

갈색여치(*Paratlanticus ussuriensis*) 기주식물의 이화학적 특성변화와 먹이선호 구명

김명현 · 방혜선* · 정명표 · 나영은 · 한민수 · 강기경 · 이덕배

국립농업과학원 기후변화생태과
(2009년 10월 12일 접수, 2009년 12월 12일 수리)

The Physio-chemical Variation of the Host Plants and Feed Preference of the Ussur Brown Katydid, *Paratlanticus ussuriensis* (Orthoptera: Tettigoniidae)

Myung-Hyun Kim, Hea-Son Bang*, Myung-Pyo Jung, Min-Su Han, Young-Eun Na, Kee-Kyung Kang, and Deog-Bae Lee(Agro-Ecosystem, Environmental Ecology Division, National Academy of Agricultural Science, RDA, Suwon, 441-707)

ABSTRACT: In 2006 and 2007, there was a big outbreak of the Ussur Brown Katydid, *Paratlanticus ussuriensis* in the central part of Korea attacking some orchard trees. Until 2000, the katydid had not been regarded as an agricultural pest because they were distributed widely in Korea with low population density and their habitats were confined mainly to hillsides of forested areas. The fact that katydid attacked orchard trees with a higher population density seemed to be related to a change in feeding environment. And the shift of their habitats from oak woodlands to commercial orchards was thought to be related to the nutritional contents of their feed. In an attempt to understand these relationships, we conducted an ecological study of the affected areas. When the katydids changed their habitats in early May of 2008 and 2009, they shifted their host plants from oak trees to peach trees. The habitat shift was closely related to the nitrogen (N) content of the host plant leaves. When katydid moved to the hillside adjacent to orchard farm, N content of oak tree leaves decreased dramatically from 5.3% to 2.2%. At that time N content of peach tree leaves were higher than the 2.2% of oak leaves, showing 3.5~5.0%. This range of N content of peach tree leaves has been consistent until late June. And feed preference analysis carried out in the laboratory showed that katydid preferred peach tree leaves to peach fruit to oak tree leaves.

Key Words: Feed preference, Host plant, Nitrogen, *Paratlanticus ussuriensis*, *Quercus aliena*

서 론

최근 2006년과 2007년 산림에서 서식하던 갈색여치가 인접한 과수원으로 침입하여 충북 영동지역을 중심으로 한 과수원 일대에 많은 피해를 가져왔다¹⁻³⁾. 갈색여치는 우리나라에서 제주도를 제외한 산림에 서식하는 메뚜기목(Orthoptera) 여치과(Tettigoniidae)에 속하는 곤충으로 우수리강에서 최초로 채집되어 학계에 보고되었다^{4,5)}.

갈색여치는 2000년 이전에는 주로 산림에서 낮은 밀도로

관찰되었고, 2001년 충북 보은 지역 과수원에 나타나 피해를 입힌 것이 보고되었으나, 그 이후 2006년까지는 농경지에 피해사례가 없었다. 2006년 이후부터 충북 영동을 중심으로 산림과 인접한 과수원에서 다시 피해가 나타나기 시작하였다. Bang 등²⁾의 연구에 의하면 갈색여치는 주로 3월 하순에 1령 약충으로 야산에 출현하여 5월 초부터 서서히 과수원으로 내려오기 시작한다. 국내에서 대발생 사례가 없이 낮은 밀도로 존재하던 갈색여치와 같은 곤충들이 돌발하는 상황은 여러 요인들이 복합적으로 작용한 결과이며, 원인이 되는 중요한 인자 중 하나로 기후변화에 따른 식생과 곤충생태의 변화를 꼽고 있다^{2,6)}. 메뚜기목 곤충들이 대발생한 사례는 미국, 캐나다, 호주, 아프리카 등에서도 찾아 볼 수 있으며, 많은 보고에서 메뚜기류의 대발생은 기후(온도, 강수량 등)와 식생 변화

*연락처:

Tel: +82-31-290-0236 Fax: +82-31-290-0206
E-mail: banghs1@korea.kr

를 가장 큰 요인으로 들고 있다⁷⁻⁹⁾.

농촌진흥청 국립농업과학원에서는 2007년부터 갈색여치의 대발생 원인을 구명하고, 그 확산을 미리 예측하여 피해를 줄이기 위해 갈색여치의 발생, 발육특성 및 생태에 대한 전반적인 연구를 수행하고 있다⁶⁾. 본 연구를 수행하는 과정에서 산림에 존재하던 갈색여치가 갑자기 과수원으로 이동하게 된 원인에 관해서 의문을 가지게 되었고, 이동 원인을 설명하기 위해서는 먹이원이 되는 기주식물과 갈색여치 사이의 상호관계에 대한 구명이 필요하다고 판단되었다. 갈색여치가 대발생한 과수원 주변의 산림 식생은 주로 낙엽활엽수인 참나무류(갈참나무, 굴참나무, 졸참나무, 상수리나무, 신갈나무, 떡갈나무)로 이루어져 있으며, 갈색여치가 야산에 서식할 시기에는 특히 관목층을 우점하고 있는 갈참나무 잎에서 많이 발견된다¹⁰⁾. 한반도의 삼림식생은 식생지리학적으로 대륙형(Continental type)의 한반도아형(Korean peninsula subtype)에 포함되는 온대림이며, 너도밤나무-신갈나무군락(*Quercus-Fagetalia crenatae* Miyawaki et al. 1964 em. KIM J.-W. 1992)의 신갈나무-철쭉꽃군락(*Rhododendro-Quercetalia mongolicae* KIM J.-W. 1990)에 속한다^{11, 12)}. 한반도아형의 교목층을 구성하는 수종은 낙엽활엽수 참나무류이다. 따라서, 갈색여치가 제주도를 제외한 한반도 전역에 분포한다⁵⁾는 것은, 넓은 의미에서 갈색여치의 분포가 식생 분포와 일치하는 것이다.

