

熱帯系蚕品種の休眠性に対する温度条件の影響

小林 淳・海老沼宏安・小林正彦

東京都文京区・東京大学農学部 (〒 113)

(1986年3月26日 受領)

JUN KOBAYASHI, HIROYASU EBINUMA and MASAHIKO KOBAYASHI: Effect of temperature on the diapause egg production in the tropical race of the silkworm, *Bombyx mori*

日本蚕糸学雑誌

第55巻 第4号 (昭和61年8月) 別刷

Reprinted from

THE JOURNAL OF SERICULTURAL SCIENCE OF JAPAN

Volume 55, Number 4, (August)

熱帯系蚕品種の休眠性に対する温度条件の影響

小林 淳・海老沼宏安・小林正彦

東京都文京区・東京大学農学部 (〒 113)

(1986年3月26日 受領)

JUN KOBAYASHI, HIROYASU EBINUMA and MASAHICO KOBAYASHI: Effect of temperature on the diapause egg production in the tropical race of the silkworm, *Bombyx mori*

An investigation was carried out on the effect of constant temperature and changes in temperature on the diapause egg production in Ringetsu, the tropical race of the silkworm, *Bombyx mori*. Four different temperatures, 20°C, 23°C, 25°C and 28°C, were tested in this experiment. During the embryo stage and the earlier larval instars (1st~3rd instar), low temperature was conducive to the production of non-diapause eggs, whereas high temperature promoted to the production of diapause eggs. During the later larval instars (4th~5th instar), low temperature and high temperature showed opposite effects, respectively. The temperature during the embryo stage was the most effective. These results indicate that the pattern of response to the temperature in Ringetsu resembled that in the bivoltine races. A distinct difference between Ringetsu and the bivoltine races, however, was found in the sensitivity to temperature during the embryo stage. The diapause egg production of the bivoltine races was affected by the temperature during the developmental stages after hatching, when the embryo was exposed to the 'intermediate' temperature ranging from 15°C to 25°C. In Ringetsu, the range of this 'intermediate' temperature was assumed to shift to the region higher than 20°C. Effect of the combination of temperature and photoperiod was also investigated. Two different conditions, 23°C · 12L 12D and 28°C · 15L 9D, were tested in this experiment. Most of the results were consistent with the data on the effects of temperature and photoperiod. (Faculty of Agriculture, University of Tokyo, Bunkyo-ku, Tokyo 113)

熱帯系蚕品種の輪月を供試して、休眠性に対する温度条件 (20°C, 23°C, 25°Cおよび28°C) の影響を調査した。その結果、温度条件の休眠性に対する効果は、4齢幼虫期を境に逆転していることが明らかになった。すなわち、胚子期および稚蚕期では、低温が休眠率を低下させ、高温が高めたのに対し、壮蚕期以降では、それぞれの温度条件が逆の作用を示した。そして、胚子期の温度条件が最も強い影響力を示した。これらの知見から、輪月の温度感受性は、2化性品種のものとかかなり類似していると考えられた。ただし、2化性品種の中間温度催青に相当する温度範囲が、輪月では、高温方向にシフトしている点で、両者は異なると推察された。また、23°C · 12L 12Dと28°C · 15L 9Dの2条件を設定して、日長条件と温度条件の総合的な変化の実験も行った。その結果は、概ね日長条件と温度条件それぞれの影響について得られた知見から予想、あるいは解釈できるものであった。

カイコは、地球上のかなり広範な地域で飼育されてきた家畜昆虫である。そのため、古くから養蚕が盛んな地域では、それぞれに固有な地理的品種が成

立した。そして、化性に関しては、低緯度で成立した品種には多化性のものが多く、高緯度になるにしたがって1化性の品種が多くなる。日本では、1化性、2化性および4化性品種について、休眠性と環境要因の関係が明らかにされており、特に1化性と2化性品種に対しては、実用的な観点から、詳細な調

