

CIPC 처리한 조·중생종 감자의 반지하 저장고를 이용한 하계 실온저장 중 맹아 억제 효과 비교

한규석¹ · 김병섭² · 홍세진² · 이영훈^{3*}

¹강원도농업기술원 감자연구소 연구사, ²강릉원주대학교 식물생명과학과 교수,

³강릉원주대학교 동해안생명과학연구원 연구교수

Sprouting Inhibition after CIPC Spraying on Early and Mid-season Potato Varieties during Storage in Semi-underground Warehouse at Room Temperature in Summer

Kyusuk Han¹, Byung-Sup Kim², Sae Jin Hong², and Young Hun Lee^{2*}

¹Research Officer, Potato Research Institute, Gangwon Agricultural Research & Extension Services, Gangneung 25437, Korea,

²Professor, Department of Plant Science, College of Life Sciences, Gangneung-Wonju National University, Gangneung 25457, Korea

³Research Professor, East Coast Life Science Research Institute, Gangneung-Wonju National University, Gangneung 25457, Korea

Abstract. This study was carried out to determine the sprouting period of early and mid-season varieties, which includes ‘Atlantic’, ‘Chubaek’, and ‘Superior’, during the summer storage period in a semi-underground warehouse without cooling system. And also it was investigated the effect of chlorpropham [Propan-2-yl N-(3-chlorophenyl)carbamate, CIPC] treatment on the sprouting inhibition for the varieties. This study was conducted to figure out a sprout inhibitory effect when CIPC was applied to 1kg of the potato tubers at concentrations of 10 mg and 20 mg which are lower than the treatment concentrations of ca 30 mg prescribed by the positive list system (PLS). The internal temperature of the warehouse used in this experiment was lowered by 5°C or more than the outside temperature. The difference between the lowest and highest temperature during the experiment throughout the day was 5°C. It showed the effect of reducing to 1/2 of the difference in outdoor temperature. As for the sprouting of potatoes, the extremely early variety ‘Chubaek’ sprouts appeared at the 6th week of storage of control and it was the fastest sprouting potato among the control groups of the varieties. Sprouting began to appear in the Superior at the 6th week of storage, while the ‘Atlantic’ sprouted at the 8th week of storage. The appearance of sprouts was suppressed in all treatment groups of ‘Atlantic’ and ‘Superior’ varieties in CIPC treatments. Sprouts were observed in all treatment groups of ‘Chubaek’ after the 7th week, but the elongations of the sprouts in tubers were completely inhibited until the 8th week of storage. ‘Atlantic’ and ‘Superior’ seemed to have a sprouting inhibitory effect even with a low CIPC concentration of 10 mg·kg⁻¹, with the exception of extremely early variety ‘Chubaek’ that breaks out of the dormancy quickly. Although weight loss occurred continuously during storage, it was minor loss of 0.7-1.6%. There was no consistent trend for changes of the loss in the varieties and CIPC treatments. Most common pathological disorder was the dry rot during the experiment, but only few were affected. The use of the tubers treated at 18°C and 90% RH for 10 days and the rack of refrigeration system which lead to lack of convection seemed to have suppressed the spread of pathogens.

Additional key words: chlorpropham, potato storage, respiration, *Solanum tuberosum*

서론

세계적으로 5대 작물에 속하는 감자(*Solanum tuberosum*)

는 2020년 기준으로 국내 재배면적은 약 23,600ha이며 미국, 맥류, 그리고 두류 다음이었으나 생산량은 약 533,000ton으로 미국 다음으로 많았다. 국내에서 고랭지 감자 재배면적과 생산량은 각각 약 3,400ha와 119,000ton으로 국내 전체 재배면적과 작물 생산량 대비 22.4%와 31.7%를 차지하고 있다. 강원도 고랭지 감자는 재배면적과 생산량이 국내 고랭지 감자

*Corresponding author: hunly@gwnu.ac.kr

Received March 30, 2023; Revised April 24, 2023;

Accepted April 28, 2023

의 99% 이상을 차지하고 있으며, 평년지를 포함한 강원도에서는 봄감자도 1,800ha에서 46,000ton 정도를 생산하고 있다(Statistics Korea, 2022). 봄감자는 생산하는 시기가 대략 7월 중순까지이며 이 시기에 집중 수확되어 있으나 출하량이 많아 여름감자가 생산되는 9월까지 대략 5-7주 정도 산지에 있는 저장고에서 유통 물량을 조절하고 있다. 고랭지 감자 저장은 강원도 고랭지 지역에서 감자를 포함한 농산물 저장은 전력수급이 원활하지 않은 1980년대에는 냉장 시스템을 갖추지 않은 반지하저장고를 이용하여 왔으며, 1990년대 이후 정부지원사업으로 이러한 반지하 저장고가 급격히 증가하였다.

반지하 저장고는 2가지 형태로 구분되며, 비탈면에 굴을 파서 만든 토굴형과 평지에 저장고 뒤쪽의 흙을 2-3m 낮게 파서 저장고가 비스듬하게 토양 속에 반쯤 묻히게 만드는 경사형이 있다. 2010년대 이후 전기보급이 원활해지면서 기존의 반지하 저장고에 냉장 시스템을 갖추거나 개량형 저장고를 확보하면서 냉장 시스템이 없는 무동력 반지하 저장고를 이용하는 경우는 급격히 감소하고 있는 추세이나 아직 재배단지에서는 반지하 저장고를 이용하고 있다. 현재까지도 고랭지 재배단지에서는 감자 저장은 개인농가 또는 마을단위 반지하 저장고가 이용되고 있으나, 반지하 저장고의 보유현황, 이용 실태, 그리고 감자를 포함한 농산물의 저장물량에 대한 통계조사는 전혀 보고되고 있지 않다.

