

ニカメイガ3化個体群の季節的発生に
およぼす温度と日長の影響

野 里 和 雄

(農学部昆虫学研究室)

Effects of Temperature and Daylength on the Seasonal Development
of the Rice Stem Borer, *Chilo suppressalis* (WALKER),
in the Trivoltine Population

Kazuo NOZATO

Laboratory of Entomology, Faculty of Agriculture

Abstract: The rice stem borer, *Chilo suppressalis* (WALKER), has three generation a year (trivoltine population) at Kochi plain. To analysis of this phenomenon, the effective temperature for the development of the egg, larval and pupal stage, the critical daylength for the induction of the winter diapause, effect of low temperature on the diapause termination and effect of temperature on the development after diapause termination were examined under laboratory conditions. And, the total effective temperature above 10°C and the daylength of the sensitive stage at Kochi plain were estimated from the meteorological data of Kochi meteorological observatory.

The effective temperature for development of egg, larval and pupal stage were, 75,600 and 105 day-degree, respectively. The estimated critical daylength for the induction of winter diapause was 14 : 09. Diapause of the larvaè was terminated by reincubation after chilling at 7 °C for 70 days or more. The development after diapause termination was favourable when rearing temperature increased gradually with time. The total effective temperature of the first, second, and before and after overwintering in the third generation at Kochi plain were 815, 802, 777 and 251 day-degree, respectively. The daylength of the sensitive stage in each generation were 14 : 32, 14 : 45 and 13 : 24, respectively.

Since the daylength of sensitive stage of the first generation was longer than the critical daylength for the induction of the diapause, the larvae were the development but not induced diapause. Thus, effective temperature of the first generation was total value (780 day-degree) of the egg, larval and pupal stage, this value fitted that (815 day-degree) of the first season. Since the development of the second generation was as the first generation, the value (780 day-degree) fitted that (802 day-degree) of the second season. Since the daylength of sensitive stage of the third generation was shorter than the critical daylength for induction of the diapause, the larvae were induced diapause. Thus, effective temperature of before overwintering was the total value (675 day-degree) of the egg and larval stage, they were able to survive within that (777 day-degree) of before overwintering season. The estimated effective temperature of after overwintering was 250 day-degree, this coincided with that (251 day-degree) of the after overwintering season.

はじめに

高知平野には年3回発生するタイプ(3化個体群)のニカメイガ *Chilo suppressalis* (WALKER) が生息している^{1,2,3,4)}。3化個体群の発生量は近年全体的には減少してきているが、局所的にはかなり発生し水稻に大きな被害を出している。

本害虫の防除には季節的発生のメカニズムを知ることが重要である。本種の季節的発生のメカニズムについての説明は発育に必要な有効積算温度および休眠誘起を決定する臨界日長の推定値とその地域の実在有効温量および感受期の日長との比較を行う方法でなされてきた¹⁾。しかしながら、この方法を用いて高知平野の3化個体群の季節的発生を解析したところ、越冬後の発育に必要な有効積算温度の推定値が実在有効温量より約2.5倍も多くなる等¹⁾、十分な説明はできなかった。その後、この問題についての研究は行われず不完全なまま残り、この方法による季節的発生の説明ができるか否かはっきりしない。

そこで、高知平野から3化個体を採集して、越冬後の発育については低温の影響に注目した実験を行い、また、その他の発育と休眠については従来方法¹⁾と同様な実験を実施して、この方法による3化個体群の季節的発生の再検討を行った。

材料および方法

1. 非休眠ステージの発育におよぼす温度の影響

3化個体群は第3世代の幼虫以外は休眠せず、その発育速度は温度に影響される¹⁾。そこで、卵期、幼虫期および蛹期の発育速度を温度別に調べた。卵期の実験は1985年7月下旬に高知平野の早生稲から採集した蛹を室内で羽化交尾させた個体が産下した卵を用いて行った。産下卵をシャーレに入れ、15、20、25および30℃の各温度下にそれぞれ約80粒ずつおき、それぞれの区で孵化までの日数を記録した。実験は16時間明期下で行った。幼虫期の実験は卵期の実験で得た幼虫を、16、20、24および28℃の各温度区にそれぞれ50頭ずつ入れ、蛹化までの日数を調べる方法で行った。蛹期の実験は幼虫期の実験で得た個体を用いて、幼虫期の実験と同様に行ったが、供試虫は各区とも30頭とした。

