

옥수수 품종별 열대거세미나방의 기주 섭식 선호도 및 옥수수 품종별 성분 분석

전정원¹, 이운서², 최선일³, 최재근⁴, 김문중⁴, 류시환⁵, 김주일^{1,2,6*}

¹강원대학교 농업생명과학대학 생물자원과학부 스마트농업융합학과 석사과정생,

²강원대학교 농업생명과학대학 생물자원과학부 식물의학전공 학사과정생,

³강원대학교 농업생명과학대학 바이오산업공학부 식품생명공학전공 조교수, ⁴강원도농업기술원 농업연구사,

⁵강원도농업기술원 농업연구관, ⁶강원대학교 농업생명과학대학 생물자원과학부 식물의학전공 조교수

Host Preference of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) by Corn Varieties and its Composition Analysis

Jungwon Jeon¹, Yunseo Lee², Sun-Il Choi³, Jae-Keun Choi⁴, Moonjong Kim⁴, Shihwan Ryu⁵, Juil Kim^{1,2,6*}

¹Graduate Student, Interdisciplinary Graduate Program in Smart Agriculture, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea

²Undergraduate Student, Department of Plant Medicine, College of Agriculture and Life Science, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea

³Assistant Professor, Department of Food Science and Biotechnology, College of Agriculture and Life Science, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea

⁴Researcher, Gangwon Provincial Agricultural Research and Extension Services, Chuncheon 24203, Korea

⁵Chief Researcher, Gangwon Provincial Agricultural Research and Extension Services, Chuncheon 24203, Korea

⁶Assistant Professor, Department of Plant Medicine, College of Agriculture and Life Science, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea

*Corresponding author: Juil Kim (E-mail: forweek@kangwon.ac.kr)

ABSTRACT

Received: 14 April 2024

Accepted: 14 June 2024

Fall armyworm (FAW; *Spodoptera frugiperda*) is a major pest worldwide. Since its first confirmed domestic invasion in 2019, damage to crops such as corn has been steadily increasing. To provide basic data for the management of *S. frugiperda*, we compared the species' host preference and nutritional compositions of corn varieties. Twelve varieties of corn were selected for the experiment: three commercially available sweet corn varieties, two popcorn varieties, three varieties used for processing purposes, and three pigmented varieties (Saekso 1, Saekso 4, Saekso 5, Oryun 2, Daeryuk 2, Dreamok, Gangilok, Arichal, Heukgeom 2, Miheukchal, Oryun popcorn, and Mibaek 2). To determine differences in host preference between breeds and environments, preferences were investigated at the population and individual levels. The damage rate was significantly lower in Saekso 5 after 3 days, Arichal after 5 days, and Heukgeom 2 on day seven after treatment. The individual-level experiment confirmed that when leaves were tested, Gangilok had the highest damage rate and Oryun 2 had the lowest. Conversely, when stems were used, Saekso 1 had the highest and Dreamok had the lowest rates. The experimental results were inconsistent at the population and individual levels, and the broad range of variation made it difficult to select varieties that *S. frugiperda* avoided. However, Mibaek 2 had the highest damage rate at a significant level up to 5 days after treatment at the population level. After analyzing the general components of the 12 varieties, determining a relationship between the components and preferences between varieties was not straightforward. Among the corn varieties currently cultivated, there are no varieties that *S. frugiperda* avoids feeding on; therefore, it is believed that it will be challenging to use ecological control depending on the corn variety. Thus, other control methods, such as chemical control, appear more effective.

Keywords: Composition, Control, Corn variety, Host preference, *Spodoptera frugiperda*



서론

열대거세미나방(Fall armyworm, FAW, *Spodoptera frugiperda*, Lepidoptera: Noctuidae)은 아열대 및 열대성의 서반구 미주대륙이 원산지이며 광식성(polyphagous)의 이동성이 높은 침입성 해충이다(Sparks, 1979). 미주대륙이 원산지이지만 2016년에 서아프리카 나이지리아에서 확인된 이후 서식지를 확장하여 현재에는 대부분의 아프리카 국가에서 발생이 확인되고 있으며 빠르게 서식지를 확장하여 2018년 7월에 인도에서 처음 발견된 후 방글라데시, 중국, 라오스를 포함한 다른 아시아 국가로 빠르게 확산하였다(Ma et al., 2019). 한국에서는 2019년 6월 13일 제주도 제주시 구좌읍의 옥수수 밭에서 처음 발생이 확인되었다(Heo et al., 2021). 또한 열대거세미나방 유충은 기주식물의 범위가 다양한 해충으로, 42과 186종의 작물에게 피해를 입히는 것으로 알려져 있으며, 이 중 옥수수가 가장 피해가 큰 작물로 알려져 있다(Casmuz et al., 2010). 열대거세미나방 유충의 경우 주로 옥수수의 잎, 줄기 그리고 열매를 파고들어 생산량을 감소시켜 경제적 손실을 유발시키고 그로 인한 전 세계 옥수수 피해액은 최소 2,481.70백만불에서 최대 6,187.30백만불로 추정되고 있다(Heo et al., 2021). 열대거세미나방은 휴면기(diapause)가 존재하지 않고 세대 기간이 짧아 적합한 환경에서는 연중 번식이 가능하다(Day et al., 2017). 성충의 비행 능력은 연속적으로 48시간동안 116.7km가 가능하다는 연구 결과도 있으며(Chen et al., 2022), 성충의 생식 능력과 비행 능력은 영양 급여 조건에 영향을 받는 것으로 알려져 있다(HE et al., 2021). 국내의 겨울철 평균 기온은 10도 이하로 열대거세미나방이 월동하기 어려운 환경이지만 주기적으로 동남아시아 등지에서 유입되어 피해 가능성이 높기 때문에 이 종에 대한 체계적인 생태학적 연구가 필요하다(Osabutey et al., 2022). 또한, 야외 발생 조사 및 유충 채집 당시 대규모 포정이라고 하더라도 특정 지역에 발생이 집중되는 것을 확인할 수 있다. 물론 비래 해충의 특성 상 최초 비래 위치를 중심으로 산란하여 초기 유충 발생이 특정 지역에 집중될 수 있으나 품종 간의 차이 등에 대한 섭식선호도 가능성 여부에 대한 민원이 꾸준히 제기되어 왔다. 따라서 강원도에서 주로 재배되는 품종을 중심으로 현재 시판 중인 12품종에 대한 평가와 더불어 열대거세미나방 유충의 옥수수 품종 선호도 확인 및 품종 간 차이를 알아보고자 하였다. 또한 옥수수 품종 간 영양성분 함량의 차이가 열대거세미나방이 기주식물을 선택하는 요인으로 작용할 수 있을 것이라는 가정 하에 본 실험을 설계하였다. 이와 더불어 12가지의 옥수수 품종에 대해서 섭식 선호도가 가장 떨어지는 품종을 생태적 내충성으로 간주하고 계통의 영양성분 및 특성을 홍보하여 농가에 실질적인 정보 제공, 내충성 옥수수 계통을 재배하는 재배적 방제법을 활용할 수 있도록 하는 효율적인 방제 가이드라인을 구축하고자 본 연구를 수행하였다.