봄감자의 생육후기부터 수확기는 우리나라에서 장마철을 거치게 되며, 무동력 반지하 저장고를 이용하여 봄감자를 하계에 저장할 경우 저장기간이 결정되는 주요 요인은 병 발생과 함께 멧아의 출현이다. 재배현장 조사에서 감자를 포함한 근채류를 기준으로 하계저장 시 반지하 저장고가 저장이 잘된다는 농가도 있으나 과학적 근거는 전혀 없으며 수확후 손실량에 대한 자료도 없다. 반지하저장고를 이용하여 동계기간 동안 장기저장 시 감자의 부패 발생이 급격히 증가한다는 보고(Park 등, 2007)는 있으나 여름철 반지하 저장고를 이용한 감자 저장에 대한 연구 또한 보고된 바가 없다.

멧아는 감자 저장 한계를 결정하는 가장 주요한 요인이며, 멧아를 억제하기 위한 대표적인 수확후 처리로 CIPC[Propan-2-yl N-(3-chlorophenyl)carbamate, chlorpropham] 처리법이 있다. CIPC는 미세소관의 구조와 기능을 변형시켜 생장점의 체세포 분열을 방해하여 멧아를 억제시킨다(Campbell 등, 2010; Kleinkopf 등, 2003). CIPC는 1962년 미국에서 제초제로 처음 등록되었으며(EPA, 1996), 1970년대부터 감자 멧아 억제에 대한 효과가 보고되기 시작하였다(Lee, 1970; Olofsson, 1970). 현재 미국에서는 실용적인 CIPC 처리법이 제시되어 이용되고 있으며(Corsini 등, 1979; Mahajan 등, 2008; Paul 등, 2016), 국내에서도 CIPC가 농약허용기준강화제도의 허

용물질목록 관리제도(positive list system, PLS)에 등록되어 있다(RDA, 2022). 한편 유럽연합에서는 인체 및 환경에 대한 유해성으로 인해 2020년에 CIPC 생산이 중단되었으며(Epp, 2021), 개별국가에 따라 재고물량 소진을 감안하여 사용금지가 결정되었다.

감자를 대상으로 CIPC 처리에 대한 결과는 외국에서 다양하게 보고되어 있으나(McGowan 등, 2006), 국내에서 재배된 감자 품종을 대상으로 한 CIPC 처리 연구는 동계 장기저장 기간 동안 멧아 억제효과를 조사한 경우가 학술적으로 검증된 유일한 사례이다(Choi 등, 1996). 단 1996년 보고된 이 연구에서 사용된 CIPC 처리농도 1.0%는 현재 PLS에서 규정하고 있는 처리농도인 0.5%(KCPA, 2022)보다 고농도 처리조건이기 때문에 현장에서 이용할 수 없는 결과이다. 국내에서 감자의 멧아억제를 위한 수확후 화학적 처리법으로는 CIPC 처리만이 허가되어 있어 실용적인 대안이 없는 실정이며, 가공용 감자를 취급하는 가공업체를 제외하면 농가에서 일반 식용 감자를 대상으로 CIPC를 처리하는 경우는 없는 것으로 파악된다. 감자의 멧아를 억제하기 위해 CIPC는 신선 감자 1kg의 표면에 16-22mg 정도가 도포되도록 처리하는 방법이 추천되고 있다(Lewis 등, 1997; Mehta 등, 2010; Knowles와 Knowles, 2013).

본 연구는 국내 품종을 대상으로 봄감자의 하계 저장기간 동안 반지하 저장고에서 품종별로 멧아 출현 시기를 확인하고, CIPC의 멧아 억제 효과를 구명하고자 수행되었다. 감자는 숙기형에 따라 물질의 생산과 괴경으로 전류와 집적하는 양상이 다르기 때문에(Park 등, 2004), 동일한 재배기간에 숙기가 다른 품종을 사용하였으며, 인체와 환경에 미치는 영향을 감안한 안전성 향상을 위해 PLS에서 규정하고 있는 0.5% 처리농도보다 낮은 저농도의 CIPC 처리가 멧아 억제 효과를 유지하는지 확인하였다.

재료 및 방법

1. 식물재료

본 실험에 이용된 감자 공시 품종은 재배기간을 기준으로 극조생종인 '추백(Chubaek)'과 조생종인 '수미(Superior)'와 중생종인 '대서(Atlantic)' 품종이다. 단 '대서'는 분류상 중생종에 포함되지만 봄재배 시 재배기간은 조중생종인 100일 정도로 설정하고 있다(Kim 등, 2005). 공시 품종의 생육기간을 100일로 정하여 강릉시 사천면에 위치한 포장에서 4월 말에 파종하여 7월 초순에 수확하였으며, 시비와 약제방제는 표준 재배법에 준하였다.

2. 수확후 처리 및 저장

PLS에 제시된 0.5% CIPC 침지처리 시 처리량은 침지 시간에 따라 차이는 있으나, 예비실험에서 감자 1kg에 0.5% 용액을 살포 처리할 때 6-8mL의 용매가 필요한 것으로 확인되었고, 이는 1kg 표면에 CIPC가 최소 30-40mg이 처리되는 양으로 계산된다. 수확한 감자를 18°C와 상대습도(RH) 90% 전후에서 10일간 큐어링한 후 PLS 기준보다 낮은 3가지 농도의 CIPC가 처리되었다. CIPC 처리는 감자 1kg당 10mg, 20mg, 30mg이 도포되도록 살포처리하여 1일간 18°C 조건에서 완전 건조시켰다. 괴경은 양파망에 2kg(괴경 12-15개)씩 담아 수확용 PE 상자에 적재 후 반지하 저장고에 입고하였으며 저장은 큐어링 기간을 제외하고 총 8주까지 하였다. 저장은 해발 260m에 위치한 냉장 시스템이 없는 토굴형 반지하 저장고를 이용하였다.

3. 조사항목

반지하저장고(Fig. 1)에서 하계저장 기간 동안 조사한 항목은 저장고 내부와 외부 온도, 멩아율, 감모율, 호흡 및 기체 발생, 그리고 병 발생 등이었으며, 멩아와 병 발생은 저장 후 8주차까지 조사하였으며, 이외의 항목은 저장 후 7주차까지 수행하였다. 반지하 저장고의 내·외부 온습도 차이는 저장 기간 동안 온습도 기록계를 저장고 내부와 외부에 설치하여 조사하였다.

