

청동방아벌레 (*Selatosomus puncticollis* Mot.) 유충에 의한 감자 품종별 피해도 검정과 저항성 관련요인 분석

Screening of Potato Cultivars for Infestation by *Selatosomus puncticollis* Mot. (Coleoptera: Elateridae) and Analysis of Factors Associated with Resistance

권 민 · 박천수 · 함영일 · 안용준¹

Min Kwon, Cheon-Soo Park, Young-Il Hahm and Yong-Joon Ahn¹

Abstract – In a previous report, 50 potato cultivars were screened for infestation levels by the coppery click beetle (*Selatosomus puncticollis* Motschulsky) in the field. Subsequently, we selected 10 potato cultivars (Anco, Atlantic, Bintje, Dejima, Denali, Jopung, Irish Cobbler, Namsuh, Shepody, and Superior) to evaluate feeding preferences by wireworms, and to analyze some factors associated with resistance. The injury rates and number of holes in potato tubers damaged by larvae of *S. puncticollis* were checked in the field and laboratory. Additionally, some of their chemical characters (contents of glycoalkaloids, total-nitrogen, Ca, K, Mg, sugars, and starch) were quantified. And finally correlation analysis was conducted to see whether there is a possible relationship between these characteristics and the damage level. The tuber injury rates by *S. puncticollis* larvae were generally high showing 19% to 73% of damage level. The highest number of tuber hole damaged by *S. puncticollis* larvae was found on cv. Namsuh, but generally fewer on cvs. Anco, Atlantic, Bintje, Denali and Superior. No activities for α -chaconine, α -solanine and α -tomatine at a concentration of 2,500 ppm were found to *S. puncticollis* larvae. The contents of glycoalkaloids in tuber were different depending on cultivars. In tubers, cv. Superior contained the highest level of 18.8 mg%, but cv. Irish Cobbler had the lowest level of 6.39 mg%. Concentrations of reducing sugars and total free sugars in tubers of cv. Namsuh were 0.71% and 2.95%, but 0.26% and 1.77% in those of cv. Dejima, respectively. For the content of potato starch, cvs. Bintje, Dejima and Irish Cobbler showed higher level, but cvs. Jopung and Shepody lower. The highest contents of total nitrogen, Ca, K and Mg in tuber were found on cvs. Anco, Atlantic, Anco and Jopung, respectively. From correlation analyses, injury rate by *S. puncticollis* larvae was correlated with total nitrogen content ($r = -0.71435^*$) and total sugar content in tuber ($r = 0.78018^*$). Such information will become essential in developing integrated pest management programs and also in breeding new potato cultivars resistant to the wireworms.

Key Words – Potato, *Selatosomus puncticollis* Motschulsky, Infestation level, Glycoalkaloids, Total sugars, Starch, Total nitrogen, Ca, K, Mg

초 록 – 청동방아벌레 (*Selatosomus puncticollis* Motschulsky) 유충에 의한 50종 감자 (*Solanum tuberosum* L.) 품종의 피해정도를 검정한 전보의 결과를 바탕으로, 10개 품종(수미, 조풍, 남작, 대서, 대지, 세풍, 남서, Anco, Bintje, Denali)의 괴경피해율과 피해도를 포장과 실내에서 검정하였다.

농촌진흥청 고령지농업시험장 작물과 (Dept. Crop, National Alpine Agricultural Experiment Station, RDA, Pyongchang, Kangwon 232-950, Korea)

¹ 서울대 농업생명과학대 농생명공학부 (School of Agricultural Biotechnology, College of Agriculture and Life Science, Seoul National University, Suwon 441-744, Korea)

또한 품종별 피해도 차이에 대한 원인을 구명하고자 괴경에 함유된 여러가지 성분들 (glycoalkaloids, 당, 전분, 전질소, Ca, K, Mg)의 함량을 측정하였다. 청동방아벌레 유충에 대한 10개 품종의 포장 피해괴경율은 19~73%로 높았다. 실내검정 결과 청동방아벌레 유충에 의한 피해구멍수는 남서 품종에서 많았으나, 수미, 대서, Anco, Bintje, Denali 품종은 상대적으로 적었다. 또한 방아벌레 유충에 대한 α -chaconine, α -solanine, α -tomatine의 활성을 실내에서 검정한 결과, 2,500 ppm 농도에서 어떠한 활성도 관찰되지 않았다. 괴경의 glycoalkaloids 함량은 품종별로 차이가 많았는데, 수미 품종은 18.83 mg%로 가장 많이 함유하였으나, 남작 품종은 6.39 mg%로 가장 적었다. 괴경중 환원당과 총당 함량은 남서 품종에서 각각 0.71%와 2.95%였으나, 대지 품종은 0.26%와 1.77%였다. 전분 함량은 대지, 남작, Bintje 품종이 많았던 반면 조풍과 세풍 품종에서는 적었다. 괴경중 전질소, K를 가장 많이 함유한 품종은 Anco 품종이었고, Ca는 대서 품종에 Mg는 조풍 품종에 가장 많았다. 이러한 결과를 바탕으로 품종별 해충의 피해도와 저항성 관련 요인들간의 상관성을 분석한 결과, 청동방아벌레 유충에 의한 피해는 괴경중 전질소 함량과는 부의 상관($r = -0.71435^*$)이 있었으나, 괴경중 총당 함량과는 정의 상관($r = 0.78018^*$)을 보였다. 이러한 결과는 해충종합방제 프로그램을 확립하고 또한 새로운 내충성 품종의 육성에 기초자료가 될 것으로 생각된다.