熱帯系蚕品種の休眠性に関する研究 第2報。

本報告の概要は、日本蚕糸学会第53回学術講演会で発表した。

査が行われた(渡辺, 1918, 1922, 1924, Kogure, 1933; 水野, 1925; 梅谷, 1928; 永盛, 1930; 北沢, 1932)。その反面, 熱帯種については, まとまった研究がほとんどなされていない。最近, 小林ら(1986)は, 熱帯種の休眠性に対する日長条件の影響について報告した。この報告の中で, 特に, 輪月に関しては, 詳細に日長条件の影響を調査した。その結果, 輪月はきわめて敏感に日長条件の変化に反応し, また, 光周反応のパターンが比較的2化性品種に類似していることが明らかになった。

一方, 山本ら(1982, 1984)は, 壮蚕期から前蛹期にかけての温度条件によって, 熱帯種のアンナン, カンボウジュおよびマイソールの休眠性が大きく変化することを明らかにした。著者らは, 熱帯種の温度感受性に関する知見を深めるために, 輪月の休眠性に対する温度条件の影響を詳細に調査し, さらに, 日長条件の影響に関して得られた知見(小林ら, 1986)との統合を図るために, 日長条件と温度条件の総合的な変化の影響も調査した。その結果, 若干の知見を得たので報告する。

本文に入るに先立ち, 本稿の御校閲を頂いた東京大学吉武成美教授に御礼を申し上げる。

材料および方法

農林水産省蚕糸試験場蚕品種保存研究室において保存されている熱帯種の輪月を実験に供試した。

1982年5月初旬から7月上旬にかけて, 5°Cで越冬させた休眠卵由来の個体を供試して, 一定の温度条件ならびに変化する温度条件の影響を調査した。この実験では, 日長条件はすべて12L 12Dとし, 20°C, 23°C, 25°Cおよび28°Cの4種類の温度条件を設定して, さまざまな発育段階で温度条件を変化させた。同時に, 20°Cと25°Cでは, ある発育段階だけを異なる温度条件で飼育保護する実験も行った。各実験区での飼育個体数は, 23°Cと28°Cへの変化を行った実験区で50個体とし, それ以外の実験区で100個体とした。

次いで, 1982年8月下旬から10月中旬にかけて, 即時浸酸卵由来の個体を供試して, 日長条件と温度条件の総合的な変化の影響を調査した。高温長日条件28°C・15L 9Dと低温短日条件23°C・12L 12Dの2種類の条件を設定し, さまざまな発育段階で変化させる実験を行った。さらに, 同年10月下旬から12月

初旬にかけて, 即時浸酸卵由来の個体を供試して, 前の実験と同じ2種類の条件において, ある発育段階だけを異なる条件に飼育保護する実験を行った。これらの実験では, 各実験区での飼育個体数を100個体とした。

本報における環境条件の変化の具体的な方法は, 前報(小林ら, 1986)において日長条件に対して行った方法と同じである。ただし, 温度条件に関する実験では, 蛹期における環境条件の効果についての調査はしなかった。日長と温度以外の環境要因の設定と休眠率の計算法も前報に従った。また, 幼虫は, 桑葉で飼育した。なお, 本報におけるすべての実験の環境制御は, 東京大学農学部生物環境制御システムセンターにおいてNK式恒温恒湿器(日本医化器械製)を使用して行った。

結 果

1. 温度条件の変化が輪月の休眠性に及ぼす影響

20°Cと25°Cの変化のない温度条件における休眠率は, それぞれ0%と15.9%であった(Table 1)。どちらも低い値であったが, 25°Cよりも20°Cの方が, 強く非休眠化を促進することがわかった。

Table 2は, 温度条件を変化させた実験の結果である。まず, 25°Cから20°Cと23°Cへの温度の下降では, 孵化直後あるいは2齢起蚕時での変化により10%以下の最低の休眠率を示した。そして, 変化させる発育段階が遅くなるに従い, 休眠率は増加し, 5齢起蚕時に20°Cと23°Cへ変化させると, それぞれ40.4%と14.8%の最高値を示した。25°C→20°Cと25°C→23°Cの変化を比較すると, 変化の幅の大きい25°C→20°Cの方が休眠性に対して大きな影響を与えており, 特に, 壮蚕期における25°C→20°Cの変化によって, 25°C恒温条件の休眠率をかなり上回ることができた。

Table 1. Effect of constant temperatures on the diapause egg production in the tropical race, Ringetsu.

Temperature (°C)	Diapause (%)
20	0
25	15.9

Photoperiod was 12L 12D.

