

시설 재배 가지에서 규소 시비 수준에 따른 점박이응애의 생물적 특성

김 주* · 이상구¹ · 김정만 · 김태흥¹ · 김지수¹ · 박은석 · 정종성

전라북도농업기술원, ¹전북대학교 농업생명과학대학 생물자원과학부

Bionomics of *Tetranychus urticae* Koch on Eggplants under Various Silicate Regimes in Controlled Environment

Ju Kim*, Sang-Koo Lee¹, Jeong Man Kim, Tae-Heung Kim¹, Ji-Soo Kim¹, Eun-Suk Park and Jong-Sung Jeong

Jeollabuk-do Agricultural Research and Extension Services, Iksan 570-704, Korea

¹Faculty of Biological Resources Science, Chonbuk National University, Chonju, Chonbuk 561-756, Korea

ABSTRACT : Development of *T. urticae* was studied on the leaves of eggplant grown in hydroponics with silica contents of 0 mM, 1.7 mM, and 5.1 mM. As the levels of silica increased, those of N, P, K, Ca, and Mg decreased and those of Si increased. While contents of calory, crude protein, carbohydrates, and vitamin C decreased, those of ash, fiber, and sugar increased. Biomass and content of chlorophyll decreased as the level of silica increased while leaves became thicker. Laboratory leaf disc tests provided with various silica levels revealed that feeding preference of *T. urticae* was the highest at 0 mM and the lowest at 1.7 mM. The oviposition preference decreased as the levels of silica increased, on the lower leaf appeared to hinder the feeding and the oviposition of *T. urticae*. The development slowed down both in female and male. Adult life span of female shortend as the silica level increased and that of male was the longest as 5.7 days at 0mM and the shortest at 1.7 mM. Oviposition period also shortened as the silica content increased. The number of eggs laid was the most as 86.3 at 1.7 mM while average oviposition per day was the least as 7.7 at 0 mM. No differences in hatchability was detected whereas the ratio of sex was the highest as 0.71 in favor of female at 0mM. R_0 and T decreased as the levels of silica increased. R_m and λ was the lowest at 5.1 mM while D_t was the longest as 1.8271 at 5.1 mM and the shortest as 1.6991 days at 1.7 mM. Silica content in eggplant turned to affect the development of *T. urticae*, however, it deterred *T. urticae* from feeding and oviposition and the rate of increase tended to decrease due to lesser nutrients in the eggplant leaf.

KEY WORDS : Silikate application level, Oviposition preference, Development period, Mortality, Fecundity, Sex ratio

초 록 : 규소를 0, 1.7, 5.1 mM 수준으로 재배한 가지 잎을 먹이로 점박이응애의 발육을 조사하였다. 규소 시비수준이 증가함에 따라 식물체내 N, P, K, Ca, Mg 함량은 감소하였으나 Si의 함량은 증가하였다. 규소 시비수준이 증가함에 따라 칼로리, 조단백질, 탄수화물, 비타민C 등은 감소하였고, 회분, 섬유소, 설탕 등은 증가하였다. 수량과 엽록소는 규소 시비수준이 증가함에 따라 감소하였고, 잎 두께는 두꺼워졌다. 식이선호성은 0 mM처리에서 가장 높았고, 1.7 mM처리에서 낮았으며, 산란선호성은 규소함량이 증가할수록 줄어들었다. 발육율에 있어서는 암컷과 수컷 모두 감소하는 경향이였다. 암컷 성충기간은 규소함량이 증가함에 따라 짧아졌고, 수컷은 0 mM처리에서 5.7일로 가장 길고, 1.7 mM처리에서 짧았다. 산란기간도 규소함량이 증가함에 따라 짧아졌다. 산란 수는 1.7 mM처리에서 86.3개로 가장 많았고,

*Corresponding author. E-mail: kimju114@hanmail.net

일일 산란수는 0 mM처리에서 7.7개로 가장 적었다. 부화율은 처리 간에 차이가 없었고, 성비는 0 mM처리에서 0.75로 가장 높았다. R_0 와 T는 규소수준이 증가할수록 감소하였고, r_m 과 λ 는 5.1 mM이 가장 낮았으며, DT는 5.1 mM이 가장 높은 1.83일, 1.7 mM이 가장 낮은 1.70일이었다. 식물체내 규소함량은 점박이응애의 발육에 영향을 미쳤다. 그러나 점박이응애의 기피현상이 있었고, 엽내 영양물질의 감소로 점박이응애의 증가율이 감소되는 경향이였다.

검색어 : 규소공급수준, 산란선호성, 발육기간, 사망률, 산란수, 성비

1970년대 초부터 폴리에틸렌 필름이 보급되고 국가경제 발전과 국민 식생활 변화로 신선한 과채류에 대한 수요가 증가함에 따라, 연중 재배할 수 있는 시설재배 면적이 전국적으로 급격히 증가하였다(Lee *et al.*, 1993). 채소의 경우 노지재배는 5천여 ha가 줄어든 반면 시설재배는 7천여 ha가 늘어나(MAF, 2002), 가지(*Solanum melongena* L.)에 있어서도 노지에 정식하는 조숙작형이 일반적이었으나, 시설하우스가 보급되면서 반촉성재배나, 촉성재배작형이 도입되어 재배방식이 시설재배로 변화되었다.

