

オオルリシジミ蛹の飼育温度と羽化日，成虫の蔵卵数・前翅長との関係および羽化に要する蛹期の有効積算温度について

中村寛志*・平林純之介**・西尾規孝***

* 信州大学農学部附属アルプス圏フィールド科学教育研究センター

** 信州大学大学院農学研究科食料生産科学専攻

*** 長野県上田市

要 約

オオルリシジミ成虫の羽化時期を予測するために必要な有効積算温度や成虫の諸形質についての定量的データを得る目的で，北御牧のオオルリシジミを守る会から提供を受けた蛹を使って，異なる温度区（15，20，25，30°C）で飼育実験を行ったものである。実験は2006年2月から5月にかけて信州大学農学部において行った。その結果，20°C以上の飼育区の羽化率は90%以上あったが，15°Cでは27.9%と有意に低かった。温度区を合計した雌雄の羽化率では，有意差は見られなかった。飼育温度が低くなるほど羽化日が遅くなり，15°C雌では90.0日となり30°Cの約3.7倍もの発育日数（ D ）を要した。またいずれの温度区でも雄の方が雌より早く羽化する傾向が見られた。発育速度（ $1/D$ ）と温度 T との間の回帰直線は，雌で $1/D=0.0021T-0.0194$ ，雄で $1/D=0.0022T-0.0192$ が得られ，高い相関性（雌： $R^2=0.982$ ，雄： $R^2=0.981$ ）が認められた。これより羽化までに必要な有効積算温度と発育零点は，雌では483.7日度，9.4°C，雄では459.1日度，8.8°Cと推定された。雄の平均前翅長（1.84cm）は，雌（1.88cm）より有意に短かった。また平均前翅長は，雌雄ともに飼育温度が低くなるほど長くなった。羽化後5日まで飼育した個体の蔵卵数が64.6に対して，8日，10日まで飼育すると蔵卵数は平均100以上であった。

キーワード：オオルリシジミ蛹，温度別飼育，有効積算温度，羽化率，前翅長，蔵卵数

緒 言

オオルリシジミ *Shijimiaeoides divinus* (Fixsen) は，現在日本において絶滅が危惧されている草原性のチョウであり，環境省のレッドリストでは絶滅危惧 I 類また長野県版レッドデータブックでは絶滅危惧 I B 類に指定されている^{3),10)}。オオルリシジミは年 1 化性で，本州中部では成虫は 6 月上旬に出現する。幼虫の食草はクララ *Sophora flavescens* (マメ科) のみで，クララの穂に産卵された卵は 1 週間ほどでふ化し，幼虫はクララの蕾・花を食べ，およそ 1 ヶ月で蛹となる。幼虫には絶えずアリが随伴することが知られている¹⁾。蛹化はクララの根元付近の地表で行われ，翌年まで約 10 ヶ月半を蛹で過ごす⁵⁾。

オオルリシジミの生息地は，幼虫の食草であるクララが生息する火山草原や明るく開けた草原，河川の土手や田畑の畦で，かつては局所的ではあるが本州亜種 *S. divinus barine* (Leech) と九州亜種 *S.*

divinus asonis (Matsumura) が分布していた^{6),7),9),15)}。現在は長野県の安曇野市と東御市および九州の阿蘇地方に僅かに分布しているのみである^{6),7),16)}。減少の要因としては，放牧，採草，野焼きが行われなくなったこと，大規模な圃場整備による棲息地の減少，農薬の使用，マニアによる採集圧などがあげられている⁴⁾。熊本県阿蘇地域において農家戸数が減少した結果，野焼きが中止され，クララの成育や生息環境が悪化し，オオルリシジミの個体数が減少していることが報告されている⁸⁾。

長野県の産地では野生絶滅に近い状態であり，安曇野市と東御市では保護団体が人工飼育した蛹の放飼による個体群維持を試みており，東御市では自然個体群の回復が見られるようになった^{2),11),17)}。

長野県においてオオルリシジミを保全し自然個体群を回復していくためには，本種の生態に関する定量的なデータを取得し，保全・保護対策に反映させることが必要となる。本研究は，本種成虫の羽化時期を予測するために必要な有効積算温度や成虫の諸形質についての定量的データを得る目的で，異なる