재료 및 방법

곤충 및 옥수수 품종

열대거세미나방은 2023년 충남 태안군 근흥면 용안길 202(36°43'27"N 126°13'50"E) 옥수수 포장에서 유충 상태로 채집하여 강원대학교 곤충분자독성학 실험실에서 누대 사육한 계통을 실험에 사용하였다. 실내 누대 사육 환경 조건은 광조건 12:12h(L:D), 온도 $25 \pm 2^\circ\text{C}$, 상대습도 $50 \pm 10\%$ 의 환경에서 사육하였다. 사육 조건 및 방법은 기존에 보고된 왕담배나방(*Helicoverpa armigera*) 사육법에 준하여 사육하였는데(Kim et al., 2018), 옥수수가 포함되어 있지 않는 인공사료는 섭식을 잘 하지 않아 기존에 사용하던 인공사료(General Purpose Lepidoptera, F9772, Bio-Serv, Inc., Frenchtown, NJ)에 옥수수 즙액을 첨가하여 급여하였다. 실험에 사용한 옥수수 품종은 강원도에서 주로 재배되

고 있는 12품종을 선발하였으며, 찰옥수수 3품종[미백 2호(Mibaek 2), 미흑찰(Miheukchal), 흑점 2호(Heukjeom 2)], 팝콘용 2품종[오룬팝콘(Oryun popcorn), 오룬 2호(Oryun 2)], 가공용 1품종(아리찰 Arichal), 종실·사료용 3품종[드림옥(Dreamok), 대륙 2호(Daeryuk 2), 강일옥(Gangilok)], 기능성 3품종[색소 1호(Saekso 1), 색소 4호(Saekso 4), 색소 5호(Saekso 5)]를 강원특별자치도 농업기술원 옥수수연구소에서 분양 받아 사용하였다.

집단 수준의 품종 선호도 조사

기주 선호도를 파악하기 위해서 옥수수 12품종을 강원대학교 춘천캠퍼스 농업생명과학대학 온실에서 재배하였다. 바로커 상토(Seoul Bio Co., Ltd., Eumsung, Korea)를 채운 50공 육묘판에 각 품종 종자들을 무작위적 위치에 종자 2개씩, 4곳에 파종하였고 2곳은 빈외구로 남겨두었다. 각 품종 옥수수들은 약 2주가량 재배 후 높이가 30 cm 정도로 자라면 한 구에 한 개의 품종 옥수수가 배치되도록 준비하였으며, 모든 실험은 4반복으로 수행하였다. BugDorm-2400 Insect Rearing Tent(75 × 75 × 115 cm; Mega View Science, Taichung, Taiwan)에 무작위적으로 종자를 배치한 육묘판을 넣고 3령 유충을 반복 당 20개체씩 무작위로 접종하였다. 24시간, 48시간, 72시간씩 24시간 간격으로 7일간 섭식도 조사를 위해 피해율(%)을 기준으로 피해도 점수를 기록하였다. 기록한 피해도 정도(0 - 100%)를 기반으로 하여 품종별 기주 섭식 선호도를 산출하였다.

개체 수준의 선호도 조사

Petri dish(SPL10150 150 × 20 mm, SPL Life Sciences. Pochen, Korea)를 원형 dish의 중심을 기준으로 12등분으로 나누어 가장자리에 옥수수 12품종을 배치하고 중앙에 4령의 열대거세미나방 1마리를 배치하여 제한된 환경에서 섭식을 위해 어느 품종으로 이동하는지, 시간이 경과함에 따라 어느 품종을 가장 많이 섭취하였는지를 관찰하여 기록하였다. 사용된 옥수수는 약 2주가량 재배 후 잎과 줄기로 부위를 나누어 모두 1시간, 3시간, 6시간, 12시간, 24시간 간격으로 섭식도를 조사하였다. Dish에 옥수수 품종 12종을 일정한 간격으로 배치하였으며 옥수수 잎이 말리는 현상과 그 자리에 고정되지 못하고 움직이는 상황을 줄이기 위해 옥수수 잎 끝 부분에 테이프를 붙여 dish와 고정시켰다. 30반복으로 진행하였고 섭식도 조사를 위해 제작한 피해율(%)의 기준대로 피해도 점수를 기록하였다. 기록한 피해도 점수를 기반으로 하여 품종별 기주 선호도를 피해도 점수를 산출하였다. 집단 실험은 4반복, 개체 수준은 30반복의 값을 평균과 표준편차로 나타냈다.