가지 재배환경이 바뀐에 따라 발생하는 해충의 종류도 변화하게 되었는데, 가지에 발생하는 해충 종류로는 섬서구메뚜기(*Atractomorpha lata* Motschulsky) 등 40종이 기록되었으나(KSPP, 1986), 시설재배가 증가하면서 꽃노랑총채벌레, 온실가루이, 아메리카잎굴파리(Ahn *et al.*, 1998), 점박이응애, 담배거세미나방, 오이총채벌레 등 크기가 작고 번식률이 높은 곤충을 주요 해충으로 보고되었다(Chung *et al.*, 2000). 특히 점박이응애는 건조하고 온도가 높은 시설하우스에서 발생이 높다.

점박이응애에 대한 식물의 저항성기작은 물리적기작과 화학적 기작으로 판단할 수 있다. 물리적 기작은 식물조직의 일부형태가 부분적으로 변형된 것이 식물자체에는 아무 이상도 주지 않으면서 해충의 섭식행동에 불리하도록 작용하는 것으로 식물색의 변화로 인한 곤충의 회피, 표피세포 또는 왁스층이 발달되거나 규산질 함량이 높아서 곤충의 씹는 행동의 억제, 식물표면의 모용 또는 피질의 발달로 흡즙 곤충의 구침이 관다발에 도달하는 것을 제한하는 경우, 피해부위의 빠른 경화 또는 조기낙엽에 의한 곤충의 정착 방해 등이 이에 속한다(Norris and Kogan 1980). Miyake and Takahashi (1983)는 오이의 양액재배와 노지재배에서 양액이나 토양에 potassium silicate를 처리하였을 때 흰가루병이 줄어든다고 하였다. Lee (2000)는 수경재배 오이에서 수용성 규소를 사용한 결과 규소는 발아하고 있는 흰가루병 분생포자의 인접 기주세포벽과

병원균 흡기 주변에 다량 축적되어 물리적인 층으로 작용하여 저항성을 나타낸다고 하였다. 점박이응애는 작은 구기로 세포벽을 뚫고 세포내 물질을 흡수하는 특성으로 보아 규소의 시용이 점박이응애에 저항성을 나타낼 것으로 생각된다. Choi *et al.* (2002)은 벼에서 규산질 비료를 사용하면 질소흡수량이 증가하고 건물생산량이 증가한다고 하였고, Esser (2002)는 벼를 중심으로 한 사탕수수, 보리, 밀 등의 작물에서 규소의 시용은 해충에 대한 높은 저항성을 보이고 수량증수에 영향을 미친다고 하였다.

본 시험은 점박이응애의 발육을 저해할 것으로 예상되는 규소의 시비수준에 따른 엽내 무기원소와 영양성분에 미치는 영향과 엽내 규소수준에 따른 점박이응애의 발생 생태를 조사, 분석함으로써 해충종합관리(IPM)의 기초 자료로 삼고자 수행하였다.

재료 및 방법

전라북도농업기술원 육묘장에서 가지(품종: 축양)를 육묘하여 2005년 9월 17일에 정식하였다. 1/2000a 와그너 포트에 한냉사를 밑부분에 깔고 펠라이트를 채운 후 가지를 정식하고 줄기는 I자형 2본으로 유인재배하였다.

가지를 펠라이트 수경재배를 통하여 각 규소 수준을 달리하여 양액을 급액하였는데, Hoagland용액(Hoagland and Arnon, 1950)과 농촌진흥청 원예연구소에서 개발한 가지전용액(R.D.A. 2002)을 참고하여 NO_3^- -N 8.5, NH_4^+ -N 1.5, P 1.0, K 6.0, Ca 1.5, Mg 1.0, S 1.0, Cl 0.0 mM의 조성액을 기준으로 하여 규소 0 mM은 규산칼리를 투입하지 않고, 규소 1.7 mM은 순도 27.5% K_2SiO_3 (Kanto Chemical Co.) 953 g/1톤, 규소 5.1 mM은 K_2SiO_3 2,861 g/1톤을 녹여 배양액을 조성하였다. 일일 주당 2 l를 급액하면서 식물을 재배하였고, 배액량이 25%정도가 되도록 하여 무기염이 배지에 집적되는 것을 방지하였다.

규소 시비수준에 따른 식물체의 무기물과 영양성분

규소수준에 따른 식물체 엽의 무기성분 분석을 위해 시비한 비료가 식물체에 충분한 영향을 미친 것으로 생각하는 4개월 후인 2005년 2월에 상위 3엽을 채취하여 식물체를 건조(60°C, 24시간)시키고, 20 mesh체를 통과하도록 분쇄하여 항량병에 보관한 후 분말시료를 0.5 g 평량하여 H₂SO₄-H₂O 분해법에 따라 분해한 다음 여과하여 100 mL로 정용하였다. K, Ca, Mg, Na은 원자흡광분석법(Varian SpectraAA 55b)으로 분석하였고, 질소는 Kjeldahl 증류법, 인산은 Lancaster법으로 분석하였다.

잎의 수분은 105°C 상압가열건조법, 영양분석은 가지 잎 1 kg을 채취하여 -70°C로 냉동시킨 뒤 동결 건조시켜 약 60 mesh 크기로 분말화한 후 분석시료로 사용하였다. 조지방 함량은 Soxhlet 추출법, 조단백질 함량은 Kjeldahl 법으로, 조섬유 함량은 H₂SO₄-NaOH 분해법으로, 조회분은 직접 회화법으로 측정하였다. 또한 총량에서 조회분, 조단백질, 조지방 및 조섬유의 양을 뺀 값을 탄수화물 양으로 나타내었다(Lee and Hwang, 1998). 칼로리는 K.F.D.A. (2005)의 기준에 따라 산출하였다(K.F.D.A., 2005). 설탕, 포도당, 과당 등은 초음파 추출기로 추출하여 HPLC로 분석하였다.

