

溫度條件이 벼멸구의 發育 및 產卵에 미치는 影響에 관한 研究

裴 舜 道 · 宋 裕 漢 · 朴 永 道

BAE, SOON-DO, YOO-HAN SONG, AND YEONG-DO PARK : Effects of Temperature Conditions on the Growth and Oviposition of Brown Planthopper, *Nilaparvata lugens* Stål

Korean J. Plant Prot. 26(1) : 13~23 (1987)

ABSTRACT This study was conducted to know the effects of temperature conditions on the growth and oviposition of the brown planthopper(BPH), *Nilaparvata lugens* Stål. Results obtained were to predict the timing of the BPH control by measuring population dynamics of the BPH in response to temperature fluctuations upon migration of the insects in paddy fields. Developmental and ovipositional rates under constant and alternating temperature conditions were observed in a plant growth cabinet.

Hatchabilities of eggs of the BPH were the highest at 25°C and were decreased below or above the optimum temperature. Egg periods were the shortest at 27.5°C and prolonged with decreasing temperature, but retarded at higher temperature above 30°C. Adult emergence rates were the highest at 27.5°C and reduced with decreasing temperature, and no adult emerged at 32.5°C and 35°C. Developmental period of nymph was the shortest at both 27.5°C and 30°C, but extended with decreasing temperature. Female longevity was increased with decreasing temperature and the male longevity was the shortest at 27°C. Preoviposition period was the shortest at 32.5°C, but prolonged with decreasing temperature. It was about 6.5 times longer at 17.5°C than that at 32.5°C. Number of eggs oviposited per female was the greatest at 25°C, but decreased at the temperature below or above the optimum.

Under the same total effective day-degrees, hatchability at the alternating temperature was about 10% higher than that at the constant temperature but egg period at the alternating temperature was nearly identical as that at the constant. Under the 22°C condition, emergence rate was about 8% higher at the alternating temperature than that at the constant, however, at the 28°C, the rate was about 8% higher at the constant than that at the alternating. Nymphal period was about 4~6 days longer at the alternating temperature than that at the constant. Under the same total effective day-degrees in adult stage, both longevity and oviposition period were longer at alternating temperature than those at the constant. Number of eggs oviposited per female was also higher at the alternating. Longevities of females reared under 28°C of constant temperature was the longest no matter what temperatures they were exposed after the emergence. This result seems to be indicating that female longevity is greatly influenced by the temperature to which they were exposed during immature stages. Preoviposition period was affected by the temperature exposed during the nymphal and adult stage whereas the number of eggs oviposited was affected by the temperature during the adult stage only.

Based on the results from this study, the developmental threshold temperatures seem to be 14.12°C for eggs, 14.76°C for nymphs, 9.62°C for adults, and 15.95°C for preoviposition period. Estimated values of the total effective temperature for completing each stage were 141.25 day-degrees for eggs, 167.83 day-degrees for nymphs, 349.64 day-degrees for adults, and 58.60 day-degrees for preoviposition.

서 론

벼멸구(*Nilaparvata lugens* Stål)는 우리나라

慶尙大學校 農科大學 植物保護學科(Department of Plant Protection, College of Agriculture, Gyeongsang National University)

를 비롯하여 아시아 전역과 오스트렐리아 북부, 남태평양군도 등 벼 재배지에 광범위하게 분포하고 있으며,^{1,6,9,11,20} 열대지방에서는 년중 발생하지만 한국과 일본에서는 월동하지 못하고 중국남부, 동남아 등에서 저기압 기류를 타고 비래하는 벼의 주요한 흡즙성 해충이다.^{8,14,21}

벼멸구가 우리나라로 비래하는 시기와 양은 연도에 따라 다소 차이가 있으나 6월 중·하순 경부터 7월에 걸쳐 비래하여 포장에서 3~4세대를 경과하면서 벼에 피해를 주게 되는데,³⁰⁾ 1975년에는 적극적으로 대발생하여 극심한 피해를 준 바 있으며, 1983년과 1985년에도 남부지방에 대발생한 바 있다.

벼멸구는 우리나라에 비래한 후 2~3세대 경과된 뒤인 9월 초순경에야 큰 피해를 주게 되는데, 논에서는 본 해충이 벼에 피해를 줄만큼 밀도가 증가하기 직전까지도 그 증식상황을 파악하기 어려운 관계로 사전에 적절한 대책을 수립하기가 매우 어려운 실정이다. 따라서 본 해충이 논에서 대량으로 발견되어 어떠한 방제행위를 취할때는 이미 너무 늦게되어 방제비용만 소모하고 큰 효과를 거두지 못하는 경우가 많다.³⁰⁾

곤충을 포함한 생물의 발육상황은 주변 환경 중에서도 온도와 밀접한 관련이 있으며,^{7,15)} 곤충의 어떤 발육단계의 출현시기는 그때까지의 발육 일계온도를 초과하는 온도의 누적치 즉 유효적산온도에 좌우된다고 알려져 있다.^{5,7,15,26)} 따라서 벼멸구의 발생시기를 예측하여 방제적기를 포착하기 위해서는 이러한 유효적산온도의 법칙이 기본적으로 적용된다고 하겠다.^{2,10,27,28)}

벼멸구의 온도에 따른 발육상황에 관한 연구는 1940년대부터 오늘에 이르기 까지 일본, 필리핀, 우리나라 등지에서 많은 연구가 이루어져 왔으나,^{3,17,32,34)} 그 결과가 보고자에 따라 일관성이 없이 차이를 나타내고 있다. 이러한 이유는 정밀한 실험기구의 미비, 실험방법상의 차이 그리고 벼멸구의 지역적 특성의 차이 때문인 것으로 생각된다.