곤충의 성장속도, 산란량 등에 영향을 미치는 중요 인자 중 하나가 먹이로 하는 식물의 질과 양의 변화이다^{13,14)}. 특히 메뚜기목 곤충은 단백질과 동시에 수분을 포함한 다른 영양원을 먹이에서 얻는다¹⁵⁾. 메뚜기류는 다른 곤충에 비해 체내 조직의 총 질소 함량이 높기 때문에 그 높은 수준을 유지하기 위해서는 지속적으로 질소함유량이 높은 먹이원을 섭취해야만 하는 것으로 알려져 있다¹⁶⁾. 따라서 기주식물의 질적인 변화는 메뚜기의 성장과 산란에 영향을 미쳐 전반적으로 밀도변화를 가져오는 주요인으로 작용한다¹⁷⁻²⁰⁾. 이와 같이, 외국에서는 식물과 초식곤충의 상호작용에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있으며, 이러한 연구는 초식곤충과 먹이원이 되는 기주식물 잎의 물리적 성질 및 구성성분과의 상관성을 분석함으로써 이루어지고 있다²¹⁻²⁴⁾. 국내에서 곤충에 대한 연구는 형태적 분류 및 특정지역의 분포상 위주로 활발히 진행되고 있지만, 식물과 초식곤충과의 상호작용에 대한 연구는 많지 않은 실정이다²⁵⁾.

본 연구의 목적은 최근 갈색여치가 서식하던 산림지역에서 인근 과수원으로 서식처를 옮기는 원인을 구명하는 것으로서 주요 피해 과수인 복사나무와 과수원 주변 산림을 구성하고 있는 식물 잎의 이화학성 변화를 조사하였다. 이러한 결과는 갈색여치가 과수원으로 이동하는 시기를 미리 예측하는데 활용될 수 있으며, 또한 이들의 피해방지대책을 세우는데 기초자료가 될 것이다.

재료 및 방법

기주식물의 이화학성 변화

2006년도와 2007년도에 갈색여치가 가장 많이 출현했던 지역인 충청북도 영동군 비탄리 복숭아 과수원의 복사나무(*Prunus persica* for. *persica*)와 주변 산림 지역의 갈참나무(*Quercus aliena*), 굴참나무(*Q. variabilis*), 신갈나무(*Q. mongolica*), 졸참나무(*Q. serrata*) 및 떡갈나무(*Q. dentata*)를 대상으로 조사하였다. 잎의 물리성은 각 수종별 10개의 잎을 선정하여 측정된 값의 평균을 비교하였다. 잎의 두께변화는 버니어캘리퍼스(Model CD-15CPX, Mitutoyo Corp., Japan)를 이용하여 잎의 엽맥을 피하여 측정하였다²⁶⁾. 잎의 toughness는 종합물성측정장치인 sun RHEO METER(Model CR-200D, SUN SCIENTIFIC CO., LTD. Japan)를 이용하여 측정하였다. 종합물성측정장치의 조작 조건은 끝이 뾰족한 직경 3 mm의 탐침을 이용하였고, 시료가 올려져있는 테이블의 이동속도는 60 mm s⁻¹로 탐침이 시료를 통과시의 최대 힘을 기록하도록 하였다. 잎의 수분함량(%)은 (생증량-건증량)/생증량×100으로 구하였다. 생증량은 야외에서 잎을 채취 후 비닐 봉투에 넣어 아이스박스에 보관하여 실험실로 운반 즉시 측정하였으며, 봉투를 포함한 전체 무게를 측정 후 봉투의 무게를 빼주었다. 건증량은 풍건 건조기를 이용하여 70℃에서 48시간 건조 후의 무게를 이용하였다. 잎의 C와 N의 성분분석은 물리성 측정을 끝낸 시료를 사용하여 Vario MAX CN 분석기(Elementar Analysensysteme GmbH, Hanau, Germany)로 3반복 분석하였으며, 각 시료의 양은 200 mg으로 하였다. 동일 시기의 수종간 또는 동일 수종의 다른 시기별 잎의 성질 특성 비교는 t-test 또는 Mann-Whitney rank sum test를, 실내 먹이 선호실험에서는 비모수 통계 검정법인 Kruskal-Wallis test를 이용하였다. 잎의 특성별 상관성 분석을 위해서는 pearson correlation 분석을 사용하였다 (SigmaPlot[®] 11, SYSTAT SOFTWARE, INC.).

실내 먹이 선호도 조사

갈색여치가 선호하는 먹이원을 구명하기 위해 실내에서 갈참나무 잎, 복사나무 잎, 미성숙 복숭아에 대한 선호도 실험을 하였다. 갈색여치가 서식하고 있는 과수원 인근 야산에는 여러 종류의 참나무류가 있지만 그 중에서 갈참나무의 가해율이 가장 높기 때문에 실내의 먹이 선호도 실험에서는 참나무류의 대표로서 갈참나무를 선정하여 수행하였다. 실험에 사용된 갈색여치는 주로 5-6령 이었으며, 실험시작 전 2일 동안 먹이(어분+밀기울)를 공급하지 않고 물만 공급하였으며, 투명케이지(60×30×30 cm)에 1마리씩 넣고 30분 동안 먹이 선호를 관찰하였다. 30분 내에 가장 먼저 섭식하고 1분 이상 동안 지속적인 섭식을 보이는 것을 선호먹이로 판단하였고, 전체 30회 반복에서 선호먹이를 선택하는 횟수로 나눈 값을 백분율로 나타내어 선호도로 제시하였다. 먹이에 사용된 복

사나무 잎과 갈참나무 잎은 갈색여치가 대발생한 지역에서 2009년 5월 28일에 채취하여 냉장보관하면서 2-4일 안에 사용하였고, 위에 제시한 동일한 방법으로 N 성분분석을 하였다.

