家蚕幼虫期における日長条件と人工飼料中の大豆粉末量が 蚕の成長発育, とくに卵休眠性に及ぼす影響

上 田 悟*・長 楽 勇**・鈴 木 清*

中 島 正 雄***

蚕糸試験場*, 農業生物資源研究所**

農業研究センター***

20°C, 暗条件で催青した2化性蚕品種を用い, 人工飼料育において日長条件(D 24, LD 6:18, LD 12:12, LD 18:6, L 24)と飼料中の大豆粉末および桑葉粉末量が, 蚕の成長発育, とくに休眠性に及ぼす影響について検討した. 明期の光源には450 nm以上の波長をもつ蛍光灯を用いた.

蚕の成長は日長条件によって明らかに影響を受け, その態様はLD 6:18に転換点をもっていた. すなわちLD 6:18では, 他の日長条件に比して飼育経過は短かく, 繭重と繭層重は軽く, 生存率と休眠卵割合は高かった. この影響は光による飼料の劣化によるものではなく, 光の蚕に対する直接の影響と推定された.

飼料中の大豆粉末含量が休眠性に及ぼす影響は, 日長条件LD 6:18とD 24においてのみ現れ, 大豆粉末量が多くなるほど非休眠卵歩合が増加し, 繭重と繭層重は重くなった. 飼料中の桑葉粉末量と休眠性の間には一定の傾向は認められなかった.

1985年3月4日受付

緒 言

人工飼料育においては幼虫期の環境で卵休眠性が比較的容易に変化し, とくにそれは光条件による影響が大きく, 長日条件によって非休眠卵の産下が多くなることが知られている¹⁻⁴⁾. 一方, 桑葉育における休眠卵の変化には, 幼虫期における光条件の影響は小さく, むしろ, 栄養条件の影響のほうが大きく, 摂食制限⁵⁾, 未熟桑給与^{6,7)}, 塵埋付着桑葉給与⁸⁾等の栄養条件の低下に伴って非休眠卵の産下が増加することが指摘されている. また著者らは先に, 桑葉粉末を含む人工飼料の飼料価値は400 nm

付近より短波長の光照射によって急激に低下することを明らかにした⁹⁾.

著者らは人工飼料育の長日条件で誘発される非休眠卵が光の直接の影響によるものか, 光による飼料変質に起因するかについて検討を加え, 二, 三の知見が得られたので報告する.

材料および方法

蚕品種は育成素材に用いている春嶺×ACS81, またはHN 90×HC 8を供試し, 20°C・暗条件で催青した.

飼育条件は次のようである. 日長条件は幼虫全期を通じてL 24, LD 18:6, LD 12:12, LD 6:18およびD 24の5水準とした. なお, 化蛹後はいずれもLD 12:12に保護した. 明期中の光源には飼料の急激な変質を招く450 nm以下の短波長が除去されている蛍光灯(東芝FLR 40Y, 通称純黄色蛍光灯)を用い, 照射量は $0.3 \pm 0.01 \text{ W/m}^2/\text{sec}$ (白色蛍光灯の150 lx程度に相当)とした¹⁰⁾. 蚕の観察や飼育取扱いは光周期の明期に行うことを原則としたが, D 24については, これが不可能なので, Ishikawa¹¹⁾の報告に基づき, 蚕の光波長感受性がきわめて低いと想定される700 nm以上の長波長を出す遠赤色光源を用いた. 人工飼料はTable 1に示す桑葉

Satoru UEDA,* Isamu CHORAKU,** Kiyoshi SUZUKI* and Masao NAKAJIMA***: Effects of Photoperiod and Content of Soybean Meal in the Diet on the Growth and Development of Silkworms Reared on an Artificial Diet, Especially Embryonic Diapause in the Next Generation.

* Sericultural Experiment Station, Yatabe, Ibaraki 305 Japan.

** National Institute of Agrobiological Resources, Yatabe, Ibaraki 305 Japan.

*** National Agricultural Research Center, Yatabe, Ibaraki 305 Japan.

Table 1 Composition of basal diet.

