



Title	イラガ前蛹の過冷却について
Author(s)	青木, 廉; AOKI, Kiyoshi; 篠崎, 壽太郎 他
Citation	低温科学, 10, 103-108
Issue Date	1953-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/17547
Type	departmental bulletin paper
File Information	10_p103-108.pdf



イラガ前蛹の過冷却について*

青木 廉・篠崎壽太郎

(低温科學研究所 生物學部門)

(昭和27年9月受理)

I

耐寒性の強い昆蟲類は寒冷の時期には相當低い溫度まで過冷却状態になり得るものであり、このことが耐寒性の重要な一要素であると Salt (1936)⁷⁾ Sieglar (1946)⁸⁾ 等は指摘している。昆蟲の過冷却に關する Payne (1926 以降)¹⁻⁶⁾ の仕事を始め、多くの人々の研究結果をみると耐寒性の強い昆蟲の示す過冷却の限界點 (過冷却點 undercooling point と呼ばれている) は相當安定なものらしい。また Bachmetjew (1899) はたとえ体が凍つても、昆蟲の種類によつては体の溫度が過冷却點より下らなければ致命的にはならないと、過冷却點にかなり重要な意味付けをしている程である。しかしこのような意味附が可能のためには過冷却點に餘程安定性がなければならず、また非常に安定なものとするれば、そこに過冷却状態を維持する即ち、氷ができにくいような機構が存在するにちがいない。植物の細胞及び組織もある條件の下では相當冷い溫度までよく過冷却されるものである。¹⁾ しかし水の過冷却状態というものは元來不安定な状態であつて、何等かの要因によつて容易に氷が生ずる。このような水を多く含む生体のあるもの、即ち耐寒性の強いものが特に寒い時期によく過冷却され得るといふ事實は生態的にみても、生理的にいつでも重要な意義を有すると思われる。

我々は目下マユに入つて木の枝についたまま冬を越すイラガの前蛹を材料として、過冷却の安定性の有無、及び過冷却状態を保つのに必要な條件の分析を試みている。本稿はその第一報である。

II

材料には主としてイラガ (*Cnidocampa flavescens*) の前蛹を用いた。秋に札幌附近で採集し、金網籠に入れ直射日光の當らない軒下に吊しておいたものを必要に応じて使用した。この他室内で飼育した幼蟲、及びマユに入つた直後のものも一部の實驗に使つた。

冷却は鹽化カルシウムと細氷の寒劑 (溫度は大部分 -30° ~ -35° C) で行つた。セルロイドの細い切片で作つた小さな籠の中に蟲を入れ適當の場所に熱電對 (徑 0.2 mm の銅——コンスタ

* 北海道大學低温科學研究所業績 第 163 號。
この研究の費用の一部は文部省科學研究費による。

ンタン)の先端を接觸させ保護管(径28mm)中に吊し、この保護管を寒剤中に浸した。温度の變化は直接ガルバノメーター(4.3×10^{-9} A)の振れから讀むのと、ガルバメーター(5×10^{-8})からの光を光電管に受けて一段増幅した後自記アンメーター(10mA)に記録して讀んだ。冷却速度は 0°C において約 $6.5^{\circ}\text{C}/\text{分}$ から $11.0^{\circ}\text{C}/\text{分}$ 位に振れたが、この範囲内では過冷却にあまり影響がないのでそのまま行つた。

III

蟲体の温度を正しく測るばあい一番問題になるのは熱電對の接觸のしかたである。少なくとも熱電對先端部は外氣に直接ふれないのが望ましいが、体内に挿し込めば傷口を生じ、その傷のところから過冷却の破れる可能性が多いため過冷却點を測るのには用いられない。体表面に接觸させただけのばあいは先端部の半面は直接外氣によつて冷されるので、見かけの温度はムシ自身の温度より低く出るのは當然で、冷却速度の大きいほど、この差は大きくなる。そこで一應接觸のしかたでどのように過冷却點が變化するものかを確認するために次の豫備實驗を行つてみた。過冷却點としては、個体毎に凍結曲線をとつて、過冷却の破れるときの温度をとつた。

- 1) 熱電對先端部を樹皮についていたマユの殻の薄い部分の面に外部から接觸させる。
- 2) マユの先端部に小孔をあけ、そこから熱電對を挿入ムシの体表に接觸させる。
- 3) マユから出した蟲体の体表に接觸させる。
- 4) 口部陥入部に先端部を挿入する。
- 5) 頭背部のところでは蟲体の体内に熱電對を挿し込む。

以上5通りの方法で過冷却點を測つてみた。結果は表1にまとめてある。同じく外面に接着させたばあいでも、表面の固いマユのときが一番低い値がでてゐるし、これより接觸の密な体

