

복숭아명나방과 사과애모무늬잎말이나방에 대한 환경조절열처리를 이용한 사과 수확 후 처리기술

홍유경 · 권기면¹ · 김용균*

안동대학교 생명자원과학과, ¹생물이용연구소

Post-harvest Treatment on the Peach Pyralid Moth and the Small Tea Tortrix Moth Infesting Apples Using Controlled Atmosphere and Temperature Treatment System

Youkyeong Hong, Kimyeon Kwon¹ and Yonggyun Kim*

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

¹Institute of Biological Utility, Andong 760-380, Korea

ABSTRACT: A complete control on quarantine insect pests is required for exporting domestic apples to other countries. To this end, a controlled atmosphere and heat treatment system (CATTS) has been developed as a post-harvest treatment. This study determined the CATTS conditions to control completely two lepidopteran insect pests, the smaller tea tortrix moth, *Adoxophyes paraorana* and the peach pyralid moth, *Dichocrocis punctiferalis*, which exhibit different feeding behaviors. In both species, the fifth instar larvae were the most tolerant developmental stage to the heat treatment. Under CATTS conditions with 15% CO₂ and 1% O₂ for 1 h heat treatment at 46 °C, the fifth instar larvae of *A. paraorana* exhibited a complete lethality, while those of *D. punctiferalis* underwent 88% mortality. To control completely the fifth instar larvae of *D. punctiferalis*, 2 h heat treatment required under the same atmosphere condition. These CATTS treatment effects were confirmed against over 3,000 fifth instar larvae of each species infesting apples. This study demonstrates that the longer exposure to CATTS conditions is required for the complete disinfestation of the internal apple feeder compared to the non-internal apple feeder.

Key words: Apple, Post-harvest treatment, CATTS, *Adoxophyes paraorana*, *Dichocrocis punctiferalis*

초록: 국내 사과를 외국으로 수출하기 위해서는 수입국의 검역 대상 해충을 완전히 제거하는 것이 필수적이다. 이를 위한 수확 후 해충 사멸 기술로서 환경조절열처리(controlled atmosphere and temperature treatment system: CATTS) 기술이 개발되고 있다. 본 연구는 상이한 가해 습성으로 사과 과실에 피해를 주는 두 해충에 대해 CATTS의 사멸조건을 결정하였다. 사과애모무늬잎말이나방(*Adoxophyes paraorana*)은 사과 과실 표면을 가해하는 해충인 반면 복숭아명나방(*Dichocrocis punctiferalis*)은 과실의 내부를 가해한다. 여러 가해 발육태 가운데 두 곤충 모두 5령 유충이 열에 대한 내성이 가장 높았다. 고농도(15%)의 이산화탄소, 저농도(1%) 산소 및 46 °C 온도 조건에서 1 시간 동안 처리하는 CATTS 처리 조건은 사과애모무늬잎말이나방 5령 유충을 100% 사멸시켰다. 그러나 동일한 CATTS 조건에서 복숭아명나방 5령 유충은 88%의 사멸 효과를 보였으며, 100% 사멸 효과를 나타내기 위해서는 2 시간의 열처리를 요구했다. 이를 바탕으로 사과를 가해하고 있는 두 종의 5령 유충 3,000 마리 이상에 대해서 각각 CATTS 처리 효과를 검증하였다. 본 연구는 완전 사멸을 위해서는 심식충이 비심식충에 비해 장기간 CATTS 처리가 요구된다는 것을 보여 주었다.

검색어: 사과, 수확후처리, 환경조절열처리기술, 사과애모무늬잎말이나방, 복숭아명나방

*Corresponding author: hosanna@andong.ac.kr

Received November 19 2014; Revised January 20 2015

Accepted January 26 2015

환경친화형 해충 방제 기술은 작물 재배 현장을 넘어 수확 후 해충 방제에서도 요구되고 있다. 특히 유기농재배 과실류는 재배 현장뿐만 아니라 수확처리 및 상품포장에 이르기까지 일

련의 시스템적 환경친화형 해충 방제 처리가 요구되고 있다(Neven, 2008). 그리고 이러한 시스템적 처리 과정을 일부 과실 수입국에서는 요구하고 있다(Northwest Horticultural Council, 2006). 여러 현장에서 널리 사용되고 있는 메틸브로마이드(methyl bromide: MB) 처리는 이러한 유기농 재배의 개념과 어울릴 수 없고(McEvoy, 2003), 더욱이 MB의 작물 약해 유발, 환경오염 및 인축 독성은 새로운 수확 후 해충 관리 기술을 요구하였다(NOP, 2007).