감자의 멩아 출현(크기 3mm 이상)과 신장 정도는 농촌진흥

청에서 제시한 멩아조사 기준에 준하여 조사하였다(Kim 등, 2005). 감자의 멩아 길이와 멩아 정도(Fig. 2)는 괴경 5-6개를 1개 반복구로하여 처리구별로 5개의 반복구에서 조사하였다. 멩아의 길이는 반복구별로 3mm 이상 규정에 부합한 멩아 중에서 가장 길게 성장한 멩아의 길이를 측정하였다. 감자의 멩아수는 보통 3-6개 정도이며 조사시기별로 출현되는 멩아의 수와 길이가 괴경마다 차이가 있어, 멩아 정도 조사는 아래와 같이 구분하여 조사하였다. 0은 멩아 출현이 없는 경우, 1은 육안으로 멩아는 보이나 3mm 이하로 멩아로 규정되지 못하는 괴경, 2는 멩아는 출현하여 1개의 괴경에서 멩아수가 2개 이상이고 반복구별로 멩아가 발생한 감자가 3개 이상인 경우, 3은 모든 감자 괴경에서 멩아가 확실시 관찰되는 경우, 그리고 4는 모든 괴경에서 멩아가 출현하고 싹의 신장이 관찰된 경우로 구분하였다.

감모율은 괴경의 무게 변화를 조사하여 구하였으며, 저장초기 무게 대비 감모 정도를 측정하여 백분율로 환산하였다. 저장중 호흡, 에틸렌, 그리고 총휘발성 물질(VOC)은 감자의 기체 발생량이 낮으므로 4kg의 감자를 밀폐용기에 넣고 각각의 센서가 설치된 가스감지기(Gas Tiger2000, WADNI, China)으로 측정하였다.

4. 병원균의 분리 및 동정

저장 중 병징이 보이는 감자 괴경을 모두 수거하여 병원균을



Fig. 1. Types of semi-underground warehouses including cave shape (A) and slanted shape (B) located on Gangwon Province in Korea.

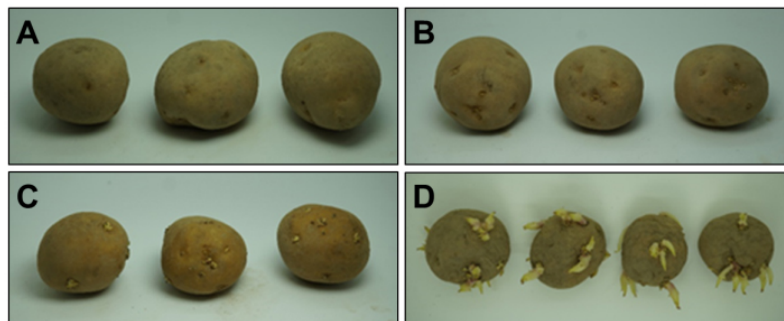


Fig. 2. Sprouting steps on potato tubers, including none (A), emergence of sprout less than 3 mm length (B), sprouting more than 3 mm length (C), and growth of sprout (D), respectively.

분리하였다. 병원균 분리를 위해 병징의 경계면이 포함된 감자 괴경 표면을 포함한 절편은 직경 1cm 크기로 절단하여 준비하였다. 감자 절편은 클린벤치 내에서 70% 에탄올에서 30초 그리고 1% 차아염소산나트륨(NaOCl)에서 2분간 살균한 후 멸균수로 1회 세척하여 멸균한 여과지 위에서 30분 건조시켰다. 감염된 괴경에서 건조한 절편은 10개의 물 한천배지(WA, water agar)에 1개씩 각각 배치하여 25°C 인큐베이터에서 3일 동안 배양하였다. 감자 절편에서 자란 병원균의 균사는 병원균의 순수 분리를 위해 선단 끝 부분을 잘라 감자한천배지(potato dextrose agar medium, PDA)에 치상하여 20°C 인큐베이터에서 7일간 배양하였다. 각각의 균은 균사 생장 형태를 확인한 후 PDA 배지에서 순수 분리하였으며, 분리된 시료는 ITS1/ITS4 primer 쌍을 이용하여 ITS 영역의 염기서열을 분석하였다. 계통수는 MEGA7을 이용하여 neighbor-joining method로 제작하였다.

5. 통계분석

통계처리를 위한 반복구는 조사항목에 따라 정하였으며, 멧아와 병 발생은 처리구를 기준으로 대조구는 5개 그리고 농도별 CIPC 처리구는 6개의 괴경을 1개의 반복구로 하여 총 5개의 반복구로 구성하였다. 무게 변화는 약 2kg의 괴경을 망에 담아서 3반복 이상, 그리고 기체 분석은 약 4kg의 물량을 기준으로 1회 조사하였다. 본 연구에서 통계 분석은 R Studio (ver.4.0.2)와 Excel 프로그램(Microsoft Office Professional Plus 2016, Redmond, WA, USA)을 이용하였고, 처리구 평균에 대한 유의성 검정은 분산분석(analysis of variance, ANOVA)을 실시한 후 Duncan의 다중범위검정(Duncan's multiple range test, DMRT)을 적용하여 5% 수준에서 실시하였다.

결과 및 고찰

1. 저장고 내·외부 온습도 차이

본 연구에서 7월 중순부터 9월 초순까지 감자 저장에 이용된 반지하저장고의 내부 온도는 16.7–21.7°C 그리고 상대습도(RH)는 98.1–100%였으며, 이때 외부 온도는 16.2–27.1°C 그리고 RH는 20–100% 범위를 나타내었다(Fig. 3). 실험 기간인 하계기간 동안 반지하 저장고 내부 온도 차이는 저장고 외부 온도인 11°C보다 낮은 약 5°C였고, RH는 98% 이상의 고습도를 유지하였다. 이는 그들의 경사지에 저장고가 위치하여 있어 태양으로부터의 직사광선의 조사가 적고 실험 기간에 장마로 저장고 내부 습도가 높게 유지되었기 때문으로 생각된다.