受付日 2008年1月6日

受理日 2008年2月18日

温度区においてオオルリシジミ蛹の飼育実験を行ったものである。

本文に入るに先立ち、飼育実験用のオオルリシジミ蛹を提供いただいた北御牧のオオルリシジミを守る会の皆様に厚く謝意を表す。

材料と方法

1. 供試虫

オオルリシジミ蛹の飼育実験には、北御牧のオオルリシジミを守る会から提供を受けた225個体を供した。この蛹はオオルリシジミを守る会が放飼用に累代飼育をしていたもので、2005年11月29日に提供を受ける前までは自然条件下に置かれていた。供試蛹は昆虫飼育箱に入れ、信州大学農学部共用実験棟2階にある東向きのベランダに置き、飼育実験を開始するまで約2ヶ月半の間、冬季の低温を経験させた。

2. 蛹の飼育方法

低温処理をした蛹は、2006年2月16日に、それぞれ43個体を信州大学農学部 AFC 昆虫生態学研究室にある15°C、20°C、25°C、30°Cの恒温器(NK型LP300恒温恒湿装置)に入れた。各温度区の43個体は13、14、16個体に分け、ろ紙を敷いた3つのプラスチックシャーレ(直径15.0cm、高さ8.5cm)に入れた。その後、個体ごとに羽化日を記録し、2月16日から羽化に要した日数を求めた。また羽化成虫については、翅が完全に伸びきったところで前翅長を測定した。

また10個体の蛹は、昆虫飼育箱に入れたまま同じベランダに置き自然条件の温度で飼育した。

3. 成虫の蔵卵数

雌成虫の蔵卵数を調査するため、羽化成虫を5、8、10日間昆虫飼育箱(縦24cm、横24cm、高さ42cm)で飼育後、解剖して成熟卵の数をカウントした。成虫の餌として、市販されているスポーツドリンクを水で希釈したものをふた付きのプラスチック

シャーレ(直径9.5cm、高さ5.5cm)に入れ、ふたに切れ込みを入れ、ろ紙を蛇腹状に折ったものを差し込んで成虫が吸水できるようにした。

実験には、5日間と10日間飼育では飼育温度20°Cから羽化した雌成虫、また8日間飼育では25°Cから羽化した雌成虫を用いた。

4. 有効積算温度と発育零点の推定

一般に昆虫ではある発育ステージの完了に要する時間を D 、その期間中の平均気温を T 、発育が始まる最低の温度(発育零点)を T_0 とすると、

$$(T - T_0) \cdot D = K$$

という積算温度の法則が成り立つ。ここで K は定数で、その発育ステージを完了するのに必要な温度量(有効積算温度)と呼ばれている¹³⁾。発育時間 D と気温 T の関係は双曲線であるが、発育速度 $(1/D)$ と T とは直線関係になる。これより実際のデータから得られた回帰直線の傾きの逆数が有効積算温度 K 、温度軸との切片が発育零点 T_0 であると推定できる。

結果と考察

1. 羽化率

表1に飼育温度区別の成虫の羽化率を示した。20°C以上の飼育区は90%以上であったが、15°C区では27.9%と他の飼育区より有意に羽化率が低かった。昆虫では発育適温から外れた高温や低温において、羽化脱出や発育が阻害される例が報告されている¹²⁾。

雌雄の羽化率を比較すると、15°Cと25°Cの飼育区では危険率5%で有意差が見られたが(直接計算法による比率の検定、15°C: $P=0.039$, 25°C: $P=0.014$)、すべての飼育区を合計すると有意な差は見られなかった(直接計算法による比率の検定、 $P=0.069$)。

2. 羽化までの日数

日別羽化成虫数の頻度分布を雌雄別に図1に示した。これより30°Cでは3月の中旬に羽化が見られ、

表1 飼育温度と羽化率

温度区 (°C)	供試蛹数	羽化成虫数			羽化率
		♀	♂	合計	
15	43	2	10	12	27.9%
20	43	24	16	40	93.0%
25	43	13	30	43	100.0%
30	43	17	22	39	90.7%
合計	172	56	78	134	77.9%

飼育温度が低くなるほど羽化日が遅くなり、15°C区では5月の初旬となった。また雌雄の羽化時期を比較すると、いずれの温度区でも雄の方が雌より早く羽化する傾向が見られた。

表2に恒温器に蛹をセットした2月16日から羽化までに要した平均日数を飼育温度別に示した。これより30°C雌では平均24.4日であったが、飼育温度が低くなるほど羽化日が遅くなり、15°C雌では90.0日となり30°Cの約3.7倍もの日数を要した。この傾向は雄でも同様であった。また羽化に要する平均日数は、雄の方が雌より短く、30°Cでは2日程早いだけであるが、温度が低くなるほど雌雄の差が大きくなり、15°Cでは8日間の違いがみられた。埼玉県における室内常温飼育では、雄の方が雌より約1週間早く羽化することが報告されている¹⁴⁾。また野外個体

