fig. 3). 복숭아심식나방의 소독효과는 처리 시간의 증가에 따라

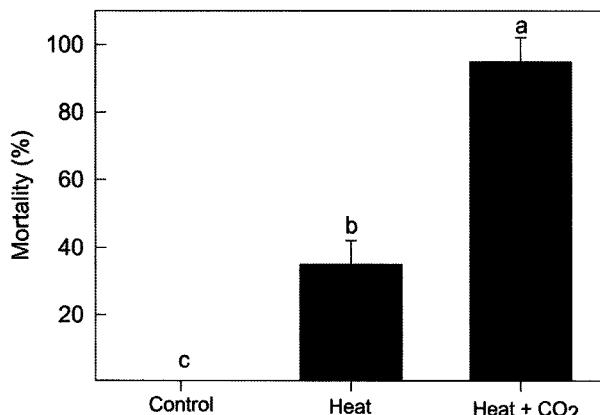


Fig. 2. Enhanced susceptibility of the fifth instar larvae of *Carposina sasakii* to a heat treatment at 46°C by combining CO₂ treatment. The heat treatment was applied for 14 min. CO₂ used a saturated condition during heat treatment. After heat treatment during different exposure times, the test insects were kept at 25°C with diet *ad libitum*. Mortality was determined at 24 h after the heat treatment. Each treatment was independently replicated three times with each 10 larvae. Different letters above standard deviation bars indicate significant difference among means at Type I error = 0.05 (LSD test).

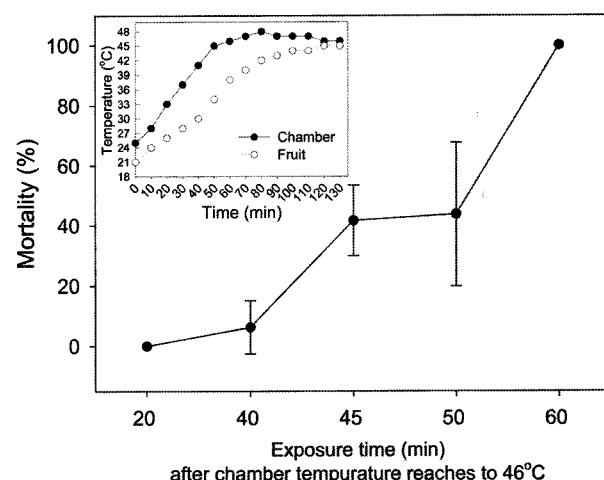


Fig. 3. CATTS test against the fifth instar larvae of *Carposina sasakii* infesting apples (\approx 5.7 cm diameter) under conditions of 46°C heat treatment with 15% CO₂. After heat treatment during different exposure times, the test insects were kept at 25°C with diet *ad libitum*. Mortality was determined at 24 h after the heat treatment. Each exposure time treatment was replicated three times with each 10-15 infested apples. The error bars indicate standard deviations. The inset figure shows temperature changes in CATTS chamber and inside-fruit.

높아지는 경향을 나타냈다. 특별히 60분간 처리하였을 때는 100%의 소독 효과를 나타냈다. 이러한 소독효과는 여러 선행 연구를 통해 산소의 오염을 막아줄수록 높아지는 경향을 나타냈다. 즉, 이산화탄소를 처리할 때 질소를 chamber 내로 개방함으로 산소의 유입을 억제시킬 경우, 단순히 이산화탄소만을 처리하는 것보다 소독효과가 높아지는 것을 알 수 있었다.

CATTS의 chamber 온도와 이 chamber내 처리된 사과 내부의 온도를 각각 모니터링 하였다(Fig. 3의 삽입그림). 이는 심식나방이 노출된 온도는 chamber 온도 보다는 chamber내 처리된 사과 내부의 온도를 겪고 있기 때문이다. 조사한 결과 25°C에서 시작한 처리 온도 변화는 60분이 경과하면 chamber 온도(ramping temperature: 0.35°C/min)는 46°C로 올라가지만, 사과내부 온도(ramping temperature: 0.12-25°C/min)는 90분이 경과하여야만 40°C를 넘어섰고, 궁극적으로 120분이 지나면 최대 43.5°C에 이르게 되었다.