규소 시비수준에 따른 가지의 수량과 잎의 생물적 특성

착과촉진제인 4-시피에이액제(4-CPA, 액제, 0.15%) 50 배액을 개화당일 살포하여 착과를 유도하였고, 전 생육기간 동안 수확적기에 도달한 가지의 수량을 조사하였다. 잎의 두께는 상위 4~5엽의 엽장이 15 cm 전후인 잎을 채취하여 캘리퍼스로 두께를 측정하였고, 엽의 무게는 지름 3.3 cm의 엽편을 만들어 정밀저울(Ohaus, Explorer E12140)로 무게를 조사하였다. 엽록소함량은 SPAD-502 (Minolta Co.)로 측정하였다.

규소 시비수준에 따른 식이 및 산란 선호성

직경 9.4 cm 높이 4.2 cm의 곤충사육용 페트리디쉬에 탈지면을 깔고 증류수를 포수시킨 후 규소 수준별로 재배한 가지 잎을 직경 2 cm 정도의 엽편을 만들어 페트리디쉬 가장자리에 점박이용애가 이동 할 수 있도록 엽편이 겹치게 2반복 배열을 하여 3개의 페트리디쉬에 6반복하였다. 엽편이 배열된 안쪽에 지름 3 cm 정도되는 원형 플라스틱 조각을 잘라 엽편과 겹치게 얹은 다음, 점박이용애가 붙은 가지 잎을 플라스틱 조각위에 올려놓았다. 플라스틱 조각위에 가지 잎은 수분공급이 되지 않아 건조가 진행된 반면 질소 수준별로 진열해 놓은 가지 엽편은 수분이 공급됨에 따라 건조하지 않았고 플라스틱 조각위에 가지 잎의 건조가 진행됨에 따라 먹이 조건이 나빠지고 점박이용애는 엽편으로 이동을 하였다. 이때 이동한 점박이용애의 수를 실체현미경으로 관찰하여 처리별 엽편에 모이는 점박이용애 수를 세어 식이 선호성을 조사하였고, 여기에 산란한 알의 수를 세어 산란 선호성을 조사하였다.

규소 시비수준에 따른 발육 및 산란특성

규소 시비수준에 따른 발육기간과 사충률, 성충기간과 산란특성, 부화율과 성비, 생명표 등은 항온기(27±1°C, 65±5% RH, 16L:8D)에서 규소 시비수준에 따라 재배한 가지 잎을 먹이로 하여 수행하였고 유의성 검정은 Duncan's multiple range test ($p \leq 0.05$)를 이용하여 분석하였다.

결과 및 고찰

규소 시비수준에 따른 식물체의 무기물과 영양성분

본 실험에 적용한 규소시비량을 각각 0, 1.7, 5.1 mM으로 달리 하였을 때 식물체 엽내의 무기물은 규소시비량이 증가함에 따라 엽내 규소함량도 증가하였다(Table 1). 0

Table 1. Mineral contents of fresh eggplant leaves on different silicate application levels in hydroponics

Silicate application level (mM)	Si	N	P	K	Ca	Mg	Na	Cu	Fe	Mn	Zn
	----- (%) -----							----- (mg·kg ⁻¹) -----			
0	1.50b ^z	3.60a	0.80a	2.64b	1.15a	0.18a	0.02a	4.69a	66.21a	200.33a	38.05a
1.7	2.00ab	3.50ab	0.82a	2.91b	1.08a	0.15a	0.03a	4.26a	61.44a	178.50a	33.79a
5.1	2.90a	3.21b	0.69a	4.11a	0.90a	0.13a	0.03a	3.57a	76.58a	169.18a	29.36a

^z Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at $p \leq 0.05$.

mM을 처리한 식물체 엽내의 규소함량은 1.5%, 1.7 mM은 2.0%이었고 5.1 mM은 2.9%이었다. 규소를 전혀 투입하지 않은 0 mM처리에서도 잎에 규소가 검출된 것은 규암을 고온 고압하에서 팽창시켜 만든 펄라이트를 배지로 사용한 관계로 식물체내에서 규소가 검출된 것으로 생각된다. 규소가 증가함에 따라 전 질소는 각각 3.60, 3.50, 3.21%로 감소하였다($F=4.33$, $df=2, 17$, $p=0.0328$). 그러나 인은 차이가 없었다. K는 규소수준이 증가함에 따라 증가하였는데 처리별로 2.64, 2.91, 4.11%이었다($F=26.78$, $df=2, 8$, $p=0.0010$). Ca는 차이가 없었다. Mg, Na, Cu, Fe, Mn, Zn 등은 규소수준에 따른 통계적 유의성이 없었으나 Cu, Fe, Mn, Zn는 감소하였고 Na은 증가하는 경향이였다. Lee *et al.* (1991)은 오이 수경재배에서 규소를 사용하면 엽내에 SiO₂와 K의 함량은 증가하고, N, P, Mg은 감소한다고 하여 본 실험과 유사하였으나 Ca은 엽의 위치에 따라 다르다고 하였다. Keeping and Meyer (2002)은 사탕수수의 주요 해충인 *Eldana sacharina* Walker (명나방류)를 방제하기 위하여 규산칼슘을 무시용, 5,000 kg/ha, 10,000 kg/ha으로 사용하여 식물체내에 규소의 흡수를 살펴본 결과 7개월 후에 규소 시비구에서 잎과 줄기에 규소 함량이 증가하였다고 하였다. Lee and Kim (2006)은 염류와 인산이 집적된 토양에 규산을 사용할 경우 식물체의 인산흡수량이 증가 한다고 하였다.