환경조절열처리(controlled atmosphere and temperature treatment system: CATTS) 기술이 과실류를 대상으로 개발되었고(Neven and Mitcham, 1996), 최근 국내에서도 사과를 가해하는 복숭아심식나방(Son et al., 2012a), 복숭아순나방(Jung et al., 2014) 및 뱃나무응애(Son et al., 2012b)에 대해서도 이 기술의 적용 가능성을 보여 주었다. CATTS는 물리적 해충방제 기술로서 식물과 곤충의 상이한 체내 생리 조건을 이용하여 고온 처리에 따른 과실 피해는 줄이고 해충에만 선별적으로 생존력을 낮추는 전략으로 개발된 기술이다(Neven and Mitcham, 1996). 즉, 46°C 온도는 곤충을 사멸시킬 수 있는 열처리 온도이나 작물에도 피해를 줄 수 있다(Neven, 2000). 그러나 상온에서 46°C 까지 상승시키는 가열 속도를 여름철 야외 조건에서 하루 중 과실 표면에서 나타나는 온도 상승 속도와 맞추어주면, 과실 피해를 줄이면서 해충 사멸을 피할 수 있다. 이러한 온도 상승 전략은 비록 해충에게도 고온 적응력을 줄 수 있으나, 저산소 상태의 대기 조건을 동시에 유지하면 무기호흡이 가능한 식물에게는 피해가 없지만, 유기호흡만 진행되는 곤충에게는 고온 회복 능력을 상실하게 하여 상대적 피해를 줄 수 있게 된다(Neven et al., 2001; Obenland et al., 2005). 특히 저산소상태는 ATP 합성을 억제하는 반면, 아울러 높은 이산화탄소 조건을 부여할 경우 ATP 사용을 억제시켜 해충에 주는 피해를 극대화시킬 수 있다(Neven and Hansen, 2010). 따라서 저산소 및 높은 이산화탄소의 대기조건을 이용하여 해충으로 하여금 열처리에 따른 회복 능력을 완전히 상실하게 하는 원리를 이용하여 개발된 기술이 CATTS로서 사과를 가해하는 해충에 15% 이산화탄소, 1% 산소 조건에서 46°C의 열처리가 진행된다(Neven and Rehfield-Ray, 2006).

사과애모무늬잎말이나방(*Adoxophyes* spp.)은 사과를 가해하는 나비목 해충으로 사과 잎을 가해하나, 일부는 사과 잎이 붙은 사과 과실 표면을 가해하기도 한다(Lee, 1993). 국내에는 최소한 두 종(*A. orana*와 *A. paraorana*)이 혼재되어 있는 것으로 알려져 있으며(Park et al., 2008; Byun et al., 2011) 유충 상태로 월동한다(Jo and Kim, 2001). 이 해충이 분포하지 않는 미주 지역으로 사과를 수출하려는 경우 이 해충은 검역 대상이 된다.

극동지역을 중심으로 분포하는 복숭아명나방(*Dichocrocis punctiferalis*)은 밤을 주로 가해하지만 사과의 과실 내부로 침입하여 피해를 주기도 한다(Konno et al., 1981; Choi, 1998). 이 해충의 발생 밀도를 모니터링할 수 있는 성페로몬 조성이 밝혀져 있으며(Jung et al., 2000) 이를 이용하여 연중 3 회 성충 발생 중 제1회 성충이 6월에 우화하여 주로 복숭아에 산란을 하고, 밀도는 높지 않으나 제2회 성충은 7월 하순~8월 상순에 나타나 주로 밤을 가해하는 것으로 보고되었다(Choi et al., 2004). 이 해충이 분포하지 않는 미주 지역으로 사과를 수출하려는 경우 이 해충은 검역 대상이 된다.

본 연구는 국내 사과를 수출하는 경우 수입국에서 검역 대상 해충인 사과애모무늬잎말이나방과 복숭아명나방에 대해서 완전 사멸시킬 수 있는 CATTS 처리 조건을 결정하기 위하여 수행되었다. 또한 이러한 처리 조건의 차이를 이들의 과실 가해 습성 차이와 비교 검토하였다.