결 과

조사지역 산림에서 갈색여치는 성장시기에 주로 참나무류인 갈참나무, 굴참나무, 신갈나무, 졸참나무 및 떡갈나무 잎을 섭식하고 있었으며, 그 중에서 특히 관목 높이(수고 약 1~2 m 높이)에 있는 갈참나무 잎에서 가장 많은 먹이활동을 하는 것으로 확인되었다. 참나무류 중에서 신갈나무가 가장 일찍 잎이 나오는 것으로 확인되었고(4월 17일 이전), 갈참나무는 2008년의 경우 4월 17일에 나왔으며, 4월 23일에는 모든 참나무류에서 잎이 나와 있었다. 복사나무는 5월 2일에 잎이 나왔다. 갈참나무와 복사나무 두 수종간의 개엽시기에는 약 15일 정도 차이가 남을 확인하였다. 갈색여치의 대발생 이후 과수원으로 이동하는 원인을 구명하기 위하여 먹이원인 참나무류와 복사나무 잎의 상태 변화를 파악하였다(Table 1, Fig. 1). 어린잎(4월 23일과 4월 30일 측정값)과 성숙잎(5월 28일, 6월 12일, 6월 26일 측정값)의 차이를 Table 1에 나타냈다. 어린잎과 성숙잎의 특성들은 모든 수종에서 유의한 차이를 나타냈다($p < 0.001$). 즉, 성숙잎은 어린잎보다 엽면적, 두께, toughness에서 높은 값을 나타냈으며,

수분함량에서는 낮은 값을 나타냈다(Table 1). 성숙잎에 대한 수종 간 비교를 하면, 엽면적은 떡갈나무가 가장 크고, 복사나무가 가장 작다. 잎의 두께 역시 떡갈나무가 가장 높은 값을 나타냈고, 굴참나무와 졸참나무가 낮은 값을 나타냈다. 잎의 toughness는 수종 간 큰 차이를 나타내지는 않았으나, 떡갈나무가 가장 높고, 복사나무가 가장 낮았다. 수분함량은 복사나무가 가장 높고, 떡갈나무가 가장 낮게 나타났으며, 이것은 toughness와 반대의 경향이다.

이러한 잎의 특성에 대한 시간적 변화는 참나무류에서는 유사한 경향성을 나타냈기 때문에, Fig. 2에는 야외에서 갈색여치의 먹이선호도가 가장 높은 갈참나무와 주요 피해 과수인 복사나무 잎을 비교하였다. 그 결과 엽면적에서는 두 수종 모두 5월 8일까지 증가한 후($p < 0.001$, $n=10$), 더 이상 증가하지 않았으며($p > 0.05$, $n=10$), 모든 시기에서 갈참나무의 엽면적이 복사나무보다 크게 나타났다(Fig. 2A). 동일시기에 측정된 두 수종의 잎 두께를 측정된 결과, 엽면적의 변화 경향과 비슷하게 5월 8일 경까지 두 수종 모두 증가하다가(약 0.22 mm), 더 이상 증가하지 않는 것으로 나타났다(Fig. 2B). 갈참나무의 경우 마지막 측정시기에 조금 감소한 것으로 나타났다. 두 수종사이 잎 두께 변화는 상대적으로 늦게 개엽한 복사나무 잎이 빨리 두꺼워진 결과이다. 하지만, 갈참나무와 같은 참나무류의 경우는 줄기의 정단에서 거의 동시에 전개하는 반면에 복사나무 잎의 경우는 줄기의 신장과 함

Table 1. Leaf area, thickness, toughness, and water content of young and old leaves (Means \pm standard deviations)

	<i>Q. aliena</i>		<i>Q. mvariabilis</i>		<i>Q. mongolica</i>		<i>Q. serrata</i>		<i>Q. dentata</i>		<i>P. persica</i>	
	Young	Old	Young	Old	Young	Old	Young	Old	Young	Old	Young	Old
Leaf area (cm ²)	40.0 ± 28.5	139.7 ± 50.7	8.7 ± 6.0	44.9 ± 11.1	67.7 ± 27.1	93.6 ± 29.2	25.8 ± 12.0	45.8 ± 15.5	39.6 ± 24.1	156.1 ± 49.8	9.1 ± 5.4	36.0 ± 6.8
Thickness (mm)	0.15 ± 0.02	0.22 ± 0.03	0.12 ± 0.00	0.16 ± 0.02	0.14 ± 0.01	0.18 ± 0.01	0.11 ± 0.02	0.16 ± 0.01	0.28 ± 0.01	0.32 ± 0.02	0.17 ± 0.03	0.22 ± 0.03
Toughness (g)	0.81 ± 0.13	1.04 ± 0.05	0.87 ± 0.07	0.98 ± 0.05	0.89 ± 0.03	1.01 ± 0.04	0.90 ± 0.03	0.95 ± 0.02	0.94 ± 0.00	1.04 ± 0.05	0.89 ± 0.09	0.93 ± 0.03
Water content (%)	78.0 ± 0.7	62.1 ± 5.0	72.4 ± 7.7	62.6 ± 0.6	73.7 ± 2.7	63.5 ± 2.4	73.2 ± 2.1	60.2 ± 1.9	74.5 ± 1.1	55.8 ± 2.5	75.0 ± 2.8	68.6 ± 3.8



Fig. 1. Leaves of peach tree (left) and oak tree (*Q. aliena*, right).