본 실험에 이용된 저장고는 해발 260m에 위치한 토굴형 저장고이며, 동일 기간에 해발 570m의 고랭지에 위치한 경사형 반지하 저장고의 온습도 변화 경향을 비교하였다. 경사형 저장고 밖의 외기 온도와 RH 범위는 각각 11.5–32.8°C와 46.2–97.3%이었다. 이때 저장고 내부 온도와 습도는 각각 16.4–27.7°C와 61.7–97.1%의 범위로 나타나 온도는 낮추고 습도는 높게 유지되는 효과를 보였으며, 특히 온도는 냉장설비가 없는 저장고이지만 최대 5.1°C가 저하되는 효과를 보였다. 그러나 경사형 저장고가 해발 570m의 고랭지에 위치하였음에도 불구하고 본 실험에 이용된 저고도에 위치한 토굴형 저장고보다 온도와 습도 편차가 심하였다. 이러한 결과는 경사형 저장고가 태양에 직접 노출되어 있기 때문으로 판단된다.

2. 멧아 억제 효과

품종별 감자의 멧아 생장 길이는 Table 1과 같다. ‘대서’와 ‘추백’ 감자에서는 큐어링 10일 이후 저장 5주까지는 모든 조사구에서 멧아가 출현하지 않았으나, ‘수미’는 대조구에서 길

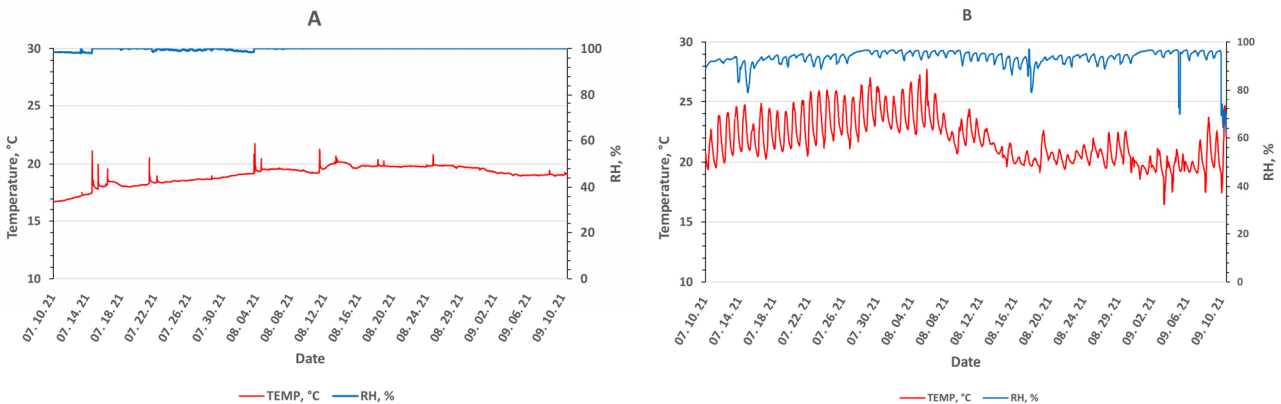


Fig. 3. Changes in temperature and relative humidity in cave shape (A) and slanted shape (B) semi-underground warehouses without cooling systems located at elevations of 260 m (A) and 570 m (B) during summer season in 2021.

Table 1. Longest sprouting length on tubers of ‘Atlantic’, ‘Chubaek’, and ‘Superior’ potato stored in cave shape semi-underground warehouse without cooling system located at elevations of 260 m during summer season in 2021.

Cultivar	CIPC (mg·kg ⁻¹)	Longest sprouting length (mm)			
		Storage period (week)			
		5	6	7	8
Atlantic	0	^z -	-	-	^y *
	10	-	-	-	-
	20	-	-	-	-
	30	-	-	-	-
Chubaek	0	-	5.7 b ^x	6.2 b	10.4 b
	10	-	-	*	*
	20	-	*	*	*
	30	-	*	*	*
Superior	0	*	4.6 a	5.6 a	8.9 a
	10	-	-	-	-
	20	-	-	-	-
	30	-	-	-	-

^zNone of sprouting.

^yLess than 3 mm of sprout length.

^xMean separation within columns by Duncan’s multiple range test at $p \leq 0.05$.

이 3mm 이하의 맹아가 1개체에서 관찰되었다. ‘대서’는 저장 8주차에 3mm 이하의 맹아가 보이기 시작하였으나 모든 CIPC 처리구에서 맹아가 관찰되지 않았다. ‘수미’는 저장 6주차에 대조구 1개의 괴경에서 4.6mm의 맹아가 관찰되었으나 이는 해당 시료의 생육 차이에 의한 것으로 ‘수미’의 맹아 출현시기로 보기는 어려울 것으로 판단된다. ‘수미’는 7주차부터 맹아가 관찰되기 시작하였으며, 8주차에 전체적으로 맹아가 출현하여 평균 8.9mm까지 커졌다. ‘추백’은 저장 5주차에 본격적으로 맹아가 출현하기 시작하여 평균 6.7mm까지 자랐으며 저장 8주차에는 10mm 이상으로 신장하였다.

본 실험에서 저장 중 맹아출현 정도 조사에서 모든 품종의 대조구와 CIPC 처리구의 감자 괴경에서는 저장 5주차까지는 맹아가 출현되지 않았으며(Table 2), ‘대서’는 대조구에서 저장 8주차에 3mm 이하의 맹아가 관찰되기 시작하였다. ‘수미’는 대조구에서 저장 6주차부터 맹아가 출현되기 시작하였으며, 저장 7주에 50% 전후, 그리고 저장 8주에 100% 맹아가 출현되고 생장이 진행되었다. ‘추백’은 대조구의 감자는 저장 6주에 이미 50% 이상의 맹아가 출현되어 저장 8주에는 모든 감자에서 싹의 생장이 진행되었다. ‘대서’와 ‘수미’는 모든 CIPC 처리구에서 맹아 출현이 억제되었다. 극조생인 ‘추백’

Table 2. Sprouting degree on potato tubers of ‘Atlantic’, ‘Chubaek’, and ‘Superior’ potato stored in cave shape semi-underground warehouse without cooling system located at elevations of 260 m during summer season in 2021.