2. 休眠誘起におよぼす日長の影響

1985年8月下旬に高知平野の中生稲から採集した蛹を室内で羽化交尾させた個体に産卵させて得た卵を用いて実験を行った。産下卵を約200粒ずつシャーレに入れ、25℃にした恒温器を用いて、照明時間を13時間から30分おきに16時間まで計7区を設定し、各区で孵化させた後飼育を続けた。幼虫の飼育は大型試験管(直径3cm×長さ20cm)を用いて行い、飼育時の幼虫密度は孵化幼虫時に試験管当たり100頭入れ、以後発育するにつれて徐々に少なくし、老齢幼虫時には5頭とした。餌の稲茎は幼虫の発育を見ながら餌不足にならないように適宜追加した。孵化後60日後に蛹化した個体と幼虫のままの個体の数を調べた。

3. 休眠消去におよぼす低温期間の影響

1985年12月中旬に高知平野の晩生稲の切株から休眠中の幼虫を多数採集して実験に用いた。12月20日に50頭の幼虫を20℃で飼育し、残りの多数の個体を7℃においた。その後7℃においた個体は10日おきに50頭ずつとり出し、20℃で飼育して羽化までの日数を調べた。12月20日の開始から120日までの区を設定した。実験は16時間照明下で行った。

4. 休眠除去後の発育におよぼす温度の影響

90日間低温(7℃)においた休眠幼虫を、15℃、15℃で20日間後20℃、20℃、20℃で15日間後25℃および25℃下で羽化までの日数を調べた。実験は16時間照明下で行った。

5. 3化個体群の季節的発生の解析

3化個体群の各世代の区分は成虫の最盛期から最盛期までとし、第3世代はさらに越冬前と越冬後に分けた。第1世代と第2世代の有効積算温度は卵期、幼虫期および蛹期の実験結果から計算した。第3世代の越冬前は卵期と幼虫期、越冬後は幼虫期から蛹期までの有効積算温度を推定した。各世代の实在有効量量は30年間(1951~1980年)の日平均気温を用いて計算した。休眠誘起の臨界日長は今回の実験結果から推定し、各世代の感受期の日長は1987年度版理科年表から高知平野における日出から日入までの時間を計算し、それに45分加算した。45分加算した理由は日出前と日入後の明るさが影響することが知られている¹⁾からである。

結 果

1. 非休眠ステージの発育におよぼす温度の影響

異なる温度下での卵期間を調べた結果をFig. 1に示した。15、20、25および30℃での平均卵期間はそれぞれ、16、7.5、5および3.8日であった。その発育日数の逆数から発育速度(Y)を計算して温度(x)との関係式を求めたところ、 $Y=0.0134x-0.1362$ ($r^2=0.9994$)となった。この式を用いて発育零点を計算すると10.18となり、約10℃と見なすことができた。そこで、卵期の有効積算温度を10℃以上の積算で求めると、75日度となった。

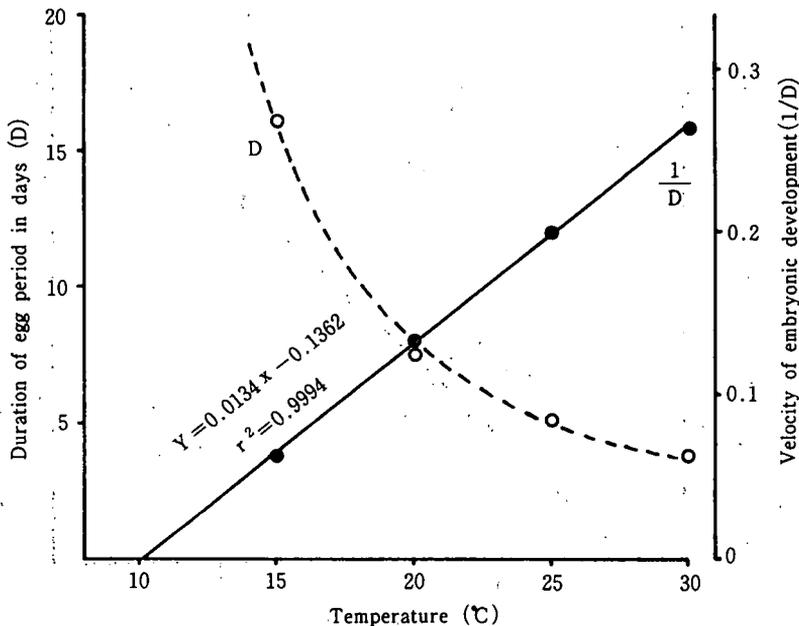


Fig. 1. Duration of egg period and velocity embryonic development of the rice stem borer at different temperatures. The curve was fitted by hand.