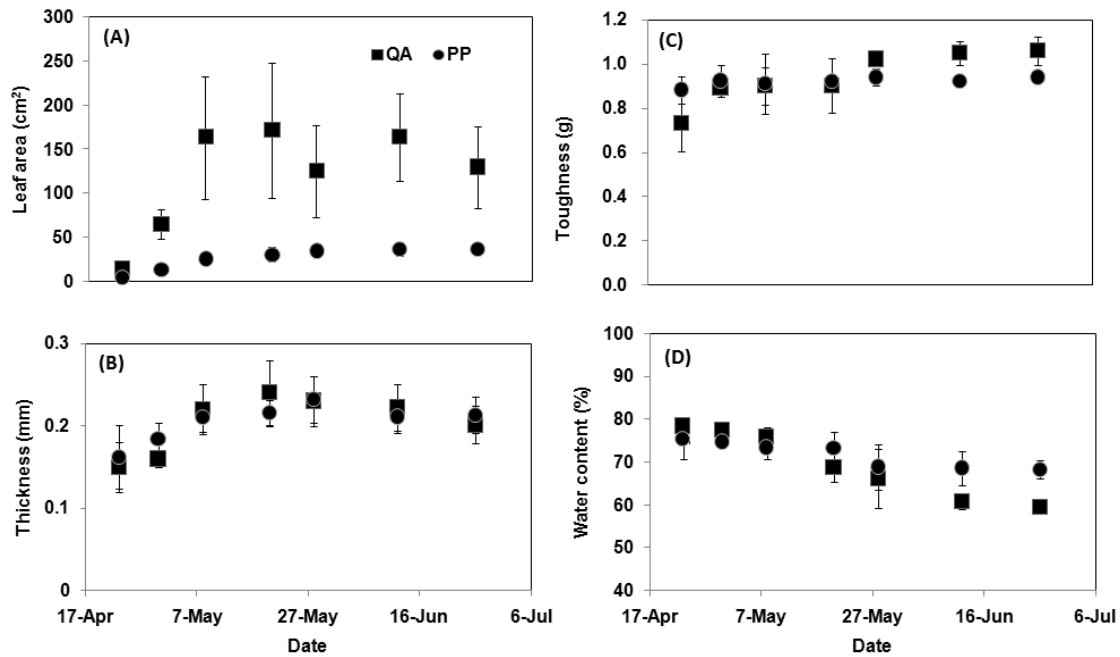


Fig. 2. Changes in leaf area (A), thickness (B), toughness (C), water content (D) during leaf development in oak tree (QA) and peach tree (PP). Data points are means of ten replicates with standard deviation of the mean (SD).

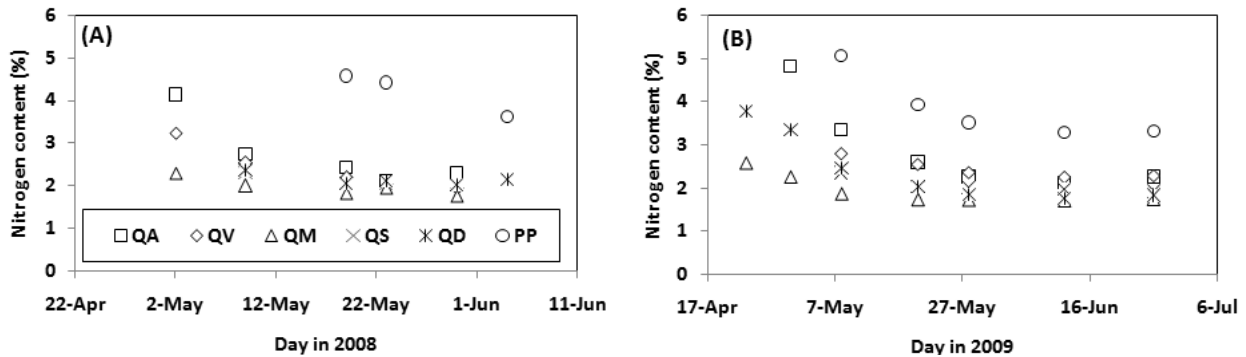


Fig. 3. Change in Nitrogen content during leaf development in oak trees and peach tree in 2008 (A) and 2009 (B). Data points are means of three replicates. QA: *Quercus aliena*, QV: *Q. variabilis*, QM: *Q. mongolica*, QS: *Q. serata*, QD: *Q. dentata*, PP: *Prunus persica*.

게 계속적으로 새로운 잎이 출현함으로써 계속적으로 어린잎을 유지하고 있었다(Fig. 1). Toughness의 경우에 복사나무의 잎은 5월 20일 이후에 조금 증가한 것으로 나타났으며, 갈참나무의 경우는 복사나무 잎보다 초기에는 낮은 값을 나타내다가, 5월 28일부터는 복사나무 잎보다 높은 값을 나타냈다(Fig. 2C). 잎의 수분함량은 두 수종 모두 시간의 경과에 따라서 초기에는 78% 수준에서 후기에는 60~65%수준으로 점진적으로 낮아지는 경향을 나타내고 있으며, 어린잎의 경우에는 두 수종간의 수분함량의 차이는 없었으나, 후기에는 복사나무 잎의 수분함량(68.25±2.02)이 갈참나무(59.35±1.18)보다 높게 나타났다(Fig. 2D).

곤충의 단백질 공급원으로서 중요한 역할을 하는 질소함량의 경우는 2008년과 2009년 모두 잎이 성숙됨에 따라 감

소하는 경향을 나타내며, 전 기간 동안 복사나무 잎이 참나무류보다 높았다(Fig. 3). 참나무류 중에서는 갈참나무가 다른 수종에 비하여 높게 나타냈다. 갈참나무와 복사나무 잎의 비교에서 초기에는 두 수종 모두 4.5%수준의 높은 질소함량을 나타내고 있다(Fig. 3). 하지만, 갈참나무의 경우는 5월 초순순에 질소함량이 급격히 감소하여 5월 하순부터는 약 2.2%의 수준을 유지하였다. 복사나무 잎의 경우는 5월 하순까지 감소하다가 일정하게 유지되는 경향을 나타내고 있지만, 갈참나무보다 높은 3% 수준 이상을 유지하였다. 또한 복사나무에서는 6월 26일에도 새로운 잎이 계속적으로 나오고 있었으며, 이때 새롭게 나온 잎의 질소함량은 동일시기의 갈참나무에 비하여 2배 이상 높았다(4.86±0.02%). 탄소의 경우는 잎의 발달에 따른 변화경향이 나타나지 않았으며, 갈참나무