규소 시비수준에 따른 일반 영양성분은 Table 2와 같다. 칼로리는 0, 1.7, 5.1 mM처리시 각각 51.26, 50.96, 42.60 Kcal로 감소하였고, 수분은 5.1 mM처리에서 가장 높고 1.7 mM에서 낮았으나 큰 차이는 없었다. Choi *et al.*

(2002)은 수도에서 규산질 비료를 사용하면 엽내 수분함량이 증가한다고 하였다. 조희분은 규소 시비수준이 증가할수록 각각 2.90, 3.72, 3.94%로 증가하였다($F=397.5$, $df=2, 8$, $p=0.0001$). 조단백질은 규소 시비수준이 증가할수록 4.47, 4.18, 3.40%로 감소하였으며($F=61.91$, $df=2, 8$, $p=0.0001$), 조지방은 1.7 mM에서 0.68%로 가장 높고 0 mM과 5.1 mM은 각각 0.45%와 0.47%로 비슷하였다. 탄수화물은 7.33, 7.03, 6.19%로 감소하였고($F=21.44$, $df=2, 8$, $p=0.0018$), 조섬유는 각각 1.87, 1.97, 2.12%로 증가하였다($F=4.45$, $df=2, 8$, $p=0.0654$). 비타민 C도 각각 72.53, 84.43, 66.25 mg·kg⁻¹로 감소하였다. 당류에 있어 과당은 통계적 차이가 없었으나 5.1 mM이 0.25%로 높았고, 포도당은 규소함량이 증가할수록 각각 0.18, 0.29, 0.56%로 증가하였다. 설탕도 규소가 증가함에 따라 각각 0.77, 0.97, 1.57%로 증가하였다. 당 전체로 볼 때 0 mM은 1.14%, 1.7 mM은 1.45%, 5.1 mM은 2.38%로 규소 시비수준이 증가할수록 엽내 당함량은 증가하였다. β-carotene은 1.7 mM이 83.87 mg·kg⁻¹으로 가장 높고 0 mM이 45.64 mg·kg⁻¹으로 낮았다. 전체적으로 당을 제외하고는 규소 시비수준이 증가함에 따라 영양원은 감소하는 것으로 생각된다.

규소 시비수준에 따른 수량과 잎의 생물학적 특성

규소 시비수준을 달리하여 수량을 조사한 결과(Table 3), 0 mM이 주당 856.8 g으로 가장 높았고, 1.7 mM 602.0, 5.1 mM 397.0 g으로 규소 시비수준이 증가함에 따라 수량

Table 2. General composition of fresh eggplant leaves on different silicate application levels in hydroponics

Silicate application level (mM)	Calory (Kcal·100 g ⁻¹)	Moisture	Ash	Protein	Lipid	Carbo-hydrate (%)	Fiber	Free sugar content			β-carotene	Vitamin C
								Fructose	Glucose	Sucrose		
0	51.26 a ^z	82.98 b	2.90 c	4.47 a	0.45 b	7.33 a	1.87 b	0.19 a	0.18 c	0.77 b	45.64 b	72.53 b
1.7	50.96 a	82.42 c	3.72 b	4.18 b	0.68 a	7.03 a	1.97 ab	0.19 a	0.29 b	0.97 b	83.87 a	84.43 a
5.1	42.60 b	83.88 a	3.94 a	3.40 c	0.47 b	6.19 b	2.12 a	0.25 a	0.56 a	1.57 a	54.67 b	66.25 c

^z Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at $p \leq 0.05$.

Table 3. Yield, leaf thickness, and chlorophyll contents (mean±SD) of fresh eggplant leaves on different silicate application levels in hydroponics

Silicate application level (mM)	Yield (g/plant)	Leaf thickness (mm)	Leaf weight (g/3.3 cm ²)	Chlorophyll content (Spad unit)
0	856.8±68.8 a ^z	0.26±0.03 b	0.62±0.08 b	53.8±3.41 a
1.7	602.0±80.3 b	0.29±0.03 a	0.65±0.07 ab	52.2±3.09 ab
5.1	397.0±53.7 c	0.31±0.03 a	0.67±0.06 a	50.5±4.29 b

^z Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at $p \leq 0.05$.

은 감소하였다(Table 3) ($F = 67.92$, $df = 2, 17$, $p = 0.0001$). 그러나 잎의 두께는 0, 1.7, 5.1 mM처리에서 각각 0.26, 0.29, 0.31 mm로 증가하였다. 반면 엽록소는 53.8, 52.2, 50.5 (Spad unit)로 감소하였다. 전체적으로 규소를 사용할 경우 엽 두께는 증가하지만($F = 12.00$, $df = 2, 68$, $p = 0.0001$) 엽록소는 감소하여($F = 6.11$, $df = 2, 88$, $p = 0.0033$) 수량이 감소하는 것으로 생각된다. Fig. 1은 규소 수준에 따른 그림이며 규소수준이 증가할수록 엽의 색이 옅어지는 경향을 보였다.

규소 시비수준에 따른 점박이응애의 식이 및 산란 선호성

엽내 규소함량에 따른 점박이응애의 식이 선호성을 알아보기 위하여 규소수준에 따라 재배한 가지 잎을 지름 2 cm의 엽편을 만들어 식이 선호성을 조사한 결과는 Table 4와 같다. 규소를 처리하지 않은 0 mM에서는 앞면 32.8마리, 뒷면 63.0마리이었으며, 1.7 mM은 41.0마리, 12.3마리 5.1 mM에서는 45.3마리, 22.3마리로 규소를 처

리하지 않은 엽편을 선호하였으나(5일차: $F = 4.10$, $df = 5, 29$, $p = 0.0079$), 1.7 mM보다는 5.1 mM에 더 많은 점박이응애가 몰렸다. 또한 규소를 처리하지 않는 잎에서는 앞면보다는 뒷면을 선호하였는데 규소를 처리한 엽편에서는 뒷면보다는 앞면을 선호하였다. Lee (2000)은 규소가 잎 표면의 모용 주변 기부세포에 집적한다고 하여 가지에서 이러한 모용은 잎의 앞면보다는 뒷면에 더 많이 분포하고, 모용이 많은 경우는 응애류 등 크기가 작은 해충들의 서식과 이동에 장애를 주기 때문인 것으로 추측되고, 규소는 섭식기작을 방해하여 잎 뒷면에 점박이응애의 기피현상이 있었던 것으로 생각된다.