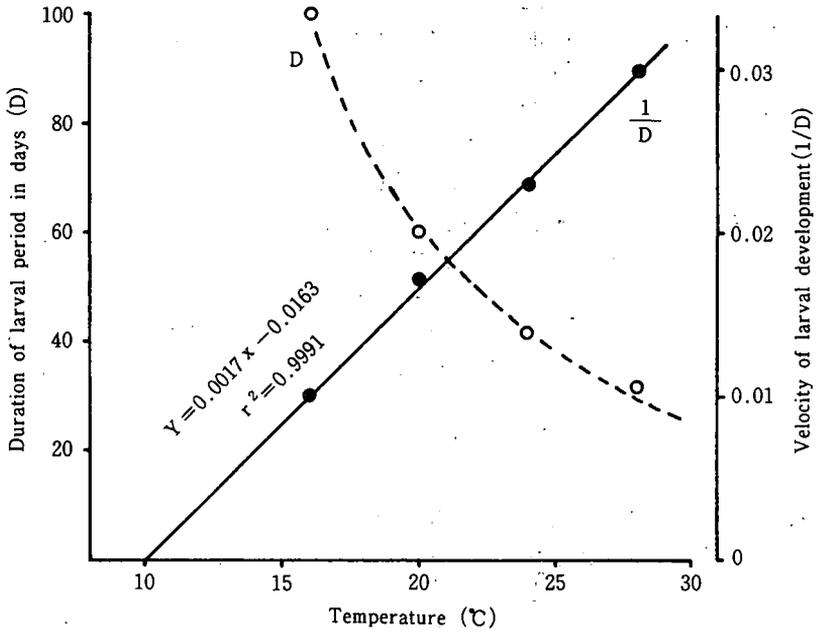


Fig. 2 . Duration of larval period and velocity of larval development of the rice stem borer at different temperatures. The curve was fitted by hand.

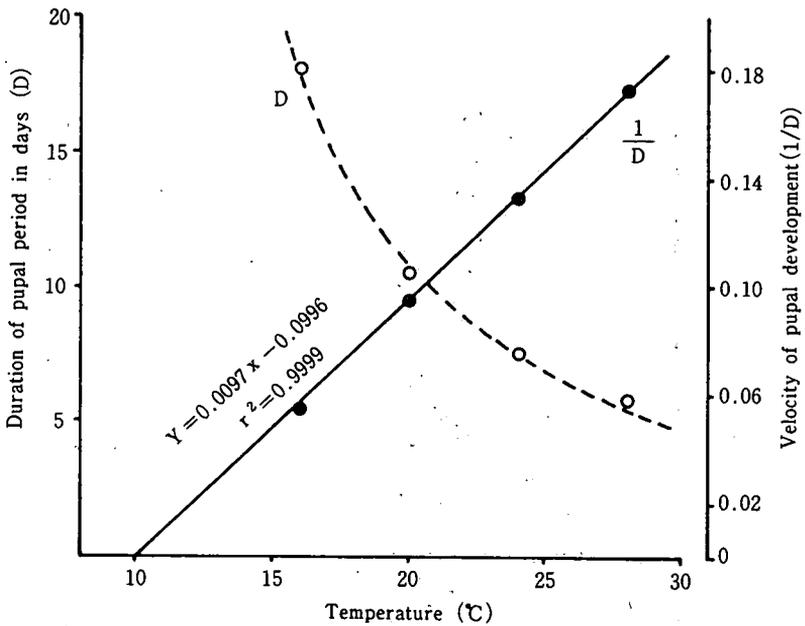


Fig. 3 . Duration of pupal period and velocity of pupal development of the rice stem borer at different temperatures. The curve was fitted by hand.

温度別の幼虫期間を調べたところ、16, 20, 24および28℃での平均期間は100, 60, 43および33日であった (Fig. 2)。この幼虫期間の逆数から发育速度 (Y) を計算して温度 (x) との関係式を計算すると、 $Y=0.0017x-0.0163$ ($r^2=0.9991$) となった。この式を用いて发育零点を推定すると9.88となり、約10℃と見なすことができた。そこで、幼虫期の有効積算温度を10℃以上の積算で求めると、600日度となった。