群でも雄は雌より早く出現することが知られている¹⁾。

このデータについて、性別（2水準：雄と雌）と飼育温度（4水準：15、20、25、30°C）を2要因とした繰り返しのある二元配置分散分析を行った。その結果、危険率5%で性別と飼育温度区で有意な交互作用が認められた（ $F=5.577$, $df_1=3$, $df_2=126$, $P=0.001$ ）。またこの交互作用は表2の平均値を比較することによって、温度が低くなるほど雌の羽化に要する日数が雄より長くなるという相乗効果であることがわかる。また行間と列間変動の検定結果より、性別（行間変動： $F=1239.542$, $df_1=3$, $df_2=126$, $P<0.001$ ）と飼育温度（列間変動： $F=41.150$, $df_1=1$, $df_2=126$, $P<0.001$ ）によって、羽化に要する平均日数に有意な差が認められたが、有意な交互作用があるため性別と飼育温度の水準間の直接多重比較ができない。そこで性別と温度を組にした8データセットについて一元配置分散分析を行い有意な結果が得られたので（ $F=539.5$, $df_1=7$, $df_2=126$, $P<0.01$ ）、これら8データセット間の多重比較をScheffe'sの方法で行いその結果を表2に示した。

3. 有効積算温度と発育零点

図2に羽化に要した日数 D およびその逆数（発育速度）と、飼育温度 T の関係を雌雄別に示した。発育速度（ $1/D$ ）と温度 T との間の回帰直線は、雌で $1/D=0.0021T-0.0194$ 、雄で $1/D=0.0022T-0.0192$ が得られ、高い相関性（雌： $R^2=0.9816$ 、雄： $R^2=0.9807$ ）が認められた。この回帰直線をもとに低温経験をした蛹が、羽化までに必要な有効積算温度と発育零点は、雌では483.7日度、9.4°C、雄では459.1日度、8.8°Cと推定された。

農学部のパランダに置いて自然条件の温度で飼育した10個体の蛹から、2006年5月27日から31日の間に5個体の雄成虫が羽化した。信州大学農学部では構内キャンパスの気温や降水量など気象データを計測している。2006年の1時間毎の測定気温データと

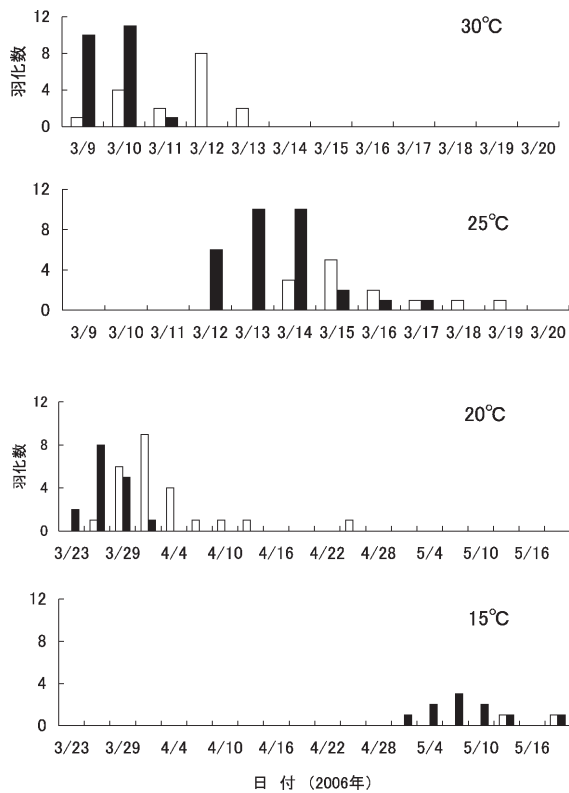


図1 飼育温度と羽化成虫数の日別頻度分布。
□：♀，■：♂

表2 飼育温度と羽化までに要した平均日数

温度区 (°C)	♀				♂			
	供試蛹数	平均値	標準偏差	最小/最大	供試蛹数	平均値	標準偏差	最小/最大
15	2	90.0 ^e	2.8	88/92	10	81.9 ^e	5.1	76/93
20	24	46.7	6.2	39/69	16	40.0	2.4	35/44
25	13	28.6 ^{bd}	1.6	27/32	30	26.5 ^{cd}	1.2	25/30
30	17	24.4 ^{abc}	1.2	22/26	22	22.6 ^a	0.6	22/24