본 연구는 곤충의 가장 중요한 환경요인인 온도조건이 벼멸구의 발육 및 산란에 미치는 영향을 정밀하게 조사하여 비래후 벼 포장의 온도변화에 따른 벼멸구 개체군의 증식상황을 예측함으로써 방제적기를 포착하는데 필요한 기초자료를 얻고자, 정온과 변온조건의 항온기 내에서 벼멸구의 각 stage 별 발육속도 및 성충의 수명과 산란력을 측정하는 실험을 수행하였다.

본 연구 수행을 위해 연구비를 지원하여 주신 한국과학재단에 감사드린다.

재료 및 방법

공시 벼멸구는 40 watt 형광등으로 16시간 조명되는 경상대학교 식물보호학과 곤충사육실의 실온(24~28°C) 조건하에서 추청벼 유묘를 사용하여 누대사육중인 것을 사용하였다. 모든 발육 및 산란실험은 식물성장조절 항온기내에서 1984년 10월 22일부터 1985년 10월 8일까지 수행되었다.

1. 온도조절

조명 및 온도조절 timer가 부착된 항온기(LEEC Model PL3, Nottingham, U.K., 용량 330 liter, 온도범위 3°C~50°C±0.5°C)를 이용하여 정온조건에서의 실험은 7개의 항온기를 각각 17.5°C, 20°C, 22.5°C, 25°C, 27.5°C, 30°C, 32.5°C로 고정시키고 40 Watt 형광등 2개로 일간 16시간 조명하였다. 변온조건하에서의 실험은 상기한 항온기를 두가지의 변온조건, 즉, 18°C(12시간)~26°C(12시간)와 24°C(12시간)~32°C(12시간)으로 조절하였으며 일간 같은 적산온도의 항온조건인 22°C 항온과 28°C 항온으로 조절하여 변온조건과 항온조건의 벼멸구 발육속도 및 증식능력조사에 사용하였다.

2. 정온조건에서의 발육속도, 성충의 수명 및 산란력 조사

1% 무영양한천배지에 추청벼 유묘를 1본씩 이식하여 약 2cm가량 자란 시험관(20×2.2cm)에 우화한지 10일쯤 되는 벼멸구 암컷 2마리와 수컷 1마리를 각각 50반복씩 접종하여 17.5°C, 20°C, 22.5°C, 25°C, 27.5°C, 30°C, 32.5°C, 35°C의 식물성장조절 항온기에 24시간 산란시킨 후 접종성충을 제거하고 부화하는 약충의 수를 매일 일정시각에 조사 기록하였으며 부화가 완료된 후(첫부화후 약 15일) AO 입체현미경(American Optical) 7배하에서 유묘를 해부하여 미부화 난수를 조사하였다.

각각의 온도로 고정된 항온기에서 부화된 약충을 1% 무영양한천배지에 추청벼 유묘를 1본씩 이식하여 약 3cm 가량 자라게한 시험관(20×2.2cm)에 각각 3마리씩 넣고 매일 일정시각에 약충의 생사와 우화일을 조사·기록하였다.

약충실험에서 당일 우화한 성충을 1% 무영양

한천배지에 추청벼 유묘를 1본씩 이식하여 약 4cm 가량 자라게한 시험관(20×2·2cm)에 성별과 시형을 기록한 우화성충을 자웅 1쌍씩 넣고 사충시까지 5일 간격으로 새유묘가 준비된 먹이를 갈아 주면서 매일 일정시각에 생사여부를 조사하였다.

4~5령 약충을 별도의 사육상자에 분리하여 사육실에서 사육하면서 당일 우화한 벼멸구 자웅 1쌍씩을 추청벼 유묘가 약 4cm 가량 되는 시험관에 접종하여 17.5°C, 22.5°C, 27.5°C, 32.5°C의 항온기에 보관하면서 사충시까지 매일 일정시각에 새 유묘로 교체하여 주었고 이들 교체된 유묘는 27.5°C 항온기에 3일 가량 둔 후 AO 입체현미경 7배하에서 해부하여 산란전기와 일별 산란수를 조사하였다.

3. 변온조건에서의 발육속도, 성충의 수명 및 산란력 조사

정온발육실험과 동일한 방법으로 준비된 시험관에 우화 10일쯤 되는 벼멸구 암컷 2마리와 수컷 1마리를 접종하여 18°C~26°C 변온(22°C 변온), 22°C 정온, 24°C~32°C 변온(28°C 변온), 28°C 정온의 식물생장조절 항온기에 24시간 산란시킨 후 점종성충을 제거하고 매일 일정시각에 부화하는 약충의 수를 조사하였으며 부화가 완료된 후(첫부화후 약 15일) AO 입체현미경 7배하에서 유묘를 해부하여 미부화 난수를 조사하였다.

난기간 및 부화율실험에서 부화한 약충을 22°C 변온, 22°C 정온, 28°C 변온, 28°C 정온 항온기에 넣어 매일 일정시각에 약충의 생사와 우화일을 조사하였다.

약충기까지 발육온도조건이 22°C 변온, 22°C

정온, 28°C 정온으로 각각 달랐던 것을 우화후에는 동일 온도조건, 22°C 변·정온, 28°C 변·정온에 교대로 나누어 넣어 보관하면서 성충의 수명을 조사하였다.