재료 및 방법

공시충 채집 및 사육

사과애모무늬잎말이나방은 경남 김해시 진영읍에 있는 단감과원에서 4월 초에 월동한 유충들을 채집하여 번데기 과정을 거쳐서 우화시켜 사육상자(15 × 20 × 10 cm)에서 사육하였다. 성충의 먹이로는 10% 꿀물과 증류수를 공급하여 주었다. 대부분의 사과애모무늬잎말이나방은 사육상자에 무더기로 알을 낳았고, 부화 유충을 유인하기 위하여 사과잎과 인공사료(Toba and Howell, 1991)를 넣어 주었다. 유인된 사과애모무늬잎말이나방 유충은 다른 케이지로 옮겨서 사육하였다. 사육실 조건은 온도 25±3°C, 상대 습도 50-70%, 16:8 h (L:D) 광주기로 설정하였다. 잉여 번데기는 5-10°C 저온고에 보관하고, 필요에 따라 우화시켜 다시 다음 세대를 얻도록 하였다. 복숭아명나방은 경북지역 밤나무 종실을 가해하는 유충들을 채집하여 사과를 먹이로 주면서 아크릴케이지(60 × 60 × 60 cm)에서 사육하였다. 성충의 먹이로는 10% 꿀물과 증류수를 공급하여 주었다. 사육실 조건은 사과애모무늬잎말이나방과 동일하게 설정하였다.

사과애모무늬잎말이나방 종동정

두 종 이상의 사과애모무늬잎말이나방이 국내에 서식한다는 보고에 따라 cytochrome oxidase I (COI)를 대상으로 염기서열 분석으로 본 연구에서 사용된 종을 판명하였다. 계놈 DNA는 Shrestha et al. (2009) 방법에 따라 추출하였으며

C1-J-1751 (5'-GGATC ACCTG ATATA GCATT CCC-3')과 C1-N-2191 (5'-CCAGG TAAAA TTTAA ATATA AACTT C-3') 프라이머(Clary and Wolstenholme, 1985)를 이용하여 PCR을 진행하였고 PCR 조건은 94°C에서 1분, 50°C에서 1분, 72°C에서 1분의 DNA 합성과정을 35회 반복하였다. 이에 따라 얻어진 PCR 증폭물(약 500 bp)을 마크로젠 분석실(서울, 한국)에 의뢰하여 두 PCR 프라이머를 이용하여 Sanger 방법으로 염기서열 분석이 이뤄졌다. 얻어진 염기서열은 electropherogram을 보면서, 낮은 신호 및 중복 신호 부위를 제거한 350개 염기서열을 얻었고, 이를 GenBank (www.ncbi.nlm.nih.gov)의 BLAST 탐색을 통해 E-value를 중심으로 가장 유사도가 높은 곤충 종들을 선별하였다. 얻어진 염기서열과 유사성이 높은 종들을 대상으로 DNASTar (Version 5.01, DNASTar, Inc., Madison, WI, USA)에서 제공한 SeqAlign의 ClustalW 프로그램을 이용하여 염기서열 유사도를 비교하였고, 이를 바탕으로 같은 회사에서 제공한 MEGA5 프로그램을 이용하여 계통분류도를 작성하였다. 이때 계통수의 분지도의 유의성은 1,500회 반복의 Bootstrap 수치로 나타났다.

발육시기별 열처리 내성 변이 분석

1.5 mL 튜브에 실험하고자 하는 발육태의 공시충을 한 마리씩 넣었다. 각 곤충을 44°C 항온수조에 20분 동안 노출시킨 후 곤충사육 페트리디쉬(직경 50 mm × 두께 15 mm)에 먹이와 함께 넣어 24시간 후 생존 여부를 확인하였다. 치사된 곤충은 먹이를 먹지 않고 있거나 움직임이 없는 개체로 판단하였다. 번데기의 경우는 핀셋으로 흉부를 잡아 움직임이 없는 개체를 치사충으로 판별하였다. 알은 처리 후 25°C 조건에서 부화 개체를 판별하여 치사체를 계수하였다. 각 발육태 별로 30마리 이상의 개체를 이용하여 생존율을 측정하였다.

CATTS 처리 기기와 처리 방법

본 연구에 사용된 CATTS 기기는 기존의 소형기기(Son et al., 2010)를 기본 모델로 Jung et al. (2014)의 개량 방식을 따라 제작되었다. CATTS 처리 방법은 매 처리 전 질소를 약 30분 동안 투입하여 CATTS 기기 내 산소 농도를 1%로 낮추었다. 이후 이산화탄소 밸브를 열고 자동으로 농도가 15%에 이르도록 설정하였다. 실내 온도(25°C)에서 목표 온도(46°C)까지 기기 내부 온도가 증가하는 가열단계(ramping stage) 이후 CATTS 시간을 1-2시간으로 설정하였다. 사과애모무늬잎말이나방의 처리는 사과잎에 유충을 집중하여 처리하였다. 그러나 심식충

인 복숭아명나방은 사과 과실에 집중하여 사과 내부에 침입된 과실을 이용하여 처리하였다.