Table 2. Effect of changes in temperatures on the diapause egg production in the tropical race, Ringetsu.

Temperature (°C)	Larval instar at transfer*				
	1st	2nd	3rd	4th	5th
25→20	1.5	17.1	20.0	31.0	40.4
25→23	8.7	8.3	12.5	13.6	14.8
25→28	84.6	37.5	35.3	0	11.5
20→28	0	0	4.8	5.0	0
20→25	0	0	0	0	0
20→23	0	4.3	0	0	0

*: Insects were transferred within 24hr of hatch or ecdysis.

Photoperiod was 12L 12D. Figures in the table denote the diapause(%).

次に、25°Cから28°Cへの温度の上昇では、いくつかの実験区で休眠率の増加がみられた。特に、孵化直後に変化させた実験区は、84.6%という極めて高い休眠率を示した。しかし、4齢起蚕時と5齢起蚕時に変化させた実験区では、それぞれ0%と11.5%

の休眠率を示し、どちらも25°C恒温条件での休眠率より低かった。したがって、幼虫期前期での25°C→28°Cの温度の上昇が、休眠率を上げ、幼虫期後期では下げることがわかった。また、20°Cから23°C、25°Cおよび28°Cへの温度の上昇では、ほとんどの実験区が0%の休眠率を示し、決して5%を越えることはなかった。

Table 3 は、ある発育段階だけを異なる温度条件に置く実験の結果である。ただし、胚子期のデータは、Table 2 の25°C→20°Cおよび20°C→25°Cの変化を孵化直後に行った実験区のデータと同一である。各実験区の休眠率を、Table 1 の変化のない温度条件での休眠率と比較することにより、以下のような事実が明らかになった。まず、25°Cに対する各発育段階での20°Cの効果は、4齢幼虫期を境にして、それ以前の休眠率を低下させる方向から、増加させる方向へ逆転していた。また、20°Cに対する各発育段階での25°Cの効果は、胚子期にわずかに休眠化の方向へ働いただけで、他の発育段階では全く発現しなかった。

Table 3. Sensitivity to temperature of each developmental stage in the tropical race, Ringetsu.

Temperature (°C)	Stage at which the exposure to 20°C occurred	Diapause (%)	Temperature (°C)	Stage at which the exposure to 25°C occurred	Diapause (%)
25↔20	Egg (Embryo)	0*	20↔25	Egg (Embryo)	1.5*
	Larva 1st instar	0		Larva 1st instar	0
	2nd instar	5.8		2nd instar	0
	3rd instar	6.0		3rd instar	0
	4th instar	13.7		4th instar	0
	5th instar	28.0	5th instar	0	

*: Data from Table 2.

Photoperiod was 12L 12D.

2. 日長条件と温度条件の総合的变化が輪月の休眠性に及ぼす影響

日長条件の変化は、輪月の休眠性に対して大きな影響を及ぼす(小林ら, 1986)。また、本報により、温度条件の変化も日長条件に匹敵するほどの大きな影響を及ぼすことがわかった。そこで、無数に考えられる日長条件と温度条件の組み合わせの中から、高温長日条件28°C・15L 9Dと低温短日条件23°C・12L 12Dの2種類の条件を選んで総合的变化の実験

を行った。

28°C・15L 9Dと23°C・12L 12Dにおける休眠率は、それぞれ79.2%と87.1%の高い値を示した(Table 4)。したがって、この2種類の条件には休眠性に対する影響にほとんど差がないことがわかった。

Table 5 は、2種類の条件の間で変化させた実験区での休眠率を示したものである。28°C・15L 9Dから23°C・12L 12Dへの変化では、ほとんどの実験

Table 4. Effect of constant temperature and photoperiod on the diapause egg production in the tropical race, Ringetsu.

Temperature · Photoperiod	Diapause (%)
28°C · 15L 9D	79.2
23°C · 12L 12D	87.1

区が100%の休眠率を示し、最低でも、5齢起蚕時に変化させた実験区で97.1%の休眠率を示した。したがって、低温短日方向への変化は、休眠率を高めることがわかった。23°C · 12L 12Dから28°C · 15L 9Dへの変化では、2齢起蚕時～5齢起蚕時で変化させた実験区が、30%～40%程度の比較的低い休眠率を示した。したがって、高温長日方向への変化は、休眠率を下げるということがわかった。

Table 5. Effect of changes in temperature and photoperiod on the diapause egg production in the tropical race, Ringetsu.