同じアルファベットのついた平均値は、危険率5%で有意差がないことを示す（Scheffe'sの多重比較）。

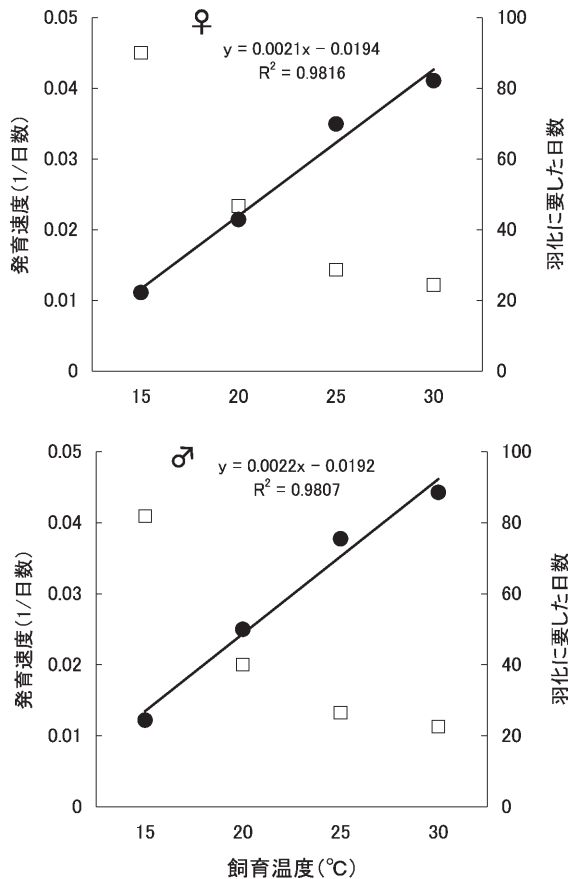


図2 雌雄別の飼育温度と発育速度 (1/羽化に要した日数) の関係。

□：羽化に要した日数，●：発育速度

推定した雄の発育零点 (8.8°C) より、農学部校内の積算温度が459.1日度になる日時を計算すると2006年7月10日午前1時となった。しかし、この羽化推定日は野外に置いた蛹の羽化日より1ヶ月以上も遅かった。この要因として農学部の気象観測装置設置場所より、蛹を置いた直射日光があたるベランダの方が、気温が高かったからと考えられる。

2006年は蛹を置いたベランダでの気温を測定していなかったため、2007年の4月から6月の間のベランダにおける気温をデータロガーで測定し、同時刻の農学部の気象観測装置の気温データと比較した。その結果、1時間毎の測定データはベランダの気温の方が高く、その差の平均値は3.4°Cであることがわかった。そこで2006年の農学部の気象観測装置の1時間毎の気温データに3.4°Cを加算し、積算温度が459.1日度になる日時を計算すると2006年6月1日午後1時となり、ほぼ実際の雄成虫の羽化日と一致した。同様の修正気温データを使って雌の有効積算温度である483.7日度になる日時を計算すると2006年6月13日午前9時となった。この雌の推定日

時は雄より12日ほど羽化が遅くなると予想するもので、雌雄の羽化日の差を1週間の違いとした報告^{13,14)}よりも長い値となった。この点については、今後野外で蛹とともにデータロガーを設置し、気温と羽化日の正確なデータを取り再計算する必要がある。

農学部の日平均気温データより、実験を始めた2006年2月16日以前に発育零点を超えたのは2月15日の8.9°Cのみで、それ以後4月12日まで日平均気温が発育零点以上にならなかった。また1時間単位の気温データでみると、2月13日午後1時から3時までが発育零点を超えており、そのときの積算温度は0.329日度であった。同様に時間単位で2月16日までに発育零点を超えた時間帯の積算温度を求めると3.65日度となり、本実験より求めたオオルリシジミの羽化に要する有効積算温度の1%未満であった。従って本実験は2月16日に開始したが、それ以前の気温によって推定した有効積算温度と発育零点の値にはほとんど影響を受けていないといえる。今後は野外の発生地において気温と羽化日のデータを取り、この推定値の妥当性を検証する必要があるといえる。