상기 성충수명 조사시의 벼멸구 암컷을 추청벼 유묘가 약 4cm 가량 자란 시험관에 접종하여 사충시까지 매일 일정시각에 교체하여 AO 입체현미경 7배하에서 해부하여 산란전기와 산란수를 조사하였다.

결과 및 고찰

1. 정온조건이 발육속도, 성충의 수명 및 산란력에 미치는 영향

(1) 배자발육에 미치는 영향

각각의 온도로 고정된 항온기에 벼멸구 암컷 2마리와 수컷 1마리를 접종하여 1일간 산란시킨 후 계속 발육시킨 난의 각 온도별 부화율과 난기간은 표 1과 같다.

발육온도에 따른 난의 부화율은 25°C에서 92.73%로 가장 높았으며 25°C보다 온도가 낮아지거나 또는 온도가 높아짐에 따라 부화율은 낮아지는 경향이였다. 본 실험에서 25°C에서의 부화율이 가장 높았는데 이러한 결과는 Suenaga³⁴⁾와 Bae등⁴⁾의 결과와 일치하는 것이였으나 Kim 등¹⁷⁾과 Park등²⁹⁾의 보고와는 약간의 차이를 보였다. 즉, Kim 등은 25°C±2°C에서 단시형의 알은 73.7%, 장시형의 알은 75%라고 하였으며 Park등은 25°C 75% 상대습도에서 82.23%, 25°C 35% 상대습도 하에서는 68.35%의 부화율을 나타내었다고 하였다. Park등²⁹⁾은 33°C에서 전혀 부화가 되지 않았다고 했는데 본 실험에서 고온에 해당하는 32.5°C와 35°C의 부화율이 각

Table 1. Egg periods and hatchabilities of brown planthopper, *Nilaparvata lugens* Stal, at various temperatures

Temp.(°C)	No. of eggs oviposited	No. of nymphs hatched	Percent hatching	Egg periods (days)
35	67	26	38.81	11.76± 5.80
32.5	42	23	54.76	12.26± 5.80
30	231	181	78.36	12.81± 3.79
27.5	35	30	85.71	9.16± 4.03
25	110	102	92.73	10.81± 4.71
22.5	33	28	84.85	16.22± 5.94
20	85	66	77.75	22.50± 8.99
17.5	58	24	41.38	31.42±12.47

각 54.76%와 38.81%인 것은 주목할만 하다. 또한 난기간은 27.5°C에서 9.16일로 최대발육속도를 보였으며 온도가 낮아짐에 따라 난기간은 점점 길어졌고 30°C 이상의 고온에서는 발육 지연 현상이 나타났다.

난기간에 미치는 온도의 영향으로는 Bae등⁴⁾, Hirao,¹³⁾ Kim등,¹⁷⁾ Suenaga등³⁴⁾의 많은 보고가 있는데 본 실험결과는 벼멸구의 난은 28°C에서 7.9일로 최대발육속도를 나타내고 그 이하나 이상의 온도가 될 수록 난기간은 길어진다고 한 Suenaga 등의 결과와 일치하는 경향이였다.

Kim등¹⁷⁾은 25±2°C에서 단시형의 난기간은 8.4일, 장시형의 난기간은 8.7일이라고 하였으며, Mochida등²⁴⁾은 17.5°C, 20°C, 25°C, 30°C에서의 난기간이 각각 24일, 15일, 7일, 7일이라고 한 것과는 약간의 차이가 있었는데 이러한 이유는 실험방법상의 차이와 사용한 벼멸구의 변이성이 관여된 것이라고 생각된다.^{19,34)}

(2) 후배자발육에 미치는 영향

각각의 처리온도에서 1발육시킨 벼멸구의 우화율과 약충기간은 표 2와 같다. 우화율은 27.5°C에서 84.38%로 가장 높았으며 온도가 낮아짐에 따라 우화율은 낮아지는 경향이였으며 고온인 32.5°C와 35°C에서는 한마리도 우화하지 못하였다.

Kim등,¹⁷⁾ Kisimoto,¹⁹⁾ Suenaga³⁴⁾ 등은 25°C에서 약충의 우화율이 각각 86.7%, 94.6%, 97.0%, Bae³⁾는 실내에서 30% 야외에서는 74.0%로 일정치 않은 보고였는데 본 실험에서 25°C의 우화율은 78.72%였다. 이처럼 일정치 않은 우화율은 식이식물의 질과 종류 등의 차이때문

인 것으로 여겨진다.^{19,33)}

약충의 발육은 30°C에서 가장 빨라 12.70일이었으며 그 이하로 온도가 낮아짐에 따라 약충기간은 점점 길어져 17.5°C에서는 63.88일로 30°C의 발육속도의 약 5배에 달했으며 고온인 32.5°C와 35°C에서는 부화후 4일과 10일이내에 각각 모두 사망하였다.

이러한 결과는 Suenaga³⁴⁾의 고온에 따른 약충 발육의 연구에서 27°C 부근에서 발육이 가장 빠르며 그 이하나 이상의 고온에서는 지연된다고 하는 보고와 Bae등⁴⁾의 33°C에서 약충은 2령을 넘기지 못한다고한 보고와 일치하는 경향이였다. 이처럼 30°C 이상의 고온에서 약충이 발육하지 못하는 이유는 난의 경우와는 달리 약충은 고온에 대해 내성을 가지지 못하기 때문이며⁴⁾ 또 멸구·매미충류의 발육에 충분한 sterol을 공급하는 역할을 하는 yeast-like symbiote를 파괴하여 곤충의 생리에 간접적인 영향을 주기 때문이라고 생각된다. 이 symbiote의 기능에 대해서는 전혀 밝혀지지 않았다.