Cultivar	CIPC (mg·kg ⁻¹)	Sprouting degree			
		Storage period (week)			
		5	6	7	8
Atlantic	0	0 ^{yz}	0	0	1
	10	0	0	0	0
	20	0	0	0	0
	30	0	0	0	0
Chubaek	0	0	2	3	3
	10	0	0	1	1
	20	0	1	1	1
	30	0	1	1	1
Superior	0	0	1	2	3
	10	0	0	0	0
	20	0	0	0	0
	30	0	0	0	0
Significance		**	*	*	*

^z0: None, 1: less than 3 mm of sprout emergence, 2: more than 50% of sprouting, 3: 100% of sprouting and sprout growth

^yValues are mean±SD (n=5).

*, **Correlation is significant at the 0.05 or 0.01 level, respectively.

의 괴경은 10mg·kg⁻¹ 처리 시 저장 7주에, 그리고 20mg·kg⁻¹ 이상 처리 시 저장 6주에 맹아 출현이 관찰되었다. 저농도 처리구에서 맹아 출현이 빨랐던 것은 실험에 이용된 괴경의 생리 활성 차이에 의한 것으로 10mg·kg⁻¹ 처리구에 휴면이 일찍 타파된 시료가 있었기 때문으로 판단된다. ‘수미’와 ‘대서’는 국내에서 PLS 제도에서 감자에 허용된 CIPC 처리농도의 1/3의 처리농도에서도 맹아 억제 효과가 뚜렷하였다. ‘추백’은 극조생종 특성상 휴면이 빠르게 타파되어 맹아 출현까지는 억제하지 못했던 것으로 생각된다. CIPC는 저농도의 처리로도 맹아 신장이 억제되므로 식용 감자의 실온 저장 시 맹아 억제와 신장에 유용하게 활용될 수 있다. CIPC 처리 시 10mg·kg⁻¹의 저농도에서도 맹아 억제 효과를 보였으며, 반지하 저장 시 ‘대서’는 8주 이상, ‘수미’는 7주까지, 그리고 ‘추백’은 6주까지 맹아가 억제되었다.

이러한 결과로 보아 ‘추백’은 여름철에 장기 저장용으로는 적합하지 않다고 판단된다. CIPC 처리 시 모든 품종이 맹아는 출현되나 싹의 생장이 정지되는 것으로 조사되었다. 한편 미국에서 상업적으로 제시된 aerosol 처리법에서 처리 농도는 대략

17mg·kg⁻¹이며, CIPC의 멍아 억제 기작 때문에 미국에서는 종서용 괴경에는 상업적인 CIPC 사용을 추천하지 않는다 (Lewis 등, 1997). 본 실험에서 aerosol 처리농도의 1/2 수준인 저농도 CIPC 처리구에서도 괴경의 멍아 신장이 완전히 억제되므로 종서에는 절대 사용해서는 안 되는 것으로 조사되었다.

3. 무게 감모율

감자는 공시 품종 모두 저장 중 무게가 감소하였으며, 대조구는 저장 8주차에 ‘대서’는 약 1.4%, ‘수미’는 약 1.1%, 그리고 ‘추백’은 1.2%의 감모율을 보였다(Fig. 4). CIPC 처리구도 대조구와 유사하게 저장 중 무게가 감소하였으며, CIPC 처리 시 처리 농도별로 일정한 경향은 없이 저장 8주차까지 0.7 – 1.6%의 감모가 발생하였다. CIPC 처리가 저장 시 감자 괴경의

감모율에 미치는 영향은 없는 것으로 판단된다. 온도 10°C와 RH 80 – 90%의 저장고에 감자를 2개월 저장 시 발생한 감자의 감모율은 약 2.5%이었다(Jeong 등, 1996). 저장 온도가 6°C 이상 높고 온도편차가 4°C가 발생한 본 연구에서 세 품종 모두 감자 감모율이 기존의 결과보다 0.9 – 1.8% 정도 낮은 수준을 보였다. 모든 처리에서 기습 또는 필름 포장 없이 감자의 무게 감소가 크게 억제된 것은 저장기간이 장마와 겹쳐 98% 이상의 고습도가 유지되었고, 저장고 내에 냉장 시스템이 없어 공기 유동이 극히 제한되어 원인으로 판단된다.

4. 호흡 및 기체 발생

세 품종의 감자 호흡률은 수확 당일 25 – 30mL·kg⁻¹·h⁻¹ 정도였으며, ‘대서’는 낮고 ‘수미’와 ‘추백’이 다소 높았으나 큰

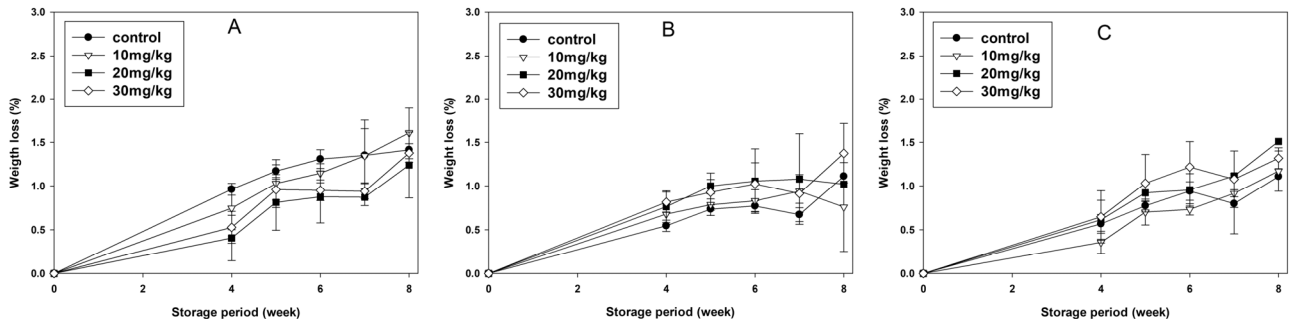


Fig. 4. Weight loss of tuber of potato ‘Atlantic’ (A), ‘Chuback’ (B), and ‘Superior’ (C) stored in cave shape semi-underground warehouse without cooling system located at elevations of 260 m during summer season in 2021. Error bars represent standard deviation (SD) (n = 3).