규소함량에 따른 점박이응애의 산란선호성은 식이선호성과는 현저한 차이를 보였다(Table 5). 5일차에 산란된 알은 규소함량이 증가할수록 급격히 감소하였는데, 0, 1.7, 5.1 mM처리에서 앞면은 각각 57.0 16.5, 3.8개, 뒷면은 14.0, 2.0, 1.3개를 나타내었다($F = 10.24$, $df = 5, 29$, $p = 0.0001$). 그리고 앞면에 대한 선호도가 뒷면보다 매우 높았는데 앞면에 기주선호성이 많아 응애가 모여 산란하였기 때문으로 생각된다.

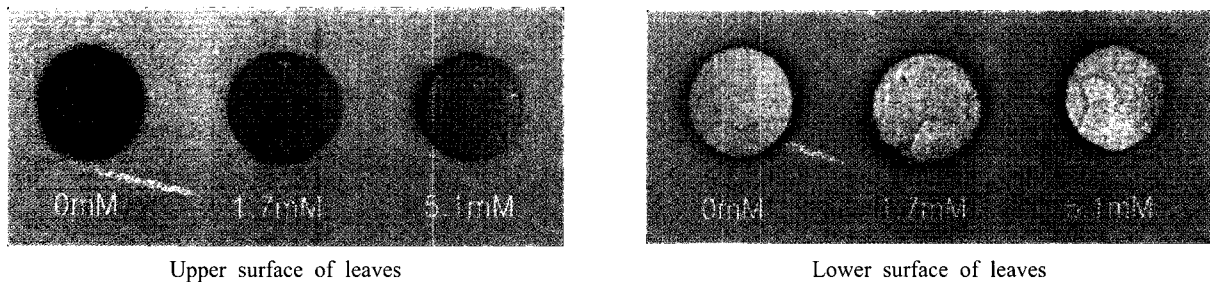


Fig. 1. Photograph of eggplant leaves grown at different silicate application levels in hydroponics.

Table 4. Diet preference (mean±SD) of *T. urticae* to fresh eggplant leaves grown at different silicate application levels

Silicate application level (mM)	Site of leaves	Post-treatment in days				
		1	2	3	4	5
0	Upper	1.0±1.00(6.2 ^z) a ^y	9.3±3.27(15.5) b	13.0±5.39(14.7) b	20.8±10.13(16.4) abc	32.8±14.72(15.1) bc
	Lower	4.0±5.20(24.5) a	16.0±4.74(26.7) a	22.0±2.12(24.8) a	31.3±9.34(24.7) a	63.0±18.4(29.1) a
	Average	2.5±3.87	12.6±5.24	17.5±6.11	26.0±10.72	47.9±22.38
1.7	Upper	5.0±2.55(30.7) a	18.8±2.17(31.3) a	24.5±8.00(27.7) a	27.5±7.63(21.7) ab	41.0±19.33(18.9) ab
	Lower	0.0±0.00(0) a	3.3±2.86(5.5) c	6.0±6.44(6.8) b	8.5±6.98(6.7) c	12.3±10.87(5.7) c
	Average	2.5±3.14	11.0±8.51	15.3±11.92	18.0±12.16	26.6±21.17
5.1	Upper	4.0±6.36(24.5) a	7.8±6.26(13.0) bc	12.5±7.83(14.1) b	22.8±14.57(18.0) abc	45.3±32.02(20.9) ab
	Lower	2.3±3.34(14.1) a	4.8±4.32(8.0) bc	10.5±7.23(11.9) b	15.8±10.69(12.5) bc	22.3±16.74(10.3) bc
	Average	3.1±4.88	6.3±5.31	11.5±7.18	19.3±12.60	33.8±26.96

^z percentage [(No./Total No. per day)×100]

^y Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at $p \leq 0.05$.

Table 5. Oviposition preference (mean±SD) of *T. urticae* to fresh eggplant leaves grown at different silicate application levels in hydroponics

Silicate application level (mM)	Site of leaves	Post-treatment in days				
		1	2	3	4	5
0	Upper	1.8±3.03(54.5 ^z) a ^y	28.3±23.63(68.9) a	42.8±25.8(64.0) a	46.8±27.45(59.9) a	57.0±32.87(60.3) a
	Lower	0.0±0.00(0) a	6.3±6.42(15.3) b	10.8±7.95(16.1) b	12.5±8.65(16.0) b	14.0±8.69(14.8) b
	Average	0.9±2.22	17.3±20.02	26.8±24.67	29.6±26.34	35.5±32.06
1.7	Upper	1.5±2.06(45.5) a	5.0±5.43(12.2) b	11.0±7.14(16.4) b	14.8±11.43(18.9) b	16.5±12.05(17.4) b
	Lower	0.0±0.00(0) a	0.5±0.87(1.2) b	0.8±1.30(1.2) b	1.0±1.73(1.3) b	2.0±2.92(2.1) b
	Average	0.8±1.59	2.8±4.37	5.9±7.25	7.9±10.58	9.3±11.26
5.1	Upper	0.0±0.00(0) a	1.0±0.71(2.4) b	1.5±1.12(2.3) b	2.3±1.48(2.9) b	3.8±2.17(4.0) b
	Lower	0.0±0.00(0) a	0.0±0.00(0) b	0.0±0.00(0) b	0.8±0.83(1.0) b	1.3±1.30(1.4) b
	Average	0.0±0.00	0.5±0.71	0.8±1.09	1.5±1.38	2.5±2.14

^z percentage [(No./Total No. per day)×100]

^y Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at $p \leq 0.05$.