검색어 - 감자, 청동방아벌레 유충, 피해도, glycoalkaloids, 총당, 전분, 전질소, Ca, K, Mg

국내에서 감자를 가해하는 해충은 7목 18과 40여종으로 보고되어 있으며 (Kwon *et al.*, 1998), 그 중에서 매년 발생이 많아 피해가 큰 해충은 약 10여종으로, 각종 바이러스를 매개하는 진딧물류, 제주도를 포함한 남부지방에서 최근 대발생하여 큰 피해를 주고 있는 오이총채벌레 (*Thrips palmi* Karny)와 아메리카잎굴파리 (*Liriomyza trifolii* Hübner), 남부지방을 중심으로 재배중인 감자와 창고내에 저장중인 감자에 피해를 주는 감자빨나방 (*Phthorimaea operculella* Zeller), 전국적으로 매년 발생이 증가하는 경엽을 가해하는 담배거세미나방 (*Spodoptera litura* F.), 파밤나방 (*Spodoptera exigua* Hübner), 큰28점박이무당벌레 (*Henosepilachna vigintioctomaculata* Motschulsky), 토양속에서 괴경을 가해하는 방아벌레류 등이다.

감자는 지하괴경을 영양번식시켜 씨감자를 얻기 때문에, 토양중 방아벌레류 유충, 굼벵이류, 거세미나방류 유충 등의 해충발생이 많아질 경우 씨감자의 질이 떨어져 후대에서의 적정량의 씨감자 확보에 지장을 준다 (Onsager, 1975; Toba *et al.*, 1981). 방아벌레 유충 (wireworms)은 땅속에서 감자의 괴경을 파고 들어가 식해하는데 철사로 찢어 놓은 듯한 구멍을 남기므로, 그곳을 통하여 토양병원균이 침입하여 2차적 피해를 주기도 한다. 우리 나라 씨감자의 주요 생산지인 해발 800 m 부근의 대관령 지역에서는 1980년대부터 청동방아벌레 (*Selatosomus puncticollis*) 유충에 의한 피해면적과 괴경피해율이 증가하고 있고, 최근에는 토양살충제 처리 등의 방제노력을 기울이지 않은 감자포장에서는 50% 이상의 괴경피해율이 발생하고 있어 씨감자 생산에 큰 어려움을 겪고 있다 (Kwon *et al.*, 1997).

현재 우리나라에는 10개 감자품종이 장려품종으로 등록되어 있으며 이들 품종의 각각에 대한 재배생리적 특성이나 형태적 특성에 관한 사항은 새로운 품종의 등록시 요구사항이므로 이미 밝혀져 있는 상태이

지만, 감자의 주요 해충들에 대한 품종간 피해정도의 차이와 내충성에 관련된 화학적, 물리적 특성에 관한 연구는 전무하다. 외국 도입품종의 경우 해당국가에서 문제시되는 해충에 대한 피해 양상이나 저항성 관련 요인에 대한 연구는 많이 이루어져 있지만 (Hibbs *et al.*, 1964; Gibson and Valencia, 1978; Carter, 1987; Sanford *et al.*, 1992; Jonasson and Olsson, 1994), 우리나라에서 육성한 품종의 경우에는 국내 문제 해충에 대한 피해도의 차이에 대한 연구는 미미한 단계이다.

본 연구는 토양중에서 감자 괴경을 가해하는 청동방아벌레 유충에 대한 감자 주요 장려품종의 피해도를 검정하였고, 그에 관련된 저항성 요인들을 구명하여, 차후 내충성 품종육성을 위한 육종목표를 제시하고 나아가 감자해충의 종합관리 체계화를 위한 기초 자료를 제공하고자 실시하였다.