옥수수 12품종 일반성분 분석

품종별 옥수수시료를 조분쇄한 후 표준체(60 mesh, 0.25 mm)를 이용하여 고른 크기로 시료를 준비하였다. 옥수수 시료 12종의 일반성분 함량은 Association of Official Agricultural Chemists(AOAC)법에 따라 수분, 조단백질, 조지방과 조회분은 각각 105°C 상압건조법, Kjeldahl법, soxhlet 추출법과 직접회화법을 통해 분석하였다(Sim et al., 2020). 수분은 향량된 칭량접시에 시료 1 g을 담아 105°C에서 상압건조시켜 감소되는 양을 수분량으로 하여 측정하였다. 조회분은 시료 2 g을 600°C 회화로에서 직접 회화시켜 회화되기 전 시료의 무게와 회화된 후의 시료의 무게의 차이로 함량을 산출하였다. 조지방 함량은 시료 1 g을 지방 자동추출장치인 Soxtec(2055 SOXTEC, FOSS TECATOR, Hoganas, Sweden)을 이용해 측정하였다. 조단백질 함량은 시료 1 g을 Kjeldahl법을 이용한 단백질 자동분석기(Kjeltec protein analyzer, Tecator, Hoganas, Sweden)를 이용하였다. 검체를 황산으로 분해하고 증류하여 발

생되는 암모니아를 H₃BO₃ 용액으로 포집 후 0.1N-HCl 용액으로 적정하여 아래의 계산식에 따라 산출하였다.

$$\text{조단백질 (\%)} = \frac{(\text{HCl소비 mL} - \text{공시험 mL}) \times 0.0014^*}{\text{검체량 (g)}} \times 6.25^{**} \times 100$$

*0.1N-HCl 용액 1 mL에 상당하는 질소량(g)

**질소계수

통계분석

옥수수 품종에 따른 기주 선호도 및 품종별 성분 분석 결과는 통계프로그램 SAS(ver. 9.4, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)을 활용하여 분산분석(ANOVA)을 실시하였으며, 유의적 차이 검증을 위해 Duncan's multiple range test를 이용하여 유의성을 검정하였다($p = 0.05$).

결과

옥수수 12품종 기주선호도 실험 결과

옥수수 12품종에 대한 열대저세미나방의 기주 선호도는 집단 수준(semi-field level, tent)과 개체 수준 조건(individual level, dish)으로 나누어 진행하였다. 집단 수준에서 20개체 4반복 평균값을 기준으로 7일간 각 품종별 피해도를 확인한 결과, 날짜별로 피해도 차이가 커서 일정한 경향치를 찾기가 어려웠다(Table 1). 처리 후 3일차까지는

Table 1. Host preference survey results at population level of *S. frugiperda*

Days	Varieties											
	Saekso 1	Saekso 4	Saekso 5	Oryun 2	Daeryuk	Dreamok	Gang-ilok	Arichal	Heuk-geom 2	Miheuk chal	Oryun popcorn	Mibaek 2
Day 1	6.66 ± 9.84 ^{ab}	15.00 ± 6.74 ^a	4.16 ± 5.14 ^b	9.16 ± 9.96 ^{ab}	6.66 ± 8.87 ^{ab}	11.66 ± 7.17 ^{ab}	10.83 ± 9.00 ^{ab}	10.83 ± 9.96 ^{ab}	13.33 ± 10.73 ^a	10.83 ± 7.92 ^{ab}	10.00 ± 6.03 ^{ab}	15.00 ± 13.81 ^a
	21.66 ± 21.67 ^{ab}	22.50 ± 12.15 ^{ab}	10.83 ± 10.83 ^b	15.83 ± 14.43 ^{ab}	19.16 ± 10.83 ^{ab}	21.66 ± 11.93 ^{ab}	27.50 ± 19.59 ^a	21.66 ± 9.37 ^{ab}	24.16 ± 13.11 ^{ab}	25.00 ± 17.32 ^{ab}	26.66 ± 19.69 ^a	29.16 ± 13.11 ^a
Day 3	33.33 ± 19.22 ^{ab}	33.33 ± 13.02 ^{ab}	29.16 ± 14.43 ^b	35.83 ± 13.11 ^{ab}	32.50 ± 8.66 ^{ab}	39.16 ± 9.00 ^{ab}	33.33 ± 18.25 ^{ab}	34.16 ± 12.40 ^{ab}	40.83 ± 9.96 ^{ab}	35.00 ± 16.23 ^{ab}	40.00 ± 19.06 ^{ab}	45.83 ± 16.21 ^a
	46.66 ± 11.54 ^b	52.50 ± 14.84 ^{ab}	45.00 ± 14.45 ^b	47.50 ± 9.65 ^b	44.16 ± 12.40 ^b	45.00 ± 9.04 ^b	46.66 ± 15.56 ^b	45.83 ± 15.05 ^b	46.66 ± 7.78 ^b	45.00 ± 15.07 ^b	49.16 ± 16.21 ^{ab}	60.00 ± 12.79 ^a
Day 5	55.00 ± 13.14 ^{ab}	61.66 ± 16.42 ^{ab}	57.50 ± 13.56 ^{ab}	52.50 ± 14.84 ^{ab}	55.83 ± 17.29 ^{ab}	55.83 ± 14.43 ^{ab}	54.16 ± 18.31 ^{ab}	50.00 ± 15.37 ^b	56.66 ± 14.97 ^{ab}	55.00 ± 11.67 ^{ab}	54.16 ± 19.28 ^{ab}	65.83 ± 13.78 ^a
	65.83 ± 19.28 ^a	78.33 ± 16.42 ^a	70.00 ± 16.51 ^a	63.33 ± 17.75 ^a	68.33 ± 14.66 ^a	68.33 ± 20.81 ^a	65.83 ± 15.64 ^a	63.33 ± 15.56 ^a	63.33 ± 16.14 ^a	70.00 ± 13.48 ^a	75.00 ± 15.56 ^a	75.00 ± 12.43 ^a
Day 7	88.33 ± 13.37 ^a	87.50 ± 10.55 ^a	88.33 ± 10.29 ^a	82.50 ± 14.84 ^{ab}	85.83 ± 10.83 ^a	78.33 ± 12.67 ^{ab}	84.16 ± 7.92 ^{ab}	84.16 ± 15.05 ^{ab}	73.33 ± 17.75 ^b	79.16 ± 10.83 ^{ab}	86.66 ± 16.14 ^a	80.83 ± 10.83 ^{ab}

Note. Results are expressed as mean ± standard deviation. Calculated sample size of entire population of cultivars [N (12 cultivars × 12) = 144]. Same letter are not significantly different ($P < 0.05$).