4. 前翅長

15°Cでは羽化個体 (雄10, 雌2) のうち前翅長を測定できたのは雄2個体 (1.8, 1.9cm) のみで、あとは翅が完全に伸びきらない個体であったため、15°Cのデータは統計分析から省いた。また20°Cでは雄1, 25°Cでは雌1, 雄9, 30°Cでは雌3, 雄4の翅が不完全で測定できなかった。羽化したときに飼育容器内が明るいと、成虫が動き回って翅が不完全になることが報告されているが¹⁴⁾、本実験でも20°C~30°Cで不完全な翅の個体が出現したのはそのためといえる。しかし、15°Cでは蛹の死亡率も高く (表1)、翅の不完全個体は低温障害の影響も考えることができる。

表3に成虫の前翅長の平均値を飼育温度別に示した。雄の平均前翅長は、雌より短い値であった。また30°C雌では平均1.83cmであったが、飼育温度が低くなるほど長くなり、15°C雌では1.93cmであった。この傾向は雄でも同様であった。

性別 (2水準: 雄と雌) と飼育温度 (3水準: 20, 25, 30°C) を2要因とした繰返しのある二元配置分散分析を行った。その結果、性別と飼育温度には危険率5%で有意な交互作用が認められなかった ($F=0.350$, $df_1=2$, $df_2=98$, $P=0.706$)。また行間と列間変動の検定結果より、性別 (行間変動: $F=5.803$, $df_1=1$, $df_2=98$, $P=0.018$) と飼育

表3 飼育温度と成虫の前翅長

温度区 (°C)	♀			♂			雌雄の合計*		
	成虫数	平均値	標準偏差	成虫数	平均値	標準偏差	成虫数	平均値	標準偏差
20°C	24	1.93	0.07	15	1.89	0.08	39	1.91 ^a	0.07
25°C	12	1.85	0.10	21	1.84	0.09	33	1.85 ^b	0.09
30°C	14	1.83	0.10	18	1.78	0.11	32	1.80 ^b	0.11
温度区 の 合 計	50	1.88	0.09	54	1.84	0.10	104	1.86	0.10

*：異なるアルファベットのついた平均値は、危険率5%で飼育温度間で有意差があることを示す (Scheffe'sの多重比較)。

表4 羽化後の飼育日数と成虫の蔵卵数

羽化後飼育日数	成虫数	平均値*	標準偏差
5日	8	64.6 ^a	14.8
8日	6	103.3 ^b	30.8
10日	11	109.4 ^b	19.6

*：異なるアルファベットのついた平均値は、危険率5%で有意差があることを示す (Scheffe'sの多重比較)。

温度 (列間変動: $F=11.552$, $df_1=1$, $df_2=98$, $P<0.001$) に関して、平均前翅長に有意な差が認められたため、水準間の多重比較を Scheffe's の方法で行いその結果を表3に示した。これより雌雄の前翅長の差 ($P=0.018$) および20°C区と他の高温区との前翅長の差が危険率5%で有意であった (20°C-25°C: $P=0.009$, 20°C-30°C: $P<0.001$)。今後本研究で明らかになった飼育温度と前翅長の関係は、野外個体の標本と山地の気温データにより検証する必要がある。

5. 蔵卵数

表4に羽化後の飼育日数と成虫の蔵卵数を示した。羽化後5日まで飼育した個体の蔵卵数が64.6に対して8日、10日まで飼育すると蔵卵数は平均100以上であった。一元配置分散分析を行った結果、飼育日数間の蔵卵数には危険率5%で有意な差が認められたため ($F=10.874$, $df_1=2$, $df_2=22$, $P=0.001$)、水準間の多重比較を Scheffe's の方法で行った。これより5日飼育と他の長い飼育区との蔵卵数の差が危険率5%で有意であった (5日-8日: $P=0.011$, 5日-10日: $P=0.001$)。

これより本種の雌成虫が多くの子世代を産出するには、羽化後10日間ほど十分な吸密活動をすることが重要であることが示唆された。本研究では供試できる成虫数の制限から、飼育温度と蔵卵数の関係を明らかにする実験ができなかった。今後この課題を