재료 및 방법

1. 해충피해도 검정

품종선발을 위해 포장검정을 끝낸 50개 품종 (Table 1) 중에서, 우리나라 장려품종 7개와 피해도가 낮았던 3개 품종을 대상으로 1998년에서 1999년까지 2년간 고령지농업시험장의 대관령시험포장에서 수행하였다. 각각의 씨감자를 25 cm × 75 cm 간격으로 시험구당 32~80주를 3반복 파종하였고, 파종부터 조사종료시까지 살충제는 일체 처리하지 않았고, 파종직후에 제초제 1회 처리와 감자역병 방제를 위해 역병예찰 프로그램에 따른 살균제 살포를 수 회 실시하였다. 그 외의 모든 시비와 재배방법은 일반농가의 관행에 준하여 적용하였다. 수확시에 시험구당 총괴경수와 피해 괴경수를 전수 조사하여 괴경 피해율 (피해괴경수/총 괴경수 × 100)을 산출하였다. 피해괴경은 방아벌레 유충에 의한 침입구멍의 유무로써 판정하였고, 하나의

Table 1. Country of origin and tuber characteristics of 50 potato cultivars tested

Cultivar	Country of origin	Tuber shape	Skin color	Remarks
AK-Red	USA	Round	Pale red	
Alamo	USA	Oval	White	
Allegany	USA	Oval	White	
Anco	Germany	Oval	Pale yellow	Selected
Atlantic	USA	Oval	White	Selected
Bintje	Netherlands	Oval	Yellow	Selected
Cardinal	Netherlands	Oval	White	
Carhon	USA	Oval	Yellow	
Corine	Netherlands	Long oval	Yellow	
Dejima	Japan	Oval	White	Selected
Denali	USA	Oval	Pale yellow	Selected
Desiree	Netherlands	Oval	Pale red	
Eigenheimer	USA	Oval	Pale red	
Epicure	Australil	Oval	Pale red	
Hatsuhubuki	Japan	Oval	Pale yellow	
Irish Cobbler	USA	Oval	White	Selected
Isola	Germany	Oval	Pale yellow	
Jidose	Japan	Oval	White	
Jopung	Korea	Oval	White	Selected
Kumsisuh	Japan	Oval	Pale red	
Marijke	Netherlands	Long oval	Pale yellow	
Maritta	Australia	Oval	Pale yellow	
Namsuh	Korea	Oval	Yellow	Selected
Nicola	Germany	Oval	Yellow	
Norgold Russet	USA	Oval	Dark yellow	
Norin#2	Japan	Oval	Yellow	
Norland	USA	Oval	Pale red	
Ojiro	Japan	Oval	Pale yellow	
Penobscot	USA	Oval	White	
Pentland Envoy	Newzealand	Oval	Pale yellow	
Recent	Netherlands	Round	Pale yellow	
Red LaSoda	USA	Oval	Red	
Red Pontiac	USA	Oval	Pale red	
Renemahue	CIP	Oval	White	
Rosa	USA	Oval	Yellow	
Russet Norkotah	USA	Oval	Purple	
Sandra	Canada	Oval	Pale yellow	
Sebago	USA	Oval	White	
Shepody	Canada	Very long oval	White	Selected
Shimabara	Japan	Oval	Yellow	
Shinyuseo	Japan	Oval	Pale red	
Sieglinde	Germany	Oval	Pale yellow	
Snowchip	USA	Round	Red	
Some Miore	England	Oval	Yellow	
Spunta	Netherlands	Long oval	White	
Superior	USA	Oval	Yellow	Selected
Toyoshiro	Japan	Oval	White	
Warba	USA	Oval	Pale yellow	
Wheeler	Japan	Oval	White	
Whitu	Newzealand	Oval	White	

괴경에 여러개의 피해구멍이 있어도 하나의 피해괴경으로 간주하였다.

실내검정에 사용한 유충은 수확기에 포장에서 채집하였으며 15 cm 두께의 흙과 함께 유리용기(ψ 30 cm \times 25 cm)에 넣어 두껍을 덮고 시험기간동안 절식시키면서 실험에 이용하였다. 건조를 막기 위해 15일마다 물을 조금 뿌려주는 것외에는 특별한 처리는 하지 않았다. 각 품종별로 반으로 절단한 네 개의 괴경을 시험에 이용하였고, 채질한 흙을 미리 칸 플라스틱 용기(ψ 30 cm) 속에 절단괴경을 하나씩 넣고 유충 20마리를 접종한 후 빛이 들어가지 않도록 위를 잘 덮어 두었다. 사후후 괴경을 꺼내어 유충에 의한 피해구멍수를 모두 조사하여 품종간 차이를 평가하였다. 이때 침입의 흔적만 보이고 코르크화 된 경우에는 제외하였고, 육안으로 보아서 침입구멍이 뚜렷한 경우에만 피해구멍으로 간주하였다.

청동방아벌레 유충에 대한 glycoalkaloids의 활성을 검정하기 위하여, 표준품 solanine (95%, Sigma), chaconine (95%, Sigma), tomatine (98%, Sigma)을 methanol에 녹여 1,000 ppm과 2,500 ppm 농도의 용액으로 조제하여 검정에 이용하였다. 청동방아벌레 유충을 핀셋으로 집어서 각 용액에 총체를 완전히 담구었다가 바로 꺼내어 풍건 후 감자조각(조품)이 든 페트리디시(ψ 9 cm)에 5마리씩 접종하여 24시간후에 생사충수를 조사하였다. 무처리는 methanol에 침지하였고, 모든 시험은 4반복으로 실시하였다.