種々の温度下で蛹期間を調べ、図示すると Fig. 3 のようになった。16, 20, 24および28℃での平均蛹期間は18, 10.5, 7.5および5.8日であった。この蛹期間の逆数から发育速度 (Y) を計算して温度 (x) との関係式を計算すると、 $Y=0.0097x-0.0996$ ($r^2=0.9999$) となった。この式を用いて发育零点を算出すると、10.25となり、約10℃と見なすことができた。そこで、蛹期の有効積算温度を10℃以上の積算で求めると、105日度となった。

2. 休眠誘起におよぼす日長の影響

孵化幼虫を1日の照明時間を13時から30分間隔で16時間までの計7区において、その休眠率を調べたところ、13時間では100%であったが、それ以上の照明時間では時間が長くなるにつれてかなり急に減少し、15時30分と16時間では0%になった (Fig. 4)。休眠率 (Y) と照明時間 (x) との関係式を計算すると、 $Y=-42.0571x+645.3143$ ($r^2=0.9639$) となった。この式を用いて50%休眠率の照明時間を求めると、14:09となった。

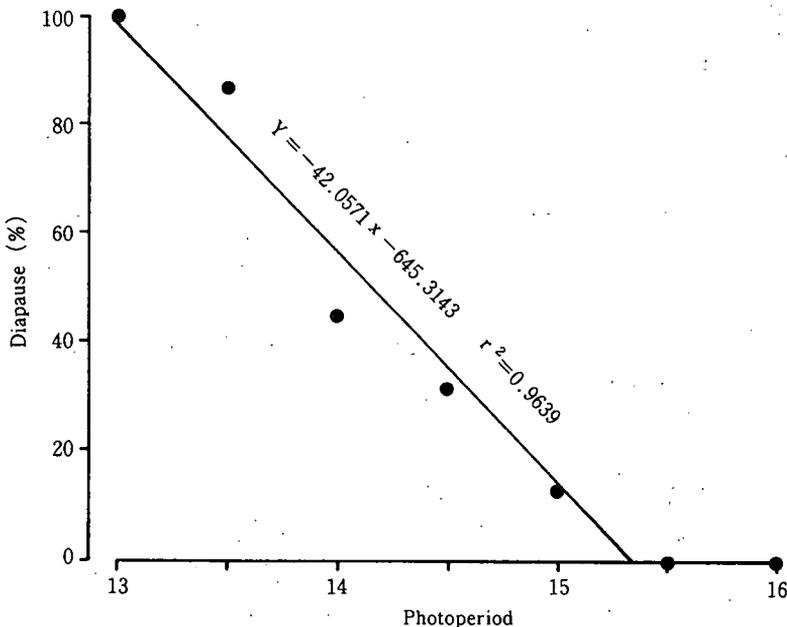


Fig. 4. Relation between photoperiod and the percentage of diapause (larvae persisting more than 60 days at 25°C) in the trivoltine population.

3. 休眠消去におよぼす低温期間の影響

休眠幼虫を異なる低温期間においた後、20℃で飼育して羽化までの日数を調べ、その中から雌について有効積算温度を計算すると Fig. 5 のようになった。低温におかなかった個体では563日度であったが、10日間低温におくと415日度に低下した。その後、60日間までの低温期間では400～450日度で変化したが、70日間になると316日度と急に少なくなった。その後は大きな低下はなく270～310日度で120日まで推移した。