결과

사과애모무늬잎말이나방에 대한 CATTS 처리 효과

사과애모무늬잎말이나방의 COI 염기서열(Fig. 1A)을 바탕으로 분석한 결과, *A. paraorana*와 같은 부류로 분류되었다(Fig. 1B). 더욱이 염기서열의 유사도를 비교한 결과 *A. paraorana*와 100% 유사도를 나타냈다(Fig. 1C). 이러한 결과는 본 연구에서 사용된 사과애모무늬잎말이나방이 *A. paraorana*라고 판명되었다.

사과 해충에 대한 CATTS 처리 기술 개발은 사과 과실에 직접적으로 피해를 주거나(유충의 경우) 또는 간접적으로 서식할 가능성이 있는 발육태(알, 번데기)를 대상으로 가장 열처리에 대한 내성이 높은 발육시기를 선정하고, 이 내성이 높은 발육태를 대상으로 CATTS 처리 조건을 결정하는 단계로 연구를 진행할 필요가 있었다. 이에 따라 우선적으로 두 해충의 발육시기별 열처리에 따른 가장 높은 내성을 보이는 시기를 결정하였다(Table 1). 노출 발육 시기는 두 종 모두 알, 유충 및 번데기를 대상으로 분석하였다. 처리 온도는 CATTS 처리에서 과실 내부의 온도인 44°C를 이용하였고, 이 온도에서 노출 시간은 20분을 처리하였다. 이 처리에서 두 종 모두는 5령 유충이 열처리에 가장 낮은 사망율을 나타내어 이 시기가 열처리에 가장 높은 내성을 보이는 것을 의미했다.

사과애모무늬잎말이나방 5령 유충을 대상으로 CATTS를 처리하였다(Table 2). 처리 조건은 이산화탄소 15%, 산소 1% 조건에서 기기 내부 온도를 46°C로 올리고 사과 내부 온도가 44°C에 이르게 하였다. 이 조건에서 1시간 처리한 결과 처리된 5령 유충 3,067마리 모두가 사망하였다. 그러나 동일한 조건에서 복숭아명나방을 처리한 결과 88%의 치사율을 나타냈다(Table 3). 고온 처리 시간을 1.5시간으로 늘린 경우 치사율은 98%로 증가했고, 2시간으로 처리한 결과 100%의 방제 효과를 보였다.

복숭아명나방에 대한 CATTS 처리 효과

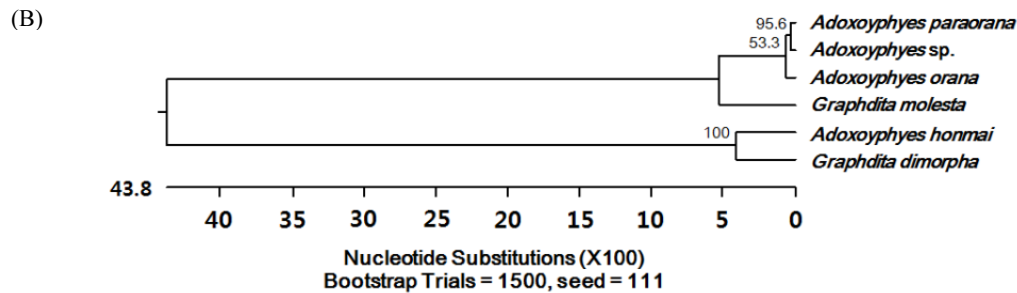
복숭아명나방의 CATTS 처리의 검증시험을 위해 사과 과실 내부를 가해하고 있는 3,022마리의 5령 유충을 대상으로 상기의 CATTS 처리 조건에서 2시간 처리한 결과 100%의 방제 효과를 나타냈다(Table 4).