2. 괴경내 성분 분석

각 품종별 괴경은 수확시('98. 9. 3)에 병해충의 피해가 없는 것을 선발하여 즉시 실험실로 가져와 물로 세척한 후 분석시료로 이용하였다.

총 Glycoalkaloids 함량

감자 괴경중 glycoalkaloids은 NH₄OH로 침전시켜 고속원심분리로 정제하는 Bushway *et al.* (1980)의 방법에 준하여 추출하되, 몇가지 시료 처리와 용매 시스템을 조금씩 달리하여 추출하였다. 괴경시료에 methanol-chloroform (2 : 1, v/v)을 넣고 마쇄, 여과후 0.2 N HCl를 가한 후 3분간 sonication하고 원심분리 (25,000 rpm, 4°C, 10분)하였다. 상징액에 NH₄OH를 넣으면서 pH 10.5~11.0으로 조절한후, 70°C 수조에서 20분간 가열후 냉장고(-5°C)에서 24시간 방치하였다. 다시 원심분리 (25,000 rpm, 4°C, 10분)한 침전물을 풍건후, methanol (99.6%)에 용해시켜 원심분리 (5,000 rpm, 20°C, 10분) 후 상징액을 45°C에서 감압농축시켜 glycoalkaloids 침전물을 얻었다. 총 glycoalkaloids 함량은 침전물의 무게를 시료 100 g당 mg으로 환산하였다.

당 함량

괴경시료에 85% methanol을 넣고 마쇄 후 85°C 수조에서 10분간 끓인 다음 여과하였다. 환원당 분석을 위해 시료액에 DNS시약 (2 M NaOH, 20 ml + 3, 5-dinitrosalicylic acid, 1 g + Na-K-tartrate, 30 g + 증류수, 100 ml)을 넣고 다시 85°C 수조에서 4분간 끓인 후 완전히 냉각시켰다. 여기에 증류수로 희석한 후 spectrophotometer (U-2000, Hitachi Co.)를 이용하여 570 nm에서 흡광도를 측정하였다. 총당 분석을 위해, 시료액에 0.1 N HCl을 넣고 85°C 수조에서 10분간 끓인 후 환원당 분석과 동일한 과정으로 실시하였다. 정량 분석을 위한 표준곡선식은 0.4% d-glucose를 stock solution으로 이용하여 작성하였고, 당함량은 식물체 생체중 %로 환산하였다.

전분 함량

괴경시료에 추출용액 (45% HClO₄)을 넣고 마쇄, 여과 후 여과액에 증류수로 희석하여 시료액으로 이용하였다. 시료액 1 ml에 3 ml의 증류수를 넣고 염색용액 (KI 667 mg + I₂ 333 mg + 증류수 100 ml) 5 ml를 첨가한 후 세계 흔들여 준 후 잠시 두었다가, spectrophotometer (U-2000, Hitachi Co.)로 550 nm에서 흡광도를 측정하였다. 정량분석을 위한 표준곡선식은 0.03% potato starch를 stock solution으로 이용하여 작성하였고, 전분함량은 식물체 생체중 %로 환산하였다.

무기물 (Total Nitrogen, Ca, K, Mg) 함량

잘게 썰은 괴경을 85°C dry-oven에서 48시간 완전히 건조시킨 후 전기믹서기를 이용하여 가루로 만들었다. 건조 분말시료는 Kjeldahl flask에 넣고 H₂SO₄를 넣은 후 전기분해조에서 순차적으로 420°C까지 가열하면서 투명한 액체가 될 때까지 계속 습식분해시켰다. 분해가 끝나면 여과지 (No. 6)로 걸르고, 증류수를 넣어 희석하여 분석용 시료액으로 이용하였다. 전질소 함량은, 시료액 50 ml를 취하여 자동질소분석장치 (Kjeltec System 1026 Distilling Unit, Tecator Co.)를 이용하여 증류하여, 증류액을 2% Boric acid와 반응시켰고, 이를 0.1N H₂SO₄로 적정 (청색 → 포도주색)하여 건물중 %로 환산하였다. K, Ca, Mg 함량은 시료액을 원자흡광분광광도계 (Atomic Absorption Spectrophotometer, Z-6000, Hitachi Co.)를 이용하여 Ca는 422.7 nm, Mg는 285.2 nm, K는 766.5 nm에서 흡광도를 측정하여 ppm으로 환산하였다.

3. 상관분석

각 수치의 유의성은 SAS를 이용하여 Tukey검정 ($\alpha = 0.05$)으로 비교하였으며, 실외/실내시험의 피해도와 각 저항성 관련 요인들간의 상관성을 분석하기 위해 SAS의 PROC GLM (SAS Institute Inc., 1996)을 이용

하였다.