Table 3. Respiration of ‘Atlantic’, ‘Chuback’, and ‘Superior’ potato stored in cave shape semi-underground warehouse without cooling system located at elevations of 260 m during summer season in 2021.

Cultivar	CIPC (mg·kg ⁻¹)	Respiration (mL·kg ⁻¹ ·h ⁻¹)					
		at Harvest	after Curing	Storage period (week)			
				4	5	6	7
Atlantic	0	24.27	1.66	0.62	0.86	3.18	2.15
	10			0.86	1.01	3.38	3.74
	20			1.59	1.23	3.16	2.97
	30			1.59	0.88	3.14	1.98
Chuback	0	28.29	1.32	1.12	2.21	2.41	1.51
	10			1.44	2.73	3.29	1.81
	20			2.04	3.33	3.44	1.59
	30			1.20	3.16	4.32	1.94
Superior	0	29.78	1.37	4.79	1.25	2.00	2.09
	10			4.28	1.59	1.94	2.34
	20			3.91	2.09	2.28	1.42
	30			3.63	2.39	1.91	1.63

차이는 없었다(Table 3). 10일간의 큐어링 후 감자의 호흡률은 1.3 – 1.7mL·kg⁻¹·h⁻¹였으며, 수확 당일의 호흡률 대비 5 – 7%까지 크게 저하되었다. 저장기간을 기준으로 ‘대서’는 저장 후기인 6주차에, ‘수미’는 저장 초기인 4주차에, 그리고 ‘추백’은 저장 중기인 5 – 6주차에 호흡률이 약간 상승하였다. 감자는 품종별로 CIPC 처리에 따라 맹아 출현이 억제되었으나 호흡률의 변화에는 일정한 경향이 관찰되지 않았다. CIPC 처리 농도에 따른 저장 중 호흡률 변화에 있어서도 대조구보다 CIPC 처리 시 호흡률이 낮아지거나 고농도 처리 시 호흡이 낮아지거나 하는 등의 일정한 경향이 없었다. 이는 큐어링 후 저장 시 이미 호흡이 크게 저하되었으므로 CIPC 처리 시 맹아가 억제되어도 호흡이 더욱 억제 효과는 나타나지 않았던 것으로 판단된다.

한편 저장 중 0.01ppm 감도로 측정한 에틸렌과 총휘발성 물질 조사에서 일부 처리구에서 에틸렌이 0.2 – 0.3ppm 정도 발생하는 경우를 제외하면 두 기체 성분은 세 품종 모두 모든 처리구의 감자에서 거의 검출되지 않았다(Fig. 5). 에틸렌이 검

출되었던 것은 저장 중 일부 감자 시료에서 병의 발생에 원인이 있었던 것으로 판단되며, 병에 괴경이 오염이 되었어도 총 휘발성 물질의 발생량은 극히 미미하였다.

5. 병리장해

공시 품종의 감자 저장 중 육안으로 조사된 병리장해는 전체적으로 매우 적었다(Fig. 6). 감자는 저장 중 다양한 병에 취약하고, 특히 마른썩음병(건부병)으로 인한 손실은 최대 25%에서 저장기간 동안에는 60%까지 높아지는 것으로 보고된 바 있다(Wharton 등, 2007; Tiwari 등, 2020). 정확한 통계나 보고는 없지만, 국내에서도 저장 중 발생하는 병은 대부분 마른썩음병으로 알려져 있다(Lee, 1989). 외관상 저장 6주차까지는 모든 처리에서 발병 개체가 없었다. 저장 7주차부터 ‘대서’에서 대조구를 포함하여 처리구별로 1 – 2개의 괴경에서 병이 관찰되었으며, ‘수미’와 ‘추백’은 전체적으로 2 – 3개의 병이 발생하였다. 품종 및 CIPC 처리구 간 차이가 나타나지 않았다.

발병된 괴경을 수집하여 병원균을 동정한 결과(Fig. 7) 대부

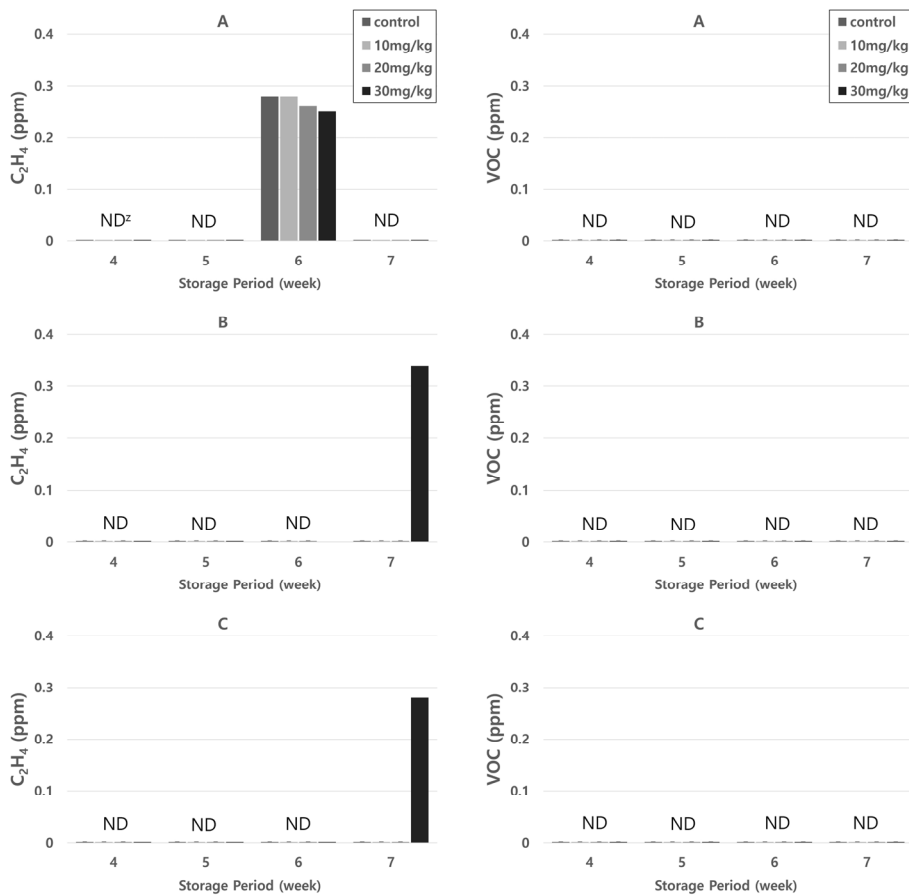


Fig. 5. Ethylene and VOC production of ‘Atlantic’ (A), ‘Chuback’ (B), and ‘Superior’ (C) potato stored in cave shape semi-underground warehouse without cooling system located at elevations of 260 m during summer season in 2021. ND = not detected, Limit of detection (LOD) = 0.1 ppm.