본 실험에서 25°C의 약충기간은 13.65일로 Kim등¹⁷⁾의 12.5일, Bae³⁾의 14.6일, Kisimoto¹⁹⁾의 부화약충 5마리씩 넣은 시험관에서 암컷은 15.5일, 수컷은 14.3일인 것과 큰 차이가 없었다.

(3) 성충수명에 미치는 영향

약충의 발육실험에서 우화한 벼멸구 성충 암컷과 수컷의 각 온도조건에 따른 수명은 표 3과 같다.

암컷의 수명은 30°C에서 20.7일로 가장 짧았고 수컷의 수명은 27.5°C에서 13.8일로 가장 짧

Table 2. Percent emergence rates and nymphal periods of *N. lugens* at various temperatures

Temp.(°C)	Total no. nymphs	No. adults emerged	Emergence rates(%)	Nymphal Period (days)
35	19	0	0	*
32.5	17	0	0	**
30	105	71	67.62	12.70± 6.04
27.5	32	27	84.38	12.78± 7.19
25	47	37	78.72	13.65± 6.40
22.5	22	15	68.18	19.80± 4.12
20	52	31	59.62	28.48±10.56
17.5	17	8	47.06	63.88±11.40

* : All died within 4 days.

** : All died within 10 days.

Table 3. Longevities of newly emerged adults of *N. lugens* at various temperatures

Temp. (°C)	Female		Male	
	No. insects	Longevity	No. insects	Longevity
30	28	20.7±3.6	31	21.3±3.0
27.5	11	22.5±5.4	14	13.8±3.0
25	28	29.1±6.0	14	23.3±4.9
22.5	7	29.3±9.9	12	25.3±8.4
20	11	32.8±6.4	7	30.1±9.5
17.5	5	42.8±19.5	3	40.0±0.6

았으며 온도가 낮아짐에 따라 수명은 길어지는 경향이였다.

25°C에 있어서 수명은 본 실험의 경우 암컷이 29.1일, 수컷이 23.2일이었는데 Bae등⁴⁾은 암컷이 18.6일, 수컷은 11.6일, Kim등¹⁷⁾은 단시형 암컷은 23.6일, 수컷은 21.2일, 장시형 암컷은 25.0일, 수컷은 22.8일이라 하여 Kim등의 보고와는 일치하였으나 Bae등의 보고와는 상당한 차이를 보였다. 한편 30°C에서의 경우만 제외하고는 암컷의 수명이 수컷보다 약 2~8일정도 길었는데 이러한 결과는 Bae등,⁴⁾ Kisimoto,¹⁹⁾ Suenaga,³⁴⁾ Takeda³⁵⁾ 등의 보고와 일치하는 경향이였다.

본 실험에서 수컷의 수명은 27.5°C에서 13일로 30°C의 21.3일보다 약 8일 정도 짧았는데 이러한 현상은 수명에 있어서 개체 차이가 심하고 30°C에 공시된 수컷의 수가 충분하지 못한데에 기인된 것으로 여겨지며^{13,17,29)} 앞으로 좀더 검토할 필요가 있을 것으로 생각된다.

(4) 산란전기 및 산란에 미치는 영향

곤충사육실에서 갓 우화된 벼멸구 성충 자웅 1쌍씩을 시험관에 접종하여 각각의 항온기에서 발육시킨 결과 암컷의 산란전기, 총산란수, 일간산란수는 표 4와 같다.

산란전기는 32.5°C에서 2.8일로 가장 짧았으며 온도가 낮아짐에 따라 점점 길어져 17.5°C에서 19.7일로 32.5°C구의 약 7배에 달했다.

Suenaga³⁴⁾는 20°C에서 33°C의 온도범위내에서 온도가 높아짐에 따라 장시형의 산란전기는 짧아지나 단시형의 온도변화에 따른 산란전기는 변화가 없다고 하면서 25°C에서 장시형의 산란전기는 7.2일, 단시형은 3.8일이라 하였고, Kim 등¹⁷⁾은 장시형이 2.9일, 단시형은 2.3일, Kisimoto¹⁹⁾는 장시형이 4~8일, 단시형이 2~3일이라 하였는데 본 실험의 경우 산란전기 4.9일은 접종성충이 모두 장시형이었던 점으로 미루어 보아 Kisimoto의 결과와 일치하는 것으로 생각된다.

총산란수는 25°C에서 216.7개로 가장 많았는데 이는 Bae³⁾의 244.2개, Kim등¹⁷⁾의 단시형 343.9개, 장시형 319.9개, Kisimoto¹⁹⁾의 단시형 598.6개, 장시형 543.1개, Mochida²³⁾의 단시형 300.7개, 장시형 249.0개, Suenaga³⁴⁾의 300~350개와는 상당한 차이를 보였다.

Suenaga³⁴⁾는 30°C이상의 고온에서 산란수가 현저히 줄어드는 이유는 약충기 특히 난모세포와 정모세포가 분열, 성숙하기 시작하는 3~4령기에 고온에 노출되면 충체내에서 난모세포와

Table 4. Periods of preoviposition and number of eggs oviposited per female of *N. lugens* at various temperatures

Temp. (°C)	No. of insects	Female longevity	Preoviposition period (days)	Total no. eggs/female	No. eggs per day
32.5	38	11.4±3.1	2.8±1.4	83.87	9.73
27.5	30	16.3±3.0	4.6±1.5	164.43	12.83
25	34	19.8±4.1	4.9±1.9	216.47	13.60
22.5	25	22.6±4.2	7.2±2.4	143.96	9.34
17.5	15	43.2±9.5	19.7±4.7	114.40	4.48

정모세포의 형성이 불량하여 산란기간이 짧아지기 때문이라고 하였는데 본 실험에서 32.5°C의 산란수가 83.87개인 것도 이러한 이유 때문인 것으로 생각된다.