결 과

1. 해충피해도 검정

청동방아벌레 유충에 의한 괴경피해는 철사구멍 모양의 피해흔으로 구별하는데, 이러한 피해구멍의 수는 품종에 따라 큰 차이를 보였다. 포장검정 결과 수미 품종은 20% 이하의 낮은 괴경피해율(IR)을 보였으나, 조풍, 대서 품종은 50% 이상의 높은 괴경피해율을 나타내었다 (Table 2).

실내검정에서는 대서품종에서 피해구멍의 수가 가장 적었으며, 수미, Bintje, Denali, Anco, 남작 등의 품종도 평균 5개 이하의 피해구멍수를 보였다. 그러나 남서, 조풍, 세풍 품종은 방아벌레 유충에 의한 피해구멍수가 많았다 (Table 2). 청동방아벌레 유충에 미치는 solanine, chaconine, tomatine 1,000 ppm과 2,500 ppm

Table 2. Comparative injury rates in the field and numbers of hole in the laboratory damaged by *S. puncticollis* larvae to 10 potato cultivars in 1998~1999

Cultivar	Korean name	Injury rate, % (M±SD)	No. holes damaged (M±SD)
Anco	-	42.2±6.43bcd ^a	4.3±1.26cd
Atlantic	Daeseo	57.5±7.11ab	3.0±1.41d
Bintje	-	46.6±4.05bc	3.3±1.50cd
Dejima	Daeji	39.3±4.22bcd	6.5±0.29bcd
Denali	-	27.4±2.67de	3.8±1.71cd
Irish Cobbler	Namjak	41.3±1.38bcd	5.0±0.82bcd
Jopung	Jopung	43.5±4.91bcd	8.3±2.22b
Namsuh	Namsuh	72.6±13.70a	13.8±2.50a
Shepody	Shepoong	31.2±7.33cde	7.0±1.83bc
Superior	Soomi	19.1±4.17e	3.3±0.96cd

^aMeans with the same letter are not significantly different by Tukey's Studentized Range Test, $\alpha = 0.05$.

Table 3. Effects of solanine, chaconine and tomatine on behavior of *S. puncticollis* larvae

Chemicals	Conc. (ppm)	No. holes damaged (M±SD)	No. larvae died (M±SD)
solanine	2500	6.0±0.82	1.0±1.82
	1000	6.3±1.71	0.3±0.50
chaconine	2500	6.5±1.29	0.8±0.50
	1000	6.3±1.71	0.0
tomatine	2500	6.8±0.96	0.3±0.50
	1000	7.0±0.82	0.0
Control	(methanol)	6.8±1.26	0.3±0.50

Table 4. Contents (mg/100 g fresh wt.) of total glycoalkaloids in tuber of 10 potato cultivars. Tubers were grouped by sizes as medium (M, 100 ± 10 g) or small size (S, 50 ± 10 g)

Cultivar Tuber	Anco	Atlantic	Bintje	Dejima	Denali	Irish Cobbler	Jopung	Namsuh	Shepody	Superior
Medium	4.22	12.55	2.14	10.42	8.45	12.51	16.73	14.63	10.43	14.67
Small	18.81	12.53	14.63	10.40	12.54	6.39	14.66	8.48	8.42	18.83

Table 5. Contents (% fresh weight) of free reducing sugar, free total sugar and starch contents in tubers of 10 potato cultivars

Cultivars	Reducing sugar	Total sugar	Starch
Anco	0.41	2.91	3.58
Atlantic	0.40	2.04	5.63
Bintje	0.48	1.89	6.11
Dejima	0.26	1.77	7.23
Denali	0.26	1.92	4.66
Irish Cobbler	0.37	1.74	7.63
Jopung	0.38	2.19	1.58
Namsuh	0.71	2.95	5.10
Shepody	0.64	2.03	2.58
Superior	0.45	2.07	4.14

Table 6. Contents of total nitrogen, Ca, K and Mg in medium-sized tubers (100 ± 10 g) of 10 potato cultivars

Cultivars	Total-N (%, dry wt.)	Ca (ppm, dry wt.)	K (ppm, dry wt.)	Mg (ppm, dry wt.)
Anco	1.88	2.65	329.2	15.6
Atlantic	1.46	4.00	246.0	21.2
Bintje	1.64	2.04	240.8	12.8
Dejima	1.49	2.37	266.0	12.0
Denali	1.80	2.01	252.0	28.8
Ir-Cobbler	1.55	1.35	216.8	16.0
Jopung	1.48	1.74	233.2	30.8
Namsuh	1.28	3.58	250.8	25.6
Shepody	1.44	3.08	273.2	16.0
Superior	1.77	2.80	240.8	16.4

용액의 활성을 조사한 결과, 유충의 섭식저해나 중지 등의 행동에 영향을 주지 않았고, 치사작용도 없는 것으로 조사되었다 (Table 3).