색소 5호가 통계적으로 유의하게 낮은 피해율을 보였으나, 4일차 이후에는 다른 결과를 나타냈었다. 5일차에서 아리찰, 7일차에서 흑점 2호에서 유의하게 낮은 피해율이 확인되었으며, 그 이외의 조사에서는 뚜렷한 차이를 찾기 어려웠다(Fig. 1). 그러나 섭식 선호도가 높은 즉, 피해율이 가장 높은 품종은 처리 후 1일차부터 5일차까지 미백 2호로 피해율이 70% 가까이 될 때까지 미백 2호를 선호하는 것으로 확인되었다(Table 1, Fig. 1). 결과적으로 선호도가 높은 품종은 미백 2호, 초기 피해율이 낮은 즉, 기피하는 품종은 색소 5호라고 할 수는 있으나 선호도가 낮은 품종에 대해서는 일관된 결과를 보여주지 않았다. 특히 7일차의 경우 어떤 특정 품종의 피해도가 낮다고 할 수 없을 정도로 고르게 섭식

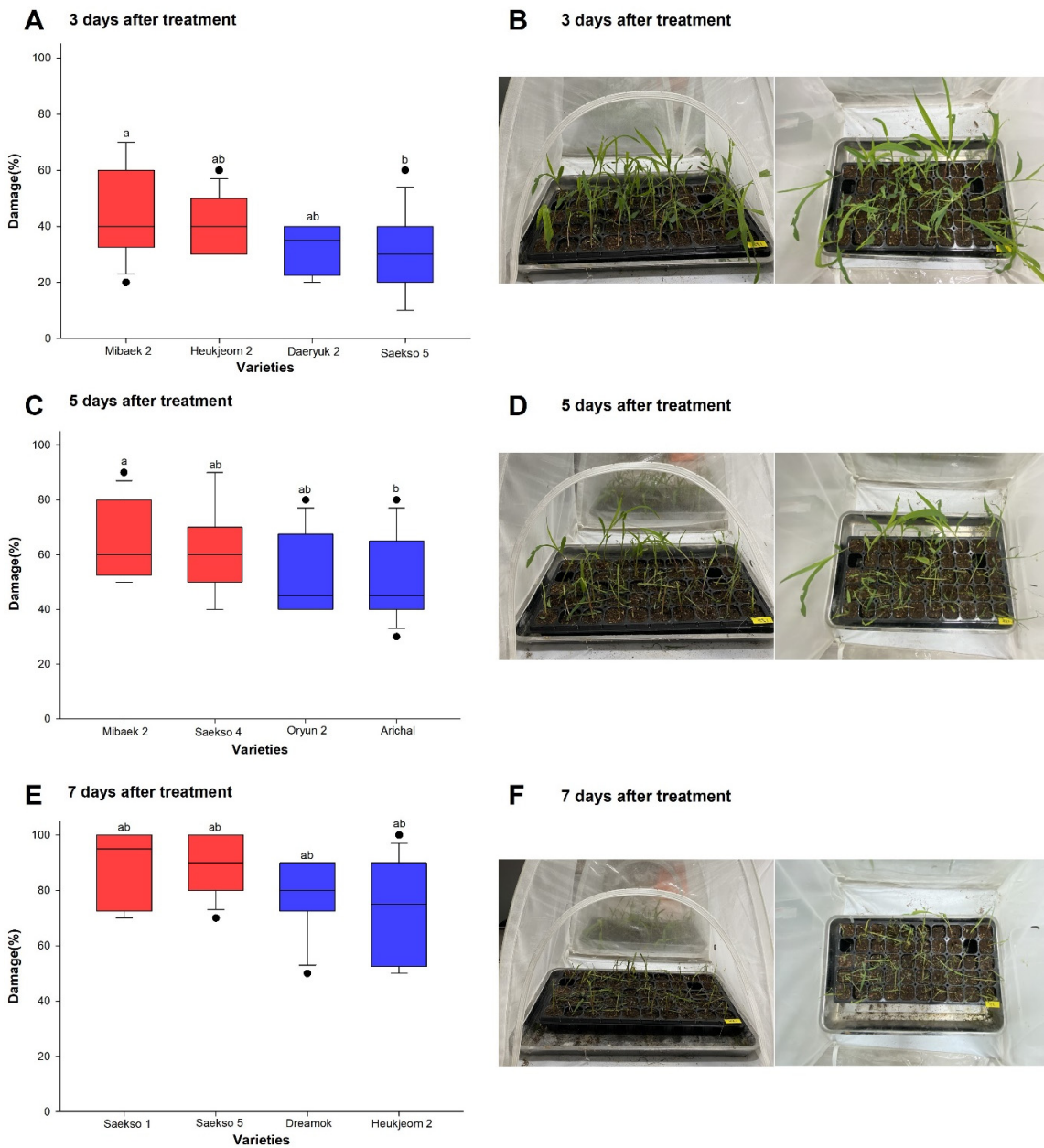


Fig. 1. Host preference survey results on 3 (A), 5 (C), and 7 days after treatment (E) at a population level of *S. frugiperda*. Damage rates of the highest two cultivars (red boxed) and the lowest two cultivars (blue boxed) with the proportion of corn damage were compared—representative pictures of corn damage after treatment of *S. frugiperda* (B, D, F).

하였다(Fig. 1F). 집단 수준에서는 개체들 사이에서 경쟁이 부가적인 요인으로 작용할 수 있을 것이라 판단하여 개체 수준에서 다시 검정 하였다.

개체 수준 조건에서는 부위별 선호성 확인을 위해 잎과 줄기로 부위를 나누어 진행한 결과, 잎에서 진행하였을 때 24시간 기준, 강일옥에서 $26.33 \pm 11.93\%$ 로 가장 높았으며 오륜 2호에서 $7.00 \pm 6.08 \%$ 로 가장 낮았다(Table 2). 평균으로만 비교하면 약 4배의 차이가 나지만 개체 수준의 반복 별 편차가 매우 커 통계적인 유의차를 확인할 수는 없었다. 줄기에서 진행하였을 때에는 24시간 기준, 색소 1호에서 $69.67 \pm 15.21\%$ 로 가장 높았으며 드림옥에서 $36.67 \pm 13.20\%$ 로 가장 낮았다(Table 3). 줄기를 섭식하는 비율이 잎보다 더 높았으며, 개체 간의 편차가 잎보다는 작아 드림 옥이 다른 품종에 비하여 통계적으로 유의하게 섭식 선호도가 낮음이 확인되었다.