고 찰

본 연구는 CATTS 소독 기술이 사과를 가해하는 복숭아심식나방의 방제에 가능한 기술이라는 것을 제시하고 있다. 첫째로, 사과를 대상으로 CATTS 처리 기술에서 이용되는

46°C에서(Neven and Rehfield-Ray, 2006a) 복숭아심식나방은 노출 시간에 따른 시망률 증가 현상을 보였다. 둘째로, 열충격 단독으로는 낮은 치사 효과를 주었으나, 이 노출 온도와 시간에서 고농도의 이산화탄소를 결부한 혼기적 조건에서 방제효과를 뚜렷하게 증가시키는 상승효과를 보였다. 이러한 경향은 기존의 다른 사과 해충 연구에서 이미 밝혀져(Neven and Mitcham, 1996), 낮은 산소와 높은 이산화탄소 농도의 혼기적 조건을 가미한 열처리가 열처리 단독에 비해 완전 소독 효과를 주는 노출 시간을 50% 가량 줄일 수 있었다. 이러한 살충 상승효과는 환경조절 조건이 곤충으로 하여금 열충격으로부터 회복하려는 능력을 저해하는 데서 기인하는 것으로 보인다. 일반적으로 곤충의 경우도 열충격에 따라 형성되는 열충격단백질이 이러한 스트레스 회복에 관여할 수 있으며(Yin et al., 2006), CATTs의 낮은 산소 조건은 이러한 열충격단백질의 합성을 억제하는 것으로 해석된다. 현재 복숭아심식나방의 열충격단백질 유전자가 클로닝 되고 있으며, 이를 이용하여 근본적 CATTs의 처리 효과를 분석할 수 있게 된다.

CATTs는 다양한 과실과 이를 가해하는 여러 해충에 대해서 수확 후 소독 효과가 검증되었다. 일례로 사과와 복숭아류에 대해서 코드링나방(*Cydia pomonella*)과 복숭아순나방(*Grapholita molesta*)에 대한 CATTs 수확 후 해충 방제 효과가 입증되었다. 이때 본 연구에서와 동일한 46°C의 처리 온도에서 과실 내부가 약 44°C 이상으로 30분간(12°C/h 온도 증가 속도) 또는 15분간(24°C/h 온도 증가 속도) 유지하며 100% 소독 효과를 보였다(Neven et al., 2006; Neven and Rehfield-Ray, 2006b). 유사한 CATTs 기술이 체리 과실을 가해하는 과실파리류(*Rhagoletis indifferens*)에서도 그 실효성이 입증되었다(Neven and Rehfield-Ray, 2006a). 그러나 본 연구는 복숭아심식나방의 완전 소독 효과를 주기 위해서는 60분의 CATTs 노출 시간을 요구했다. 이러한 차이는 사과 내부의 온도 변화에서 원인을 찾을 수 있었다. Chamber의 온도는 비교적 빠르게 변화하였지만, 사과 내부의 온도 변화는 느려 chamber가 46°C에 이른 이후 30-45분을 더 소요되어야 사과 내부가 약 44°C에 이르는 것으로 측정되었다. 즉, 본 연구에서 처리한 chamber 온도가 46°C에 이른 후 60분간 처리는 복숭아심식나방이 위치한 사과 내부가 치사 온도인 44°C 부근에서 15-30분 정도 노출된 것으로 해석된다. 이는 본 연구와 CATTs에서 추천하는 소독 노출 시간과 일치하는 것을 의미하게 된다. 추후 chamber 온도가 더 빨리 사과 내부의 온도 변화를 유도하도록 기계적으로

chamber 내 공기 순환 방식을 변형시킬 필요가 있다.