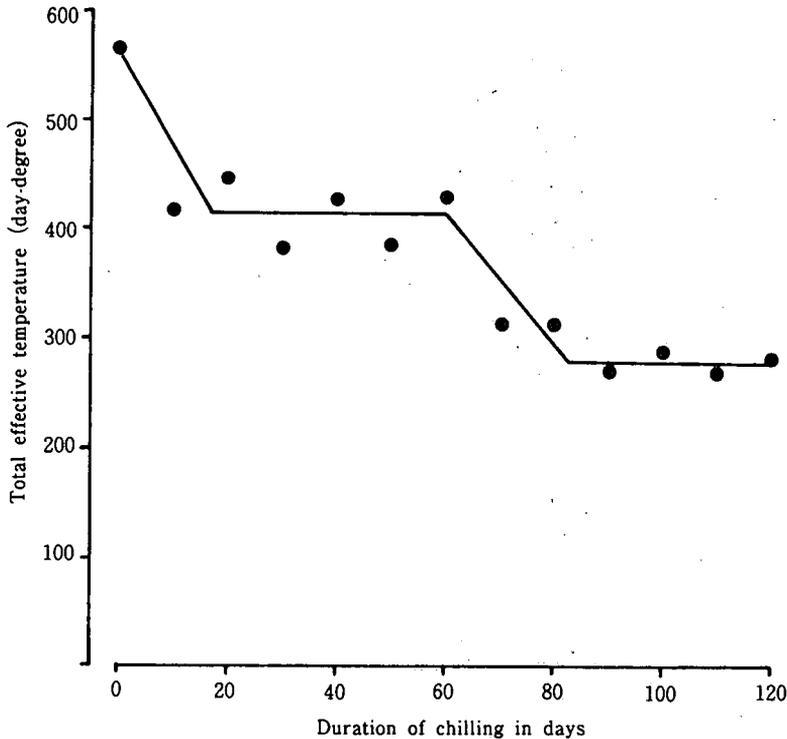


Fig. 5. Effects of chilling on the diapause of the larvae in the overwintering generation. The line was fitted by hand.

4. 休眠消去後の発育におよぼす温度の影響

7℃の低温に90日間おいた後、発育零点の10℃以上のいろいろな温度下で飼育をして、雌について羽化までの有効積算温度を調べると Table 1 のようになった。15℃で飼育を続けると有効積算温度は273℃となったが羽化はかなりばらついた。それに対して、15℃で20日間飼育した後20℃で飼育すると、比較的短期間に羽化しばらつきも少なく、その有効積算温度は250日度であった。20℃で始めから続けて飼育すると、羽化までの日数は短期間であったが、有効積算温度を計算すると265日度となり多くの温量が必要であった。同様に、20℃で15日間後25℃で飼育した区と25℃で続けて飼育した区でもそれぞれ、278および293日度となり、多くの温量が必要であった。

Table 1 . Effect of air temperature after low temperature treatment on the development of the rice stem borer, in the overwintering generation

Number of larvae	Days of low temperature period (7 °C)	Temperature of rearing after low temperature treatment	Number of females	Total effective temperature (day-degree) *
50	90	15°C	18	273
50	90	15°C (20Days)→20°C	20	250
50	90	20°C	19	265
50	90	20°C (15Days)→25°C	20	278
50	90	25°C	21	293

* The values were accumulated temperature above 10°C.

5. 3化個体群の季節的発生の解析

今回の実験結果から各世代の有効積算温度を計算した値と高知平野におけるその期間の実在有効温度および今回の実験結果から得た休眠誘起の臨界日長と高知平野における休眠誘起の感受期の日長を計算して Table 2 に示した。また、それらをもとにして作成した光温図を Fig. 6 に示した。第1世代は5月中旬から7月中旬までで実在有効温は815日度であった。5月中旬の日長が臨界日長の14:09より長い14:32なので幼虫は休眠せず发育を続けることになる。それで第1世代の有効積算温度は卵期75日度、幼虫期600日度および蛹期105日度の計780日度となり、実在有効温度とはほぼ等しかった。

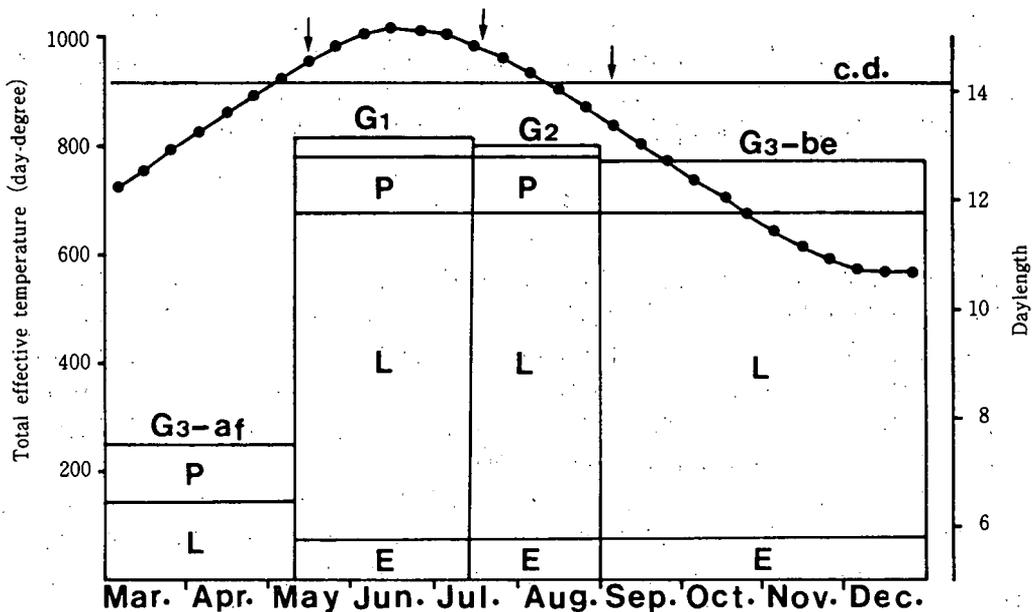


Fig. 6 . Photothermograph of the rice stem borer in the trivoltine population at Kochi plain. Columns show total effective temperature. Solid circles represent the daylength. Arrows indicate sensitive stage. c.d. show critical daylength for the induction of the diapause. G₁, G₂ and G₃ show generation, G₃-be and G₃-af indicate before and after overwintering. E, L and P show the egg, larval and pupal stage.