Table 2. Host preference survey results (leaf-based) at individual level of *S. frugiperda*

hours	Varieties											
	Saekso 1	Saekso 4	Saekso 5	Oryun 2	Daeryuk 2	Dream-ok	Gang-ilok	Arichal	Heuk-geom 2	Miheuk chal	Oryun popcorn	Mibaek 2
1 hour	1.00 ± 1.73 ^a	0.33 ± 0.57 ^a	0.66 ± 0.57 ^a	1.00 ± 1.73 ^a	1.33 ± 0.57 ^a	0.66 ± 0.57 ^a	0.66 ± 1.15 ^a	1.33 ± 2.30 ^a	1.00 ± 1.73 ^a	1.00 ± 1.73 ^a	1.33 ± 2.30 ^a	0.00 ± 0.00 ^a
	2.33 ± 2.08 ^a	1.00 ± 1.00 ^a	1.66 ± 2.08 ^a	5.33 ± 5.03 ^a	4.00 ± 1.00 ^a	2.33 ± 1.52 ^a	2.00 ± 2.64 ^a	5.33 ± 9.23 ^a	2.00 ± 2.64 ^a	5.33 ± 9.23 ^a	2.00 ± 2.64 ^a	1.33 ± 2.30 ^a
3 hours	4.00 ± 4.58 ^a	1.00 ± 1.00 ^a	4.00 ± 4.58 ^a	6.33 ± 5.50 ^a	5.66 ± 1.52 ^a	3.33 ± 2.08 ^a	4.33 ± 5.13 ^a	6.33 ± 10.11 ^a	3.00 ± 2.64 ^a	4.66 ± 8.08 ^a	2.66 ± 3.05 ^a	1.66 ± 2.88 ^a
	4.33 ± 4.50 ^a	2.66 ± 2.08 ^a	8.00 ± 2.00 ^a	6.66 ± 5.77 ^a	9.66 ± 3.78 ^a	10.00 ± 9.00 ^a	5.33 ± 6.11 ^a	6.00 ± 9.53 ^a	5.33 ± 0.57 ^a	7.66 ± 13.27 ^a	4.33 ± 5.85 ^a	6.33 ± 5.68 ^a
6 hours	15.00 ± 5.00 ^a	13.00 ± 13.52 ^a	9.33 ± 0.57 ^a	7.00 ± 6.08 ^a	18.33 ± 2.08 ^a	25.33 ± 8.96 ^a	26.33 ± 11.93 ^a	15.33 ± 19.29 ^a	12.33 ± 6.35 ^a	18.00 ± 12.49 ^a	17.33 ± 17.21 ^a	18.00 ± 16.52 ^a

Note. Results are expressed as mean ± standard deviation. Calculated sample size of the entire population of cultivars [N (12 cultivars × 30) = 360]. Same latter are not significantly different ($P = 0.05$).

Table 3. Host preference survey results (stem-based) at individual level of *S. frugiperda*

hours	Varieties											
	Saekso 1	Saekso 4	Saekso 5	Oryun 2	Daeryuk 2	Dream-ok	Gang-ilok	Arichal	Heuk-geom 2	Miheuk chal	Oryun popcorn	Meback 2
1 hour	3.33 ± 5.77 ^{ab}	2.00 ± 2.64 ^{ab}	4.66 ± 4.16 ^a	0.33 ± 0.57 ^{ab}	0.00 ± 0.00 ^b	0.00 ± 0.00 ^b	0.00 ± 0.00 ^b	1.00 ± 1.73 ^{ab}	0.66 ± 1.15 ^{ab}	0.00 ± 0.00 ^b	0.00 ± 0.00 ^b	0.33 ± 0.57 ^{ab}
	6.66 ± 5.77 ^a	12.00 ± 19.92 ^a	9.66 ± 7.23 ^a	3.66 ± 4.61 ^a	2.33 ± 2.51 ^a	0.33 ± 0.57 ^a	2.33 ± 2.51 ^a	9.33 ± 7.50 ^a	5.33 ± 4.50 ^a	2.66 ± 4.61 ^a	13.00 ± 14.10 ^a	5.33 ± 4.04 ^a
3 hours	13.33 ± 4.93 ^a	18.66 ± 15.88 ^a	15.66 ± 8.50 ^a	13.00 ± 5.19 ^a	5.33 ± 6.11 ^a	3.00 ± 3.00 ^a	10.33 ± 6.80 ^a	15.33 ± 12.85 ^a	18.33 ± 11.15 ^a	9.33 ± 10.21 ^a	23.66 ± 23.50 ^a	9.00 ± 4.58 ^a
	27.33 ± 5.50 ^{abcde}	32.00 ± 19.07 ^{abcd}	39.33 ± 8.50 ^a	26.33 ± 6.35 ^{abcde}	20.33 ± 1.15 ^{bcde}	13.66 ± 3.51 ^e	18.00 ± 6.55 ^{cde}	38.66 ± 6.02 ^a	35.00 ± 9.53 ^{abc}	23.33 ± 10.78 ^{abcde}	36.66 ± 15.27 ^{ab}	15.33 ± 5.50 ^{de}
6 hours	69.66 ± 15.27 ^a	68.00 ± 23.00 ^a	68.00 ± 15.71 ^a	59.33 ± 9.50 ^a	55.33 ± 4.16 ^{ab}	36.66 ± 13.20 ^b	54.66 ± 3.78 ^{ab}	67.00 ± 9.84 ^a	60.00 ± 2.64 ^a	58.33 ± 5.03 ^a	69.33 ± 10.50 ^a	55.00 ± 8.66 ^{ab}

Note. Results are expressed as mean ± standard deviation. Calculated sample size of the entire population of cultivars [N (12 cultivars × 30) = 360]. Same latter are not significantly different ($P = 0.05$).