발육기간과 생존율

엽내 규소함량에 따른 발육기간은 Table 6과 같다. 규소 함량에 따른 난기간은 암컷의 경우 처리수준 간에 차이가 없었고 수컷은 5.1 mM이 4.0일로 길었으나 큰 의미를 찾을 수 없었다. 유충기간은 0, 1.7, 5.1 mM처리에서 암컷은 각각 1.4, 1.2, 1.3일로 처리간에 차이가 없었고, 수컷은 1.4, 1.0, 1.0일로 0 mM처리에서 길었다($F = 7.56$, $df = 2, 35$, $p = 0.0020$). 전 약충은 암컷 1.2, 1.4, 1.1일로 1.7 mM이 길었으나 통계적 유의성이 없었고, 수컷은 1.3, 1.0, 1.0일로 0 mM이 길었다($F = 4.03$, $df = 2, 35$, $p = 0.0271$). 후 약충은 암컷 1.6, 1.6, 1.4일로 0 mM과 1.7 mM이

길었으나 처리 간에 유의성은 없었고, 수컷은 1.4, 1.7, 1.0일로 1.7 mM이 길고 5.1 mM이 짧았다($F = 6.831$, $df = 2, 35$, $p = 0.0033$). 전체적으로 암컷은 4.2, 4.2, 3.9일로 규소함량이 증가할수록 짧아졌는데 통계적 유의성은 없었고, 수컷은 4.1, 3.7, 3.0일로 역시 규소함량이 증가할수록 발육기간이 단축되었다($F = 12.80$, $df = 2, 359$, $p = 0.0001$). Do *et al.* (2004)은 참외에서 목화진딧물의 밀도가 증가할수록 엽내 당 함량이 감소한다고 하였고, Auclair (1967)는 목화진딧물을 인공먹이로 사육할 때 당 함량이 증가할수록 발육이 빠르다고 하였다.

규소함량에 따른 사망률은 Table 7과 같다. 유충기간에는 0 mM이 4.3%, 1.7 mM이 4.0%로 5.1 mM 0.0%보다

Table 6. Development period in days (mean±SD) for egg and nymphal stage of *T. urticae* on leaves of eggplant grown at various silicate application levels in the laboratory

Silicate application level (mM)	Sex (No.)	Egg period	Developmental period of immature (days)			
			Larva	Protonymph	Deutonymph	Total
0	Female (22)	3.3±0.46 A ^z	1.4±0.49 A	1.2±0.39 A	1.6±0.49 A	4.2±0.59 A
	Male (14)	3.1±0.36 b ^y	1.4±0.51 a	1.3±0.47 a	1.4±0.51 a	4.1±0.66 a
	Pooled (36)	3.2	1.4	1.2	1.5	4.2
1.7	Female (26)	3.3±0.47 A	1.2±0.37 A	1.4±0.64 A	1.6±0.50 A	4.2±0.88 A
	Male (14)	3.3±0.47 b	1.0±0.00 b	1.0±0.00 b	1.7±0.47 a	3.7±0.47 a
	Pooled (40)	3.3	1.1	1.2	1.7	3.9
5.1	Female (18)	3.6±0.51 A	1.3±0.49 A	1.1±0.32 A	1.4±0.51 A	3.9±0.58 A
	Male (8)	4.0±0.00 a	1.0±0.00 b	1.0±0.00 b	1.0±0.00 b	3.0±0.00 b
	Pooled (26)	3.8	1.2	1.1	1.2	3.5

^z Female ^y Male, Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at $p \leq 0.05$.

Table 7. Age-specific mortality of *T. urticae* on leaves of eggplant grown at various silicate application levels in the laboratory

Silicate application level (mM)	No. eggs tested	Immature stage mortality (%)			
		Larva	Protonymph	Deutonymph	Total
0	46	4.3	8.7	8.7	21.7
1.7	52	4.0	8.0	8.0	20.0
5.1	40	0.0	5.0	30.0	35.0

높았으며, 전 약충기간은 0.0, 1.7, 5.1 mM 각각 8.7, 8.0, 5.0%로 규소수준이 증가할수록 사망률이 감소하였으나, 후 약충기간에는 8.7, 8.0, 30.0%로 규소 5.1 mM 수준에서 사충률이 현저히 높았다. 전체적으로 21.7, 20.0, 35.0%로 0 mM과 1.7 mM은 큰 차이가 없었으나 5.1 mM은 높은 사충률을 보여주었다. Bentz *et al.* (1995)은 엽 내 영양부족이 고구마가루이의 알 및 유충의 사충률이 증가하는 원인이라고 하였는데, 규소수준이 증가하면서 점박이응애의 생존율을 증가시키는 영양물질로 추정되는 조단백질, 탄수화물, 비타민 C 등이 줄어들고, 회분, 조섬유 등 생존율을 감소시키는 요인으로 생각되는 물질이 증가하였기 때문으로 생각된다. Sohn *et al.* (1982)은 벼에 규산질 비료를 사용하게 되면 이화명충의 사충률이 증가하고 우화율과 백수율이 감소한다고 하였다. 본 실험에서도 규소함량이 높은 5.1 mM처리에서 사충률이 높아 같은 경향이었다.