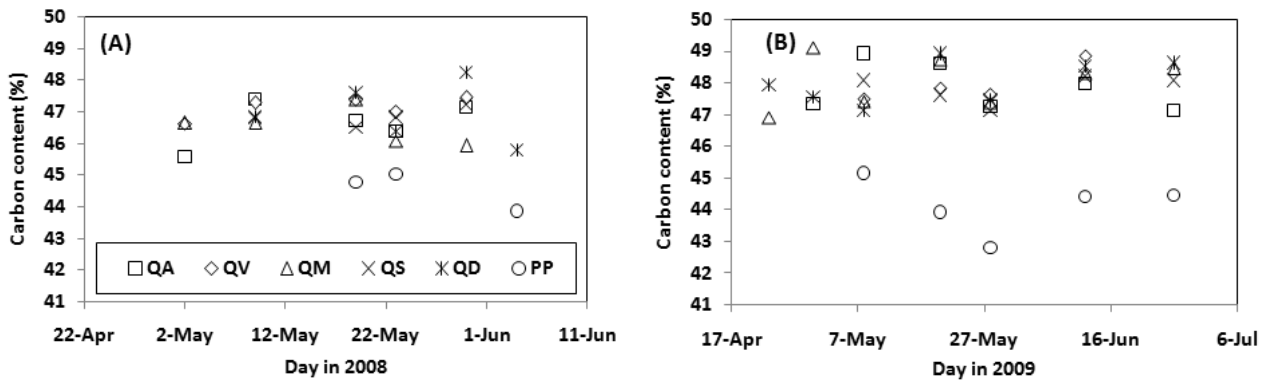


Fig. 4. Change in Carbon content during leaf development in oak trees and peach tree in 2008 (A) and 2009 (B). Data points are means of three replicates. QA: *Quercus aliena*, QV: *Q. variabilis*, QM: *Q. mongolica*, QS: *Q. serata*, QD: *Q. dentata*, PP: *Prunus persica*.

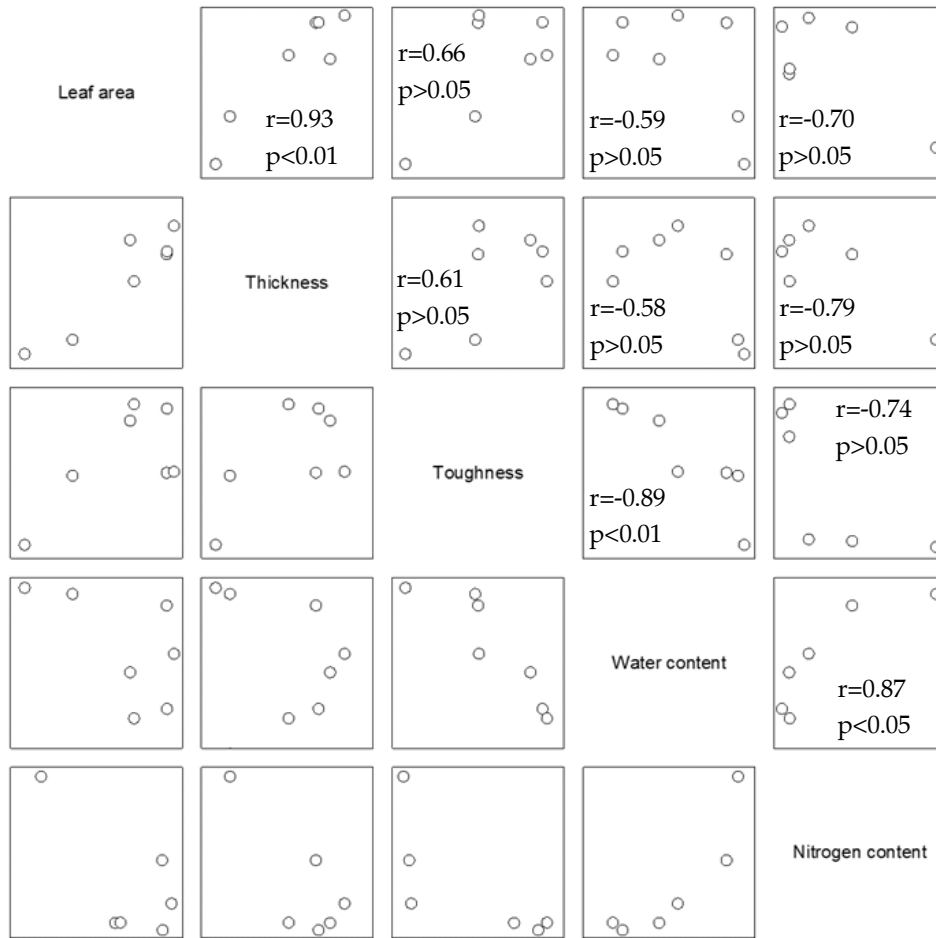


Fig. 5. Scatter matrix showing the relationship of among leaf area, thickness, toughness, water content, and nitrogen content in oak tree leaves.

를 포함한 참나무류 잎(2008년 $46.8 \pm 0.6\%$, 2009년 $48.0 \pm 0.7\%$) 이 복사나무 잎(2008년 $44.5 \pm 0.6\%$, 2009년 $44.0 \pm 0.9\%$)보다 높았다(Fig. 4).

각 측정 항목 간 상관관계를 검토한 결과 갈참나무 잎의

경우, 두께와 엽면적($r=0.93$, $p<0.01$), 수분함량과 toughness ($r=-0.89$, $p<0.01$) 및 질소함량과 수분함량($r=0.88$, $p<0.05$) 간에 유의한 상관성을 나타냈다(Fig. 5). 복사나무 잎의 경우는 두께와 엽면적($r=0.928$, $p<0.01$), toughness와 엽면적