(A)

```

CCCACTTTCA TCTAATATTG CTCATAGTGG AAGATCTGTA GACTTAGCAA 50
TTTCTCCCT TCATTTAGCT GGTATTTTCA CAATTTTAGG GGCAGTTAAT 100
TTTATTACAA CCATTATTAA TATACGACCT AATAATATAT CATTAGATCA 150
AATACCATTA TTTGTCTGAG CTGTTGGAAT TACAGCACTT TTATTATTAC 200
TTTCATTACC AGTTTTAGCA GGTGCTATTA CTATACTATT AACAGATCGA 250
AATTTAAATA CCTCATTTTT TGACCC TGCA GGAGGAGGAG ATCCTATTCT 300
TTATCAACAT CTATTTTGAT TTTTGGTCA CCCTGAAGTT TAATCTTATT 350

```



(C)

Gene	Isolate (<i>Adoxophyes</i> sp.)				
	Blasted species	GenBank accession #	Identity (%)	Match score (bits)	E-value
CO-I	<i>Adoxophyes orana</i>	JQ305015.1	99%	619	7e-174
	<i>Adoxophyes paraorana</i>	JF733838.1	100%	584	3e-163
	<i>Adoxophyes honmai</i>	DQ073916.1	95%	538	2e-149
	<i>Grapholita dimorpha</i>	KJ671625.1	91%	472	2e-129
	<i>Grapholita molesta</i>	AB603521.1	91%	472	2e-129

Fig. 1. Identification of a small tea tortrix moth (*Adoxophes* sp.) using cytochrome oxidase-I (CO-I) sequence. (A) A partial CO-I sequence (B) A phylogenetic tree showing closeness of the test tortrix moth isolate to *A. paraorana*. (C) DNA sequence homology table of the isolate with other leafrollers in test CO-I region with a Blast search.

Table 1. Susceptibilities of different developmental stages of two lepidopteran species (*Adoxophyes paraorana* and *Dichrocrocis punctiferalis*) to a heat treatment (44°C for 20 min)

Developmental stages	<i>A. paraorana</i>		<i>D. punctiferalis</i>	
	N	Mortality (%)	N	Mortality (%)
Egg	93	80.6	150	100.0
1st instar	30	100	30	100.0
2nd instar	36	100	30	100.0
3rd instar	30	93.3	30	100.0
4th instar	30	80.0	31	80.6
5th instar	30	60.0	30	66.7
Pupae	30	80.0	40	100.0

Table 2. Confirmation test of CATTs¹ efficiency against 5th instar larvae and pupae of *Adoxophes paraorana*

Heating rate (°C/h) ²	Final chamber temp (°C)	Total maximum treatment time (min) ³	Final fruit core temp (°C)	No. of total larvae (pupae)	Control efficiency (%) ⁴
7	46	350	44	3,067 (59)	100 (100)

¹ After the internal fruit temperature increased from 25°C to 44°C during ramping stage (150 min), CATTs treatment lasted for 1 h under 15% CO₂ and 1% O₂.

² Rate of temperature increase at the fruit core from 25°C to 44°C

³ Total treatment time from initial increase in fruit core temperature (from 25°C to 44°C) until the termination of CATTs treatment

⁴ Mortality was assessed at 24 h in 25°C after CATTs treatment.

Table 3. Variation in CATTSS¹ control efficacy depending on treatment conditions against the 5th instar larvae of *Dichocrocis punctiferalis*

Heating rate (°C/h) ²	Final chamber temp (°C)	Running time (h)	N	Mortality (%)
7	46	1	162	88
7	46	1.5	265	97
7	46	2	857	100

¹After the internal fruit temperature increased from 25°C to 44°C during ramping stage (150 min), CATTSS treatment lasted for 2 h under 15% CO₂ and 1% O₂.

²Rate of temperature increase at the fruit core from 25°C to 44°C

Table 4. Confirmation test of CATTSS¹ efficiency against 5th instar larvae of *Dichocrocis punctiferalis*

Heating rate (°C/h) ²	Final chamber temp (°C)	Total maximum treatment time (min) ³	Final fruit core temp (°C)	No. of total larvae (5th larvae only)	Control efficiency (%) ⁴
7	46	350	44	3,022	100.0

¹After the internal fruit temperature increased from 25°C to 44°C during ramping stage (150 min), CATTSS treatment lasted for 2 h under 15% CO₂ and 1% O₂.

²Rate of temperature increase at the fruit core from 25°C to 44°C

³Total treatment time from initial increase in fruit core temperature (from 25°C to 44°C) until the termination of CATTSS treatment

⁴Mortality was assessed at 24 h in 25°C after CATTSS treatment.