Table 2. Comparison of the total effective temperature estimated (room) and values at Kochi plain (field), and critical daylength estimated and daylength of sensitive stage at Kochi plain

Generation	Total effective temperature (day-degree)**		Critical daylength	Daylength of sensitive stage***
	Room	Field		
G ₁	780	815	14:09	14:32
G ₂	780	802	14:09	14:45
G ₃ -be*	675	777	14:09	13:24
G ₃ -af*	250	251	—	—

* G₃-be and G₃-af show before and after overwintering.

** The values were accumulated temperature above 10°C.

*** The values are time from 22 minutes before sunrise to 23 minutes after sunset.

第2世代は7月中旬から8月下旬までで実在有効温量は802日度であった。7月中旬の日長が14:45なので、幼虫は休眠せず発育するから第2世代の有効積算温度は第1世代と同様に卵期、幼虫期および蛹期の計780日度となり、実在有効温量とはほぼ等しい値となった。

第3世代の越冬前は9月上旬から12月中旬までで実在有効温量は777日度であった。9月上旬の日長が13:24なので休眠誘起の14:09より短いから幼虫はすべて休眠することになる。そこで、この期間の有効積算温度は卵期の75日度と幼虫が終齢までいくものとして600日度の計675日度になった。この値は実在有効温量より約100日度少ない。

第3世代の越冬後の発育期間は平均気温が10°C以上になる3月中旬から始まり5月上旬までで実在有効温量は251日度であった。休眠除去後の発育は15°Cで20日間後20°Cで飼育した実験結果の250日度が良好で、この期間の実在有効温量と等しかった。この期間の蛹は休眠が完全に消去しているとすれば105日度の温量が必要になり、残りの145日度が幼虫期間と推定された。

考 察

今回の実験結果は既報¹⁾と比較すると次のように考えられる。第1世代について見ると、実在有効温量は今回の推定値が815日度で、既報の835日度とはほぼ等しい。しかしながら、推定した発育所要積算温度は今回が780日度に対し既報は675日度で105日度の差がある。この差を検討するために、卵期、幼虫期および蛹期の有効積算温度を比較した。その結果、各ステージの発育日数は今回の結果と大差がないので、ラフな計算ではあるが、既報の資料から第1世代の有効積算温度を計算すると約800日度になり、今回の結果とほぼ同じ範囲の値となった。このことから、既報の675日度は計算ミスの可能性が強い。このことは実在有効温量と比較した時、第1世代の有効積算温度が800日度前後になった方が一致することからも該当な事と考えられる。次に第1世代の感受期の日長と休眠誘起の臨界日長について今回の結果と既報¹⁾と比較すると、次のようになる。まず、感受期の日長は今回は14:32と推定したが既報では明記していない。次に臨界日長を比較すると、今回は14:09で、既報の14:18とはほぼ等しい値である。この結果から、第1世代の感受期の幼虫は休眠誘起をある程度生じさせる日長下におかれるが、その後次第に日長が長くなっていくので休眠に入ることなく発育するものと考えられる。このように感受期の幼虫が臨界日長近くの日長にさらされてもその後の日長が長くなっていくと休眠しないことは実験的に明らかにされている¹⁾。

第2世代の実在有効温量を比較すると今回の802日度に対し既報¹⁾は630日度で、その差は172日

度ある。この差は第1世代成虫の発生最盛期が7月中旬で同じなので第2世代成虫の発生最盛期をいつにするかの違いによると考えられる。今回は8月下旬としたが既報では8月中旬になっている。この最盛期は年によって異なること^{1, 2, 3, 4)}が考えられるので、はっきりと断定することはできないが、本種の発育所要有効積算温度から考えると、1世代に要する温量が第1世代とはほぼ等しい値になると考えるべきである。そうすると、既報の630日度は少な過ぎると考えられ、今回の802日度の方が該当な値ではないかと思われる。第2世代の有効積算温度は第1世代の値と同様で、既報の値¹⁾は過少評価になっていると考えられる。その理由は第1世代の時と同様である。従って、1世代に要する温量として考えると、今回の結果のように第2世代の实在有効温量と発育所要有効温量は800日度前後になるものと考えられる。第2世代の感受期の日長については今回は14:45、既報¹⁾は14:42と推定されほぼ等しい。よって、第2世代の幼虫は臨界日長より長い日長下におかれるので休眠することなく発育することができる。