일간 산란수 역시 25°C에서 13.60개로 가장 많았으며 그 이하나 그 이상의 고온에서는 줄어들어 총산란수에서와 같은 경향을 보였으며, 저온인 17.5°C에서는 4.48개로 가장 낮은 산란력을 보였는데 이러한 이유는 저온에서 호르몬 활력이 떨어져 난형성에 나쁜 영향을 미치는 것으로 여겨진다.²⁵⁾

전체적으로 볼때 산란수는 개체간에 차이가 심하였으나 온도에 따른 암컷의 수명과 산란기간은 밀접한 관련이 있는 것으로 생각된다.^{18,22,23)}

2. 변온조건이 발육속도, 성충의 수명 및 산란력에 미치는 영향

(1) 배자발육에 미치는 영향

같은 유효적산온도로 조절된 변온과 정온 항온기에 벼멸구 암컷 2마리와 수컷 1마리를 접종하여 1일간 산란시킨후 발육시킨 난의 부화율과 난기간은 표 5와 같다.

22°C 동일 유효적산온도하에서 22°C 변온에서의 부화율은 91.56%로 22°C 정온의 80.88%보다 약 11%정도 높았으며 28°C 정온의 75.22%보다 약 12%정도 높았다.

Bae등⁴⁾은 33°C에서는 전혀 부화가 되지 않으며 이를 25°C나 29°C로 각각 12시간씩 변온시켜 주면 약 76%의 부화율을 보인다고 하였는데 본 실험의 결과에서도 변온조건이 난의 부화를 촉진시켜준 것으로 나타났다.

난기간은 변온과 정온간에 큰 차이점은 없었으나 변온조건에서 발육이 조금 빠른것 같다. 따라서 벼멸구의 배자발육에 있어서는 변온조건이 배자발육을 촉진시켜 주는 것으로 생각된다.⁴⁾

(2) 후배자발육에 미치는 영향

같은 유효적산온도로 조절된 변온·정온조건에서의 우화율과 약충기간은 표 6과 같다.

22°C 동일 유효적산온도에 있어서는 22°C 변온에서 우화율이 84.56%로 22°C 정온의 우화율 76.0%보다 약 9%정도 높은데 비해 28°C의 경우는 28°C 정온에서 우화율이 91.03%로 변온의 82.29%보다 오히려 높았다. 이러한 이유는 28°C의 경우 일간 12시간동안 32°C 고온에 약충이 노출되기 때문에 약충의 치사율이 높아진데에 그 원인이 있는 것으로 생각된다.

약충기간에 있어서는 22°C 변온이 22.9일, 22°C 정온이 16.7일, 28°C 경우는 28°C 변온이 14.5일, 정온이 11.8일로 변온조건에서 3~6일정도 발육기간이 길었는데 이러한 결과는 변온이 곤충의 발육을 촉진시킨다는 일반적인 주장¹⁶⁾

Table 5. Duration of egg periods and hatchabilities of *N. lugens* at various alternating and constant temperature conditions

Temp. (°C)	Total no. eggs	No. nymphs hatched	Hatchability (%)	Egg period (days)
18~26 A	154	141	91.56	14.7±6.9
22 C	136	110	80.88	15.8±5.4
24~32 A	168	147	87.50	9.9±4.2
28 C	113	85	75.22	10.2±3.7

A : Alternating temperature (12hrs at low and 12hrs at high temperature).
C : Constant temperature through out the 24hrs period.

Table 6. Rates of emergence and nymphal periods of *N. lugens* at various constant and alternating temperature conditions

Temp. (°C)	Total no. nymphs	No. adults emerged	Emergence rates (%)	Nymphal period (days)
18~26 A	136	115	84.56	22.9±12.0
22 C	100	76	76.00	16.7± 9.1
24~32 A	96	79	82.29	14.5± 4.2
28 C	78	71	91.03	11.8± 6.6

과는 상반되는 것으로 벼멸구 약충발육에 있어서 동일 유효적산온도의 정온에서 보다 변온에서 발육이 지연되는 원인은 22°C 변온의 경우 일간 12시간 18°C라는 저온, 그리고 28°C 변온의 경우는 일간 12시간 32°C라는 고온때문인 것으로 생각된다.

(3) 성충암컷의 수명과 산란에 미치는 영향

난기와 약충기의 발육온도가 성충기의 벼멸구 암컷의 수명 및 산란력에 미치는 영향을 알아보기 위해 난기와 약충기에 22°C 변온·정온, 28°C 변온·정온에서 각각 사육하여 각 온도구에서 우화한 성충을 4개의 group으로 분리하고 각 group를 다시 22°C 변온과 정온, 28°C 변온과 정온으로 나누어 사육하여 성충의 수명, 산란수를 조사한 결과는 표 7과 같다.

전체적으로 볼때 알에서 부터 약충기까지 발육시킨 온도에 관계없이 성충기의 온도가 변온인 것에서 암컷의 수명, 산란전기가 길었으며 산란수도 많았다.

난에서 약충기까지 발육시켰던 온도가 온도변

환후의 성충기에 미친 영향을 보면 22°C 변온, 정온 순으로 수명이 길었으며, 이러한 경향은 22°C 정온, 28°C 변온, 정온구에서도 같은 경향을 나타내었다. 이러한 결과로 보아 벼멸구 암컷의 수명은 약충기까지 노출된 온도가 성충기 이후의 발육속도보다 더 큰 영향을 미친 것으로 생각된다.