Ingredient	Diet I ⁽¹²⁾	Diet II ⁽¹³⁾
Mulberry leaf powder	25.0	—
Potato starch	7.5	10.0
Sucrose	8.0	10.0
Soybean meal, defatted	36.0	40.0
Soybean oil, refined	1.5	3.0
β -Sitosterol	0.2	0.5
Salt mixture	3.0	3.5
K ₂ HPO ₄	—	1.0
Ascorbic acid	2.0	2.0
Cellulose powder	20.8	34.0
Agar	7.5	15.0
Citric acid	4.0	0.5
Sorbic acid	0.2	0.2
Morin	—	0.1
(Total)	(115.7)	(119.8)
Vitamin B mixture	Added	Added
Antiseptic	Added	Added
Dist. water*	3.5 ml	3.5 ml

* Added to 1 g of the dry diet.

粉末 22% を含む組成⁽¹²⁾ (これを Diet I とする) と桑葉粉末を含まない組成⁽¹³⁾ (Diet II) を基本として大豆粉末量をそれぞれ 30% 増または減の試験を設定し、この部分を澱粉とセルローズ粉末で重量比によって調節した。なお、これを蛋白含量でみると、基本組成に対して桑葉粉末を含む飼料では約 18%, また桑葉を含まない飼料では約 22% 増または減に相当した。飼育は蚕 150 頭を掃立て、恒温室で 1~2 齢 29°C, 3 齢 27°C, 4~5 齢 25°C を目標に行い、給餌は 1~3 齢は隔日、4~5 齢は 1 日 1 回とした。

結 果

1. 飼育経過と健蛹歩合

はじめに桑葉粉末を含む飼料組成 (Diet I) を用いた試験結果を示す。

飼育経過においては、大豆粉末含量の相違による差は小さかったが、低大豆粉末含量飼料において延長する傾向がみられた。ここには日長条件ごとにとりまとめた全齢経過時間の平均値を Fig. 1 に示す。日長条件に関しては明らかに差が認められ、経過時間は LD 6:18 で最も短く、これより長日条件になるにつれ、また D 24 においても経過は遅延し、とくに L 24 における経過は著しく延長した。集団の蚕の経過は蚕の揃いによっても影響されるが、蚕の揃いは L 24 において不良で、D 24 もやや不良であったが、他の日長条件では斉一であった。

Fig. 1 Effect of photoperiod on the duration of larval period.

対掃立蚕健蛹歩合についての測定値を分散分析した結果を Table 2 に示す。蚕の健蛹歩合は日長条件によって影響を受けたが、飼料中の大豆粉末含有量の相違によっては試験区間に有意差が認められなかった。日長条件と健蛹歩合の関係を測定値の平均で Fig. 2 に示す。試験区間の差の有無を最小有意差 (l.s.d.) 15% を物差しにして検討すると、LD 6:18 から LD 18:6 の間の日長条件では健蛹歩合に有意な差がなく、D 24 と L 24 は他の日長条件にくらべ明らかに健蛹歩合が低下し、とくに L 24 において健蛹歩合は劣った。

2. 繭重と繭層重

繭重と繭層重を測定し分散分析した結果は Table 2 に示すように、繭重と繭層重はともに日長条件と大豆粉末含有量の両者によって明らかに影響を受けたが、とくに大豆粉末含量の影響は大きかった。しかし日長条件と大豆粉末含量の交互作用は有意ではなく、この両要因が相互に関連しながら、繭重や繭層重に影響を及ぼしている可能性は小さかった。日長条件の影響を測定値の平均で Fig. 3 に示す。繭重は LD 6:18 が最も軽く、これより長日条件になるにつれて重くなり、L 24 が最も重く、また D 24 も LD 6:18 よりやや重かった。繭層重はおおむね繭重と同様の傾向を示したが、LD 12:12 と LD 18:6 の間の差はほとんどなかった。大豆粉末含量との関係についてみると繭重と繭層重はともに含有量が多くなるにつれて明らかに重くなった (Fig. 4)。

Table 2 Effects of photoperiod and content of soybean meal in the diets on the survival rate of pupae, cocoon weight and cocoon shell weight.