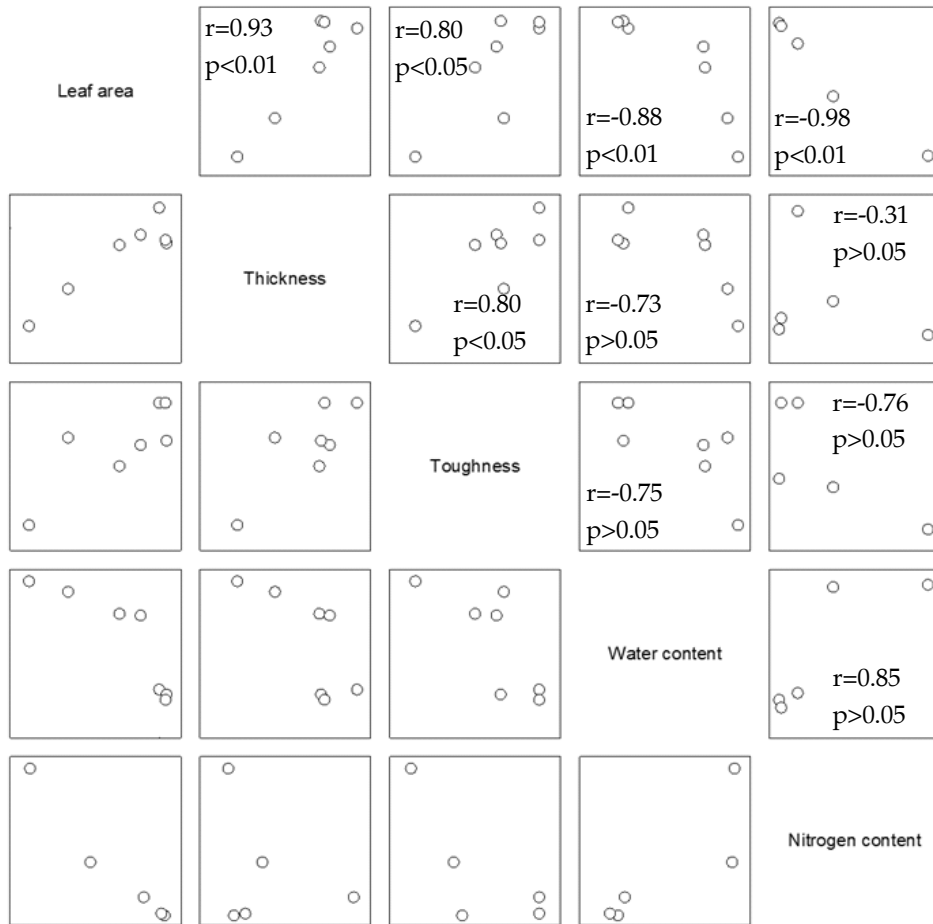


Fig. 6. Scatter matrix showing the relationship of among leaf area, thickness, toughness, water content, and nitrogen content in peach tree leaves.

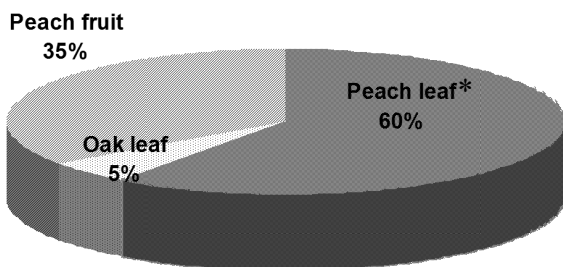


Fig. 7. % feed preference of *P. ussuriensis* to three different feedstock at designed cage. * Kruskal-Wallis test $p<0.05$.

($r=0.80$, $p<0.05$), 수분함량과 엽면적($r=-0.876$, $p<0.01$), 질소함량과 엽면적($r=0.98$, $p<0.01$) 및 toughness와 두께($r=0.80$, $p<0.05$)에서 유의한 상관성을 나타냈다(Fig. 6).

실내에서 갈색여치의 먹이 선호도 조사는 야외에서 참나무류 중 먹이 선호도가 높고, 질소함량도 높은 갈참나무 잎, 복사나무 잎, 어린 복숭아를 대상으로 실시하였고, 그 결과, 60%가 복사나무 잎을 가장 먼저 섭식하였고, 어린 복숭아

(35%), 갈참나무 잎(5%) 순으로 섭식선호를 보였다(Fig. 7). 이 시기의 복사나무 잎과 갈참나무 잎의 질소함량은 각각 $3.53(\pm 0.07)\%$ 와 $2.27(\pm 0.07)\%$ 이었다.

고 찰

곤충들이 서식처를 옮기는 가장 큰 원인 중 하나는 먹이 요인이며, 메뚜기를 포함한 많은 초식성 곤충에서 기주식물의 질은 생존, 성장 및 산란에 중요한 역할을 하는 것으로 보고되어 왔다^{7,20,27,28}. 또, 자연상태에서 메뚜기의 대이동은 기주식물의 질적 영양수준의 변화에 따라 일어난다¹³. 특히 질소는 메뚜기 종류의 밀도 변동에 1차적인 원인으로 작용하며 탄수화물과 비교 시, 전자는 알의 수 및 알의 무게 등 산란에 비교적 높은 상관성을, 후자는 성충의 무게 및 생존에 상관성을 가지는 것으로 보고되었다²⁹. 따라서, 기주식물의 선택에서 질소는 가장 기본적인 영양소로서 메뚜기목의 하나인 *Locusta migratoria* 약충은 먹이원의 단백질과 탄수화물의 상대적인 양을 구별할 수 있으며³⁰, 먹이원 조성에 따른 실험 결과에서 탄수화물보다는 질소함량에 따른 반응이 크게 나타