고찰

수확 후 해충 방제 기술은 농산물 수확에서 소비자에게 이르기까지의 해충 관리로 정의되며, 저장농산물과 수출입 검역농산물에 대한 해충 방제를 포함하게 된다(Follett and Neven, 2006). 특히 검역 해충 문제는 농산물의 국제 교역량이 늘어나면서 크게 우려되고 있다. 즉, 새로운 해충의 정착은 토착 농작물 피해로 이어지면서 이에 따른 방제 비용의 증가로 막대한 경제적 피해를 일으키고 있다. 미국의 경우 외래 해충에 의한 피해가 연간 170억불 이상에 이르러(Pimentel et al., 2002), 외래 해충의 침입을 억제시키려는 방제기술의 개발과 현장 적용이 요구되고 있다.

방제기술은 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 계면활성물질 또는 화학농약 처리를 포함한다. 반면, 물리적 처리법은 온도(고온, 저온)처리, CATTSS, 방사선처리 및 이들의 혼합처리를 포함한다. 온도 처리는 해충의 온도에 대한 생존 한계 범위를 이용한 방제 기술이며, CATTSS는 높은 농도의 이산화탄소와 낮은 농도의 산소를 결부한 온도 처리를 의미한다(Carpenter and Potter, 1994; Neven and Drake, 2000). 방사선 조사는 해충 DNA의 화학결합을 붕괴시킴으로써 소독효과를 발휘하게 한다. 기타 물리적 처리법으로 오존처리(Hollingsworth and Armstrong, 2005; Kells et al., 2001), 마

이크로파처리(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)가 있다.

본 연구는 국내 사과를 외국으로 수출할 경우 검역과정에서 우려되는 5 종의 해충, 복숭아심식나방, 복숭아순나방, 복숭아명나방, 사과에모무늬잎말이나방, 뱃나무응애에 대한 CATTSS 처리 조건을 결정하기 위한 연구 과정에서 이뤄졌다. 이전 연구에서 복숭아심식나방, 복숭아순나방 및 뱃나무응애에 대해서 CATTSS 처리 조건을 결정하였고(Son et al., 2012a,b; Jung et al., 2014), 본 연구에서는 나머지 두 종에 대한 CATTSS 처리 조건을 결정하였다. 이들 결과를 정리하면, 복숭아심식나방을 제외하고 두 심식류의 경우는 초기 가열단계 과정 이후 2 시간의 CATTSS 처리 시간을 요구하는 반면, 비심식충류는 모두 1 시간 또는 그 이하의 처리 조건에서 100% 사멸하였다. 즉, 심식충류를 대상으로 CATTSS 처리 조건을 결정하면, 비심식충류의 사멸은 자동적으로 수반된다는 것을 의미한다. 따라서 사과 해충을 사멸하는 조건은 대기 환경조건이 15% 이산화탄소 및 1% 산소 조건을 맞춘 후 시간 당 7°C의 가열 속도로 기기 내부 온도를 46°C로 상승시키고 이 조건에서 2 시간의 노출시간을 주면 이상의 5 종의 모든 해충을 사멸시킬 수 있다. 그러나 다양한 조건의 이산화탄소의 농도 및 산소 농도에 대한 연구 평가가 향후 진행될 필요가 있다.

CATTSS 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 가

해하는 해충에 대해 검토되었다(Neven et al., 2007). 일반적으로 HPP는 식품위생균이나 부패균을 소독하기 위해 약 85,000-90,000 pounds per inch² (psi)의 고압을 이용한다(Torres and Velazquez, 2005). 코들링나방의 경우 알 발육태가 가장 감수성이 낮아 30,000-80,000 psi에서 완전 소독이 이뤄지며, 과실 파리류는 25,000 psi 이상이면 모든 발육태에서 방제효과를 얻게 된다(Neven et al., 2007). 그러나 이들 해충이 가해하는 사과나 체리에 작물피해를 일으켜서 수확 후 소독 기술로 적용하기에는 문제가 있다. 다양한 CATTS 처리에 따라 여러 종의 사과에 대한 작물피해 조사에서 다른 수확 후 처리 기술에 비해 우수하며, 오히려 과실의 후숙을 지연시켜 저온 저장성을 높이고, 식물병 방제에도 도움을 준다는 보고가 있다(Neven et al., 2001). 따라서 CATTS 처리 기술은 가장 이상적 사과 해충 수확 후 처리 기술로 간주될 수 있다.

최근 국내에서 복숭아순나방붙이(*G. dimorpha*)가 사과 내부를 가해하는 것으로 보고되는 등 사과를 가해하는 나방류가 증가하고 있다(Choi et al., 2009; Jung and Kim, 2011). 따라서 국내 사과를 외국으로 수출하기 위해서는 새로운 심식충에 대한 CATTS 적용 기술들도 개발되어야 한다.