第 1 表

月	個体数	熱電對の接觸のし方	過冷却點 $^{\circ}\text{C}$	冷却速度 $^{\circ}\text{C}/\text{分}$	備 考
4	15	マユの外面に接觸	-23.4 ± 1.8	12.8	
4	19	マユとムシの間	-21.6 ± 2.7	9.3	
3	16	裸のムシの表面に接觸	-21.2 ± 2.5	11.4	
3—4	45	口部陥入部に挿入	-19.2 ± 2.4	8.1	
3—4	9	体内に挿入	-12.6 ± 1.9	6.9	流出した血液は乾燥せず
3—4	7	〃	-15.3 ± 0.5	6.7	流出した血液は乾燥

表面接着の方が高い値を示している。口部陥入部に挿し込んだばあいが一番高い。だいたい熱電對先端部の接觸面の多いほど値は高くなる。ムシの体内に熱電對を挿入したばあいが、接觸という面からみれば一番よく、且つ体内の温度に一番近い値が得られる筈であるが、挿入の際体壁に傷口が生じ、そこから血液が流出してくる。これらの傷口あるいは流出している血液は

乾いている体表面に比べて過冷却の破れるチャンスは非常に多い。このばあいでも流出した血液が乾燥して固まつたときに、未だ乾いていないときでは過冷却の破れる温度は明らかに異なつて、前者では平均 2.7°C も低くなつている (表 1)。したがつて過冷却點の測定にはこの不安定な方法は一般に高い値を示し、好ましくない。熱電對の接觸の粗密の程度によつて等しい温度で冷されてもそこで測定された蟲体の温度が等しくないことは接觸のしかたと冷却速度との關係からみても明らかである。我々の實驗の目的には正しく相對的の値が得られれば充分である。以下の實驗には主として接觸が割合安定で且つ蟲体に傷がつかないという條件を満足させる口部陥入部に熱電對を挿し込む方法を選んだ。

IV

過冷却點は季節によつてはつきりと變化する。冬から春の始めにかけて -19.2°C であつたものが 5 月に入つて蛹化のすぐ前頃になると -13.5°C と上昇している。葉を喰つている幼蟲では

第 2 表 過冷却點の季節的變化

月	ムシの状態	個体數	過冷却點 $^{\circ}\text{C}$
3—4	前蛹	45	-19.2 ± 2.4
5	蛹化直前 (新蛹)	10	-13.5 ± 2.4
9	完熟幼蟲	11	-4.9 ± 1.2
9	前蛹 (マユに入つてから 1—2 週間)	12	-12.2 ± 2.3
10	前蛹	8	-15.4 ± 1.3

過冷却は破れ易い。表中の完熟幼蟲の値 -4.9°C は、熱電對を体表面に接着させて測つた値であるから他の値と比較するばあいにはこれよりやや高きみるべきである。熟した幼蟲がマユに入つた後は急に過冷却點は低下し、その後は徐々に寒さが加わるにつれて低くなる。

表 1 及び 2 に標準偏差の値を示してあるが、今まで報告されている結果即ち *Ephesia Kühniella* の前蛹では $-21.30^{\circ} \pm 1.73^{\circ}\text{C}$ (Salt, 1936),⁷⁾ *Synchroa punctata* の 11 月末の値 $-20.59^{\circ} \pm 1.93^{\circ}\text{C}$ (Payne, 1927),⁵⁾ *Carpocapsa pomonella* (Washington 産) では ♂ $-24.4^{\circ} \pm 1.6^{\circ}\text{C}$, ♀ $-26.5^{\circ} \pm 3.0^{\circ}\text{C}$ (Siegler, 1946)⁸⁾ の値とだいたい等しい。しかし熱電對先端部と口部陥入部の接觸のしかたにもそこかなりの差があるので、この實驗で得られた標準偏差の値は實際よりは大きいものと思われる。というのは先端部を体内に挿入し、流出した血液を充分乾燥させたばあい、即ち接觸のしかたに殆んど差のないばあいには標準偏差の値はこの $1/4$ — $1/5$ にあたる 0.5 となつているからである。このように蟲体の過冷却點は、水の過冷却の不安定性から考えて豫期されたところとは異なり、割合規則的のものである。このようにだいたい同じような條件のムシでは不安定な過冷却状態がだいたい等しい温度まで、しかもかなりの低温まで保たれるということには何かそこに凍結の始まるのを防ぐ機構があるにちがいない。

また血液の過冷却點も季節的にだいたいムシの過冷却點に伴つて變化する(表3)。各個体から0.1—0.2 ccの血液を小試験管にとり、上に薄く流動パラフィンを流しておき、攪拌及び植氷