2. 괴경내 성분 분석

총 glycoalkaloids 함량

총 glycoalkaloids 함량은 품종별, 괴경 크기별로 변이가 컸다. 50 g 내외의 소형괴경은 평균 12.57 mg/100 g (생체중), 100 g 내외의 중형괴경은 평균 10.68 mg/100 g을 함유하였으며, 품종별로는 수미, 조풍, Anco 품종이 많았고 Bintje, 남작 등이 적게 함유한 것으로 조사되었다 (Table 4).

당 함량

괴경중 환원당 함량은 남서와 세풍 품종에서 많았으며, 대지와 Denali 품종은 적었다. 총당함량은 남서 품종에서 가장 많았으며, 남작과 대지 품종은 적었다 (Table 5). 전분함량은 품종별로 변이가 심했는데, 남작과 대지 품종이 생체중당 7% 이상을 함유하고 있었으며, 조풍과 세풍 품종은 3% 이하로 낮았다 (Table 5).

무기물 (Total Nitrogen, Ca, K, Mg) 함량

괴경중 전질소 함량은 Anco, Denali, 수미 품종에서 높았고 남서 품종이 가장 낮았다. Ca 함량이 많이 함유된 품종은 대서였으며, 남작과 조풍 품종은 매우 적

Table 7. Correlation between infestation level of *S. puncticollis* larvae in the field and laboratory test and possibly resistance-related factors of potato cultivars

Factors	Infestation level for Lab. test	TGA ^a	Total sugar	Total Nitrogen
Infestation level for Field test	0.58642 ^b (0.0748)	-0.34405 (0.3303)	0.63047 (0.0507)	-0.64670 (0.0433)
Infestation level for Lab. test		-0.46297 (0.1778)	0.78018 (0.0078)	-0.71435 (0.0203)
TGA			-0.00949 (0.9793)	0.71236 (0.0208)
Total sugar				-0.40856 (0.2411)

^aTotal glycoalkaloids

^bValues represent correlation coefficient (r), and values in parentheses mean P.

게 함유하고 있는 것으로 분석되었다. K 함량은 다른 무기 양이온 원소들에 비해 상대적으로 많이 함유하고 있었는데, 특히 Anco 품종이 329.2 ppm으로 가장 많았고, 나머지 품종은 210~280 ppm 정도를 함유하고 있었다. Mg 함량은 조풍과 Denali 품종이 많았으나, 대지와 Bintje 품종은 적었다 (Table 6).

3. 해충피해도와 관련요인간 상관성

포장실험과 실내시험 결과를 각 요인별로 상관분석한 결과, 청동방아벌레 유충에 의한 피해도는 전질소 함량과 부의 상관성을 보여 괴경중 전질소 함량이 많을수록 피해도는 낮은 것으로 추정되었으며, 괴경중 총당 함량과 피해도와의 정의 상관성을 보여 총당 함량이 많을수록 피해도는 증가하는 것으로 나타났다(Table 7).

고 찰

청동방아벌레 유충에 의한 10개 품종의 괴경피해율은 19.1~72.6% 정도였는데, 50개 품종의 괴경피해율이 1.1~96.6% 정도였던 전보(Kwon *et al.*, 1999)의 결과와 차이는 있었지만 대체로 품종별로 변이가 큰 것으로 조사되었다. 이는 방아벌레가 땅속에서 불균일하게 분포하는 특성 때문으로 해석되는데, 그 이유는 토양수분이나 온도와 밀접한 정의 상관성이 있는 것으로 알려져 있다(Lafrance, 1968). 포장시험에서 피해가 적었던 품종은 Denali와 수미였으며, 가장 피해를 많이 입은 품종은 국내 육성품종인 남서였다. 실내실험에서도 피해구멍수가 가장 많았던 품종은 남서였는데, 현재 남서 품종은 봄과 가을에 재배하는 품종으로 권장하지는 않고 있으며, 중남부 지역의 겨울철 시설재배용으로 권장되고 있음은 재배시기적으로 보아 청동방아벌레의 피해를 억제할 수 있는 방법으로 생각된다. 그것은 토양온도가 낮아지는 겨울에는 유충이 땅 속 20~30 cm 깊이로 들어가 월동을 하기 때문에 방아벌레의 피해를 막을 수 있기 때문이다. 청동방아벌레 유충은 부적합한 환경에 대한 적응력이 매우 강해서 어느 정도 성숙한 유충은 토양중에 적당한 먹이가 없더라도 상당한 기간을 견딜 수 있기 때문에 약제에 의한 만족할 만한 효과는 거두기 힘들다(Keaster *et al.*, 1975). 따라서 한 번 포장에 방아벌레가 발생하기 시작하면 장기간 문제시 될 우려가 있는 해충이며, 내충성 품종의 선택재배나 토양 살충제를 파종시에 처리하는 것이 효과적인 방제법으로 알려져 있다(Park *et al.*, 1989).