산란전기에 미치는 영향을 보면 성충기의 온도가 22°C 변온인 경우는 약충기까지 28°C 정온에 발육시킨 것에서, 22°C 정온은 약충기까지의 노출온도에 따라 큰 차이는 없었으나 약충기의 온도가 22°C 정온인 것에서, 28°C 변온은 약충기까지 22°C 변온에 노출시킨 것에서, 28°C 정온은 22°C 정온 약충기에서 각각 산란전기가 가장 짧았다. 따라서 벼멸구의 산란전기는 약충기와 성충기의 발육속도가 함께 영향을 미친 것으로 생각된다.

총 산란수에 미치는 영향을 보면 22°C 변온은 약충기까지 28°C 정온에 발육시킨 것에서, 22°C 정온은 28°C 변온 약충구에서, 28°C 변온은

Table 7. Female longevities, periods of preoviposition, and number of eggs oviposited of *N. lugens* at various alternating and constant temperature conditions

Temp. in adult stage	Temp. in nymphal stage	No. of adults observed	Longevity of female (days)	Preovip. periods (days)	Total no. eggs oviposited per female	No. eggs/female per day
18~26 A	18~26 A	14	40.0±8.2	10.4±2.8	201.2± 31.56	6.50
	22 C	5	35.4±8.9	8.0±3.4	237.2±124.28	6.23
	24~32 A	6	40.7±4.9	9.4±1.2	247.5± 79.02	6.89
	28 C	4	47.0±7.6	6.5±2.8	357.8± 82.54	8.33
	Average	7.3	40.8±7.4	8.6±2.5	260.9± 79.48	6.99
22 C	18~26 A	9	28.3±4.9	6.7±2.9	151.3± 39.13	6.40
	22 C	9	26.0±7.8	6.4±3.3	174.0± 13.64	6.47
	24~32 A	7	32.0±5.1	7.6±4.2	203.9± 38.41	7.37
	28 C	6	35.8±6.4	8.3±2.3	180.0± 68.16	5.77
	Average	7.8	30.5±6.0	7.3±3.2	177.3± 39.84	6.50
24~32 A	18~26 A	17	22.1±3.4	5.1±2.1	193.6± 37.61	13.14
	22 C	11	19.0±5.1	5.9±2.8	111.9± 28.39	7.85
	24~32 A	7	26.7±4.0	9.6±1.1	173.9± 65.90	9.14
	28 C	6	30.5±4.5	7.1±2.6	229.3± 47.00	9.40
	Average	10.3	24.6±4.2	6.9±2.2	177.2± 44.73	9.88
28 C	18~26 A	15	17.9±6.4	4.1±1.7	120.0± 16.59	8.67
	22 C	6	17.5±4.8	3.3±4.8	155.2± 62.05	9.30
	24~32 A	8	23.6±6.9	5.2±3.0	160.6± 43.34	6.95
	28 C	5	26.4±8.9	4.4±1.3	207.2± 27.88	9.47
	Average	8.5	21.4±6.7	4.3±2.7	160.8± 37.47	8.60

Table 8. Threshold temperatures, total effective daydegrees, and regression equations between inverse of developmental periods (Y) and temperature conditions (X) in each stage of *N. lugens*

Developmental stages	Threshold temperature	Total effective day-degree	Regression equation
Egg	14.12	141.25	$Y=0.00811X-0.115$
Nymph	14.76	167.83	$Y=0.00653X-0.096$
Adult	9.62	349.64	$Y=0.00294X-0.028$
Preoviposition	15.95	58.60	$Y=0.02345X-0.374$

28°C 정온 약충구에서, 28°C 정온은 28°C 정온 약충구에서 각각 산란수가 가장 많았다.

일간산란수는 성충기의 발육속도가 22°C 변온과 정온인 것에서는 총산란수와 같은 산란 pattern을 보였으나 28°C 변온과 정온구에 있어서는 일치하지 않았다. 즉, 28°C 변온에 있어서는 22°C 변온 약충구에서, 28°C 정온은 28°C 정온 약충구에서 각각 산란수가 가장 많았다.

Mochida²³⁾는 벼멸구의 산란은 약충기에 노출된 온도와 기주식물의 영양상태에 따라 크게 좌우된다고 하였는데 본 실험에서의 산란수는 성충기 이후의 온도에 더 많은 영향을 받은 것으로 나타나 Mochida의 보고와 일치하지 않았다.

3. 발육임계온도 및 유효적산온도

이상의 실험결과 벼멸구의 발육과 산란은 30°C 이상의 고온에서 발육의 지연 현상을 나타내므로 30°C 이하의 온도에서 얻은 결과를 토대로하여 얻은 생육단계별 발육임계온도 및 유효적산온도 그리고 이에 따른 회귀방정식을 표 8에 나타내었다.

발육단계중 난의 임계온도는 14.12°C, 약충은 14.76°C, 성충은 9.62°C, 산란전기는 15.95°C로 성충의 임계온도가 가장 낮았다. 또한 각각의 발육에 필요한 유효적산온도는 난이 141.25일도, 약충이 167.83일도, 성충은 349.64일도, 산란전기는 58.60일도로 성충의 유효적산온도가 가장 크게 나타났다.