사 사

본 연구는 2013년도 동식물검역검사본부의 외부용역과제로 수행되었다. 사과에모무늬잎말이나방의 분자동정을 위해 PCR 프라이머 제작에 도움을 준 충북대학교 조수원 교수님께 감사드립니다.

Literature Cited

- Butz, P., Tauscher, B., 1995. Inactivation of fruit fly eggs by high pressure treatment. *J. Food Process. Preserv.* 19, 161-164.
- Byun, B.K., Lee, B.W., Lee, E.S., Choi, D.S., Park, Y.M., Yang, C.Y., Lee, S.K., Cho, S., 2011. A review of the genus *Adoxophyes* (Lepidoptera: Tortricidae) in Korea, with description of *A. paraorana* sp. nov. *Anim. Cell. Sys.* 16, 154-161.
- Carpenter, A., Potter, M., 1994. Controlled atmospheres. pp. 171-198. *In* Quarantine treatments for pests and food plants. eds. by J.L. Sharp, G.J. Hallman. Westview, Boulder, CO.
- Choi, K.S., 1998. The peach pyralid moth, *Dichocrocis punctiferalis* Gueneè (Lepidoptera: Pyralidae), adults: circadian rhythms in activity and seasonal occurrence at chestnut orchards. Ph.D. Dissertation, Seoul National University, Seoul, Korea.
- Choi, K.H., Lee, D.H., Byun, B.K., Mochizuki, F., 2009. Occurrence of *Grapholita dimorpha* Komai (Lepidoptera: Tortricidae), a new insect pest in apple orchards of Korea. *Kor. J. Appl. Entomol.* 48, 417-421.
- Choi, K.S., Han, K.S., Jeon, M.J., Chung, Y.J., Kim, C.S., Shin, S.C., Park, J.D., Boo, K.S., 2004. Seasonal occurrence of the peach pyralid moth, *Dichocrocis punctiferalis* at chestnut orchards in some provinces of Korea. *J. Kor. For. Soc.* 93, 134-139.
- Clary, D.O., Wolstenholme, D.R., 1985. The mitochondrial DNA molecule of *Drosophila yakuba*: nucleotide sequence, gene organization, and genetic code. *J. Mol. Evol.* 22, 252-271.
- Follett, P.A., Neven, L.G., 2006. Current trends in quarantine entomology. *Annu. Rev. Entomol.* 51, 359-385.
- Hollingsworth, R.G., Armstrong, J.W., 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., Tang, J., Neven, L.G., Drake, S.R., 1999. Quarantine treatment of cherries using 915 MHz microwaves: temperature mapping, codling moth mortality and fruit quality. *Postharvest Biol. Technol.* 16, 127-137.
- Jo, H., Kim, Y., 2001. Relationship between cold hardiness and diapause in the smaller tea tortrix, *Adoxophyes orana* (Fischer von Roslersthamm). *J. Asia Pac. Entomol.* 4, 1-9.
- Jung, C.R., Kim, Y., 2011. Different types of fruit damages of three internal apple feeders diagnosed with mitochondrial molecular markers. *J. Asia Pac. Entomol.* 16, 189-197.
- Jung, C.R., Kwon, K., Kim, Y., 2014. A postharvest control technique of the oriental fruit moth, *Grapholita molesta*, infesting apples using CATTS. *Kor. J. Appl. Entomol.* 53, 73-80.
- Jung, J.K., Han, K.S., Choi, K.S., Boo, K.S., 2000. Sex pheromone composition for field-trapping of *Dichocrocis punctiferalis* (Lepidoptera: Pyralidae) males. *Kor. J. Appl. Entomol.* 39, 105-110.
- Kells, S.A., Mason, L.J., Maier, D.E., Woloshuk, C.P., 2001. Efficacy ad fumigation characteristics of ozone in stored maize. *J. Stored Prod. Res.* 37, 371-382.
- Konno, Y., Honda, H., Matsumoto, Y., 1981. Mechanisms of reproductive isolation between the fruit-feeding and the Pinaceae feeding types of the yellow peach moth, *Dichocrocis punctiferalis* Guenee. *Appl. Entomol. Zool.* 25, 253-258.
- Lee, S., 1993. Handbook of integrated pest management in apple orchard. pp. 153-154.
- Liu, Y.B., 2003. Effects of vacuum and controlled atmosphere on insect mortality and lettuce quality. *J. Econ. Entomol.* 96, 1110-1117.
- McEvoy, M., 2003. Organic certification in the United States and Europe 9 Oct. 2007. <http://postharvest.tfrec.wsu.edu/PC2003E.pdf>.
- 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., 2000. Physiological responses of insects to heat.