Temperature · Photoperiod	Larval instar at transfer*				
	1st	2nd	3rd	4th	5th
28°C · 15L 9D → 23°C · 12L 12D	100	100	97.3	100	97.1
23°C · 12L 12D → 28°C · 15L 9D	70.1	40.6	30.6	34.2	33.3

*: Insects were transferred within 24hr of hatch or ecdysis.
Figures in the table denote the diapause (%).

Table 6. Sensitivity to temperature and photoperiod of each developmental stage in the tropical race, Ringetsu.

Temperature · Photoperiod	Stage at which the exposure to 23°C · 12L 12D occurred	Diapause (%)	Temperature · Photoperiod	Stage at which the exposure to 28°C · 15L 9D occurred	Diapause (%)
28°C · 15L 9D	—————	88.9	23°C · 12L 12D	—————	90.2
28°C · 15L 9D	Egg (Embryo)	25.9	23°C · 12L 12D	Egg (Embryo)	100
↓ ↑	Larva 1st instar	97.3	↓ ↑	Larva 1st instar	100
23°C · 12L 12D	2nd instar	94.8	28°C · 15L 9D	2nd instar	98.2
	3rd instar	98.6		3rd instar	95.8
	4th instar	100		4th instar	92.7
	5th instar	100		5th instar	67.2
	Pupa	98.6		Pupa	92.0

Table 6 は、ある発育段階だけ異なる条件に置く実験の結果である。Table 4 と Table 5 の実験とは行った時期が異なるので、変化のない条件および胚子期だけ別の条件を与える実験区を再試験して休眠率を求めた。変化のない条件では、28°C · 15L 9D で88.9%、23°C · 12L 12D で90.2%の高い休眠率をそれぞれ示した。これらの値は、Table 4 での値よりそれぞれ若干高いだけで、かなり近い値といえる。また、胚子期だけ28°C · 15L 9D を与えた実験区は、Table 5 の28°C · 15L 9D → 23°C · 12L 12D

の変化を孵化直後に行った実験区と同じ100%の休眠率を示した。しかし、胚子期だけ23°C · 12L 12D を与えた実験区は、25.9%の休眠率を示し、Table 5 の23°C · 12L 12D → 28°C · 15L 9D の変化を孵化直後に行った実験区での70.1%よりも44.2%低下していた。

28°C · 15L 9D に対して、ある発育段階だけに23°C · 12L 12D を与えた場合、23°C · 12L 12D の効果は、胚子期と1齢幼虫期の間で、休眠率を低下させる方向から増加させる方向に逆転していた。ま

た、 $23^{\circ}\text{C}\cdot 12\text{L}12\text{D}$ に対して、ある発育段階だけに $28^{\circ}\text{C}\cdot 15\text{L}9\text{D}$ を与えた場合、 $28^{\circ}\text{C}\cdot 15\text{L}9\text{D}$ の効果は、4齢幼虫期を境にして、休眠率を増加させる方向から低下させる方向に逆転していた。このように、どちらの条件にも効果の逆転がみられたが、逆転の起こる発育段階は、それぞれの条件で異なっていた。

考 察

桑葉育した2化性蚕品種は、卵催青期、すなわち、胚子期の温度を 25°C にすると雌蛾が休眠卵を産下し、 15°C にすると非休眠卵を産下する。そして、これらの中間にあたる温度にすると、幼虫期や上簇後の温度条件の影響で休眠性が変動する（渡辺, 1918; 1922; 1924）。一方、熱帯種の輪月では、胚子期の 20°C の効果は、2化性品種の 15°C 催青に相当するものであった（Table 1～3）。また、胚子期の温度を 25°C にすると、その後の発育段階の温度条件によって休眠性が変動し、2化性品種の中間温度催青に類似した結果を示した（Table 2, 3）。