성충기간 및 산란특성

규소수준에 의한 성충기간은 0, 1.7, 5.1 mM처리별 암컷은 각각 7.9, 7.5, 7.1일이었고, 수컷은 0 mM이 5.7일로 가장 길었으며 5.1 mM 5.5일, 1.7 mM 5.0일로 규소함량이 증가할수록 짧아졌다. 산란전기간과 후기간은 규소함량에 따라 큰 차이가 없었고, 산란기간은 0 mM이 7.5일, 1.7 mM이 7.2일, 5.1 mM이 7.0일로 규소함량이 증가할수록 짧아졌으나 통계적 차이는 없었다(Table 8).

규소함량에 따른 점박이응애 산란 수는 Table 8에서와 같이 1.7 mM처리에서 86.3개, 0 mM처리에서 84.7개, 5.1 mM처리에서 77.4개이었으며 일일 산란 수는 0 mM처리에서 7.7개, 1.7 mM과 5.1 mM처리에서 8.6개를 나타내었으나 통계적 차이는 없었다. 그러나 5.1 mM의 산란기간이 짧아 총 산란수에 있어서 약간 감소하는 경향이었다.

Fig. 2는 각각 일일 산란 수를 그림으로 나타낸 것인데,

Table 8. Oviposition period, longevity and fecundity(Mean±SD) of *T. urticae* on leaves of eggplant grown at various silicate application levels in the laboratory

Silicate application level (mM)	No. adults tested	Pre-oviposition period (day)	Oviposition period (day)	Post-oviposition period (day)	Longevity		No. eggs oviposited	Oviposition rate (eggs/day)
					Female	male		
0	11	0.2±0.40 a ²	7.5±2.50 a	0.3±0.47 a	7.9±1.97 a	5.7±1.07 a	84.7±33.73 a	7.7±4.96 a
1.7	11	0.0±0.00 a	7.2±1.33 a	0.3±0.65 a	7.5±0.82 a	5.0±1.11 a	86.3±20.51 a	8.6±5.92 a
5.1	9	0.0±0.00 a	7.0±1.00 a	0.1±0.33 a	7.1±1.17 a	5.5±0.93 a	77.4±28.36 a	8.6±5.72 a

² Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at *p* ≤ 0.05.

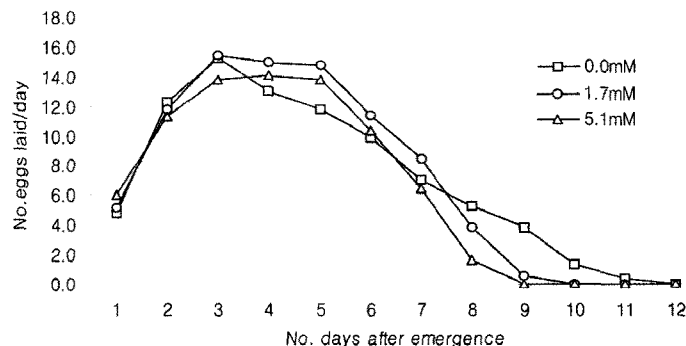


Fig. 2. Daily fecundity changes of *T. urticae* on leaves of eggplant grown at various silicate application levels in the laboratory.

Table 9. Rate of hatching and sex ratio (mean±SD) of *T. urticae* on leaves of eggplant grown at various silicate application levels in the laboratory

Silicate application level (mM)	No. eggs tested	Hatchability (%)	Sex ratio (%)
0	932	89.1±6.71 a ^z	0.75±0.078 a
1.7	949	88.1±6.46 a	0.70±0.090 a
5.1	697	90.4±5.72 a	0.67±0.129 a

^z Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at $p \leq 0.05$.

Table 10. Life table statistics (mean±SD) of *T. urticae* on leaves of eggplant grown at various silicate application levels in the laboratory

Silicate application level (mM)	R_0	r_m	λ	T	DT
0	51.83±6.12	0.41±0.01	1.50±0.01	9.74±0.23	1.71±0.03
1.7	51.12±3.87	0.41±0.01	1.50±0.02	9.64±0.35	1.70±0.05
5.1	33.68±4.11	0.38±0.01	1.46±0.02	9.27±0.29	1.83±0.06

R_0 ; net reproductive rate (female/female), r_m ; intrinsic rate of increase (female/female/day), DT; doubling time (day), λ ; finite rate of increase (female/female/day), T; mean generation time (day).

0 mM 처리에서 산란기간은 길었지만 산란수와 산란패턴은 비슷하여 규소함량이 일일 산란 수에는 큰 영향이 없는 것으로 보였다.

부화율과 성비

규소함량에 의한 부화율은 규소 시비수준 0, 1.7, 5.1 mM에서 각각 89.1, 88.1, 90.4%로 차이가 없었고, 성비는 0 mM 처리에서 0.75로 가장 높았고, 1.7 mM 0.70, 5.1 mM 0.67로 규소함량이 증가할수록 감소하였으나 통계적 유의성은 없었다(Table 9).