Source		Analysis of variance table						
		<i>f</i>	Survival rate		Cocoon weight		Cocoon shell weight	
			<i>V</i>	<i>F</i> ₀	<i>V</i>	<i>F</i> ₀	<i>V</i>	<i>F</i> ₀
Photoperiod	(A)	4	1,065	6.29*	0.104	4.86*	44.0	5.26*
Cont. of soybean meal	(B)	2	51	0.31	0.239	11.13*	67.7	8.09*
Replication		3	1,856	10.97*	0.482	22.48*	437.9	52.29*
A × B		8	200	1.18	0.006	0.30	5.3	0.63
Error		42	169		0.021		8.4	
Total		59	316		0.056		34.2	

* Significant difference at 5% level.

Fig. 2 Effect of photoperiod on the survival rate of pupae.

Fig. 3 Effects of photoperiod on the cocoon weight and cocoon shell weight. □: cocoon weight, ▨: cocoon shell weight.

3. 産下卵の休眠性

測定値を分散分析した結果を Table 3 に示す。卵休眠性は日長条件と飼料中の大豆粉末含量の両者によって影響を受け、しかもこの両要因の交互作用が有意であった。測定値の平均を Fig. 5 に示す。まず日長条件についてみると幼虫期を LD 6: 18 で飼育した場合に休眠卵蛾の出現が最も高く、これより長日条件になるにつれて、また D 24 においても休眠卵蛾の出現は低下した。飼料組成についてみると、短日条件である D 24 と LD 6: 18 においてのみ影響が現われ、大豆粉末含量が少なくなるほど休眠卵蛾の出現率は高くなった。LD 12: 12 においては高大豆粉末含量飼料において他区より休眠卵蛾出現率が高くなっているが、l.s.d. 10.7% を物差しにする

と、他の 2 区との間には有意差は認められなかった。このように LD 12: 12 では大豆粉末含量によって休眠性に有意な変化がなかったのに対し、LD 6: 18 と D 24 において明らかに差が認められた事実が日長条件と大豆粉末量の交互作用を有意にした原因であった。

4. 飼料中の桑葉粉末の有無と卵休眠性

飼料中の桑葉粉末の有無は卵休眠性に影響があるとされているので、桑葉粉末 22% を含む飼料とこれを含まない飼料 (Table 1) を用いて、上記実験で休眠性の出現率が高かった D 24 と LD 6: 18 の日長条件下で飼育し、その測定値を分散分析した結果を Table 4 に示す。

本実験の主目的である飼料中の桑葉粉末の有無につい

Table 3 Effects of photoperiod and content of soybean meal in the diets on the embryonic diapause in the next generation.

Source		Analysis of variance table			
		<i>f</i>	<i>S</i>	<i>V</i>	<i>F</i>
Potoperiod	(A)	4	17,276.8	4,319.2	111.70*
Cont. of soybean meal	(B)	2	471.3	235.6	6.09*
Replication		3	5,451.9	1,817.3	46.96*
A × B		8	1,415.4	176.9	4.58*
Error		42	1,625.4	38.7	
Total		99	26,240.8	(444.8)

Fig. 4 Effects of content of soybean meal in the diets on the cocoon weight and cocoon shell weight. P: poor content of soybean meal in the diet. B: basal diet. R: rich content of soybean meal in the diet. □: cocoon weight, ▨: cocoon shell weight.

Fig. 5 Effects of photoperiod and content of soybean meal in the diets on the embryonic diapause in the next generation. —: poor content of soybean meal in the diet. ----: basal diet. - · - ·: rich content of soybean meal in the diet.