さらに、輪月では、胚子期を 25°C にした場合、胚子期以後の各発育段階における低温（ 20°C ）の効果が、4齢幼虫期を境にして、休眠率を下げ方向から高める方向へ逆転していた（Table 3）。一方、Table 2における $25^{\circ}\text{C}\rightarrow 28^{\circ}\text{C}$ の温度の上昇の結果が、 $25^{\circ}\text{C}\rightarrow 20^{\circ}\text{C}$ の温度の下降とは、正反対の結果であったことから推察して、高温（ 28°C ）の効果は、低温（ 20°C ）とは常に反対方向であり、4齢幼虫期あたりで、休眠率を高める方向から低下させる方向へ逆転しているものと考えられる。中間温度催青した2化性品種でも、稚蚕期と壮蚕期の間で、低温と高温の効果が輪月と同様の逆転現象が見られる（渡辺 1922; 1924）。また、 25°C と 28°C で催青した熱帯種のアンナン、カンボウジュおよびマイソールも、壮蚕期以降の高温と低温は、輪月の4齢幼虫期以降において示された効果と同じ方向にそれぞれ働く（山本ら, 1982; 1984）。これらの共通点から、輪月を含む熱帯種の温度感受性のパターンは、2化性品種と良く類似していることがわかる。ただし、決定的な違いは、2化性品種の中間温度催青に対応する温度範囲が、熱帯種では高温方向にシフトしていることであると考えられる。

輪月の休眠性に対する温度条件の影響には、上述

したように、逆転現象が見られた。したがって、Table 2で、 $25^{\circ}\text{C}\rightarrow 20^{\circ}\text{C}$ の温度の下降を4齢あるいは5齢起蚕時に行った実験区が、それぞれ31.0%と40.4%の比較的高い休眠率を示し、 $25^{\circ}\text{C}\rightarrow 28^{\circ}\text{C}$ の温度の上昇を4齢起蚕時に行った実験区が0%のきわめて低い休眠率を示したのは、これらの温度変化が、ちょうど逆転の起こる発育段階（4齢幼虫期）と一致したことによって、休眠性に対して大きな影響を与えたからであると理解される。

輪月の休眠性に対する温度条件と日長条件（小林ら, 1986）それぞれの影響を比較すると、どちらの環境要因の効果にも逆転現象がみられた。ただし、日長条件の場合、逆転前後での休眠性に対する影響力を比べると、逆転後の長日型の光周反応が優勢であった。これに対し、温度条件では、胚子期を 20°C にするだけで、他の発育段階における温度の効果を全く打ち消してしまったり、稚蚕期における温度の変化が、大きな休眠率の変動をひき起こした（Table 1～3）ことからわかるように、逆転前の発育段階（特に、胚子期）における影響力の方がきわめて優勢であった。また、低温と短日が類似の効果を示し、高温と長日の効果も類似していた。そこで、日長条件と温度条件の総合的変化の実験にあたっては、類似の効果を示す条件同士を組み合わせ、低温短日条件（ $23^{\circ}\text{C}\cdot 12\text{L}12\text{D}$ ）と高温長日条件（ $28^{\circ}\text{C}\cdot 15\text{L}9\text{D}$ ）を設定した。温度条件を 20°C と 25°C ではなく、 23°C と 28°C にしたのは、胚子期の 20°C によって他の発育段階の条件に対する反応が見られなくなってしまうことを避けるためであった。

この2種類の条件で行った日長条件と温度条件の総合的変化の実験では、日長条件と温度条件それぞれの単独の変化の結果から予想されるとおり、 $28^{\circ}\text{C}\cdot 15\text{L}9\text{D}\rightarrow 23^{\circ}\text{C}\cdot 12\text{L}12\text{D}$ の変化によって休眠率が高められ、 $23^{\circ}\text{C}\cdot 12\text{L}12\text{D}\rightarrow 28^{\circ}\text{C}15\text{L}9\text{D}$ の変化によって休眠率が低下した（Table 5）。また、それぞれの条件の休眠性に対する効果には、逆転が見られた（Table 6）。ただし、 $23^{\circ}\text{C}\cdot 12\text{L}12\text{D}$ の効果の逆転時期が、胚子期と1齢幼虫期の間であったのに対し、 $28^{\circ}\text{C}\cdot 15\text{L}9\text{D}$ の効果では4齢幼虫期であった。この逆転時期の相違は、日長条件と温度条件の組み合わせを変えたことによって生じたものと考えられる。また、胚子期における $23^{\circ}\text{C}\cdot 12\text{L}12\text{D}$ と $28^{\circ}\text{C}\cdot 15\text{L}9\text{D}$ は、どちらも非常に大きく休眠率を