옥수수 12품종 일반성분 분석 결과

품종별 옥수수시료의 일반성분은 Table 4에 나타내었다. 옥수수 시료 12종에서의 수분 함량은 $7.30 \pm 0.16\%$ - $10.46 \pm 0.25\%$ 의 범위였고, 오룬팝콘이 가장 높고 대륙 2호가 가장 낮았다. 조회분 함량은 $1.29 \pm 0.01\%$ - $1.69 \pm 0.01\%$ 의 범위였고, 색소 4호가 가장 높고 흑점 2호가 가장 낮았다. 조지방 함량은 범위가 $2.52 \pm 0.72\%$ - $5.74 \pm 0.17\%$ 로 측정되었고, 아리찰이 가장 높고 대륙 2호가 가장 낮았다. 조단백질 함량은 $9.00 \pm 0.14\%$ - $12.76 \pm 0.37\%$ 의 범위로, 미백 2호가 가장 높았고, 강일옥이 가장 낮았다. 탄수화물 함량의 경우, 100%에서 앞서 구한 수분, 조회분, 조지방, 조단백질의 함량을 제외한 값으로써 범위는 $71.58 \pm 0.75\%$ - $79.79 \pm 0.76\%$ 로 측정되었고, 대륙 2호가 가장 높고 미백 2호가 가장 낮았다. 일반성분 분석 결과에서 품종간 비교적 수분과 조지방 함량이 낮을수록 탄수화물 함량이 높게 나타났으며, 또한 탄수화물 함량이 낮을수록 조단백질 함량이 높게 나타나는 경향성이 확인되었다.

고찰

서론에서 언급했듯이 열대거세미나방 피해로 인한 옥수수의 수량손실은 매우 큰 것으로 알려져 있다. 아프리카 소규모 농민 대상 조사에서 열대거세미나방 피해율은 32 - 48%로 다른 지역과 비슷하나 수량 감소율은 실제로 11.57%로 그 보다 더 낮았다는 것을 근거로 열대거세미나방의 피해가 과대평가되어 있을 수 있다는 주장도 제기되고 있다 (Baudron et al., 2019). 그러나 기존 한국에서 보고된 조사에서는 옥수수 재배 초기 일시적인 비재로 35.6% 피해주율이 나타났으며, 그 중 19.3%가 심한 피해를 받았다는 것은 열대거세미나방에 의한 피해 유발 잠재력을 보여주는 것으로 보인다(Heo et al., 2021). 실제 암이삭에서 종실부위까지 피해가 60%에 달하였으므로 기존에 보고된 피해 자료가 과대평가된 것 같지는 않다(Heo et al., 2021). 또한 열대거세미나방의 유충은 특정 품종의 옥수수에 더 머무르는 경향

Table 4. Proximate nutrient composition of the 12 corn varieties

Varieties	Proximate composition				
	Moisture	Crude ash*	Crude fat	Crude protein**	Carbohydrate
Gangilok	10.04 ± 0.31^a	1.35 ± 0.01^e	3.58 ± 0.47^{de}	9.00 ± 0.14^f	76.03 ± 0.63^{bc}
Daeryuk 2	7.30 ± 0.16^g	1.31 ± 0.01^f	2.52 ± 0.72^f	9.07 ± 0.26^f	79.79 ± 0.76^a
Dreamok	8.55 ± 0.31^c	1.43 ± 0.03^d	4.60 ± 0.37^{bc}	11.79 ± 0.30^{bc}	73.64 ± 0.80^{fg}
Mibaek 2	9.35 ± 0.21^b	1.38 ± 0.04^e	4.93 ± 0.22^b	12.76 ± 0.37^a	71.58 ± 0.75^h
Miheukchal	8.30 ± 0.19^{cd}	1.45 ± 0.02^{cd}	4.06 ± 0.06^{cd}	11.34 ± 0.20^{cd}	74.85 ± 0.10^{de}
Saekso 1	7.82 ± 0.17^{ef}	1.47 ± 0.02^c	4.78 ± 0.44^b	10.72 ± 0.07^e	75.20 ± 0.32^{cd}
Saekso 4	7.86 ± 0.46^{def}	1.69 ± 0.01^a	5.13 ± 0.31^b	12.25 ± 0.13^{ab}	73.06 ± 0.76^{fg}
Saekso 5	7.60 ± 0.08^{fg}	1.47 ± 0.02^c	4.89 ± 0.10^b	12.05 ± 0.38^b	73.99 ± 0.31^{ef}
Arichal	9.13 ± 0.21^b	1.49 ± 0.02^c	5.74 ± 0.17^a	10.42 ± 0.31^e	73.21 ± 0.20^{fg}
Oryun 2	8.16 ± 0.26^{cde}	1.60 ± 0.01^b	3.30 ± 0.08^e	10.63 ± 0.22^e	76.31 ± 0.47^b
Oryun popcorn	10.46 ± 0.25^a	1.67 ± 0.02^a	3.96 ± 0.02^d	10.59 ± 0.70^e	73.32 ± 0.98^{fg}
Heukjeom 2	10.10 ± 0.26^a	1.29 ± 0.01^f	4.90 ± 0.03^b	10.88 ± 0.33^{de}	72.82 ± 0.08^g

*Nitrogen-protein conversion factor: 6.25

**Carbohydrate (%): $100 - (\text{Moisture} + \text{Crude protein} + \text{Crude lipid} + \text{Crude ash})$

Same letter are not significantly different ($P = 0.05$).

이 있고 옥수수에서 방출되는 휘발성 화합물의 차이로 인해서 유인되는 점이 밝혀졌다(De La Rosa-Cancino et al., 2016). 휘발성 화합물의 차이 이외에 곤충 유충들의 발달과 성장, 성충의 산란율과 같이 생존에 주요한 요소들은 기주 식물에 의해 크게 영향을 받는 것으로 알려져 있다(Awmack and Leather, 2002; Clavijo McCormick et al., 2019). 기주 식물의 영양학적 구성 성분과 같은 질적 요소가 유충의 크기, 생식 능력, 비행 능력과도 연관이 있으며, 이는 일부 곤충이 기주 식물을 선호하게 되는 요인이 된다고 알려지고 있다(Braschler and Hill, 2007; Müller and Müller, 2016). 현재까지 국내는 물론 국제적으로도 열대거세미나방의 옥수수 품종별 먹이 섭취에 따른 다양한 선호 정도와 각 품종의 성분 차이에 의한 역학 관계는 아직 명확하게 밝혀진 바가 없다.