ては、休眠卵蛾の出現に有意な影響は認められなかった。日長条件と飼料大豆粉末含量の影響の表示は省略するが Fig. 5 と同傾向で LD 6:18 において D 24 より高く、また大豆粉末含量が少なくなるほど休眠卵の出現率が高くなった。なお、Table 4 においては Table 3 と異なって日長条件と飼料大豆粉末の両要因の交互作用が有意を示さなかったのは LD 12:12 を設定しなかったためと推定された。

考 察

人工飼料育における長日条件が非休眠卵出現率を高く

することは、すでに指摘されており^{1-3,14)} 本実験においても同様の結果を示した。飼料組成中の大豆粉末量と日長条件の相互作用が卵休眠性に及ぼす影響については、日長条件の影響が大きすぎ、大豆粉末量のそれは解明されるに至っていない^{2,4)}。本実験では、この大豆粉末量の影響が短日条件の下で現われ、含有量が多くなるにつれて非休眠卵蛾が多くなった。先に述べたように、桑葉育では栄養条件が不良になると飼育経過は延長し、繭重と繭層重が軽くなるとともに非休眠卵産下は多くなるとされている⁵⁻⁹⁾。人工飼料育による本実験では飼料中の大豆粉末量を多くすると、飼育経過には格別な変動は認められないが、繭重と繭層重は明らかに重くなるにもかかわらず、桑葉育と異なって非休眠卵産下は多くなった。このように栄養条件が卵休眠性に及ぼす影響は桑葉育と

Table 4 Effects of photoperiod and content of soybean meal or mulberry-leaf powder in the diets on the embryonic diapause in the next generation.

Source		Analysis of variance table			
		<i>f</i>	<i>S</i>	<i>V</i>	<i>F</i> ₀
Photoperiod	(A)	1	3,528.4	3,528.4	14.09*
Cont. of mulberry l.	(B)	1	495.0	495.0	1.98
Cont. of soybean m.	(C)	2	3,151.1	1,575.5	6.29*
Replication		1	2,223.4	2,223.4	8.88*
A × B		1	532.0	532.0	2.12
A × C		2	771.8	385.9	1.54
B × C		2	39.1	19.5	0.08
A × B × C		2	240.1	120.0	0.48
Error		11	2,755.1	250.5	
Total		23	13,736.0	(597.2)	

人工飼料育では異なることが推察されたが、この原因を解明する手がかりは得られておらず今後の研究にまちたい。

著者らは先に桑葉粉末を含む人工飼料は近紫外(400~450 nm)より短波長の照射によって飼料価値が急激に低下することを明らかにした⁹⁾。今回の実験は、450 nm以下の波長を除去した光源を用い、かつ光による変質が生じにくい桑葉粉末を含まない飼料^{9),15)}も併用した結果、人工飼料育における休眠性変化に及ぼす光条件の影響は、飼料価値の変化によるよりも、蚕に対する光の直接の影響によることが推定された。

日長条件の影響が、LD 6:18 付近に転移点があることは、飼育経過、体重、繭層重に關しすでに指摘されており^{16),17)}、本実験でも同様の結果を得たが、卵休眠性に及ぼす影響についてもこの LD 6:18 付近に転移点のあることを明らかにすることができた。

加藤¹⁾は人工飼料中の桑葉粉末の有無が、卵休眠性の変化を招く可能性を示したが、本実験ではこの傾向は認められなかったが、これは用いた蚕品種の光感受性^{1,2,18)}や人工飼料組成の違いに起因するものと思われる。