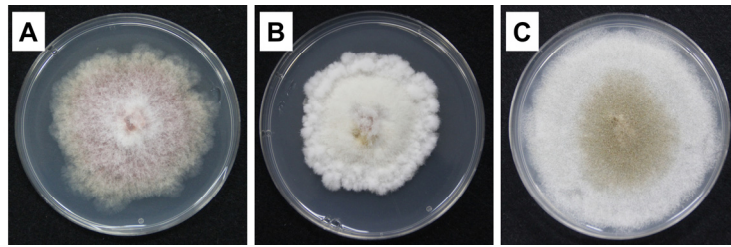


Fig. 6. Colony morphology of the isolated fungal species *Fusarium oxysporum* (A), *Fusarium* sp. (B), and *Mucor* sp. (C), on potato stored in cave shape semi-underground warehouse without cooling system located at elevations of 260 m during summer season in 2021.

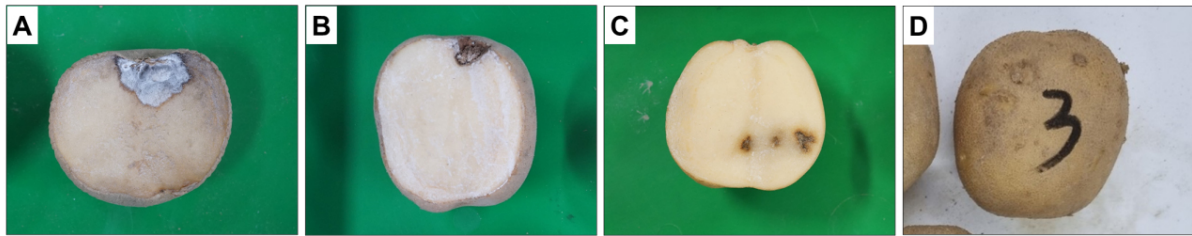


Fig. 7. Pathological disorders on tubers including infection by *Fusarium* of 'Chuback' (A), dry rot of 'Atlantic' (B) and 'Superior' (C), and powdery scab of 'Atlantic' (D) potato stored in cave shape semi-underground warehouse without cooling system located at elevations of 260 m during summer season in 2021.

분 마른썩음병의 원인균으로 보고된 *Fusarium*속 균이었다 (Bojanowski 등, 2013). 그러나 건부병 발생 개체도 큐어링 처리에 의해 병의 진행이 억제되어 표면에만 발생한 개체가 대부분이었다. 저장 중 건부병으로 진행되는 *Fusarium*속 균이 괴경과 연결된 복지 부위에 감염되어 진균이 퍼진 개체도 '추백'에서 조사되었다(Figs. 6A, 7C). 저장기간 동안 저장고 내 RH가 높음에도 병 발생이 적었던 것은 우선 18°C에서 10일간 큐어링 처리한 감자를 육안 선별하여 건전한 감자를 실험에 이용했기 때문으로 생각된다. 또한 일반적으로 저장고 내에서는 유닛쿨러에 의한 공기순환으로 병의 전파가 촉진되는데, 본 실험에 이용된 반지하 저장고는 냉장 시스템이 없어 공기의 대류현상에 의해 발생하는 병의 전파가 거의 없었기 때문에 판단된다.

적 요

감자의 저장 한계기간을 결정하는 가장 주요한 요인은 병과 특히 멧아의 발생이다. 본 연구는 조·중생종 봄감자의 하계 저장기간 동안 고령지 감자 재배단지에서 이용되고 있는 냉장 시스템이 없는 반지하 저장고에서 '대서', '수미', 그리고 '추백' 품종의 멧아 출현 시기를 확인하고, CIPC 처리 시 품종별 감자 괴경의 멧아억제 효과를 구명하고자 수행되었다. 본 연구는 농약 허용물질목록관리제도(PLS, positive list system)

에서 규정한 처리농도보다 낮은 농도인 10mg와 20mg, 그리고 규정에 준하는 농도인 30mg의 CIPC가 감자 괴경 1kg에 도포되도록 처리 시 멧아 억제 효과를 보이는지 구명하였다. 본 실험에 이용된 토굴형 저장고는 내부 온도가 외기 온도보다 5°C 이상 저하되었고, 특히 주야간 온도를 포함하여 실험 기간 동안 최저와 최고 온도의 차이가 5°C 정도로 외기온도 차이의 1/2 수준으로 줄었다. 품종별 감자의 멧아는 대조구에서 극조생종인 '추백'이 가장 빨라 저장 6주차에 50% 이상 멧아가 출현하였고 신장도 진행되었으며, '수미'는 저장 6주차에, '대서'는 저장 8주차에 각각 멧아가 출현하기 시작하였다. CIPC 처리 시 '대서'와 '수미'는 모든 처리구에서 멧아 출현이 억제되었다. '추백'은 7주차에 모든 처리구에서 멧아는 관찰되었으나 저장 8주차까지 괴경에서 멧아의 신장은 완전히 억제되었다. 휴면이 빨리 타파되는 극조생종인 '추백'을 제외하면 '대서'와 '수미'는 CIPC 처리 시 10mg·kg⁻¹의 저농도 처리로도 멧아억제 효과를 보이는 것으로 판단된다. 저장 중 지속적으로 감모가 발생하였으나 저장 8주차까지 0.7–1.6%의 낮은 감모율을 보였으며, 품종 또는 CIPC 처리에 따른 변화는 일정한 경향이 없었다. 품종별 및 CIPC 처리구별로 저장 중 육안으로 관찰되는 병리장해는 대부분 마른썩음병(건부병)이었으나 발병 개체는 많지 않았다. 감모율과 병 발생이 적었던 이유는 본 실험에 이용된 시료가 18°C와 RH 90%에서 10일간 큐어링 처리한 후 육안 선별한 건전한 괴경이었으며,

저장고에 냉장시스템이 없어 대류현상이 발생하지 않아 무게 감소와 병원균의 확산이 억제되었기 때문으로 사료된다.