강원도에서 주로 재배하는 12품종을 이용하여 실험한 결과, 집단 수준의 섭식 선호도 실험의 3, 5, 7일차 결과에서 찰옥수수와 기능성 품종으로 분류되는 품종의 섭식 선호도가 높게 조사되었다. 본 실험에서 진행한 섭식 선호도 조사 결과 반복 별 변이 폭이 크게 조사되었는데, 이렇게 반복간 편차가 큰 이유는 집단 수준의 섭식 선호도 실험에서는 한정된 공간 내의 열대거세미나방 유충의 집단 사육 특성이라 알려져 있는 동족 포식 행동이 나타나 실험 결과에 영향이 있었을 것이라 추정할 수 있다. 열대거세미나방 유충의 이런 동족 포식 행동은 전적으로 먹이 부족 때문만은 아닌 것으로 알려져 있다(Jung et al., 2020). 일종의 종내 경쟁인 동족 포식의 영향을 포함하더라도 처리 후 5일차까지 뚜렷하게 미백2호를 가장 높은 비율로 섭식하는 것이 확인되어 열대거세미나방은 강원도에서 가장 많이 재배하는 미백2호를 선호하는 것으로 판단하였다. 그 이외의 품종에 관해서는 3일차까지는 색소 5호의 피해율이 낮기는 하였으나 4일 이후부터는 특정 품종을 기피하기보다는 다양한 품종을 가해하는 것으로 보아 특별히 섭식 선호도가 낮은 품종은 없는 것으로 사료된다.

집단 수준의 실험에서 동족 포식 등의 다른 요인이 품종별 선호도 검정 결과에 영향을 주었을 가능성을 배제할 수 없기에 이 점을 보완한 실험 설계가 필요하여 개체 수준에서 실험을 진행하였다. 개체 수준 선호도에서는 잎과 줄기로 나누어 실험한 결과 모두 종실·사료용으로 분류되는 품종의 섭식 선호도가 높게 조사되었다. 또한, 잎과 줄기의 피해율을 비교해 보았을 때, 잎보다는 줄기의 피해율이 높아 열대거세미나방은 줄기를 더 선호하는 것으로 사료된다. 무엇보다도 개체 별 섭식량 및 선호도에 대한 편차가 매우 컸기 때문에 처리 당 30마리가 아닌 더 많은 반복 수를 처리하거나 개체 변이가 최소화될 수 있는 실험 전략이 필요할 것으로 판단하였다. 한편, 본 연구에서 dish를 이용한 개체 수준 섭식도 실험을 진행하였을 때 테이프를 식물에 고정하는데 있어 유충이 테이프의 접착면 부분에 고정되어 있는 듯한 모습이 관찰되었는데, 향후 후속연구에 있어 이를 개선하여 식물체를 고정하는 방법을 다시 재고할 필요가 있다.

본 실험 결과에서, 영양학적 관계와 기주 선호도 사이의 관계에서 특이적인 영양 성분 차이로 인한 선호성 확인은 되지 않았으나, 곤충의 기주 선호도와 기주의 영양성분 중에서 수분함량 또한 선호도 및 영양소 섭취에 영향을 미치는 중요한 요소 중 하나로 알려져 있기에(Daryaei et al., 2008) 이 점을 온습도 등의 실험 환경 조건에서 고려해 볼 수 있었다. 본 연구에서 분석한 12품종 중에서, 종실용 종자인 ‘대륙 2호’에서 수분함량과 조지방 함량이 타 품종에 비해 현저히 낮으나 탄수화물 함량은 가장 높은 값으로 조사되었다. 또한 강원도 대표 찰옥수수 품종인 ‘미백 2호’에서 탄수화물 함량은 가장 낮았으나 단백질함량은 가장 높은 것으로 조사되었다. 이는 품종 간 성분함량 차이가 품종의 용도에 따라 달리 나타남을 보여준다. 기존에 연구된 바에 따르면 옥수수 각 계통의 유전적 특성, 즉 어떠한 모본과 부분을 조합하여 교잡종 품종을 만드는가에 따라 carotenoid, polyphenol, flavonoid 등의 secondary compounds의 함량이 다양하게 나타난다는 것이 확인되었으며 이러한 phytochemical 함량이 높게 확인될수록 항산화, 항염증, 항암효과 등의 기능성이 있는 것으로 보고되고 있다. 또한 옥수수 종실의 phytochemical 함량은 유전적 요인 외에도 환경 조건이나

재배 관리와 같은 요소들이 영향을 미칠 수 있다(Ha et al., 2023). 실제로 찰옥수수의 경우 종자 건조 시 건물중과 생체중의 분석 결과가 큰 계통(Zhang et al., 2019)이기에 분석 시 종실의 상태에 따라 결과가 다를 것으로 사료된다.

선행된 열대거세미나방의 유충 장내 마이크로바이옴 연구에서는 섭취하는 기주식물 뿐만 아니라 발달 단계, 환경과 같은 다른 요인에 의해서 영향을 받을 수 있음을 확인하였다. 또한 이와 같은 장내미생물은 곤충의 발달 단계와 면역에 결정적인 역할을 하는 것으로 알려져 있다(Jeon et al., 2023). 선행 연구를 기반으로 열대거세미나방의 장내미생물과 기주선호도의 상관 관계를 보았을 때, 주 섭식 기주에 따라 우점하는 장내미생물이 다르며, 환경에 따라 분포하는 식물군상이 다르기 때문에 장내미생물군 형성에 있어 환경요인 또한 큰 요소가 될 수 있음을 알 수 있었다(Andersen et al., 2013). 선행 연구에서 유충시기에는 섭식한 옥수수 품종에 따른 큰 변화가 관찰되지 않았으나, 번데기, 성충 단계에서의 섭취 영양성분에 따른 차이는 다를 수 있으므로 추가적인 확인이 필요하다 판단된다.

우리나라 옥수수 품종은 시대적 사회적 요구에 따라 생산자와 소비자의 욕구를 충족시키기 위하여 개량 대상 형질들의 우선순위가 바뀌면서 지속적으로 발전되어 왔다(Baek et al., 2020). 본 실험에서는 선행연구와 비교하였을 때 6 품종을 추가하여 우리나라 특히 강원도에서 재배되는 옥수수 12품종에 대한 종합적인 열대거세미나방의 품종별 섭식 선호도 평가를 수행하였다. 실험 결과 열대거세미나방은 주로 찰옥수수 품종 종류들을 선호하였으며 특히 미백 2호를 선호하였다. 반대로 섭식 선호도가 낮은 품종은 선발하지 못하였는데, 이는 매우 넓은 기주를 가해하는 열대거세미나방의 특성상 거의 품종을 가리지 않고 섭식하는 것으로 사료된다. 그러나 본 결과는 제한된 조건에서의 선택과 그로 인한 제한된 연관성 분석 결과에 기반한 것이기 때문에 더 다양한 조건에 대한 추가 연구가 필요할 것이다.