나 약충의 먹이원 선택은 다음 세대의 산란을 위해 질소함량이 상대적으로 높은 먹이를 선택하는 것으로 보고된 바 있다^{31,32}. David와 Whitford³³)는 곤충의 밀도는 먹이가 되는 식물 잎의 질소 함량과 양의 상관성을 나타낸다고 보고하였다. 본 연구에서도 갈색여치는 복사나무 잎이 나오기 전에는 산림에 서식하다가, 복사나무 잎이 개엽(2008년의 경우 5월 2일) 한 후 약 1주일 후(5월 9일)에 과수원으로 서식지를 옮기는 것이 확인되었다. 갈색여치 약충의 주요 기주식물로 작용하는 갈참나무와 복사나무 잎의 시간적 변화 상황을 보면, 엽면적, 두께 및 toughness는 증가하며, 수분함량과 질소함량은 감소한다(Fig. 2, 3). 갈색여치가 갈참나무에서 복사나무로 이동한 시기에 두 수종 잎(성숙된 잎)에서 차이를 나타내는 것은 toughness, 수분함량 및 질소함량이었다. 성숙된 잎의 toughness는 갈참나무 잎이 높고, 수분함량과 질소함량은 복사나무 잎이 높게 나타났다. 갈색여치에 있어 복사나무 잎의 낮은 toughness, 높은 수분함량 및 높은 질소함량은 좋은 먹이원으로 작용할 수 있을 것이다. 특히, 갈색여치가 기주식물을 교체하는 5월 초순 전후로 이전 먹이원이던 갈참나무를 포함한 참나무류 잎의 질소 함량이 5%에서 2.2% 이하로 급격히 떨어지는 반면, 동일시기에 과수원의 복사나무 잎은 3.5~5%를 유지함으로써, 복숭아 과수원은 산림에 비하여 매우 좋은 질소 공급원으로 작용하고 있음을 알 수 있다. 또한 야외 관찰에서 확인된 것처럼 복사나무의 잎이 나오기 전에 갈색여치의 주요 먹이원이 되는 참나무류 중에서 갈참나무 잎에 대해서 높은 먹이 선호도를 나타냈는데, 이는 갈참나무 잎(특히 어린잎)이 다른 참나무류보다 높은 질소함량을 가지고 있는 것과 일치하는 것이다. 잎의 질소함량을 비롯하여 각 특성들 사이의 상관성에서, Rausher³⁴)가 보고한 결과와 동일하게 본 연구에서도 갈참나무와 복사나무 잎 모두에서 질소함량과 수분함량 사이에 유의한 상관성을 나타내고 있으며(Fig. 5, 6), 이는 복사나무 잎이 갈참나무 잎보다 질소함량 뿐만 아니라, 수분함량 측면에서도 좋은 먹이원이 된다는 것을 나타내고 있다. 따라서, 갈색여치는 성장과 산란에 유리한 먹이를 섭취하기 위해서 과수원으로 내려오는 것으로 판단된다. 또한 실내실험에서 3가지(갈참나무 잎, 복사나무 잎, 어린 복숭아) 먹이 중 복사나무 잎 > 복숭아 > 갈참나무 잎의 순으로 먹이를 선호하는 것으로 관찰되었고, 실험에 사용된 복사나무 잎과 갈참나무 잎의 질소 함량은 각각 3.53(±0.07)%, 2.27(±0.07)%로 다른 메뚜기목 곤충에서 관찰된 바와 같이 갈색여치 또한 질소함량이 높은 먹이원을 선호하는 것을 알 수 있다. 하지만, 본 연구에서 조사된 성분이 외에도 갈색여치의 기주변화에 영향을 줄 수 있는 여러 물질에 대한 탐색과 연구가 뒤따라야 할 것으로 판단된다.

야외 먹이원의 성분 변화와 실내 먹이 선호도 결과를 종합하면, 갈색여치는 5월 초순 아산의 참나무 잎으로부터 과수원의 복사나무 잎으로 기주를 교체하는 것은 상대적으로 질소 함량이 높은 먹이원을 선호하는 것과 연관성이 있는 것

으로 판단된다. 따라서 과수원의 위치가 참나무류가 우점하는 낙엽활엽수림과 인접한다면 일차적으로 갈색여치의 피해가 우려되므로 이에 대한 대비가 필요할 것이다. 또한, 향후 갈색여치의 전국 분포 및 확산 예측을 위한 기초조사를 위해서는 이들 참나무류를 중심으로 낙엽활엽수의 분포와 연관성을 찾아 볼 필요성이 있을 것이다.

요 약

부화한 갈색여치는 서식지의 식물이 개엽하기 전까지는 부식질을 섭식하며, 갈참나무를 포함한 참나무류가 개엽하면 이들의 어린잎을 섭식한다. 갈색여치가 산림지역에서 과수원으로 이동하는 시기는 5월 초순경으로 복사나무 잎이 개엽하는 시기와 일치하였다. 산림에 주로 서식하던 갈색여치가 과수원으로 이동하는 것은 갈색여치가 기존 먹이원이던 참나무류보다 복사나무 잎이나 복숭아를 선호하기 때문이다. 이러한 복숭아 잎에 대한 선호성에는 갈색여치의 성장과 발육에 직접적으로 관계되는 질소함량 차이와 상관성이 높은 것으로 조사되었다. 야외에서 갈색여치가 과수원으로 이동하는 시기와 갈참나무 잎의 질소함량이 급격히 감소하는 시기가 일치하며, 동일시기 복사나무 잎의 질소함량은 갈참나무 잎보다 항상 높은 값을 유지하였다. 또한 실내실험에서 3가지(갈참나무 잎, 복사나무 잎, 어린 복숭아) 먹이 중 복사나무 잎 > 복숭아 > 갈참나무 잎의 순으로 먹이를 선호하는 것으로 관찰되었다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 어젠다과제(과제번호 200901FTH 051430505 기후변화에 따른 돌발생물 원인분석 및 피해확산 방지 대책 기술 개발)를 수행하면서 얻은 결과를 바탕으로 작성되었습니다. 기주식물 성분분석을 원활히 수행할 수 있도록 도와주신 정형근님께 감사드립니다.

참고문헌

1. Ahn, K. S., Yang, J. O., Noh, D. J., Yoon, C. and Kim, G. H. (2007) Susceptibility of ussur brown katydid, *Paratlanticus ussuriensis* (Orthoptera: Tettigoniidae) to commercially registered insecticides, *Kor. J. Pestic. Sci.* 11, 194-200.
2. Bang, H. S., Na, Y. E., Han, M. S., Kim, M. H., Roh, K. A. and Lee, J. T. (2008) Ovipositional characteristics of the ussur brown katydid, *Paratlanticus ussuriensis* (Orthoptera: Tettigoniidae), *Kor. J. Environ. Agr.* 27, 274-278.
3. Noh, D. J., Yang, J. O., Moon, S. R., Yoon, C.,