추가주제어: 감자, 감자 저장, 클로르프로팜, 호흡

사 사

본 성과물은 농촌진흥청 연구사업(과제번호: PJ01560603)의 지원에 의해 이루어진 것임.

Literature Cited

- Bojanowski A., T.J. Avis, S. Pelletier, and R.J. Tweddell 2013, Management of potato dry rot. *Postharvest Biol Technol* 84:99-109. doi:10.1016/j.postharvbio.2013.04.008
- Campbell M.A., A. Gleichsner, R. Alsbury, D. Horvath, and J. Suttle 2010, The sprout inhibitors chlorpropham and 1,4-dimethylnaphthalene elicit different transcriptional profiles and do not suppress growth through a prolongation of the dormant state. *Plant Mol Biol* 73:181-189. doi:10.1007/s11103-010-9607-6
- Choi Y.M., S.L. Lyu, H.T. Lim 1996, Effects of sprout suppressants and storage temperatures on processing quality of potato tubers grown in summer season. *J Korean Soc Hortic Sci* 37:666-670. (in Korean)
- Corsini D., G. Stallknecht, and W. Sparks 1979, Changes in chlorpropham residues in stored potatoes. *Am Potato J* 56:43-50. doi:10.1007/BF02851122
- Environment Protection Agency (EPA) 1996, R.E.D. Facts, Chlorpropham. United States Environment Protection Agency, Washington, D.C., USA.
- Epp M. 2021, The worry with CIPC. *Europeanseed*. Available via <https://european-seed.com/2021/04/the-worry-with-cipc/>
- Jeong J.C., K.W. Park, and Y.J. Yang 1996, Effect of storage temperature and reconditioning on the processing quality of potato (*Solanum tuberosum* L.) tubers. *J Korean Soc Hortic Sci* 37:362-368. (in Korean)
- Kim S.Y., C.G. Kim, and J.C. Jeong 2005, Potato book. National Institute of Highland Agriculture, RDA, Pyeongchang, Korea.
- Kleinkopf G.E., N.A. Oberg, and N.L. Olsen 2003, Sprout inhibition in storage: Current status, new chemistries and natural compounds. *Am J Potato Res* 80:317-327. doi:10.1007/BF02854316
- Knowles L., and N.R. Knowles July 10, 2013. Enhancement of potato tuber sprouting inhibitors using various combinations of agents. European Patent Office. No.EP2611294A2
- Korea Crop Protection Association (KCPA) 2022, 2022 Guide book of pesticides. Samjung Press, Seoul, Korea, p 1473. (in Korean)
- Lee M.S. 1970, Effects of isopropyl AT-(3-chlorophenyl) carbamate on sprouting and metabolism of potato tubers. PhD Dissertation, Cornell University, NY, USA.
- Lee S.G. 1989, Potato storage and processing technology. *Food Ind* 98:42-56. (in Korean)
- Lewis M.D., M.K. Thornton, and G.E. Kleinkopf 1997, Commercial application of CIPC sprout inhibitor to storage potatoes. Cooperative Extension System·Agricultural Experiment Station. College of Agriculture, University of Idaho.
- Mahajan B.V.C., A.S. Dhatt, K.S. Sandhu, and A. Garg 2008, Effect of CIPC (isopropyl-N (3-chlorophenyl) carbamate) on storage and processing quality of potato. *J Food Agric Environ* 6:34-38.
- McGowan G., H. Duncan, A. Briddon, A. Cunnington, and A. Jina 2006, Review and development of the CIPC application process and its impact on potatoes stored for processing. Project report 2006/2. British Potato Council, Oxford, UK.
- Mehta A., B. Singh, R. Ezekiel, and D. Kumar 2010, Effect of CIPC on sprout inhibition and processing quality of potatoes stored under traditional storage systems in India. *Potato Res* 53:1-15. doi:10.1007/s11540-010-9146-1
- Olofsson B. 1970, Chemicals and methods to inhibit sprouting during storage of potatoes. *Medd St VaxtskAnst* 14:323-340.
- Park J.N., J.P. Kang, J.H. Kyoung, and C.S. Jeong 2007, Effects of warehouse types and packaging methods on the quality of potatoes after wound-healing. *Korean J Hortic Sci Technol* 25:311-315. (in Korean)
- Park Y.E., H.M. Cho, J.H. Cho, S.Y. Kim, and Y.T. Lim 2004, Effect of cultural conditions and maturity on processing characteristics of potato. *Korean J Breed Sci* 36:276-282. (in Korean)
- Paul V., R. Ezekiel, and R. Pandey 2016, Sprout suppression on potato: need to look beyond CIPC for more effective and safer alternatives. *J Food Sci Technol* 53:1-18. doi:10.1007/s13197-015-1980-3
- Rural Development Administration (RDA) 2022, Pesticide safety information system. Available via <https://psis.rda.go.kr/psis/agc/res/agchmRegistStusLst.ps?menuId=PS00263> (in Korean)
- Statistics Korea 2022, Cultivated area of food crops (field). Korean Statistical Information Service. Available via https://kosis.kr/statisticsList/statisticsListIndex.do?vwcd=MT_ZTITLE&menuId=M_01_01 (in Korean)
- Tiwari R.K., R. Kumar, S. Sharma, V. Sagar, R. Aggarwal, K.C. Naga, M.K. Lal, K.N. Chourasia, D. Kumar, and M. Kumar 2020, Potato dry rot disease: current status, pathogenomics and management. *3 Biotech* 10:503. doi:10.1007/s13205-020-02496-8
- Wharton P., R. Hammerschmidt, and W. Kirk 2007, *Fusarium* dry rot. Michigan potato diseases series. Michigan State University, MI, USA.