본 실험에서 품종별 괴경중 glycoalkaloids 함량은 2.14~18.83 mg%로 변이가 컸으며, 소형괴경이 중형괴경보다 glycoalkaloids를 많이 함유하고 있었다. 이는 괴경내 glycoalkaloids 함량은 괴경크기가 클수록 낮아진다는 Sanford *et al.* (1995)의 보고와 일치하였다. 또한 품종별 glycoalkaloids 함량과 유충 피해도간에는 상관성이 없는 것으로 나타났는데, 이러한 결과는 glycoalkaloids가 내충성에 관여하는 물질이라는 여러 보고(Hibbs *et al.*, 1964; Sanford *et al.*, 1992; Jonasson and Olsson, 1994)와는 상반되는 결과였다. 이와 비슷한 결

과는 실내검정에서도 나타났는데, chaconine, solanine, tomatine은 1,000 ppm과 2,500 ppm에서 청동방아벌레 유충에 대해 어떠한 영향도 주지 않았다(Table 3). 방아벌레와 glycoalkaloids 함량간의 상관성에 대한 보고서, Jonasson and Olsson (1994)은 뿌리방아벌레류의 일종인 *Agriotes obscurus*는 괴경중 glycoalkaloids 함량이 높으면서 당함량이 낮으면 섭식을 기피한다고 하였다. 그렇지만 glycoalkaloids의 내충성 관련성은 어떤 해충 종을 대상으로 했는가에 따라 다를 수가 있으므로 직접적인 비교는 할 수 없지만, 최근의 보고에 의하면 지금까지의 감자해충에 대한 tomatine, chaconine, solanidine, solanocardenine, leptine의 활성 검정 결과는 다른 2차화합물이나 식물체 영양상태를 변수로 고려하지 않았기 때문에 주의깊은 재실험이 필요하다고 하였다(Kowalski *et al.*, 1999). 따라서 본 실험에서 나온 결과를 바탕으로, 변수를 최대한 줄인 조건하에서 정밀한 내충성 검정이 수행되어야 할 것이다. 또한 당 잔기의 수와 xylose같은 특별한 당의 존재 유무가 저항성에 관여한다는 보고(Sinden *et al.*, 1980)에 따라, 당이 제거된 형태인 aglycone 구조의 물질(solanidine, demissidine, tomatidine 등)에 대한 생물검정도 요구된다.

괴경중 총당(total sugar)함량과 청동방아벌레 유충 피해도간에는 정의 상관($r = 0.78018$, $n = 10$, $P = 0.0078$)을 보였다. 그러나 감자의 저장 탄수화물인 전분(starch) 함량은 피해도와 아무런 상관성이 없는 것으로 조사되었다. 식물체내 당 함량은 곤충에게 있어 필수적인데, 당은 섭식을 자극할 뿐만 아니라 적당한 성장과 생존에 매우 중요하다고 알려져 있다. 뿌리방아벌레류의 일종인 *Agriotes obscurus*는 괴경중 glycoalkaloids 함량이 높으면서 당함량이 낮으면 섭식을 기피하며, 당은 방아벌레가 괴경을 침입하는 것을 유도하는 작용을 한다고 알려져 있다(Jonasson and Olsson, 1994).

괴경중의 전질소(total nitrogen) 함량과 피해도간에는 부의 상관($r = -0.71435$, $n = 10$, $P = 0.0203$)이 있었는데, 괴경이 아닌 경엽을 가해하는 해충의 경우는 식물체내 질소함량이 많으면 해충발생도 증가한다는 보고(Branson and Simpson, 1966)와는 다른 결과였다. 일반적으로 질소비료를 많이 주면 해충의 발생도 많아진다고 알려져 있으나, 질소는 해충의 섭식에 영향을 주는 일부 allelochemicals, 특히 알칼로이드류의 구성요소도 되므로 해충 발생에 부의 영향을 미칠 수도 있음을 추측할 수가 있을 것이다. 특히 glycoalkaloids 함량과 전질소 함량간에 정의 상관($r = 0.71236$, $n = 10$, $P = 0.0208$)을 보였는데, 이는 괴경중 질소함량이 증가할수록 질소함유 화합물인 glycoalkaloids 함량도 증가하였다는 Love *et al.* (1994)의 보고와 일치한다. 질소

와는 달리 K, Ca, Mg 함량은 해충 발생과 상관을 보이지 않았다. 일반적으로 K는 식물체 즙액중의 아미노산이나 환원당의 제거와 관련된 생리적 현상 때문에 해충발생과 부의 상관이 있는 것으로 알려져 있는데, 이에 대해서는 좀더 다른 각도에서의 실험이 수행되어야 할 것으로 생각된다.