- Kang, S. H., Ahn, K. S. and Kim, G. H. (2008) Attractants and trap development for ussur brown katydid, *Paratlanticus ussuriensis* (Orthoptera: Tettigoniidae), *Kor. J. Pestic. Sci.* 12, 256-261.
4. Uvarov, B. P. (1926) Some Orthoptera from the Russian Far East, *Ann. Mag. Natl. Hist.* 17, 273-291.
 5. Kim, T. W. (2001) Taxonomy of Korean Tettigoniidae (Orthoptera: Ensifera). Thesis for the degree of master in the department of biology graduate school, Sungshin Women's University. Korean. p. 59-62.
 6. Bang, H. S., Kim, M. H., Jung, M. P., Han, M. S., Na, Y. E., Kang, K. K., Lee, D. B. and Lee, K. Y. (2009) Effects of chilling and overwintering temperature conditions on the termination of egg diapause of the ussur brown katydid *Paratlanticus ussuriensis*, *Kor. J. Appl. Entomol.* 48, 221-227.
 7. Hewitt, G. B. (1977) Hatching and development of rangeland grasshoppers in relation to forage growth, temperature, and precipitation, *Environ. Entomol.* 8, 24-29.
 8. Anderson, N. L. (1961) Seasonal losses in rangeland vegetation due to grasshoppers, *J. Econ. Entomol.* 54, 369-378.
 9. Anderson, N. L. (1964) Some relationships between grasshoppers and vegetation, *Ann. Entomol. Soc. Am.* 57, 736-742.
 10. Na, Y. E., Bang, H. S., Kim, M. H., Oh, Y. J., Han, M. S., Kim, M. K., Roh, K. A., Lee, J. T. and Choi, D. R. (2007) The characteristic on egg-laying and vegetation grazing of *Paratlanticus ussuriensis*, *Korean J. Environ. Agr.* 26, 364-366.
 11. Kim, J. W. (1992) Vegetation of Northeast Asia: On the syntaxonomy and syneography of the oak and beech forests. Ph. D. Dissertation of the University of Vienna. p. 314.
 12. Kim, J. W. (1990) Syntaxonomic scheme for the deciduous oak forests in South Korea, *Abstr. Bot.* 14, 51-81.
 13. Bernays, E. A. (1982) The insect on the plant- a closer look. In: Visser J. H., Minks A. K. (eds) Proceedings 5th international symposium on insect-plant relationships. Pudoc, Wageningen, p. 3-17.
 14. Ohmart, C. P., Stewart, L. G. and Thomas, J. R. (1985) Effects of food quality, particularly nitrogen concentrations, of *Eucalyptus blakelyi* foliage on the growth of *Paropsis atomaria* larvae (Coleoptera: Chrysomelidae), *Oecologia.* 65, 543-549.
 15. Dadd, R. H. (1985) Nutrition: organisms. In: Kerkut G.A., Gilbert L.I.(eds) Comparative insect physiology, biochemistry and pharmacology, vol 4. Pergamon, Oxford, p. 177-217.
 16. Hinks, C. F., Hupka, D. and Olfert, O. (1993) Nutrition and the protein economy in grasshoppers and locusts, *Comp. Physiol.* 104A, 133-142.
 17. Slansky, F. (1982) Insect nutrition: an adaptationist's perspective, *Florida Entomol.* 65, 45-71.
 18. White T. C. R. (1984) The abundance of invertebrate herbivores in relation to the availability of nitrogen in stressed food plants, *Oecologia.* 63, 90-105.
 19. Mattson, W. J. and Haack. R. A. (1987) The role of drought in outbreaks of plant-eating insects, *Bioscience.* 37, 110-118.
 20. Joern, A. and Gaines, S. B. (1990) Population dynamics and regulation in grasshoppers. In: Chapman, R. F., Joern, A. (eds) Biology of grasshoppers. Wiley, New York, p. 415-482.
 21. Brunt, C., Read, J. and Sanson, G. D. (2006) Changes in resource concentration and defence during leaf development in a tough-leaved (*Nothofagus moorei*) and soft-leaved (*Toona ciliata*) species, *Oecologia.* 148, 583-592.
 22. Schroeder, L. A. (1986) Changes in tree leaf quality and growth performance of Lepidopteran larvae, *Ecology.* 67, 1628-1636.
 23. Feeny, P. (1970) Seasonal changes in oak leaf tannins and nutrients as a cause of spring feeding by winter moth caterpillars, *Ecology.* 51, 565-581.
 24. Pais, M. P. and Varanda, E. M. (2003) Variation in plant defenses of *Didymopanax vinosum* (Cham. & Schltdl.) Seem. (Apiaceae) across a vegetation gradient in a Brazilian cerrado. *Acta bot. bras.* 17, 395-403.
 25. Kim, C. W. (1984) A study on the distributions of butterflies and of their feeding plants in Korea, *Ent. Res. Bull.* 10, 35-124.
 26. Evans, A. R. and Sanson, G. D. (2005) Bio-mechanical properties of insects in relation to insectivory: cuticle thickness as an indicator of insect 'hardness' and 'intractability', *Aus. J. Zool.* 53, 9-19.
 27. White, T. C. R. (1976) Weather, food and plagues of locusts, *Oecologia.* 22, 119-134.

28. Jones, C. G. and Coleman, J. S. (1992) Plant stress and insect herbivory: toward an integrated perspective. In: Mooney H. A., Winner W. E., Pell, E. J. (eds). Response of plants to multiple stresses. Academic Press, San Diego, p. 249-280.
 29. Anthony, J. and Spencer, T. B. (1997) Importance of dietary nitrogen and carbohydrates to survival, growth, and reproduction in adults of the grasshopper *Aeneotettix deorum* (Orthoptera: Acrididae), *Oecologia*. 112, 201-208.
 30. Abisgold, J. D. and Simpson, S. J. (1987) The physiology of compensation by locusts for changes in dietary protein, *J. Exp. Biol.* 129, 329-346.
 31. Van Heusdon, M. C., Van der Horst, D. J., Voshol, J. and Beenackers, A. M. (1987) The recycling of protein components of the flight-specific lipophorin in *Locusta migratoria*, *Insect Biochem.* 17, 771-776.
 32. Lewis, A. C. (1984). Plant quality and grasshopper feeding: effects of sunflower condition on preference and performance in *Melanoplus differentialis*, *Ecology*. 65, 836-843.
 33. David C. L. and Whitford, W. G. (1987) Variation in insect densities on desert creosotebush: Is nitrogen a factor?, *Ecology*. 68, 547-557.
 34. Rausher M. D. (1981) Host plant selection by *Battus philenor* Butterflies: The roles of predation, nutrition, and plant chemistry, *Ecol. Monogr.* 51, 2-20.
-