본 연구에서는 검토되지 않았지만 CATTs 기술을 복숭아심식나방 수확 후 소독 기술로 권장하기 위해서는 처리작물체에 대한 약해 유무가 검정되어야 한다. 즉, 일반적으로 열충격을 기반으로 하는 소독 기술은 대상 곤충에 치사효과를 주는 온도가 또한 식물체에도 피해를 줄 수 있다. 이에 대한 기존 연구로서 사과에 대한 CATTs 과실피해 유무가 분석되었다(Neven et al., 2001). CATTs 조건(온도 변화 속도: 12°C/h, 최종 온도: 44 또는 46°C)은 무처리 조건의 사과에 비해 사과 전실도를 높이고 저장 기간을 증가시켜, ‘Golden Delicious’ 품종은 그을음병 증세가 무처리에 비해 낮아지고, ‘Granny Smith’ 품종은 저장병 발생이 줄었다. 즉, CATTs 처리는 오히려 사과의 후성숙 속도를 늦추어 저장기간을 늘리고 과실 표면에 존재한 오염원의 소독 효과도 있는 것으로 이해되고 있다. 그러나 상이한 국내 사과 품종에 대해서 CATTs의 처리에 따른 약해 유무는 검토되어야 할 주요 연구 항목이다.

CATTs 소독 기술은 다른 유사 물리적 방제 기술에 비해 우수한 것으로 보고되고 있다. 예로서 또 다른 물리적 방제 기술인 고압처리기술(high pressure processing: HPP)이 과실을 가해하는 해충에 대해 검토되었다(Neven et al., 2007). 일반적으로 HPP는 식품위생균이나 부폐균을 소독하기 위해 약 85,000-90,000 pounds per inch² (psi)의 고압으로 처리한다(Torres and Velazquez, 2005). 코드링나방의 경우 알 발육태가 가장 감수성이 낮아 30,000-80,000 psi에서 완전 소독이 이뤄지며, 과실파리류는 25,000 psi 이상이면 모든 발육 태에서 방제효과를 얻게 된다(Neven et al., 2007). 그러나 이들 해충이 가해하는 사과나 체리에 약해를 일으켜서 수확 후 소독 기술로 적용하기에는 문제가 있다.

추후 복숭아심식나방의 수확 후 소독 기술로서 CATTs를 적용하기 위해서는 먼저 이 해충의 가해 발육 시기 가운데 가장 감수성이 낮은 발육태의 결정이 선행되어야 한다. 이후 결정된 발육 태를 사과나 복숭아에 접종하여 감염된 상태의 과실을 CATTs에 처리 검정하게 된다. 이때 평가단계에서 시험구 수로서 적어도 5,000개의 접종된 과실이 분석되어야 하고, 확인단계의 시험에서는 30,000개 이상의 실험단위를 가져야 한다. 이러한 막대한 처리 규모 및 처리 비용을 줄이기 위해 인공적으로 과실 내부 조건을 구축하고 CATTs 기술을 적용하려는 CAWB (controlled atmosphere water bath) 기술이 개발되었는데(Neven, 2008) 추후 연구 과정을 통해 이에 대한 검토도 함께 병행될 필요가 있다.

사 사

본 연구는 2009년도 식물검역원의 외부용역과제로 수행되었다. CATTS 시설을 실습하게 하여준 미국 USDA의 Dr. Lisa Neven에게 고마움을 전합니다.