第3世代の感受期の日長は今回は13:24と推定されたが、既報¹⁾でも13:36でほぼ同じ範囲になっている。ただ、若干の差があるのは前述のように第2世代の終了時の差によるものである。いずれの推定値も休眠誘起の臨界日長より短かく、しかもその後も次第に短かくなっていくのですべての幼虫が休眠に入ることになる。第3世代の越冬前の実在有効温量は今回は777日度であったが、既報¹⁾は865日度で88日度の差がある。これは第2世代の終了時の決定の違いによると考えられる。越冬前の発育所要有効温量は今回は675日度と推定したが、既報¹⁾では825日度でその差は150日度ある。この差は越冬前の幼虫の発育についての考え方の違いによると思われる。今回はこの期間に幼虫期の最後まで発育すると仮定して有効積算温度の法測に従って卵期と幼虫期の有効温量を積算した。それに対して、既報¹⁾は休眠するか否かを決定する幼虫期間から推定しているが、この値について再検討が必要であるとも述べている。この期間の幼虫は休眠に入るので、その発育は非休眠幼虫の発育とは若干違うことが考えられるから、正確な有効積算温度を推定するには別の方法がとられるべきかもしれない。ただ、今回の結果も大筋では正しいと思われる。何故なら、非休眠幼虫と休眠幼虫の発育は終齢幼虫まで差がないことが実験的に確められている¹⁾からである。従って、充分発育した終齢幼虫が休眠に入る場合は少しずつ摂食しながら徐々に摂食を停止していくので、この期間の有効温量の推定がむずかしいことになる。今回はこの徐々に休眠に入る期間の温量を推定しなかったことになり、その結果实在有効温量よりかなり少ない値となった。だから、この期間の発育所要有効温量を加算すると、实在有効温量とはほぼ等しい値になるものと考えられる。

第3世代の越冬後の实在有効温量は既報¹⁾は245日度で今回は251日度と同範囲であった。しかしながら、実験結果から推定した既報の発育所要有効温量は615日度となり¹⁾、实在有効温量を大きく上まわり、そのままでは推定値による説明は困難である。この原因について既報¹⁾では恒温で実験した結果であり、変温で実施すればよいかもしれないと述べている。既報¹⁾の実験は発育零点以下の低温下においた後、4月15日に25℃で飼育する方法をとっている。この方法について再検討すると、まず、低温下におく期間をはっきりさせる必要があり、次に加温時の適切な温度を明らかにしなければならない。何故なら、休眠消去はゆるやかな生理現象と考えられている⁵⁾からである。まず、低温期間について見ると、低温が休眠消去到重要な役割を果していることが知られている^{6, 7)}が、3化個体群については調べられていない。そこで、発育零点以下の7℃で10日間隔で120日までにおいて、処理後20℃で加温飼育した結果から有効積算温度を計算すると、低温にさらす期間が長いほど有効温量は少なくなった(Fig. 5)。その減少傾向はゆるやかであったが70日間以上低温にさらしたところでは殆んど差がなかったので、この頃に休眠が消去したのと考えられる。この休眠が消去した時期を自然条件下に当てはめると、3月中旬頃と推定される。本種の休眠消去の時期についての報告^{8, 9, 10)}を見ると、地域によって異なっているようで、休眠消去の生理的解

明が必要と考えられる。次に休眠消去後の発育について見ると、休眠が消去したと考えられてもその後の発育が温度に完全に依存しているか否か明らかでない。もし、休眠消去後の発育もゆるやかな生理現象だとしたら25℃で飼育をして有効温量を推定すると過大評価になることは明らかである。だから、この場合は発育零点より僅かに高い温度（例えば、15℃か20℃）で飼育するのがよいと考えられる。そこで、休眠が消去したと考えられる低温期間90日後に、15～25℃の間の異なる温度区で飼育をして有効温量を計算した。この場合はできるだけ少ない有効温量で正常な発育をとげた温度がよい実験方法と考えることができる。実験結果では15℃で20日間後20℃に移した区が最少値の250日度を示し良好な発育であった（Table 1）。この値はこの期間の実在有効温量と同じである。このことから、休眠消去後の発育もゆるやかな生理現象として見るができるから、この期間の発育を推定するには今回の実験のように比較的低い温度で飼育を始めた後に少し高めにする方法がよいと考えられる。今回とほぼ同様な結果が、2化発生地域の個体を用いた実験でも得られている¹⁰⁾。