稿を終えるにあたり、取りまとめに種々ご助言ください、またご校閲くださった蚕糸試験場石川誠男博士にお礼を申しあげる。

文 献

- 加藤 勝. 1974. 人工飼料育カイコの胚子休眠を決めている幼虫期における物理的・化学的環境. 生物環境調節 12: 1-4.
- 住本憲一. 1974. 制御環境下におけるカイコの發育生理に関する研究 I. 人工飼料育における休眠に及ぼす幼虫期日長の影響. 生物環境調節 12: 109-116.
- 高宮邦夫. 1974. 蚕の人工飼料育における温度および光条件について III. 人工飼料育における日長条件が家蚕の化性に及ぼす影響. 日蚕雑 43: 211-216.
- 高宮邦夫. 1975. 蚕の人工飼料育における温度および光条件について V. 飼料組成を異にした場合の幼虫期の温度および光線が眠性および化性に及ぼす影響. 日蚕雑 44: 21-25.
- 永盛新三郎. 1930. 食桑の蚕児化性に及ぼす影響. 応動雑 2: 217-220.
- 北澤 茂. 1930. 家蚕の飼育中における栄養が化性に及ぼす影響について(第1報). 蚕界 39: 1268-1270.
- 北澤 茂. 1972. 栄養が家蚕の化性に及ぼす影響. 蚕界 41: 43-49.
- 梅谷与七郎. 1928. 家蚕の飼育時期における化性変化の一原因に就きて(予報). 蚕界 37: 31-35.
- 上田 悟・高橋澄雄. 蚕の人工飼料の飼料価値に及ぼす光波長の影響. 日蚕雑 52: 120-125.
- 中島正雄・上田 悟. 照射光の強さが人工飼料の飼料価値ならびに蚕の幼虫成長に及ぼす影響. 日蚕雑 52: 141-146.
- ISHIKAWA, S. 1969. The spectral sensitivity and the components of the visual system in the stemmata of silkworm larvae, *Bombyx mori* L. (Lepidoptera: Bombycidae). Appl. Ent. Zool. 4: 87-99.
- 堀江保宏・井口民夫・渡辺喜二郎・中曾根正一・柳川弘明. 1973. 家蚕の人工飼料の組成改善に関する二,三の試験. 蚕試彙報 96: 7-39.
- 伊藤智夫・堀江保宏・渡辺喜二郎・高宮邦夫・古山三夫・宮林満雄・山本一雄・長島政喜. 1974. 準合成飼料による家蚕の全齡飼育について. 農化 48: 403-407.
- 土田耕三・吉武成美. 1979. 人工飼料育蚕の飼育環境が休眠性に及ぼす影響. 日蚕雑 48: 469-472.

- 15) 今西重雄・吉武成美. 1981. 蚕の人工飼料の光による飼料価値低下について. 日蚕雑 50: 88-93.
- 16) HIRASAKA, T., Y. TONOMURA and N. KOYAMA. 1968. Studies on environmental conditions in the aseptic rearing of the silkworm. I. Effect of 12-hour illumination per day on the larval growth. J. Sericult. Sci. Japan. 37: 403-407.
- 17) 平坂忠雄・井田常雄・小山長雄. 1969. カイコの成長におよぼす光周期の影響. (1) 種々なる日長時間とカイコの成長. 生物環境調節 7: 30-33.
- 18) SHIMIZU, I. and M. KATO. 1984. Carotenoid function in photoperiodic induction in the silkworm, *Bombyx mori*. Photobiochemi. Photobiophys. 7: 47-52.

Summary

As materials, bivoltine silkworm races were used. The eggs were incubated continuously at 20°C in the dark and the larvae were reared on artificial diets. Effects of photoperiod and content of soybean meal or mulberry-leaf powder in the diet on growth and development of the silkworm were investigated. Especially, diapause of the embryos in the next generation was examined. As the light source, fluorescent lamp with the wavelength above 450 nm was

used, and the illumination energy adjusted to $0.32 \pm 0.01 \text{ W/m}^2/\text{sec}$.

The growth of the silkworm was influenced to a large extent by photoperiodic conditions, and the effect had the turning point at LD6: 18; namely, when the larvae were reared under LD6: 18, the shortest duration of larval period and the lightest weights of cocoon and cocoon shell were obtained. In this photoperiodic condition, both survival and diapause ratios were the highest among those in other conditions. It was assumed that this reaction might be ascribed to the direct effect of light to the larvae, not due to the deterioration effect of the diets by the light.

When the content of soybean meal was varied in the diets, distinct differences in diapause were detected only under the photoperiodic conditions, LD6: 18 and D24. Namely, the non-diapause egg rate was increased with increasing amount of soybean meal in the diets. In this case, the weight of cocoon and cocoon shell also increased as a result of the addition. However, the relationship between the appearance of diapause and the content of the mulberry leaf powder in the diet was not recognized.

(Received March 4, 1985)