발육과 온도와의 관계가 직선적인 관계가 있다고 보고 산출한 벼멸구 난의 임계온도는 Hirano¹²⁾가 10°C, Kuwahara²¹⁾는 10.5°C($Y=0.0068X-0.162$), Suenaga³⁴⁾는 10.77°C($Y=0.476X-4.653$)라 했으며 약충의 임계온도는 Hirano¹²⁾가 10.5°C, Kuwahara²¹⁾가 9.1°C, Suenaga³⁴⁾는 9.79°C라고 하였다.

본 실험에서 난과 약충의 임계온도가 이들의

보고보다 높게 나타났는데 이는 이들 연구자들이 발육임계온도를 계산할 때 30°C 이상의 온도 조건에서의 발육결과를 제외시키지 않은데 그 원인이 있는 것으로 생각되며 또한 실제로 적용할 경우 온도와 발육속도와의 관계가 직선적이지 아니라는 견해를 고려해 볼때 그들의 연구결과와 본 실험결과를 종합적으로 검토해 볼 필요가 있다고 생각된다.

적 요

온도조건이 벼멸구(*Nilaparvata lugens* Stal)의 발육과 산란에 미치는 영향을 정밀하게 조사하여 벼 포장에서의 온도변화에 따른 벼멸구의 발육경과를 예측함으로써 방제적기를 포착하는데 필요한 기초자료를 얻고자 정온과 변온의 식물 성장조정향온기 내에서 벼멸구의 발육속도 및 산란력을 측정하는 실험을 수행한 바 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 정온조건에서의 발육 및 산란

벼멸구 난의 부화율은 25°C에서 가장 높았으며 그 이하나 이상의 온도로 변함에 따라 낮아지는 경향이였다. 난기간은 27.5°C에서 가장 짧았으며 온도가 낮아짐에 따라 난기간이 길어지는 경향이였고 30°C 이상의 고온에서도 난의 발육이 지연되었다.

우화율은 27.5°C에서 가장 높았고 온도가 낮아짐에 따라 낮아져 32.5°C와 35°C에서는 전혀 우화하지 못하였다. 약충기간은 27.5°C와 30°C에서 가장 짧았으며 온도가 낮아짐에 따라 길어지는 경향이였다. 우화성충의 수명은 온도가 낮아짐에 따라 길어지는 경향이였고 수컷은 27.5°C에서 수명이 가장 짧았다.

산란전기는 32.5°C에서 가장 짧았으며 온도가 낮아짐에 따라 길어져 17.5°C에서는 32.5°C에서보다 약 6.5배에 달했다. 산란수는 25°C에서

가장 많았으며 그 이하나 이상의 온도로 변함에 따라 적어지는 경향이였다.

2. 변온조건과 정온조건에서의 발육 및 산란
같은 유효적산온도에서, 난의 부화율은 정온 조건에서보다 변온조건에서 약 10% 정도 높았으나 난기간은 큰 차이가 없었다. 우화율은 22°C 동일 유효적산온도 조건의 경우 변온에서 약 8% 정도 높았으나 28°C 동일 유효적산온도의 경우 반대로 정온조건에서 약 8% 정도 높았다. 약충 기간은 정온조건에서보다 변온조건에서 약 4~6 일 정도 길었다.

같은 유효적산온도에서, 성충의 수명과 산란수는 성충기의 온도가 정온인 것보다 변온인 것에서 길었으며 산란수도 많았다. 한편, 난기에서부터 약충기까지 노출시켰던 온도를 고려해 보면 약충기까지 28°C 정온에서 노출시켰던 구에서 각 온도 공히 성충의 수명이 길어져 성충의 수명은 약충기의 온도에 영향을 받았다. 산란전기에는 약충기와 성충기의 온도가 함께 영향을 주었으며 산란수에는 성충기의 온도가 큰 영향을 주었다.

3. 각 발육단계별 발육임계온도 및 유효적산온도

본 실험결과 계산된 발육임계온도는 난기에서 14.12°C, 약충기에서 14.76°C, 성충기에서 9.12°C, 산란전기에서 15.95°C로 나타났다. 각 발육단계별 유효적산온도는 난기에서 141.25 온일도(Degree-Day), 약충기에서 167.83 온일도, 성충기에서 349.64 온일도, 그리고 산란전기에서 58.60 온일도 이었다.

인 용 문 헌

1. Abraham, C.C. and M.R.G.K. Nair. 1975. The brown planthopper outbreaks in Kerala, India. Rice Entomol. Newsl. 2 : 36.
2. Allen, J.C. 1976. A modified sine wave method for calculating degree days. Env. Entomol. 5(3) : 388~396.
3. Bae, S.H. 1966. Studies on some aspects of the life history and habits of the brown planthopper (*Nilaparvata lugens* Stal). Thesis for M.S. in Entomol. Univ. of the