생명표

발육기간, 산란수, 성비 등을 토대로 생명표를 작성한 결과는 Table 10과 같다. 순증가율(R_0)은 규소수준별로 각각 51.8, 51.1, 33.7, 내적자연증가율(r_m)은 각각 0.41, 0.41, 0.38을 나타냈고 기간증가율(λ)은 1.50, 1.50, 1.46, 평균세대기간(T)은 각각 9.74, 9.64, 9.27일을 나타내어 모든 지표에서 0 mM과 1.7 mM은 큰 차이가 없었으나 5.1 mM은 다소 떨어지는 경향이였다. 배가기간(DT)은 1.71, 1.70, 1.83일로 5.1 mM이 길어지는 경향이였다. 이러한 결과는 규소 시비수준이 0 mM과 1.7 mM에서는 차이가 없으나 5.1 mM로 수준이 높을 때 점박이용애의 발육에 불리한 것으로 생각된다.

이상의 결과를 종합해 볼 때 배양액내 규소농도를 높여 주면 엽내의 규소함량 또한 증가하게 되나, 칼리를 제외하고는 대부분의 무기원소들이 감소하였다. 회분과 섬유소

의 함량은 증가하고, 조단백질과 탄수화물은 감소하였다. 잎은 두꺼워지고 엽록소함량과 수량은 감소하였다. 식이 선호성과 산란은 규소를 처리하지 않는 가지 잎에 선호성을 보였다. 발육기간은 짧아지는 경향이였으나 사충률은 증가하고 산란 수는 감소하였으며, 성비도 감소하였다. 결과적으로 규소 사용량이 0 mM과 1.7 mM은 큰 차이가 없었으나 규소 사용량이 많은 5.1 mM에서 점박이용애의 순증가율과 내적자연증가율이 감소하는 경향을 보였다. 이는 규소를 사용함에 따라 식물체의 무기원소 및 조성 유기물이 변화하고, 점박이용애의 발육에 부의 영향을 주므로 가지재배지에서 규소성분의 조절에 따라 점박이용애의 밀도를 줄일 수 있을 것으로 보인다.

Literature Cited

- Ahn, S.B., I.S. Kim, M.L. Lee, D.S. Ku, G.M. Kwon and Y.M. Park. 1998. The study of distribution and kinds of vegetable insect pests. Reports of Pests on Crops. NIAST. pp. 435-485.
- Auclair, J.L. 1967. Effects of pH and sucrose on rearing the cotton aphid, *Aphis gossypii*, on a germ-free and holidic diet. J. Insect Physiol. 13: 431-446.
- Bentz, J.A., J. Reeves III, P. Barbosa, and B. Francis. 1995. Nitrogen fertilizer effect on selection, acceptance, and suitability of *Euphorbia pulcherrima* (Euphorbiaceae) as a host plant to *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae). Environ. Entomol. 24: 40-45.
- Choi, K.J., J.I. Lee, N.J. Chung, and W.H. Yang. 2002. Responses of rice growth in hydroponics with application of silicate and mixing effect of ammonium and nitrate. Treat. of Crop Res. 3: 176-179.
- Chung, B.K., S.W. Kang and J.H. Kwon. 2000. Chemical control system of *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae)

- in eggplants. *J. Asia-Pacific Entomol.* 3: 1-9.
- Do, H.W., D.W. Suh, M.K. Kwon, S.K. Choi, and Y.S. Shin. 2004. Effect of *Aphis gossypii* glover on growth and sugar content of oriental melon. *Journal of Bio-Environment Control* 13(1): 13-20.
- Esser, K.B. 2002. Can the application of fused calcium silicate to rice contribute to sustained yields and higher pest resistance?. *Outlook on Agriculture* 31(3): 199-201.
- K.F.D.A. 2005. Food code. Korean Food Industry Association. pp. 41-42.
- Keeping, M.G. and J.H. Meyer. 2002. Calcium silicate enhances resistance of sugarcane to the african stalk borer *Eldana saccharina* Walker (Lepidoptera: Pyralidae). *Agricultural and Forest Entomol.* 4: 265-274.
- KSPP. 1986. A list of plant diseases, insect pests, and weeds in Korea. KSPP p. 633
- Lee, J.S. 2000. Control of cucumber powdery mildew (*Sphaerotheca fuliginea* Poll.) by soluble silicon. Ph. D. Dissertation, Chungbuk National University, Chungju, Korea, p. 112.
- Lee, Y.B. and P.J. Kim. 2006. Effect of silicate fertilizer on increasing phosphorus availability in salt accumulated soil during chinese cabbage cultivation. *Korean. J. Soil. Sci. Fert.* 39(1): 8-14.
- Lee, Y.B., J.S. Kweon, G.Y. Bae, and K.C. Shin. 1991. Effect of silicon on mineral nutrient uptake, growth and manganese toxicity of cucumber plants in hydroponics. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 32(2): 146-156.
- Lee, Y.H., Y.K. Shin, and G.S. Rhee. 1993. Studies on chemical properties of soils under the plastic house cultivation of vegetables. *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 26(4): 236-240.
- M.A.F. 2002. Agricultural and forestry statistical year book. Ministry of Agriculture and Forestry. p. 316.
- Miyake, Y. and E. Takahashi. 1983. Effect of silicon on the growth of solution-cultured cucumber plants. *Soil Sci. PlantbNutr.* 29: 71-83.
- Norris, D.M. and M. Kogan. 1980. Biochemical and morphological bases of resistance. In "Breeding plants resistance to insect" (ed. Maxell and Jennings). pp. 23-61.
- R.D.A. 2002. Eggplant growth technics. Rural Development Administration. pp. 25-159.
- Sohn, S.M. and K.J. Kim. 1982. Variation in larvae development and moth emergence of striped rice borer (*Chilo suppressalis* Walker) and damages in rice cultivars under different levels of nitrogen and silicate fertilizers. *Kor. J. Crop Sci.* 27(1): 11-19.

(Received for publication May 21 2008;
revised September 17 2008; accepted September 18 2008)