이러한 식물체내 영양성분이나 이차화합물의 함량과 내충성과의 관계는 하나의 요인만으로 설명할 수 없는 경우가 많고, 여러 가지 성분이 복합적으로 작용하여 내충성을 발휘한다고 알려져 있다. 따라서 내충성 관련요인을 탐색하여 새로운 내충성 품종을 육성하거나, 작물이 해충에 대해 저항성을 발휘할 수 있는 재배법을 개발할 경우에는 다른 유용한 방법과 상반되는 점은 없는지를 고려해야 할 것이다. 또한 지금까지 언급한 요인들이 실제 해충에 대한 저항성 요인으로 작용하는지를 검증하기 위해서는 새로운 많은 품종들을 대상으로 포장과 실내에서 확인하는 작업이 계속되어야 할 것이다.

인 용 문 헌

- Branson, T.F. and R.G. Simpson. 1966. Effects of a nitrogen-deficient host and crowding on the corn leaf aphid. *J. Econ. Entomol.* 59: 290~293.
- Bushway, R.J., A.M. Wilson and A.A. Bushway. 1980. Determination of total glycoalkaloids in potato tubers using a modified titration method. *Amer. Potato J.* 57: 561~565.
- Carter, C.D. 1987. Screening *Solanum* germplasm for resistance to Colorado potato beetle. *Amer. Potato J.* 64: 563~568.
- Gibson, R.W. and L. Valencia. 1978. A survey of potato species for resistance to the mite *Polyphagotarsonemus latus*, with particular reference to the protection of *Solanum berthaultii* and *S. tarijense* by glandular hairs. *Potato Res.* 21: 217~223.
- Hibbs, E.T., D.L. Dahlman and R.L. Rice. 1964. Potato foliage sugar concentration in relation to infestation by the potato leafhopper, *Empoasca fabae* (Homoptera: Cicadellidae). *Ann. Entomol. Soc. Amer.* 57: 517~521.
- Jonasson, T. and K. Olsson. 1994. The influence of glycoalkaloids, chlorogenic acid and sugars on the susceptibility of potato tubers to wireworms. *Potato Res.* 37: 205~216.
- Keaster, A.J., G.M. Chippendale and B.A. Pill. 1975. Feeding behavior and growth of the wireworms *Melanotus depressus* and *Limonius dubitans*: Effect of host plants, temperature, photoperiod, and artificial diets. *Environ. Entomol.* 4: 591~595.
- Kowalski, S.P., J.M. Dolmek, K.L. Deahl and L.L. Sanford. 1999. Performance of Colorado potato beetle larvae, *Leptinotarsa decemlineata* (Say), reared on synthetic diets supplemented with *Solanum* glycoalkaloids. *Amer. J. Potato Res.* 76: 305~312.
- Kwon, M., C.S. Park and Y.I. Hahm. 1997. Occurrence pattern of insect pests on several varieties of potato. *Korean J. Appl. Entomol.* 36: 145~149.
- Kwon, M., H.W. Seo and S.H. Lee. 1998. Survey on insect pests of major crops in alpine area. Annual Report on Agricultural Research. National Alpine Agricultural Experiment Station, RDA.
- Kwon, M., Y.I. Hahm, K.Y. Shin and Y.J. Ahn. 1999. Evaluation of various potato cultivars for resistance to wireworms (Coleoptera: Elateridae). *Amer. J. Potato Res.* 76: 317~319.
- Lafrance, J. 1968. The seasonal movements of wireworms (Coleoptera: Elateridae) in relation to soil moisture and temperature in the organic soils of southwestern Quebec. *Can. Entomol.* 100: 801~807.
- Love, S.L., T.J. Herrman, A.J. Johns and T.P. Baker. 1994. Effect of interaction of crop management factors on the glycoalkaloid concentration of potato tubers. *Potato Res.* 37: 77~85.
- Onsager, J.A. 1975. Pacific coast wireworm: relationship between injury and damage to potatoes. *J. Econ. Entomol.* 68: 203~204.
- Park, C.S., Y.I. Hahm, S.R. Cheong and S.H. Lee. 1989. On the kinds, occurrence and chemical control of wireworms collected in Daekwallyong, Korea. *RDA J. Agr. Sci. (Crop Protection)*. 31: 34~37.
- Sanford, L.L., K.L. Deahl, S.L. Sinden and R.S. Kobayashi. 1995. Glycoalkaloid content in tubers of hybrid and back-cross populations from a *S. tuberosum* × *S. chacoense* cross. *Amer. Potato J.* 72: 261~271.
- Sanford, L.L., K.L. Deahl, S.L. Sinden and T.L. Ladd Jr. 1992. Glucoalkaloid contents in tubers from *Solanum Tuberosum* populations selected for potato leafhopper resistance. *Amer. Potato J.* 69: 693~703.
- Sinden, S.L., L.L. Sanford and S.F. Osman. 1980. Glycoalkaloids and resistance to the Colorado potato beetle in *Solanum chacoense* Bitter. *Amer. Potato J.* 57: 331~343.
- Toba, H.H., Turner J.E. and D.M. Powell. 1981. Relationship between injury and damage to potatoes by wireworms. *Am. Potato J.* 58: 423~428.

(2000년 4월 24일 접수, 2000년 9월 21일 수리)