明らかにすることにより、より多く産卵をさせるための飼育手法を開発できる可能性が考えられる。

引用文献

- 1) 福田晴夫・浜 栄一・葛谷 健・高橋 昭・高橋真弓・田中 蕃・田中 洋・若林守男・渡辺康之 (1984) 日本原色蝶類生態図鑑 (III). p.422. 保育社. 東京.
- 2) 浜 栄一 (2007) 蛹の野外導入によるオオルリシジミの保護. 昆虫と自然 42(7): 27-31.
- 3) 環境省 (2000) 日本産昆虫類レッドリスト URL: <http://www.biodic.go.jp/> (環境省生物多様性センター).
- 4) 小林靖彦 (1989) 長野県安曇野におけるオオルリシジミの衰亡. やどりが特別号日本産蝶類の衰亡と保護 第1集: 97-98.
- 5) 丸山 潔 (1982) オオルリシジミの蛹化場所について. 月刊むし, 131: 5-8.
- 6) 村田浩平・野原啓吾 (1993) 熊本県におけるオオルリシジミの衰亡と保護. やどりが特別号日本産蝶類の衰亡と保護 第2集: 151-159.
- 7) 村田浩平・野原啓吾 (1997) 熊本県におけるオオルリシジミの生息状況と保護. 昆虫と自然 38(5): 13-16.
- 8) 村田浩平・野原啓吾 (1998) 野焼きがオオルリシジミの発生に及ぼす影響. 昆虫ニューシリーズ 1(1): 21-33.
- 9) 室谷洋司 (1989) 青森県におけるオオルリシジミの衰亡. やどりが特別号日本産蝶類の衰亡と保護 第1集: 90-97.
- 10) 長野県自然保護研究所 (2004) 長野県版レッドデータブック. 動物編, p321, 長野県, 長野.
- 11) 西尾規孝 (2005) 長野県東御市における放蝶されたオオルリシジミの生態. やどりが, 2052-6.
- 12) 斎藤 学・松本信弘 (2000) インゲンテントウ *Epilachna varivestis* Mulsant (Coleoptera: Coccinellidae) の寄生蜂 *Pediobius foveolatus* (Hymenoptera: Eulophidae) に関する研究

1. 寄生と発育温度について. 植物防疫所調査研究報告 36: 43-46. 動態図鑑, p.291. 文一総合出版, 東京.
- 13) 斉藤哲生・松本義明・平嶋義宏・久野英二・中島敏夫 (1986) 新応用昆虫学, p.280, 朝倉書店, 東京.
- 14) 柴田泰郎 (2007) さいたま市に於けるオオルリシジミの累代飼育, Butterflies 44: 52-57.
- 15) 田下昌志・西尾規孝・丸山 潔 (1999) 長野県蝶類
- 16) 田下昌志・丸山 潔 (2007) 本州中部地方におけるオオルリシジミの現状と増殖活動. Butterflies 44: 24-31.
- 17) 東御市 (2004) 特集オオルリシジミを守る. 市報とうみ 8(4): 2-17.

The relation between the rearing temperature of *Shijimiaeoides divinus barine* pupa and the period of adult emergence, fecundity and length of fore wing, and the effective accumulative temperature of pupal stage

Hiroshi NAKAMURA*, Jun'nosuke HIRABAYASHI, Noritaka NISHIO*****

*AFC, Faculty of Agriculture, Shinshu University

**Graduate school of Agriculture Science, Shinshu University

***Ueda City, Nagano

Summary

The rearing experiment of *Shijimiaeoides divinus barine* pupa was conducted by 4 temperature sets (15, 20, 25 and 30°C) to obtain the effective accumulative temperature of pupal stage in order to predict the period of adult emergence. And also fecundity and length of fore wing of adults were measured. This experiment was carried out in the Faculty of Shinshu University from February to May, 2006. The rates of adult emergence in rearing sets of 20, 25 and 30°C were more than 90% but that of 15°C was 27.9%. There was no significant difference of the rates of adult emergence between female and male. The emergence day became late as rearing temperature became low. Developmental period of female pupa reared in 15°C were 90.0 days, which was about 3.7 times that of female pupa in 30°C. At any temperature, there was a tendency for male adult to emerge earlier than female. The regression lines between developmental velocity ($1/D$) and temperature (T) were $1/D=0.0021T-0.0194$ in female and $1/D=0.0022T-0.0192$ in male, and high correlation was accepted (female: $R^2=0.982$, male: $R^2=0.981$). From these regression lines, effective accumulative temperature of pupal stage for emergence and developmental zero were presumed to be 483.7 day degree and 8.8°C in female, and 459.1 day degree and 9.4°C in male. The mean length of male fore wing (1.84 cm) was significantly shorter than that of female (1.88 cm). The mean length of fore wing of both sex became long as rearing temperature became low. The mean number of fecundity of adult female fed 5 days after emergence was 64.6 eggs, on the other hand, those of adult female fed 8 or 10 days were more than 100 eggs.

Key word : *Shijimiaeoides divinus barine* pupa, rearing experiment, effective accumulative temperature, rate of adult emergence, length of fore wing, fecundity