인용문헌(References)

- Andersen, R., Chapman, S., Artz, R. (2013) Microbial communities in natural and disturbed peatlands: a review. *Soil Biol Biochem* 57:979-994.
- Awmack, S. C., Leather, R. S. (2002) Host plant quality and fecundity in herbivorous insects. *Annu Rev Entomol* 47:817-844.
- Baek, S.-B., Son, B.-Y., Kim, J.-T., Bae, H.-H., Go, Y.-S., Kim, S.-L. (2020) Changes and prospects in the development of corn varieties in Korea. *Korean J Breed Sci* 52:93-102.
- Baudron, F., Zaman-Allah, M. A., Chaipa, I., Chari, N., Chinwada, P. (2019) Understanding the factors influencing fall armyworm (*Spodoptera frugiperda* JE Smith) damage in African smallholder maize fields and quantifying its impact on yield. A case study in Eastern Zimbabwe. *Crop Prot* 120:141-150.
- Braschler, B., Hill, J. K. (2007) Role of larval host plants in the climate-driven range expansion of the butterfly *Polygonia c-album*. *J Anim Ecol* 76:415-423.
- Casmuz, A., Juárez, M. L., Socías, M. G., Murúa, M. G., Prieto, S., Medina, S., Willink, E., Gastaminza, G. (2010) Revisión de los hospederos del gusano cogollero del maíz, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Rev Soc Entomol Argent* 69:209-231.
- Chen, H., Wang, Y., Huang, L., Xu, C.-F., Li, J.-H., Wang, F.-Y., Cheng, W., Gao, B.-Y., Chapman, J. W., Hu, G. (2022) Flight capability and the low temperature threshold of a Chinese field population of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda*. *Insects* 13:422(1-11).
- Clavijo McCormick, A., Arrigo, L., Eggenberger, H., Mescher, M. C., De Moraes, C. M. (2019) Divergent behavioural responses of gypsy moth (*Lymantria dispar*) caterpillars from three different subspecies to potential host trees. *Sci. Rep.* 9:8953(1-11)
- Daryaei, M. G., Darvishi, S., Etebari, K., Salehi, M. (2008) Host preference and nutrition efficiency of the gypsy

- moth, *Lymantria dispar* L.(Lymantriidae: Lepidoptera), on different poplar clones. Turk J Agric and For 32:469-477.
- Day, R., Abrahams, P., Bateman, M., Beale, T., Clotey, V., Cock, M., Colmenarez, Y., Corniani, N., Early, R., Godwin, J. (2017) Fall armyworm: impacts and implications for Africa. Pest Outlook 28:196-201.
- De La Rosa-Cancino, W., Rojas, J. C., Cruz-Lopez, L., Castillo, A., Malo, E. A. (2016) Attraction, feeding preference, and performance of *Spodoptera frugiperda* larvae (Lepidoptera: Noctuidae) reared on two varieties of maize. Environ Entomol 45:384-389.
- Ha, J. Y., Shin, S.-H., Go, Y. S., Bae, H. H., Kim, S. G. (2023) Assessing Carotenoid Levels and Antioxidant Properties in Korean Sweet Corn Inbred Lines to Develop High-Quality Sweet Corn Varieties through Breeding. Korean J Crop Science 68:59-68.
- HE, L.-m., JIANG, S., CHEN, Y.-c., Wyckhuys, K. A., GE, S.-s., Wei, H., GAO, X.-w., WU, K.-m. (2021) Adult nutrition affects reproduction and flight performance of the invasive fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* in China. J Integr Agric 20:715-726.
- Heo, J., Kim, S., Kim, D.-s. (2021) Migratory and Subsequent Generation-related Damage Patterns of *Spodoptera frugiperda* in Corn Plants in Jeju, South Korea. Korean J Appl Entomol 60:221-228.
- Jeon, J., Rahman, M.-M., Han, C., Shin, J., Sa, K. J., Kim, J. (2023) *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) Life Table Comparisons and Gut Microbiome Analysis Reared on Corn Varieties. Insects 14:358(1-16).
- Jung, J. K., Kim, E. Y., Kim, I. H., Ahn, J. J., Lee, G.-S., Seo, B. Y. (2020) Meridic diets for rearing of *Spodoptera frugiperda* larvae. Korean J Appl Entomol 59:243-250.
- Ma, J., Wang, Y. P., Wu, M. F., Gao, B. Y., Liu, J., Lee, G. S., Otuka, A., Hu, G. (2019) High risk of the fall armyworm invading Japan and the Korean Peninsula via overseas migration. J Appl Entomol 143:911-920.
- Müller, T., Müller, C. (2016) Adult beetles compensate for poor larval food conditions. J Insect Physiol 88:24-32.
- Osabutey, A. F., Seo, B. Y., Kim, A.-Y., Ha, T. A. T., Jung, J., Goergen, G., Owusu, E. O., Lee, G.-S., Koh, Y. H. (2022) Identification of a fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*)-specific gene and development of a rapid and sensitive loop-mediated isothermal amplification assay. Sci Rep 12:874(1-10)
- Sim, W.-S., Kim, H.-J., Ku, S.-B., Chae, S.-H., Choi, Y.-W., Men, X., Park, S.-M., Lee, O.-H. (2020) Analysis of nutritional components and physiological activity of Butternut Squash (*Cucurbita moschata*) by drying methods. Korean J Food Nutr 33:91-97.
- Sparks, A. N. (1979) A review of the biology of the fall armyworm. Fla Entomol 62:82-87.
- Zhang, X., Mogel, K. J. H. v., Lor, V. S., Hirsch, C. N., De Vries, B., Kaeppler, H. F., Tracy, W. F., Kaeppler, S. M. (2019) Maize sugary enhancer1 (se1) is a gene affecting endosperm starch metabolism. Proc Natl Acad Sci USA 116:20776-20785.