Literature Cited

- Butz, P. and B. Tauscher. 1995. Inactivation of fruit fly eggs by high pressure treatment. *J. Food Process. Preserv.* 19: 161-164.
- Carpenter, A. and M. Potter. 1994. Controlled atmospheres. pp. 171-198, In Quarantine treatments for pests and food plants, eds. by J.L. Sharp and G.J. Hallman. 290pp. Westview, Boulder, USA.
- Follett, P.A. and L.G. Neven. 2006. Current trends in quarantine entomology. *Annu. Rev. Entomol.* 51: 359-385.
- Hollingsworth, R.G. and J.W. Armstrong. 2005. Potential of temperature, controlled atmospheres, and ozone fumigation to control thrips and mealybugs on ornamental plants for export. *J. Econ. Entomol.* 98: 289-298.
- Ikediala, J.N., J. Tang, L.G. Neven and S.R. Drake. 1999. Quarantine treatment of cherries using 915 MHz microwaves: temperature mapping, codling moth mortality and fruit quality. *Postharvest Biol. Technol.* 16: 127-137.
- Kells, S.A., L.J. Mason, D.E. Maier and C.P. Woloshuk. 2001. Efficacy ad fumigation characteristics of ozone in stored maize. *J. Stored Prod. Res.* 37: 371-382.
- Lee, S.W., J.S. Hyun and J.S. Park. 1984. Studies on the developments of the overwintering peach fruit moth, *Carposensis niponensis* Walsingham. *Kor. J. Plant Prot.* 23: 42-48.
- Liu, Y.B. 2003. Effects of vacuum and controlled atmosphere on insect mortality and lettuce quality. *J. Econ. Entomol.* 96: 1110-1117.
- Nelson, S.O. 1996. Review and assessment of radio-frequency and microwave energy for stored-grain insect control. *Trans. ASAE* 39: 1475-1484.
- Neven, L.G. 2008. Development of a model system for rapid assessment of insect mortality in heated controlled atmosphere quarantine treatments. *J. Econ. Entomol.* 101: 295-301.
- Neven, L.G. and S.R. Drake. 2000. Comparison of alternative quarantine treatments for sweet cherries. *Postharvest Biol. Technol.* 20: 107-114.
- Neven, L.G., S.R. Drake and K. Shellie. 2001. Development of a high temperature controlled atmosphere quarantine treatment for pome and stone fruits. *Acta Hortic.* 553: 457-460.
- Neven, L.G., P.A. Follett and E. Raghubeer. 2007. Potential for high hydrostatic pressure processing to control quarantine insects in fruit. *J. Econ. Entomol.* 100: 1499-1503.
- Neven, L.G. and E.J. Mitcham. 1996. CATTS: controlled atmosphere temperature treatment system, a novel approach to the development of quarantine treatments. *Am. Entomol.* 42: 56-59.
- Neven, L.G. and L. Rehfield-Ray. 2006a. Combined heat and controlled atmosphere quarantine treatments for control of western cherry fruit fly in sweet cherries. *J. Econ. Entomol.* 99: 658-663.
- Neven, L.G. and L. Rehfield-Ray. 2006b. Confirmation and efficacy tests against codling moth and oriental fruit moth in apples using combination heat and controlled atmosphere treatments. *J. Econ. Entomol.* 99: 1620-1627.
- Neven, L.G., L. Rehfield-Ray and D. Obenland. 2006. Confirmation and efficacy tests against codling moth and oriental fruit moth in peaches and nectarines using combination heat and controlled atmosphere treatments. *J. Econ. Entomol.* 99: 1610-1616.
- NOP (National Organic Program). 2007. National Organic Program. <http://www.ams.usda.gov/nop/indexIE.htm>.
- Park, K.T., K.Y. Choe, J.C. Paik and S.C. Han. 1977. Lepidopterous insect pest on apple tree. *Kor. J. Plant Prot.* 16: 33-39.
- Paull, R.E. and J.W. Armstrong. 1994. Insect pests and fresh horticultural products: treatments and responses. CAB International, Wallingford, UK. 360pp.
- Pimentel, D., L. Lach, R. Zuniga and D. Morrison. 2002. Environmental and economic costs of alien arthropods and other organisms in the United States. pp. 285-303, In Invasive arthropods in agriculture: problems and solutions (Eds. Hallman, G.J. and C.P. Schwalbe). Science, Enfield, NH. 447pp.
- Sharp, J.L. and G.J. Hallman. 1994. Quarantine treatments for pests and food plants. Westview, Boulder, USA. 290pp.
- Tang, J., J.N. Ikediala, S. Wang, J.D. Hansen and R.P. Cavalieri. 2000. High-temperature short-time thermal quarantine methods. *Postharvest Biol. Technol.* 21: 129-145.
- Toba, H.H. and J.F. Howell. 1991. An improved system for mass-rearing codling moths. *J. Entomol. Soc. Br. Columbia* 88: 22-27.
- Torres, J.A. and G. Velazquez. 2005. Commercial opportunities and research challenges in the high pressure processing of foods. *J. Food Eng.* 67: 95-112.
- Wang, S., J. Tang, J.A. Johnson, E. Micham, J.D. Hansen, R.P. Cavalieri, J. Bower and B. Biasi. 2002. Process protocols based on radio frequency energy to control field and storage pests in inshell walnuts. *Postharvest Biol. Technol.* 26: 265-273.
- Yin, X., S. Wang, J. Tang, J.D. Hansen and S. Lurie. 2006. Thermal conditioning of fifth-instar *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae) affects HSP70 accumulation and insect mortality. *Physiol. Entomol.* 31: 241-247.