第3表 血液の過冷却點

月	個体數	過冷却點 °C	冷却速度 °C/分
4	8	-13.3±1.7	9.4
5	7	-10.1±1.5	
10	6	-13.9±1.3	

をしないでそのまま冷し熱電對で溫度を測つた。体に熱電對を挿入したばあい傷口から流出した血液が乾燥していないときの過冷却點の値即ち-12.6°Cがその時期の血液の過冷却點の値-13.3°Cと非常に近いという事實からみて少なくともこのばあいには過冷却は流出した血液で

破れたと考えてよいだろう。

それから血液の氷點は次のような方法で測つた。1個体より採つた血液0.1—0.2 ccを小試験管にとり中に鉛の小粒を入れ、絶えずゆり動かして攪拌した。小試験管の側面**には小孔があつてあつて過冷却しすぎないように、この孔のところに氷を觸れて植氷した。實驗の結果及びその頃測つた血液の含水量の値は表4にまとめてある。体全体の過冷却點の低い時期では血液

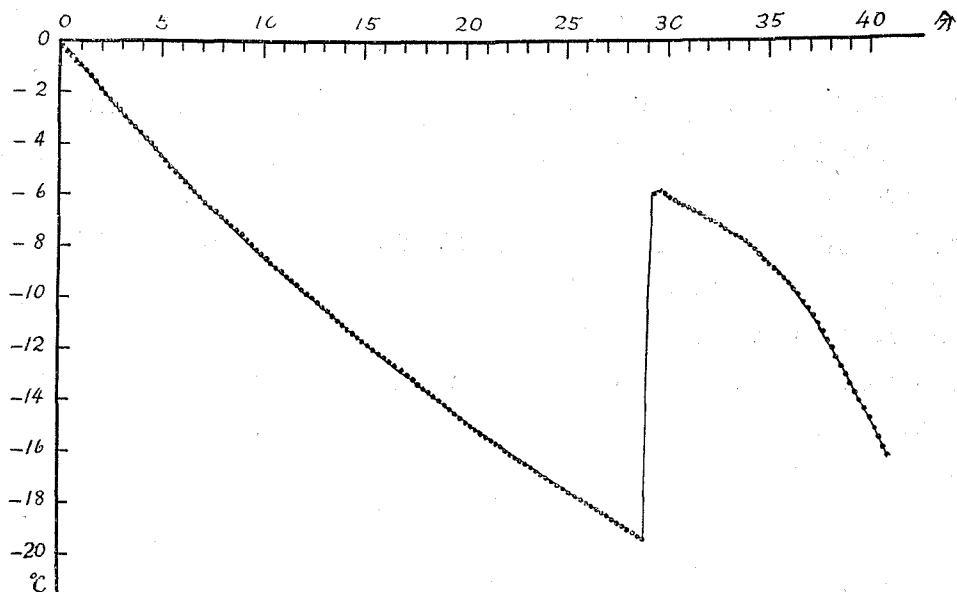
第4表 血液の氷點及び含水量

月	ムシの状態	個体數	氷點 °C	血液の含水量 (%)	全含水量 (%)
2—3	前 蛹	22	-2.04±0.15	75.2	60.9
5	〃	10	-0.72±0.03		
9	幼 蟲	9	-0.75±0.06	89.6	80.5
9	マユを作りつつある幼蟲	5	-0.93±0.07	70.3	66.4
9	前蛹(マユに入つてから2週間位)	19	-1.11±0.06	77.5	65.2

の氷點は-2.04±0.15°Cであり、蛹化前その前蛹に變化の起こる頃は-0.72°Cと高くなり、完熟幼蟲もだいたい同じ値を示すが、マユを作る頃を境として血液の氷點はかなり急激に低下する。一方体全体の過冷却點も同様にマユに入つた後は急に低くなる。マユに入つて間もない前蛹の血液の氷點はマユを作りつつある幼蟲のそれよりも低いにもかかわらず、血液の含水量はかえつて増加している。これはこの短かい期間に血液の組成に大きな變化のあつたことを示すものであろう。

いつたん過冷却が破れると短時間の間にかなり溫度が上昇する(圖1参照)。この事實は過冷却の破れたのに引續いて、連続的に凍結が進行し大量の氷が生じたことを示すもので、それは血液の凍結によるものであろうことは容易に想像される。しかしこの問題を論ずるばあいに同時期の血液の過冷却點の値と体全体の過冷却點の値との直接比較することはできない。というわけは測定の方法、即ち体全体のときには熱電對を口部陥入部に挿入しただけであり、血液の