- Phil. Coll. Agr. Lcs Banos, Philippines. 91.
4. Bae, S.H. and M.D. Pathak. 1970. Life history of *Nilaparvata lugens* (Homoptera: Delphacidae) and susceptibility of rice varieties to its attacks. Ann. Ent. Soc. America. 63(1) : 149~155.
5. Baskerville, G.L. and P. Emin. 1969. Rapid estimation of heat accumulation from maximum and minimum temperatures. Ecology. 50(3) : 514~517.
6. Cheng, C.N. and C.C. Cheng. 1979. Ecological physiology of rice plant attacked by brown planthopper. 1979. Symp. on Rice Productivity. pp.135~146.
7. Davidson, J. 1942. On the relationship between temperature and rate of development of insect at constant temperatures. J. Anim. Ecol. 13 : 26~38.
8. Dyck, V.A., B.C. Misra, S. Alam, C.N. Chen, C.Y. Hsien and R.S. Rejesus. 1979. Ecology of the brown planthopper in the tropics. Brown Planthopper: Threat to Rice Production in Asia, IRRI, Los Banos, Laguna, Philippines. pp.369 : 61~97.
9. Fernando, H.E. 1975. The brown planthopper in Sri Lanka. Rice Entomol. Newsl. 2 : 34~36.
10. Harukawa, C. 1951. Effect of environmental temperature upon rice leafhoppers. Botyu-kagaku. 16 : 1~11.
11. Hinckley, A.D. 1963. Ecology and control of rice planthoppers in Fiji. Bull. Entomol. Res. 54(3) : 467~481.
12. Hirano, T. 1942. Rice insect pests: Essentials of delphacids (3). Byochu-Gai Zasshi 29 : 157~163.
13. Hirao, J. 1972. Bionomics of the two injurious planthoppers in a paddy field and suitable timing of insecticide application. Chugoku Agric. Res. E7 : 19~48.
14. Hokyo, N., M.H. Lee and J.S. Park. 1976.

- Some aspects of population dynamics of rice leafhoppers in Korea. Kor. J. Pl. Prot. 15(3) : 111~126.
15. Howe, R.W. 1967. Temperature effect on embryonic development in insects. Ann. Rev. Ent. 12 : 15~42.
 16. Huffaker, C.B. 1944. Ann. Entomol. Soc. Am. 37 : 1~27.
 17. Kim, Y.H., J.O. Lee and J.S. Park. 1978. Studies on the life history of brown planthopper (*Nilaparvata lugens* S.) in the laboratory. The Research Reports of O. R.D. 20 : 113~118.
 18. Kisimoto, R. 1957. Studies on the polymorphism in the planthoppers(Homoptera: Araeopidae). III. Differences in several morphological and physiological characters between two wing forms of the planthoppers. Jpn. J. Appl. Ent. Zool. 1(3) : 164~173.
 19. Kisimoto, R. 1965. Studies on the polymorphism and its role playing in the population growth of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* Stal. Bull. Shikoku Agric. Exp. Stn. 13 : 1~107.
 20. Kulshreshtha, J.P. 1974. Brown planthopper epidemic in Kerala. India-Rice Entomol. Newsl. 1 : 3~4.
 21. Kuwahara, S. 1956. Studies on weather factors related to the abnormal flight of the leafhoppers and planthoppers. Byogaityu Hatsusay Yosatsu Shiryo. 56 : 46~65.
 22. Mochida, O. 1964. Oviposition in the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stål) (Hom., Auchenorrhyncha). I. Oviposition and environmental factors with special reference to temperature and rice plant. Bull. Kyushu Agric. Exp. Stn. 10 : 257~285.
 23. Mochida, O. 1970. Red-eyed form of the brown planthopper. Bull. Kyushu Agric. Exp. Stn. 15 : 141~273.
 24. Mochida, O. and V.A. Dyck. 1977. Bionomics of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens*, Symp. Brown Planthopper (ASPAC) : 192~198.
 25. Mochida, O. and T. Okada. 1979. Taxonomy and biology of *Nilaparvata lugens* (Hom., Delphacidae). In Brown Planthopper: Threat to Rice Production in Asia. IRRI, Los Banos, Laguna, Philippines: 21~43.
 26. Nagasawa, S. and M. Kishino. 1965. Application of Pradhans formula to the pupal development of the common house fly, *Musca domestica vicina* Macquardt. Jpn. J. Appl. Ent. Zool. 9(2) : 94~97.
 27. Nasu, S. 1965. Species and their distribution (in Japanese). In studies on the physiology and ecology of the white-backed planthopper (*Sogatella furcifera* H.) and the brown planthopper(*Nilaparvata lugens* S.) (Hom., Auchenorrhyncha) with special reference to the prediction of their occurrences. Byogaityu-Hasseiyosatu-Tokubetu-Hokoku 20 : 1~8.
 28. Okumura, T. 1965. Temperature relationships of the development and the mortality of eggs and larvae of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens*, when their parent was conditioned with different environmental conditions. Jap. J. Ecol. 15(6) : 237~242.
 29. Park, C.G. and J.S. Hyun. 1983. Effects of temperatures and relative humidities on the development of brown planthopper, *Nilaparvata lugens*(Stal) Kor. J. Pl. Prot. 22(4) : 262~270.
 30. Park, J.S. and J.O. Lee 1976. Studies on rice damage due to time of migration of the brown palnthopper(*Nilaparvata lugens*) in Korea. Rice Entomol. Newsl. 4 : 17.
 31. Park, J.S., K.T. Park, K.R. Choi and J.C. Paik. 1975. Studies on the investigating

- method on migratory insects. Ann. Rept. Inst. Agric. Sci. 2 : 85~91.
32. Pathak, M.D. 1967. Ecology of common insect pests of rice. Ann. Rev. Entomol. 13 : 257~294.
33. Pathak, M.D. 1971. Resistance to leafhoppers and planthoppers in rice varieties. Symp. on rice insects. Tropical Agric. Res. Center. 179~193.
34. Suenaga, H. 1963. Analytical studies on the ecology the two species of planthoppers, the white back planthopper (*Sogatella furcifera* Horvath) and the brown planthopper (*Nilaparvata lugens* Stal), with special reference to their outbreaks. Bull. Kyushu Agric. Exp. Stn. 8(1) : 1~153.
35. Takeda, M. 1974. Mating behavior of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* Stal. Jpn. J. Appl. Ent. Zool. 18(2) : 43~51.