変えたことから、少なくとも胚子期では、設定した日長条件よりも温度条件の方が、優勢に作用しているものと考えられる。

以上のように、日長条件と温度条件の総合的变化に対する、輪月の休眠率の傾向は、概ね日長条件と温度条件それぞれの影響について得られた知見から予想されるものか、あるいは解釈可能なものであった。しかし、以下に述べる2点は、予想外のものであった。まず、Table 4 と Table 6 において、23°C・12L12Dの変化のない条件での休眠率が、極めて高い値であったことがあげられる。12L12Dの日長条件下で行った温度条件の実験では、変化のない場合、20°Cの実験区が0%、25°Cの実験区が15.9%の休眠率をそれぞれ示した (Table 1)。したがって、23°C・12L12Dにおける休眠率は、0%と15.9%の間に入り、28°C・15L9Dにおける休眠率は、15.9%を上回る値であろうと予想された。しかし、23°C・12L12Dの休眠率はTable 4 では87.1%、Table 6 では90.2%をそれぞれ示し、28°C・15L9Dの休眠率をやや上回るほどであった。最近、小林 (1985) は、輪月の非休眠卵、浸酸による人工孵化卵および低温で越冬させた休眠卵のそれぞれが、胚子期の温度条件に対して異なる感受性を示すことを明らかにした。したがって、23°C・12L12Dでの休眠率が予想外に高かった主たる原因は、浸酸による人工孵化卵を供試したことによるものと考えられる。この現象については、さらに詳細に調査し、報告する予定である。

もう一つの予想外な点は、胚子期だけを23°C・12L12Dにして、それ以外の発育段階を28°C・15L9Dにした実験区の休眠率だけが、Table 5 と Table 6 で、約45%もの差を示したことである。原因について、桑葉質の影響などいろいろな可能性が考えられるが、その真偽はまだ不明である。

従来、いわゆる多化性品種の休眠性は、1化性品

種とともに環境の影響を受けにくいと理解されてきた (諸星, 1979)。しかし、蚕糸試験場で保存されている輪月やその他の熱帯種は、2化性品種に匹敵するほど敏感な日長および温度感受性を示す (小林ら, 1986; 山本ら, 1982; 1984)。興味深いことに、現在輪月と呼ばれている品種は、2化性の大造と、本来、輪月と呼ばれていた多化性品種との雑種に由来しているという説がある (蚕糸業同業組合中央会, 1929)。もし、この説が真実ならば、輪月と2化性品種の日長および温度感受性において見出された類似性は、非常にうまく説明できる。その他の熱帯種においても、品種としての成立過程とその保存過程が、日長および温度感受性に大いに関与しているものと考えられる。今後、このような観点を含めて、カイコの休眠性と環境要因の関係を検討してゆく必要があると思われる。

文 献

- 北沢 茂 (1932): 蚕糸界報, 41, 464-470.
 小林 淳 (1985): 応動昆第29回講要, 13.
 小林 淳・海老沼宏安・小林正彦・吉武成美 (1986): 日蚕雑, 55, 322-328.
 KOGURE, M. (1933): J. Agric. Kyushu Imp. Univ., 4, 1-93.
 水野辰五郎 (1925): 佐久良会雑誌, 17, 9-30.
 諸星静次郎 (1979): 家蚕の発育生理 (第2版), 274pp., 学会出版センター, 東京.
 永盛新三郎 (1930): 応動雑, 2, 217-220.
 蚕糸業同業組合中央会 (1929): 支那蚕糸業大観, pp. 914-917, 岡田日栄堂, 東京.
 梅谷与七郎 (1928): 蚕糸界報, 37, 1-5.
 渡辺勘次 (1918): 蚕試報, 3, 397-437.
 渡辺勘次 (1922): 蚕試彙報, 16, 15-42.
 渡辺勘次 (1924): 蚕試報, 6, 411-455.
 山本俊雄・榎島守利・藤巻忠彦 (1984): 蚕糸研究, 130, 42-45.
 山本俊雄・藤森胡友・清水文信・田中教夫 (1982): 日蚕雑, 51, 445-446.