- Postharvest Biol. Technol. 21, 103-111.
- Neven, L.G., 2008. Organic quarantine treatment for tree fruits. HortScience 43, 22-26.
- Neven, L.G., Drake, S.R., 2000. Comparison of alternative quarantine treatments for sweet cherries. Postharvest Biol. Technol. 20, 107-114.
- Neven, L.G., Drake, S.R., Shellie, K., 2001. Development of a high temperature controlled atmosphere quarantine treatment for pome and stone fruits. Acta Hortic. 553, 457-460.
- Neven, L.G., Hansen, L.D., 2010. Effects of temperature and controlled atmospheres on codling moth metabolism. Ann. Entomol. Soc. Am. 103, 418-413.
- Neven, L.G., Follett, P.A., Raghubeer, E., 2007. Potential for high hydrostatic pressure processing to control quarantine insects in fruit. J. Econ. Entomol. 100, 1499-1503.
- Neven, L.G., Mitcham, E.J., 1996. CATTs: controlled atmosphere temperature treatment system, a novel approach to the development of quarantine treatments. Am. Entomol. 42, 56-59.
- Neven, L.G., Rehfield-Ray, L., 2006. 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.
- NOP (National Organic Program), 2007. National Organic Program. <http://www.ams.usda.gov/nop/indexIE.htm>.
- Northwest Horticultural Council, 2006. Export manual. 9 Oct. 2007. <http://www.nwhort.org>.
- Obenland, D., Neipp, P., Mackey, B., Neven, L.G., 2005. Peach and nectarine quality following treatment with high temperature forced air combined with controlled atmospheres. HortScience 40, 1425-1430.
- Park, H., Park, I.J., Lee, S.Y., Han, K.S., Yang, C.Y., Boo, K.S., Park, K.T., Lee, J.W., Cho, S., 2008. Molecular identification of *Adoxophyes orana* complex (Lepidoptera: Tortricidae) in Korea and Japan. J. Asia Pac. Entomol. 11, 49-52.
- Paull, R.E., Armstrong, J.W., 1994. Insect pests and fresh horticultural products: treatments and responses. CAB International, Wallingford, UK.
- Pimentel D., Lach, L., Zuniga, R., Morrison, D., 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. by G.J. Hallman, C.P. Schwalbe. Science, Enfield, NH.
- Sharp, J.L., Hallman, G.J., 1994. Quarantine treatments for pests and food plants. Westview, Boulder, CO.
- Shrestha, S., Abdul, M., Kim, S., Kwon, M., Lee, D., Kim, Y., 2009. Diagnostic molecular markers of six lepidopteran insect pests infesting apples in Korea. J. Asia Pac. Entomol. 12, 107-111.
- Son, Y., Choi, K.H., Kim, Y., Kim, Y., 2010. Application of CATTs as a postharvest phytosanitation technology against the peach fruit moth, *Carposina sasakii* Matsumura. Kor. J. Appl. Entomol. 49, 37-42.
- Son, Y., Chon, I., Neven, L., Kim, Y., 2012a. Controlled atmosphere and temperature treatment system to disinfest fruit moth, *Carposina sasakii* (Lepidoptera: Carposinidae) on apples. J. Econ. Entomol. 105, 1540-1547.
- Son, Y., Lee, J., Kim, Y., 2012b. Controlled efficacy of controlled atmosphere and temperature treatment system against the hawthorn spider mite, *Tetranychus viennensis*. Kor. J. Appl. Entomol. 51, 131-140.
- Tang, J., Ikediala, J.N., Wang, S., Hansen, J.D., Cavalieri, R.P., 2000. High-temperature short-time thermal quarantine methods. Postharvest Biol. Technol. 21, 129-145.
- Toba, H.H., Howell, J.F., 1991. An improved system for mass-rearing codling moths. J. Entomol. Soc. Br. Columbia 88, 22-27.
- Torres, J.A., Velazquez, G., 2005. Commercial opportunities and research challenges in the high pressure processing of foods. J. Food Eng. 67, 95-112.
- Wang, S., Tang, J., Johnson, J.A., Micham, E., Hansen, J.D., 2002. Process protocols based on radio frequency energy to control field and storage pests in inshell walnuts. Postharvest Biol. Technol. 26, 265-273.