** 小孔のある位置は血液の面より下である。孔の大きさが適當であれば表面張力で中の液は流出しない。



第 1 圖 イラガ前蛹の凍結曲線

縦軸…蟲体の温度 横軸…時間

冷却速度… $0.9^{\circ}\text{C}/\text{分}$, 過冷却點… -19.4°C , rebound point… -5.9°C

ばあいは血液中に浸してあるために接觸の程度が完全に異なるうえ、血液が小試験管に入っている状態では体内にあるときより過冷却は破れ易いということを考慮に入れなければならないからである。しかしこの實驗の結果からみていずれにしても血液は冬期に体内で相當低温まで過冷却状態にあることについては疑いの餘地はない。しかし体の過冷却の破れる温度は体内の血液の過冷却の破れる温度か否か、いかえると体内で血液が一番初めに凍結し始めるものかどうかという問題に答える實驗データは現在未だ得られていない。

一方血液が凍る場合、氷晶の成長速度は越冬期の前蛹における方が幼蟲のものより遙におそい³。越冬期においては血液が過冷却状態になり易いことと併せ考えると、冬には前蛹の血液は凍りにくい状態になつてゐるということができよう。

幼蟲及び5月の前蛹の血液の氷點はほとんど等しいものにもかかわらず、それらの過冷却點は前者の -4.9°C に對して後者では -13.5°C と非常に差がある。前にのべたように血液の凍結のしかたは互に異なり、幼蟲の血液の方が遙に凍り易い。この點からだけみれば過冷却點は血液の状態によつて決まるとも考えられるが、一方体壁の構造及び性質にも兩者の間に大きな差が存することを考慮に入れなければならない。

以上の實驗結果の示すように越冬中のイラガの前蛹はかなり低い温度まで過冷却状態にあることができるものである。しかもその過冷却の破れる温度(過冷却點)は冷却條件が同一ならばだいたい等しい。この低い温度まで過冷却される原因の一つとして血液が凍りにくい状態にあるということが重要であると考えられるが、この他体壁の作用も與つてゐると思われる。

摘 要

イラガ (*Cnidocampa flavescens*) の前蛹の過冷却の限界温度 (過冷却点) は冷却条件が等しいときはほぼ等しい値を示す。このことは元來不安定な過冷却状態を安定に保つ何等かの機構の存在することを暗示する。

過冷却点の値は季節的に變化する。幼蟲時代は高いが、マユに入り前蛹となると急に低下しその後少しづつ下り、冬を越し初夏蛹化の始まる前には再び高くなる。一方血液自身の過冷却点もだいたい同様の経過をたどつて變化している。

前蛹の血液が凍りにくい状態にあるということが過冷却状態を保つのに重要な役割をしていると考えられる。

文 献

- 1) 青木 廉 1949 植物組織の凍結曲線. 生物學の進歩, 4, 145.
- 2) 朝比奈英三 1953 イラガ血液の凍結過程. 低温科學, 10, 117.
- 3) Bachmetjew, P 1899 Über die Temperatur der Insekten nach Beobachtungen in Bulgarien. Ztschr. wiss. Zool., 66, 521
- 4) Payne, N. M. 1926 The effect of environmental temperatures upon insect freezing points. Ecol., 7, 99.
- 5) ————— 1927 Freezing and survival of insects at low temperature. J. Morph., 43, 521.
- 6) ————— 1928 Cold hardiness in Japanese beetle, *Popillia japonica* N. Biol. Bull., 55, 163.
- 7) Salt, R. W. 1936 Studies on the freezing process in insects. Univ. Minnesota Agr. Exp. Stat. Tech. Bull., No. 116.
- 8) Siegler, E. H. 1946 Susceptibility of hibernating codling moth larvae to low temperatures, and the bound water content. J. Agr. Res. 72, 329.

Résumé

In the case of slug moth, *Cnidocampa flavescens*, the "undercooling points", i. e. the temperatures at which the undercooled state is spontaneously broken without any artificial inoculation, show only relatively small deviations under any definite cooling condition. This fact seems to suggest that in the prepupa there exist some mechanisms to keep stable the undercooling state which is in itself unstable.

It was found that a certain periodicity occurs in the undercooling points: they are high in larva (in summer), but they suddenly drop after cocooning (in the beginning of September), and then further fall gradually, reaching minimum during the winter, and rise again on the approach of higher temperature before pupation early in the next summer. On the other hand, the change of the undercooling points of the blood runs a parallel course with that of the whole body.

The fact that the blood of the prepupa is easy to be undercooled, in other words, that the blood is to some extent hard to freeze, may play an important role in the maintenance of the lower undercooling points.