以上のことから、高知平野に生息するニカメイガ3化個体群の季節的発生は発育所要有効積算温度と休眠誘起の臨界日長を推定し、実在有効温量と感受期の日長との比較をする方法でも適切な実験方法を実施すれば説明できることがわかった。

摘 要

高知平野に生息するニカメイガは年3回発生（3化個体群）する。この現象を分析するために、卵、幼虫および蛹期の発育所要有効積算温度、休眠誘起の臨界日長、休眠消去におよぼす低温の影響および休眠消去後の発育におよぼす温度の影響を室内で調べた。また、高知平野における10℃以上の有効温量と感受期の日長を高知気象台の気象資料から算出した。

卵、幼虫および蛹期の発育所要有効積算温度はそれぞれ、75、600および105日度であった。推定した休眠誘起の臨界日長は14：09であった。幼虫の休眠は70日がそれ以上の7℃での低温処理後の飼育によって消去した。休眠消去後の発育は飼育温度を徐々に上げた時良好だった。高知平野における第1、第2、第3世代越冬前および越冬後の有効温量はそれぞれ、815、802、777および251日度であった。各世代の感受期の日長は14：32、14：45および13：24であった。

第1世代の感受期の日長が休眠誘起の臨界日長より長いので、幼虫は休眠せず発育した。従って、第1世代の有効積算温度は卵、幼虫および蛹期の合計値（780日度）で、この値は第1時期の実在有効温量（815日度）に一致した。第2世代の発育は第1世代と同じなので、この世代の発育所要温量（780日度）は第2時期の実在有効温量（802日度）と一致した。第3世代の感受期の日長は休眠誘起の臨界日長より短いので、幼虫は休眠に入った。従って、越冬前の有効積算温度は卵と幼虫期の合計値（675日度）で、幼虫は越冬前の実在有効温量（777日度）内で過すことができた。推定した越冬後の有効積算温度は250日度であった。この値はこの時期の実在有効温量と一致した。

引用文献

- 1) 岸野賢一：ニカメイガ生活環の地理的変異に関する生態学的研究。東北農業試験場研究報告，47，13～114（1974）。
- 2) 井上 孝・吉井孝雄：サンカメイチュウおよびニカメイチュウの発生経過と水稻作付の関係について。げんせい，12，33～49（1962）。
- 3) KIRITANI, K. and IWAQ, S.: The biology and life cycle of *Chilo suppressalis* (WALKER) and *Tryporyza*

- (*Schoenobius*) *incertulas* (WALKER) in temperate-climate areas. In "The Major Insect Pest of the Rice Plant" p. 45-101, Johns Hopkins Press, Baltimore, Maryland (1967).
- 4) 野里和雄：ニカメイガ3化个体群の産卵数と産子数. 高知大学学術報告, 第35卷(農学), 21-28 (1986).
 - 5) 深谷昌次：二化螟虫の発生予察に関する基礎的研究 第5報 二化螟虫の休眠に就て. 新昆虫, 1, 233-236 (1948).
 - 6) FUKAYA, M.: Physiology of rice stem borer, including hibernation and diapause. In "The Major Insect Pest of the Rice Plant" p. 213-227, Johns Hopkins Press, Baltimore, Maryland (1967).
 - 7) YAGI, S. and FUKAYA, M.: Juvenile hormone as a key factor regulating larval diapause of the rice stem borer, *Chilo suppressalis* (Lepidoptera: Pyralidae). *Appl. Ent. Zool.*, 9 (4), 247-255 (1974).
 - 8) 深谷昌次：二化螟虫, 141 pp, 北方出版社, 札幌 (1950).
 - 9) MOCHIDA, O. and YOSHIMEKI, M.: Relation with development of the gonads, dimensional changes of the corpora allata, and duration of post-diapause period in hibernating larvae of the rice stem borer. *Jap. J. Appl. Ent. Zool.*, 6, 114-123 (1962).
 - 10) 常楽武男・望月正己：ニカメイガ予察式の再検討(第4報) 越冬虫の生育進展と温度との関係について. 富山農試報告, 1, 116-121 (1966).

(昭和62年9月25日受理)

(昭和62年12月28日発行)

